

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

REFLEXOS DE IMPUREZAS VEGETAIS SOBRE
PRODUÇÃO DE BIOETANOL EMPREGANDO-SE CANA
COMERCIAL E CANA-ENERGIA

Laís Cozer Araujo
Engenheira Agrônoma

2023

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

**REFLEXOS DE IMPUREZAS VEGETAIS SOBRE
PRODUÇÃO DE BIOETANOL E ENERGIA
EMPREGANDO-SE CANA COMERCIAL E CANA-
ENERGIA**

Laís Cozer Araujo

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Coorientadora: Dra. Lidyane Aline de Freitas

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

2023

A663r	Araujo, Laís Cozer Reflexos de impurezas vegetais sobre a produção de bioetanol empregando-se cana comercial e cana energia / Laís Cozer Araujo. -- Jaboticabal, 2023 86 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton Coorientadora: Lidyane Aline de Freitas 1. Qualidade. 2. Matéria-prima. 3. Cana-de-açúcar. 4. Bioetanol. 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

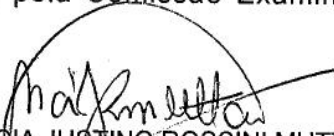
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: REFLEXOS DE IMPUREZAS VEGETAIS SOBRE PRODUÇÃO DE BIOETANOL EMPREGANDO-SE CANA COMERCIAL E CANA-ENERGIA

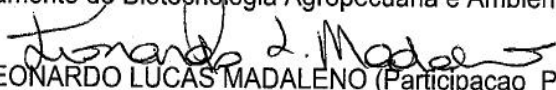
AUTORA: LAÍS COZER ARAUJO

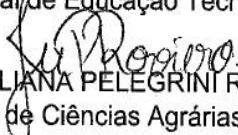
ORIENTADORA: MÁRCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

COORIENTADORA: LIDYANE ALINE DE FREITA

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


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


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


Profa. Dra. JULIANA PELEGRINI ROVIERO (Participação Presencial)
Departamento de Ciências Agrárias e Naturais / UEMG - Ituiutaba/MG

Jaboticabal, 23 de junho de 2023

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LAÍS COZER ARAUJO – Nasceu em 20 de abril de 1998, no município de Araras, Estado de São Paulo. Em 2016 ingressou no curso de Engenharia Agrônoma na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, recebendo o título de Engenheira Agrônoma em 2021. A partir de janeiro de 2020, passou a integrar o grupo de pesquisa “Processos Biotecnológicos Aplicados a Agroindústria”, participando de diversos projetos. Ingressou em janeiro de 2021 no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária em nível de Mestrado Acadêmico na FCAV/Unesp Campus de Jaboticabal/SP.

EPÍGRAFE

“Podemos definir a missão de vida como a razão da nossa existência. É algo que preenche nosso ser e nos inspira a sermos melhores a cada dia. Quando descobrimos o que faz pulsar mais forte o nosso coração, fazemos disso um projeto de vida: ou seja, transformamos o desejo em ação para que a missão se concretize”

- Província Marista

A minha família, base da minha vida,
amor incondicional, que me
ensinaram tudo o que sou hoje:
Ricardo, Fernanda e Thomás.

Ao meu noivo Heitor e toda sua
família, que compartilho a vida, que
me faz feliz, pelo amor, carinho,
apoio. Por sua coragem e
determinação.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos, pela saúde e graças alcançadas. Pelo dom da vida e sabedoria.

A Prof^a. Dr^a. Márcia Justino Rossini Mutton pela oportunidade, orientação, amizade, acolhida e ensinamentos para vida profissional e pessoal. Obrigada pela paciência e carinho.

Ao Prof. Dr. Miguel Ângelo Mutton pela atenção e zelo durante os experimentos do laboratório e viagens técnicas.

A Dr^a. Lidyane Aline de Freitas pela orientação, empenho e dedicação.

Ao Programa de Microbiologia Agropecuária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/Unesp) pela grandiosa oportunidade para aprimoramento profissional.

A todos do Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, em especial aos bons amigos: nosso grande mentor Sérgio Luís Nobukini, Natália Novais Ribeiro, Kátia Gabriela De Natale, Lucas Antoszczeszen Pironti e Mateus Felipe Grigoletto, pelos momentos de aprendizado, colaboração e tantas alegrias que passamos juntos. Vocês foram fundamentais para a conclusão deste estudo.

Aos membros da Banca Examinadora pelas importantes e necessárias considerações.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos os meus amigos e companheiros desta incrível jornada, minha gratidão!

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	i
1 RESUMO.....	iii
RESUMO.....	iii
2 ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Histórico e importância econômica da cana de açúcar para o Brasil	2
2.2 A cultura da cana-de-açúcar	5
2.3 A realidade da cana energia para a produção de bioetanol	8
2.4 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar	9
2.5 Qualidade da matéria-prima.....	10
2.6 Processo fermentativo a partir da cana-de-açúcar.....	12
2.7 As impurezas de origem vegetal	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Localização do experimento.....	18
3.2 Aspectos gerais das variedades utilizadas.....	19
3.3 Delineamento Experimental	21
3.4 Colheita dos colmos e preparo dos tratamentos	21
3.5 Extração e clarificação do caldo extraído.....	23
3.6 Determinação do Açúcar Teórico Recuperável (ATR)	24
3.7 Caracterização tecnológica do caldo extraído e clarificado.....	24
3.8 Determinação da Fibra	25
3.7.1. Fibra PCTS.....	25
3.7.2. Fibra Tanimoto.....	26
3.9 Preparo do Mosto	26
3.10 Caracterização tecnológica do mosto	26
3.11 Análises microbiológicas do processo fermentativo.....	27
3.12 Determinações tecnológicas do vinho	27
3.13 Análises no destilado	27
3.14 Determinação da Eficiência Fermentativa.....	28

3.15	Análises estatísticas	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
3.1	Qualidade da cana-de-açúcar	28
3.2	Resultados obtidos para caldo extraído	32
3.3	Resultados obtidos para caldo clarificado	41
3.4	Resultados obtidos para as análises do mosto	48
3.5	Análises microbiológicas do processo fermentativo	49
3.6	Resultados obtidos para as determinações tecnológicas do vinho	52
3.7	Análise do destilado	54
5.	CONCLUSÕES.....	59
6.	REFERÊNCIAS	59

REFLEXOS DE IMPUREZAS VEGETAIS SOBRE PRODUÇÃO DE BIOETANOL EMPREGANDO-SE CANA COMERCIAL E CANA-ENERGIA

RESUMO – No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é a matéria-prima que mais se destaca para a produção de bioetanol. Para atender à crescente demanda deste combustível, é necessário ampliar a produtividade agroindustrial incorporando novas matérias-primas e tecnologias de produção, assim a cana energia apresenta grande potencial devido ao alto rendimento com baixo custo e maior resistência a estresses do ambiente. Contudo, a mecanização da colheita agrega impurezas vegetais e minerais, alterando a qualidade da matéria-prima que chega na indústria. O objetivo deste trabalho foi determinar os impactos causados por diferentes teores de impurezas vegetais no processamento da cana nas características químico-tecnológicas do caldo extraído, clarificado, mosto e vinho, assim como, avaliar os parâmetros microbiológicos durante o processo fermentativo de mostos provenientes de cana comercial (RB975201) e cana-energia (Vertex 3 Tipo 1). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos principais foram representados pelas variedades de cana (RB975201 e Vertex 3) e o secundário pelos teores de impurezas vegetais (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo Teste F e comparação de médias (Tukey 5%). Pelos resultados obtidos, mostrou-se que a adição de impureza vegetal reduz teores de Pol, Pureza, ART e AR. A presença de palha, palmito e folhas verdes aumentou os teores de compostos fenólicos, fibra e amido. A análise do destilado demonstrou que as impurezas aumentaram a produção de compostos indesejáveis como N-propanol, butanol, metanol, acetato de etila e furfural.

Palavras-chave: Qualidade, Matéria-prima, Cana-de-açúcar, Bioetanol.

EFFECTS OF VEGETAL IMPURITIES ON ETHANOL PRODUCTION USING SUGARCANE AND ENERGY CANE

ABSTRACT – In Brazil, sugarcane (*Saccharum* spp.) is the raw material that most stands out for the production of bioethanol. To meet the growing demand for this fuel, it is necessary to increase agro-industrial productivity by incorporating new raw materials and production technologies. Energy cane has great potential. However, mechanized harvesting adds vegetals and mineral impurities, altering the quality of the raw material that arrives at the industry. The objective of this work was to determine the impacts caused by different levels of vegetals impurities in sugarcane processing on the chemical-technological characteristics of the extracted, clarified juice, must and wine, as well as to evaluate the microbiological parameters during the fermentation process of musts from sugarcane commercial (RB975201) and energy cane (Vertix 3 Type 1). The experimental design was in randomized blocks, in a split-plot scheme, with 4 replications. The main treatments were represented by the sugarcane varieties (RB975201 and Vertix 3) and the secondary by the levels of vegetal impurities (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). The results were submitted to analysis of variance by F Test and comparison of means (Tukey 5%). Thus, it was verified that the addition of vegetal impurity reduced levels of Pol, Purity, TRS and TS. The presence of straw, tops and green leaves increased the levels of phenolic compounds, fiber and starch. Analysis of the distillate showed that impurities increased the production of undesirable compounds such as N-propanol, butanol, methanol, ethyl acetate and furfural.

Keywords: Bioethanol, Quality, Raw material, Sugarcane.

1. INTRODUÇÃO

A introdução do etanol na matriz energética do Brasil ocorreu início de 1970, com a necessidade de amenizar sucessivas crises na produção de açúcar e atenuar a dependência por combustíveis fósseis. A utilização desse biocombustível como forma alternativa aos derivados do petróleo é atividade sustentável que contribui para a redução dos gases efeito estufa (GEE); fato que ocorre devido à captação de CO₂, presente na atmosfera pelos canaviais (BUZO, 2020).

A biomassa que mais se destaca para a fabricação do etanol no Brasil é a cana-de-açúcar. O país é, atualmente, o produtor mundial dessa matéria-prima, graças a disponibilidade de grandes áreas cultiváveis e clima favorável à cultura (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Para que a indústria tenha rendimento e eficiência, é necessário utilizar matéria-prima de qualidade, possibilitando os processos e gerando produto barato e de acordo com a exigência do mercado. No final da década de 90 e início dos anos 2000, visando diminuir e eliminar a prática da queima de cana devido à diretrizes e leis ambientais promulgadas, houve a troca gradativa da colheita manual para a mecanizada. Neste mesmo período, percebeu-se queda na qualidade da matéria-prima entregue às usinas.

O uso de máquinas agrícolas para corte e carregamento pode resultar em aumentos de 15% de impurezas vegetais (palha, palmito e folhas verdes) adicionadas ao processo (GIMENEZ, FRANZÉ e MADALENO, 2016). Por outro lado, a impureza mineral que entra nas usinas junto aos colmos é variável, pois estão ligados a fatores não controláveis, como por exemplo: chuva, clima e sistema de corte-carregamento (FINGERUT e PAES, 2014).

A eficiência do processo industrial para transformar açúcar em álcool depende da qualidade da matéria-prima, em que as impurezas vegetais, como a palha e o palmito, ocasionam uma série de efeitos negativos nos processos de fabricação (MUTTON, 1990). Além disso, a presença de folhas verdes reduz parâmetros tecnológicos como Brix, Pol Aparente e Pureza Aparente (BOVI e SERRA, 1999).

Visando atender a futura demanda de biocombustíveis, várias variedades de cana-de-açúcar foram desenvolvidas nas últimas décadas. Entre elas, a cana-energia tem se mostrado excelente opção para incrementar a produtividade sem aumento de

custos e área cultivada. Os colmos desta cultura são mais robustos e, devido ao grande potencial genético, podem alcançar produção 3 vezes maior comparada a cana comercial. Além disso, apresenta aptidão para desenvolvimento em áreas restritivas, maior formação de biomassa e conteúdo celulósico (teor de fibras) (ARAUJO e CAMPOS, 2019). Entretanto, não há relatos na literatura abordando os impactos das impurezas no processamento para obtenção de bioetanol com cana energia e cana comercial.

Desse modo, faz-se necessário compreender a influência de impurezas vegetais no processamento da cana e na fermentação de mosto proveniente de cana comercial e cana-energia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico e importância econômica da cana de açúcar para o Brasil

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma Poaceae de grande importância econômica no Brasil e no mundo. Ainda assim, a espécie é erroneamente identificada como *S. officinarum* em livros e pesquisas publicadas até hoje. O uso da nomenclatura científica *Saccharum spp.*, é mais adequado porque as cultivares comerciais modernas, são derivadas da hibridização interespecífica de diferentes espécies de *Saccharum*, sendo 70-80% dos cromossomos derivados de *S. officinarum*, 10-20% derivados de *S. spontaneum* e alguns cromossomos derivados de recombinação interespecífica (D'HONT *et al.*, 1996; YANG *et al.*, 2019).

Esta cultura originou-se em regiões tropicais do sul e sudeste da Ásia, em vasta área que vai da Índia à Polinésia (AITKEN e MCNEIL, 2010). Existem fortes evidências sugerindo que esta planta foi domesticada pela primeira vez em Papua Nova Guiné por volta de 8.000 a.C. (Figura 01), onde foi criado um moderno centro de diversidade, espalhando-se para Índia e outros países do sudeste asiático (VIEIRA, 2004).

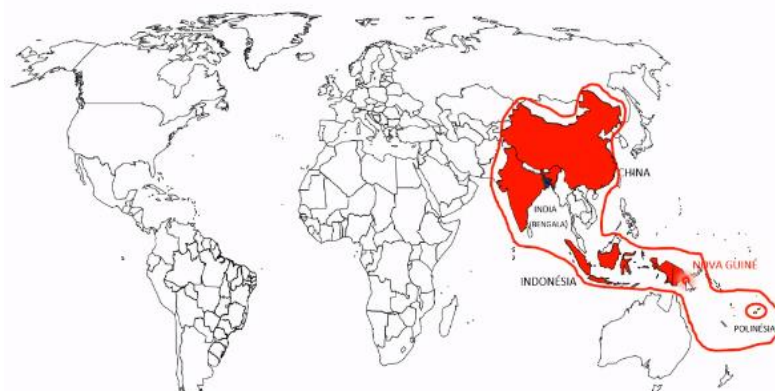


Figura 01 - Centro de Origem no Epicentro Nova Guiné. (Fonte: AZANIA, 2021)

Poucos registros arqueológicos remanescentes relatam a história da cana-de-açúcar, fato que dificulta estabelecer uma linha do tempo desde a domesticação aos dias atuais. Sabe-se com certeza que *Saccharum spp.* tem sido parte importante da história da humanidade por milhares de anos, e que antes mesmo do açúcar, seus colmos eram apreciados para consumo (DENHAM, 2014).

A arte de fazer açúcar a partir deste vegetal foi relatada pela primeira vez na Índia e na China. Assim, as expedições dos europeus pelo mundo permitiram que o conhecimento se disseminasse para oeste e sudeste. Atualmente, o cultivo comercial de cana-de-açúcar e de suas variedades ocorre em mais de 70 países e territórios (NOCELI *et al.*, 2017).

No Brasil, a história da cana-de-açúcar está interligada com a história da colonização. Segundo Braibante *et al.* (2013), a entrada do açúcar na Península Ibérica na década de 1440, a partir da produção de países do oriente médio, estimulou os portugueses a buscarem alternativas em suas colônias para produção de açúcar. Isto permitiu o crescimento econômico português, uma vez que o modelo de produção de açúcar adotado no oriente médio gerou riqueza para os exploradores por se basear na escravidão de povos. No século XIV, início do período colonial, a coroa portuguesa trouxe mudas provenientes da Ilha da Madeira, Portugal, para verificar a adaptabilidade da planta em terras brasileiras (TOLEDO, 2022).

A espécie se adaptou bem aos solos, e durante o período colonial foi intensamente cultivada ao longo da costa do Brasil, principalmente no Nordeste, explorando a mão-de-obra escrava indígena e, posteriormente, africana. Esse modelo

de exploração contribuiu muito para o ciclo da economia canavieira no país durante quase dois séculos (RODRIGUES e ROSS, 2020).

No final do século 19, com a abolição da escravidão e o estabelecimento do trabalho remunerado, a produção no Nordeste diminuiu gradativamente a cada ano. Ao mesmo tempo, houve expansão no estado de São Paulo, devido à decadência da produção cafeeira e ao desenvolvimento do mercado interno desta região (NOCELI *et al.*, 2017). A expansão paulista também é atribuída ao investimento em pesquisas e aplicação nos resultados e ao estímulo à produção do álcool (GAROFALO *et al.*, 2020).

A crise do petróleo na década de 1970, forçou aos países a buscarem soluções para fomentar a demanda energética de combustíveis. Em razão disso, o Brasil apostou no etanol como solução, através de políticas como o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) criado em 1975.

Desde então, a demanda nacional e internacional por biocombustíveis tem aumentado a cada ano, alavancada pela busca de matrizes energéticas “verdes” em relação às fósseis, principalmente em decorrência das mudanças climáticas (MONZONI *et al.*, 2010).

Desta forma, a produção de açúcar e etanol sofreram grande expansão no Brasil, sendo atualmente o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. O setor tem grande impacto econômico nas regiões produtoras, movendo a economia de muitas cidades, com destaque para as regiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Araçatuba no Estado de São Paulo, e também no PIB nacional, onde representa parcela de 2% (VEDANA *et al.*, 2019).

Nos últimos 33 anos, a ocupação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar no em território brasileiro passou de 4,27 milhões de hectares em 1990 para 9,723 milhões de hectares colhidos em 21/2022, representando um aumento de 6,15 milhões de hectares, ou 135%, em termos de área colhida. Já a produção, foi ampliada em cerca de 272%, indo de 262,7 milhões de toneladas em 1990 para 715,65 milhões em 2021 (IBGE, 2022).

O Estado de São Paulo, principal produtor de cana e referência no mercado de açúcar e etanol do país, produz cerca de 53,70% da cana-de-açúcar, algo em torno de 642 milhões de toneladas, em uma área de 6,15 milhões de hectares, ou seja,

aproximadamente 50,00% da área plantada do território nacional (GAROFALO *et al.*, 2020).

2.2 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é planta monocotiledônea, alógama e pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum* (GUPTA *et al.*, 2010). É conhecida por ser uma cultura perene ou semi-perene, em virtude de fornecer em média cinco a seis cortes durante o seu ciclo produtivo. Entretanto, após cada colheita devem ser realizado investimentos consideráveis para continuar mantendo a produtividade e a longevidade do canavial – como adubação e aplicação de produtos fitossanitários para controle de pragas e plantas daninhas. Ao primeiro corte, a cana é denominada “cana planta” e após a primeira colheita é chamada de “cana soca”, devido às rebrotas das soqueiras formadas após a colheita.

Dentre as principais tecnologias que possuem potencial para contribuir com a sustentabilidade e produtividade da cana-de-açúcar, pode-se destacar aquelas relacionadas ao melhoramento genético, planejamento e manejo agrícola, assim como as técnicas de plantio e tratos culturais, incluindo a colheita e o combate de pragas e doenças (NOVA CANA, 2013).

A cana-de-açúcar é considerada uma planta C4, sendo eficiente na conversão de energia, acumulando o dobro de biomassa que uma planta C3. Além disso, apresenta quatro fases fenológicas distintas (Figura 02): brotação, perfilhamento, crescimento vegetativo e maturação (AGEITEC, 2022).

A propagação da cana-de-açúcar ocorre de forma vegetativa, realizada por meio de colmos que contêm gemas que originam o broto. O enraizamento acontece a partir das raízes que se desenvolvem na zona radicular, enquanto a emergência do perfilho primário provém das gemas de cada entrenó (AUDE, 1993; THOMAS, 2015). Dessa forma, após realizar a colheita dos colmos, tem início a brotação da soca, ou brotação dos primórdios e gemas restantes da base do colmo depois da colheita, estabelecendo um novo processo de perfilhamento (SELEGHIM, 2020).



Figura 02 - Cana-de-açúcar no campo – em perfilhamento a esquerda e em maturação a direita. (Fonte: De autoria própria)

Uma característica importante nas cultivares de cana-de-açúcar, é a boa capacidade de brotação, uma vez que, essa fase pode ocorrer em épocas de condições ambientais desfavoráveis (CASAGRANDE, 1991). Segundo Carneiro *et al.* (1995), para que ocorra brotação das soqueiras é fundamental a reserva em rizomas ou colmos subterrâneos, raízes remanescentes do ciclo anterior e o estado e a sanidade da soqueira como um todo.

A primeira fase de brotação é processo fisiológico, em que a energia consumida é gerada a partir da degradação das substâncias de reserva do colmo, por meio do processo da respiração. Em período de aproximadamente 30 dias, as reservas dos toletes e os rizomas decorrentes do processo de colheita são importantes para a que ocorra a brotação. Isto reduz a dependência na medida em que o sistema radicular se desenvolve, aumentando a superfície de absorção de água e nutrientes do solo.

Comumente, a brotação inicia-se de 7 a 10 dias após o plantio ou colheita e pode durar ao redor de 30-35 dias (BACCHI, 1983; BLACKBURN, 1984). É importante que ocorra boa brotação, de forma a proporcionar o bom estabelecimento da cultura, a alta produtividade e a longevidade ao final e nos próximos ciclos (SILVA *et al.*, 2003; SILVA, CARLIN e PERECIN 2004).

A fase de perfilhamento da parte aérea inicia-se após a brotação e é caracterizada pelos colmos primários ou perfilhos que, durante quatro meses, aumentam a área foliar e as raízes, intensificando a absorção de água e nutrientes (BARBOSA *et al.*, 2007; THOMAS, 2015).

Os perfilhos primários ou maternos são os primeiros brotos ou perfilhos provenientes das gemas dos toletes, rizomas ou tocos da soqueira. Já os perfilhos secundários contêm as gemas, que irão desenvolver novos brotos, e a região radicular na parte subterrânea. Perfilhos terciários são originários dos secundários, e assim por diante (ROCHECOUSTE, 1967).

Em relação ao perfilhamento em cana planta, ocorre aumento do perfilhamento até 180 dias após o plantio. Após 270 dias, o número de perfilhos tende a se estabilizar (SILVA *et al.*, 2002; CASTRO e CHRISTOFOLETTI, 2005).

O crescimento vegetativo ocorre após todos os perfilhos estarem formados, iniciando o estágio de crescimento em que os colmos possuem altos teores de glicose e frutose, ganham altura e formam três entrenós por mês durante quatro meses, assim como emitem aproximadamente 12 folhas. As raízes podem atingir até 40 cm de profundidade (AGEITEC, 2022).

Dentre os fatores que afetam o ritmo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, a idade fisiológica da planta e o clima são os que mais se destacam, sendo afetados por condições desfavoráveis ao crescimento, como: baixa disponibilidade hídrica no solo, baixas temperaturas e intensidades de radiação. Entretanto, com o início das precipitações e aumento da temperatura e da intensidade luminosa, ocorre a fase de maior desenvolvimento da cana-de-açúcar (SANTOS, 1977; SEGATO *et al.*, 2006).

O processo de maturação é o momento de maior acúmulo de sacarose, principalmente na base dos colmos. Cada entrenó acumula o próprio açúcar, em que os teores de sacarose são mais elevados no centro do colmo, com declínio nas pontas. Alexander (1973) ressalta que o mecanismo de acúmulo de sacarose é o mesmo que ocorre tanto em tecidos imaturos quanto nos mais velhos. No entanto, o acúmulo distingue-se entre os dois tipos de tecidos em função de reguladores de crescimento e da ação das invertases (SELEGHIM, 2020).

No período da colheita, os colmos destinados a industrialização precisam apresentar no mínimo 18° Brix (porcentagem em massa dos sólidos solúveis

dissolvidos em uma solução açucarada a 20 °C), polarização mínima de 15,3% (teor aparente de sacarose contida no caldo de cana-de-açúcar), pureza mínima de 85% (relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada) e no máximo 1,0% de açúcares redutores, como glicose e frutose.

2.3 A realidade da cana energia para a produção de bioetanol

A cana-energia, espécie de cana destinada a maior produção de biomassa, tem sido incorporada nos cultivos do Brasil. Este genótipo foi desenvolvido a partir do cruzamento de variedades ancestrais e híbridos produtivos de cana-de-açúcar, originando plantas mais resistentes às condições de estresse hídrico, com alto rendimento de biomassa de baixo custo e alta eficiência energética, desenvolvida especificamente para a produção de etanol e para geração e/ou cogeração de energia elétrica (MATSUOKA *et al.*, 2014; CURSI *et al.*, 2022). A variedade é flexível, podendo ser utilizada na queima elementar para geração de vapor e eletricidade e também na produção de diferentes biocombustíveis líquidos (1G ou 2G), gás, carvão e outros produtos químicos de valor agregado (GRANBIO, 2017).

A classificação da cana-energia (tabela 1) é feita de acordo com sua composição e finalidade de uso. Assim, o tipo 1 apresenta teor de sacarose acima de 15% e cerca de 18% de fibra, sendo destinado, principalmente, para a produção de etanol de 2ª geração. Já o tipo 2 possui teor de sacarose inferior a 6% e fibra superior a 28%, sendo destinado à geração de energia (MATSUOKA *et al.*, 2014).

Tabela 01 - Classificação das variedades de cana energia.

Cana energia tipo 1	Cana energia tipo 2
Sacarose acima de 15%	Sacarose inferior a 6%
18% de fibra	Fibra superior a 28%
Etanol 2ª geração	Geração de energia

(Fonte: MATSUOKA *et al.*, 2014)

Desse modo, o teor de fibra para as variedades de cana-energia do tipo 2 deve ser duas vezes maior no médio prazo, contendo teor de açúcar de 20% a 50% menor no caldo ao comparar com a cana-de-açúcar comercial. Existem alguns indícios de que a cana-energia pode ser mais tolerante a pragas e doenças e que a sua taxa de multiplicação possa chegar até 16 vezes maior do que as variedades convencionais (CURSI *et al.*, 2022).

2.4 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

Nas diferentes etapas da produção agrícola, tecnologias mecânicas podem ser empregadas para auxiliar os produtores no preparo do solo, no plantio, na adubação, na aplicação de defensivos e na colheita, em um processo denominado mecanização da produção (LIMA, 2021).

A adoção de tais tecnologias é a chave para enfrentar os desafios presentes na agricultura, como, por exemplo, a necessidade de elevar a produção considerando-se o mercado consumidor crescente e de melhorar qualidade da matéria-prima em sintonia com a conservação ambiental (LAMAS, 2017). Dados do IBGE (2017) apontam que em 2017, o Brasil contava com mais de 2 milhões de máquinas agrícolas no campo, incluindo tratores, semeadeiras, colhedoras e adubadoras, concentradas principalmente na região Centro-Sul do país.

A adoção da mecanização na produção de cana-de-açúcar ocorreu inicialmente no final da década de 50, época em que a tração animal foi substituída pela mecânica, principalmente nas fases de preparação do solo e plantio (VIAN e GONÇALVES, 2017). No processo de colheita da cana, a adoção da mecanização foi bem mais lenta, sem muitas evoluções até os anos 2000 (LIMA, 2021).

Entretanto, o decreto de Lei Estadual 47.700, de 11 de março de 2003 (Lei Estadual 11.241, de 19 de setembro de 2002), no estado de São Paulo, determinou prazos para a eliminação gradativa do emprego do fogo para despalha da cana-de-açúcar nos canaviais paulistas.

Dessa forma, fez-se necessário adotar medidas em substituição ao sistema de colheita por queima, dentre os quais o sistema de colheita de cana sem queima prévia da palha (Figura 03), sendo este o primeiro marco para ampliação da colheita mecanizada desta cultura no Brasil (SOUZA *et al.*, 2005).

Do ponto de vista ambiental, a proibição da queima reduz a emissão de gás carbônico para a atmosfera e reduz a chance de queimadas atingirem áreas de mata, preservando a fauna e a flora (GOLDEMBERG, COELHO e GUARDABASSI, 2008).

Outros fatores marcaram a adoção da colheita mecanizada no país, dentre os quais pode-se citar: medidas trabalhistas, capacidade de investimento (programas públicos de financiamento de máquinas) e estratégia de associar a imagem de sustentabilidade ao setor sucroenergético e ao avanço tecnológico (BACCARIN, 2019).



Figura 03 - Colheita mecanizada da cana-de-açúcar na região de Itumbiara-GO com despontador desligado. (Fonte: De autoria própria).

Assim, considerando-se os números absolutos, em dez anos, a quantidade de colhedoras de cana operando no Brasil quase triplicou, saindo de 1905, em 2008, para 5891, em 2017, sendo 67% destas no Estado de São Paulo (CONAB, 2019; LIMA, 2021; BARRETO, 2020).

2.5 Qualidade da matéria-prima

A qualidade da matéria-prima está diretamente associada com o manejo agrícola e os processos industriais realizados de forma correta, levando em consideração as características da própria planta (CLARKE e LEGENDRE, 1999).

A cana-de-açúcar como matéria-prima de qualidade refere-se a colmos maduros, recém-cortados, sadios e livres de impurezas (STUPIELLO, 2001). Sendo assim, a qualidade tecnológica do caldo de cana depende de fatores genéticos da planta, fatores bióticos e abióticos que ocorrem no ambiente, os quais exercem influência diretamente no desenvolvimento das plantas.

Assim, há dois tipos de fatores que podem afetar a qualidade da matéria-prima: os intrínsecos e os extrínsecos (FIGUEIREDO, MACIEL e MARQUES, 2008). Os fatores intrínsecos estão associados aos teores de fibra, sacarose e açúcares redutores, isto é, aos componentes da cana que são alterados de acordo com a variedade, o tipo de solo, os tratos culturais e as variações climáticas. Os fatores extrínsecos, estão associados às impurezas no colmo, como a quantidade de terra, a presença de pedras, areia e plantas invasoras, assim como compostos produzidos por microrganismos (MARQUES *et al.*, 2008; SILVA NETO, 2014).

A adoção da colheita mecanizada resultou no acúmulo de grandes quantidades de resíduos vegetais junto aos colmos de cana, o que na indústria impacta no Brix do caldo, Fibra e Pol Aparente da cana (SURIANO e SEGATO, 2009; HOLANDA, 2016; BORDONAL *et al.*, 2018). De acordo com May *et al.* (2012), a quantidade de impurezas presentes na matéria-prima pode sofrer modificações de acordo com os locais de produção, época de colheita, características dos cultivares, condições climáticas e uso correto do despontador e extrator da colhedora (Figura 04).



Figura 04 - Colheita mecanizada na região de Araçatuba/SP com despontador desligado: aumento de palmito na matéria-prima. (Fonte: De autoria própria).

A presença de impurezas vegetais em canas colhidas de forma mecanizada pode acarretar graves problemas para a engenharia agrícola (STUPIELLO, 2001). Ao aumentar a velocidade dos extratores, diminui-se consideravelmente a quantidade de impurezas vegetais, entretanto, aumentam as perdas no campo (FERNANDES, 2000).

Se a matéria-prima for de baixa qualidade, todo o processamento da cana será afetado, reduzindo a velocidade do processo e, como consequência, acarretando a redução gradativa da qualidade e da quantidade dos produtos finais (CLARKE e LEGENDRE, 1999). Estima-se que quando trabalhamos com os componentes industriais desligados (despontador, extrator primário e secundário) o nível de impurezas que chegam na indústria – folhas verdes, secas e palmito, tende a ser superior a 40%.

2.6 Processo fermentativo a partir da cana-de-açúcar

O etanol constitui uma fonte de energia renovável, com resultados impressionantes, principalmente no que diz respeito aos aspectos ecológicos relacionados à redução da emissão de poluentes e econômicos, e econômicos relacionados à redução da importação de petróleo (ALCARDE, WALDER e HORRI, 2003).

No Brasil, a produção industrial deste biocombustível ocorre principalmente por via fermentativa (SONEGO, 2016). Neste sentido, entender o processo de fermentação é importante para discutir os impactos da qualidade da matéria-prima e das impurezas nesta etapa (GARCIA *et al.*, 2010).

A cana-de-açúcar apresenta concentrações elevadas de açúcar, bem como baixo custo de produção. Desta forma, é matéria-prima que possibilita a obtenção do etanol de maneira simplificada, através da via fermentativa direta, sem necessitar de outras etapas químicas ou biológicas de preparo do substrato (SONEGO, 2016).

Nas usinas, o álcool etílico é produzido através da fermentação de mostos preparados a partir de misturas de caldo de cana-de-açúcar e melaço em proporções diferentes, a fim de se obter solução com cerca de 20°Brix (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Assim, a fermentação alcoólica consiste na ação das leveduras sobre esses açúcares fermentescíveis (BASSO, BASSO e ROCHA, 2011).

A principal levedura utilizada é *Saccharomyces cerevisiae*, fungo unicelular de forma oval ou esférica, com cerca de 5 a 10 micrômetros de diâmetro (WALKER, 2009). As células de *S. cerevisiae* são revestidas por parede celular rígida que oferece proteção em relação ao meio externo (PARDO *et al.*, 2000).

A capacidade do fungo em produzir enzimas específicas para metabolizar açúcares é uma de suas características mais importantes, o que a torna útil em diversas aplicações industriais (WALKER, 2009; WALKER e STEWART, 2016). Desse modo, por meio de processo anaeróbico, a levedura consome a sacarose e produz etanol e dióxido de carbono, além de compostos secundários (WALKER e STEWART, 2016).

Para ser considerada levedura ideal o microrganismo deve apresentar boa relação entre o consumo de açúcar e a produção de etanol, tolerância a íons presentes nos xaropes, formação de baixa quantidade de componentes secundários, tolerância ao álcool, alta velocidade de fermentação, resistência a acidez, termotolerância, estabilidade genética e não flocular.

A multiplicação do fermento no início da safra deve ser acompanhada tanto em meios de cultura quanto na viabilidade em microscópio, até que se tenha a concentração ideal que será inoculada nas dornas e, assim, mitigar contaminações e acompanhar a atividade da microbiota.

Para produzir o etanol, as células de *S. cerevisiae* metabolizam a sacarose presente no mosto (líquido açucarado suscetível de sofrer uma fermentação alcoólica), utilizando a enzima invertase e formando glicose e frutose (BARNETT, 1981; DODIĆ *et al.*, 2009). Estas são convertidas em piruvato, através de uma série de reações químicas na via glicolítica (Figura 05). O piruvato é descarboxilado pela piruvato descarboxilase, formando acetaldeído e liberando CO₂. Na sequência, o acetaldeído é reduzido a etanol, sendo essa reação catalisada pela enzima álcool desidrogenase (ADH) (SANTOS, 2005). Além de etanol e CO₂, são produzidos também subprodutos, como, por exemplo, o glicerol, o ácido succínico e o acetato (ALVIM *et al.*, 2014).

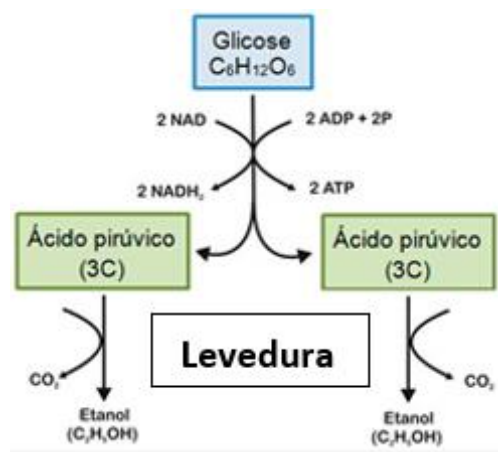


Figura 05 - Rota metabólica para produção de etanol pela levedura. (Fonte: FERMENTEC NEWS, 2020)

Os parâmetros como temperatura, pH, nível de oxigênio e contaminação microbiana são fundamentais para que o processo fermentativo ocorra de forma adequada e com o máximo rendimento. Desse modo, a temperatura deve ser mantida entre 30 e 32°C, a fim de evitar a multiplicação bacteriana, a diminuição do teor alcoólico (altas temperaturas) e o retardamento da fermentação (temperaturas baixas) (PARAPOULI *et al.*, 2020).

O pH ótimo está na faixa de 4 a 5 (PARAPOULI *et al.*, 2020). Outro fator estressante é o teor de oxigênio, que quando em altas concentrações provoca a redução do consumo de glicose pela levedura, inibindo a fermentação em um efeito denominado “Crabtree”. É importante também atentar-se à presença de contaminantes, uma vez que além das leveduras, outros microrganismos podem se desenvolver na dorna de fermentação, consumindo açúcar, quebrando a sacarose, aumentando a acidez e inibindo o crescimento da levedura, tendo como consequência a diminuição do rendimento de produção de etanol.

As fermentações são realizadas simultaneamente em várias dornas – bateladas ou contínuas, durante o período de 6 a 12 horas, nas temperaturas entre 32-35 °C (SONEGO, 2016). No final do processo, o mosto fermentado é centrifugado para remoção das leveduras e na sequência o vinho delevurado segue para a etapa de destilação. A concentração final de etanol no vinho de fermentação deverá ser de 8 até 12°GL (% v/v), o que corresponde a um rendimento mínimo de 85% dos açúcares (WHEALS *et al.*, 1999).

2.7 As impurezas de origem vegetal

É necessário que haja a entrada de matéria-prima de qualidade para que as agroindústrias possam ter altos valores de rendimento e eficiência. A adoção da colheita mecanizada além de impactar nas perdas no campo, aumenta os índices de matéria estranha na carga. Como consequência, há redução da qualidade químico-tecnológica do caldo obtido após a moagem (NEVES, MAGALHÃES e OTA, 2004).

A qualidade de produto final proveniente da cana-de-açúcar está relacionada diretamente com a presença e quantidade de impurezas na matéria-prima. A existência é inevitável, e tanto a quantidade quanto o tipo de impureza dependem do sistema de produção, qualidade do corte na colheita, carregamento, transporte e condições ambientais (STUPIELLO e FERNANDES, 1984; SANTOS, 2021).

A matéria-prima com impurezas compromete o processamento industrial, podendo levar a produção de açúcar e etanol fora dos padrões ideais (Figura 06 e 07). Uma colheita sem a remoção do palmito, pode acarretar o excesso de ácidos orgânicos, amido, compostos fenólicos e açúcares redutores. O aumento da concentração de fenóis promove danos na fermentação e produção de açúcar (MUTTON, 2020).



Figura 06 - Realidade da cana colhida com impurezas vegetais, minerais e soqueiras. (Fonte: PAES, 2011)



Figura 07 - Carga de matéria-prima com presença de impurezas vegetais – folhas verdes e secas, na região de Araçatuba/São Paulo. (Fonte: De autoria própria).

A elevada quantidade de impurezas pode reduzir até 10 kg de ATR (Açúcar Teórico Recuperável) por tonelada de cana colhida, além de grandes problemas na industrialização. A cada 1% de impureza, perde-se ao redor de 0,9 kg de ATR.

As impurezas presentes na matéria-prima colhida podem ser classificadas como de origem vegetal e mineral (SILVA, 2003). Dentre as principais impurezas vegetais pode-se destacar as folhas da cana-de-açúcar (verdes, secas ou parcialmente secas), plantas invasoras que infestam o canavial, palmitos e palha (BOVI e SERRA, 2001; FIGUEIREDO, MACIEL e MARQUES, 2008).

Um dos principais problemas das impurezas vegetais é o aumento da quantidade de fibra, sendo responsável pelo acúmulo de sacarose no bagaço. Além disso, essas impurezas causam aumento da concentração de amido, dextrana e menor rendimento na fermentação (PAES, 2014).

A qualidade tecnológica da matéria-prima é determinada por padrões de qualidade que podem ser alcançados durante o cultivo até o período da colheita (Brix, mínimo de 18%; Pol entre 14,4 e 15,3%; e pureza entre 80 e 85%) (SILVA, 2003). Estes padrões são determinados por um conjunto de parâmetros, incluindo o teor de impurezas incorporadas aos rebolos de cana-de-açúcar, a deterioração dos produtos e interferências nas fases da industrialização, o que vai definir o potencial para a fabricação de açúcar e álcool (SILVA, 2003; RAMOS, 2016).

A Tabela 01 apresenta os principais indicadores da qualidade da cana avaliados para este presente trabalho. É preciso ainda levar em consideração dois aspectos para a qualidade da matéria-prima: a riqueza da cana em açúcares e o potencial de recuperação destes açúcares (VIAN, 2022).

Um dos principais fatores relacionados a qualidade é a Pol: porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada e peso normal, isto é, apresenta o teor aparente de sacarose contida no caldo de cana-de-açúcar. Para a indústria, quanto mais elevado este teor, melhor. No entanto, a presença de impurezas vegetais traz redução significativa no valor da Pol.

Tabela 02 – Valores de °Brix, Pol Aparente, Pureza Aparente, Açúcares Redutores Totais (ART), Açúcares Redutores (AR), Acidez Sulfúrica, Teor de Amido e Fibra recomendados para a cana-de-açúcar madura

Indicadores	Valores recomendados
°Brix	18-25
POL (%)	≥ 16
Pureza (%)	≥ 85
ART (%)	maior possível (mín. 15%)
AR (%)	≤ 0,8%
Acidez Sulfúrica (gH ₂ SO ₄ .L ⁻¹)	≤0,80
Amido (ppm/Brix)	<500
Fibra (%)	11 a 13

(RIPOLI e RIPOLI, 2004; PACHECO, 2012).

A Figura 08 demonstra que 10% de impureza reduz até 4 pontos da Pol no caldo, reduzindo significativamente a quantidade de sacarose presente e prejudicando a formação dos cristais de açúcar e do etanol (PAES, 2011). A partir da análise dos indicadores e suas correlações, é possível quantificar o impacto da qualidade da matéria-prima sobre o rendimento industrial frente aos parâmetros químico-tecnológicos, microbiológicos e eficiência.

Reduzir a velocidade de colheita para que a máquina consiga realizar boa limpeza do material que coloca dentro do sistema, é uma das medidas necessárias para minimizar a presença de impurezas vegetais na matéria-prima. Apesar disto, alguns operadores são aversos a tal prática, pois diminui o rendimento em TC.Km

(Tonelada de Cana por Km) da máquina. Em contrapartida, se quando a qualidade é analisada, verifica-se grande aumento no TAH (Tonelada de Açúcar por Hectare). Outras práticas podem ser associadas ao processo, como nivelamento dos sulcos através da operação quebra-lombo, paralelismo entrelinhas, manutenção da regulagem e elementos que limpam a cana dentro da colhedora.

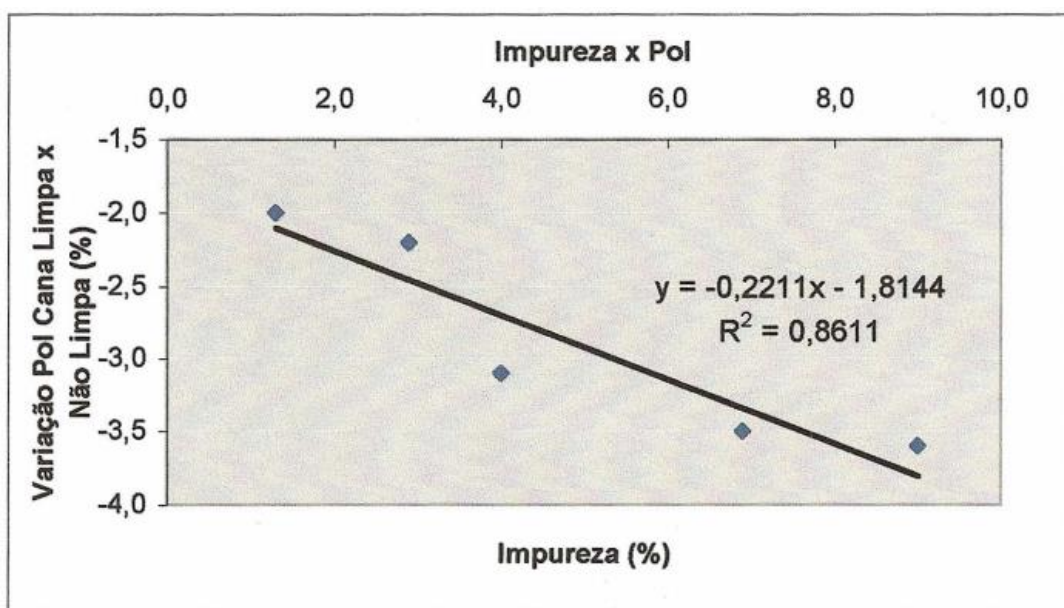


Figura 08 - Impacto na POL com a presença de impurezas. (Fonte: PAES, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de impurezas vegetais sobre a qualidade da matéria-prima, microbiota fermentativa e dinâmica da produção de bioetanol a partir da cana-energia Vertex 3 Tipo 1 e cana comercial RB975201 na safra 2021/2022.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

Para desenvolvimento do presente experimento foram utilizadas duas variedades de cana-de-açúcar (RB975201 e Vertex 3 Tipo 1) que são descritas a seguir.

A cultivar comercial RB975201, no 4º estágio de corte, foi cedida por uma unidade sucroenergética localizada na região de Ribeirão Preto-SP. A altitude desta

região varia de 560-785 m, sendo classificada com clima Tropical Semiúmido Meridional do Brasil, com médias anuais de 1.050-1.750 mm de precipitação, 1.000-1.050 mm de evaporação potencial, 310-770 mm de excedente hídrico e 35-135 mm de déficit hídrico (NOVAIS e GALVANI, 2022). Em relação aos solos, verifica-se a ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo nas proximidades de Ribeirão Preto, e Terras Roxas Estruturadas de São Simão à Sertãozinho (MARTORANO *et al.*, 1999).

A cana energia Vertix 3 Tipo 1, no 3º estágio de corte, foi cultivada na área experimental do Departamento de Ciências da Produção Agrícola, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal-SP. Segundo a classificação climática de Köppen, a área apresenta clima subtropical com inverno seco (Cwa), com temperatura média anual de 22,6°C e precipitação média anual de 1.460 mm (CLIMATE DATA, 2023). O município possui altitude média de 583 m, sendo o solo da área experimental classificado como Latossolo vermelho-escuro, eutrófico, “A” moderado com textura argilosa e relevo predominantemente suavemente ondulado à ondulado (ANDRIOLI e CENTURION, 1999).

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.

Em análises preliminares realizadas no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Alcool, o caldo extraído da variedade Vertix 3 obteve maiores valores de sólidos solúveis comparada a Vertix 9.

De maneira atípica, as geadas – causadas pela forte frente fria e as queimadas – devido à seca intensa, marcaram o ano safra 21/22. Na região de Ribeirão Preto, a fazenda que possuía a cana-de-açúcar RB975201 foi a única que não passou por estas condições; garantindo a condução deste experimento.

3.2 Aspectos gerais das variedades utilizadas

Foram utilizadas duas variedades de cana para o presente estudo: cana comercial RB975201 e cana energia Vertix 3 Tipo 1 (Figura 09).



Figura 09 - Variedades de cana-de-açúcar utilizadas durante o experimento. **A)** Cana Comercial RB975201. **B)** Cana Energia Vertix 3 Tipo 1. (Fonte: RIDESA BRASIL, 2015; BRESSIANI, 2021)

Tratando-se de aspectos gerais, a variedade RB975201, desenvolvida pela Ridesa, possui rápido desenvolvimento, produção de colmos eretos à semidecumbente, diâmetro médio, pouca cera, fácil despalha, alta produtividade agrícola (Tonelada de Cana por Hectare - TCH), resistência a doenças e ausência de florescimento e isoporização (RIDESA BRASIL, 2015).

O TPH (Tonelada de Pol por Hectare) desta variedade se assemelha a RB867515, chegando a cerca de 21 toneladas no primeiro corte. Classificada como variedade tardia, a maturação ocorre nos meses de setembro e outubro, atingindo a marca de 15% de Pol no caldo (RIDESA BRASIL, 2021).

A cana-energia foi desenvolvida visando cultivo em áreas restritivas e baixo custo de implantação, não representando competição com a produção de alimentos. As principais características das variedades Vertix Tipo 1 desenvolvidas pela Granbio são: alto perfilhamento, excelente brotação da soqueira, elevado número de cortes, ausência de florescimento, possibilidade de ampliação da safra, e, conseqüentemente, aumento da receita agroindustrial (BRESSIANI, 2021).

Esse material apresenta alto desempenho em regiões com déficit hídrico acentuado, teor de fibra próximo a 20%, 110 kg de Açúcares Redutores Totais (ART) por tonelada e 13,9 Toneladas de Açúcar por Hectare (TAH); sendo o último valor superior ao encontrado na variedade comercial RB92579 (12,4). Pode ainda, ser processada para geração de energia ou etanol de segunda geração, oriundo de biomassa lignocelulósica, devido a elevada produção de bagaço (CANA ONLINE, 2018).

3.3 Delineamento Experimental

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados num esquema de parcelas subdivididas (slip-plot), com 4 repetições. Os tratamentos principais foram caracterizados pelas variedades de cana (RB975201 e Vertix 3 Tipo 1) e os secundários aos teores de impurezas vegetais (0, 25, 50, 75 e 100%), conforme apresentado a seguir:

- | | |
|--|--|
| 1) RB975201 + 0% impureza vegetal | 6) Vertix 3 Tipo 1 + 0% impureza vegetal |
| 2) RB975201 + 25% impureza vegetal | 7) Vertix 3 Tipo 1 + 25% impureza vegetal |
| 3) RB975201 + 50% impureza vegetal | 8) Vertix 3 Tipo 1 + 50% impureza vegetal |
| 4) RB975201 + 75% impureza vegetal | 9) Vertix 3 Tipo 1 + 75% impureza vegetal |
| 5) RB975201 + 100% impureza vegetal | 10) Vertix 3 Tipo 1 + 100% impureza vegetal |

3.4 Colheita dos colmos e preparo dos tratamentos

A colheita da cana comercial RB975201 e cana-energia Vertix 3 Tipo 1 ocorreu de 6 à 9 de setembro da safra 2021/2022, obtendo-se matéria-prima com maturação média/tardia. A cada dia foram colhidos aproximadamente 15 colmos de cada variedade através de corte manual rente à base, sem queima prévia da palha.

Inicialmente foi aferida a massa de 10 colmos de cada variedade e logo em seguida, as folhas (secas e verdes) e os ponteiros (retirados no ponto de quebra da ponta) foram separados em recipiente grande. Os colmos limpos e a impureza vegetal coletada foram processados separadamente em picador-desintegrador de facas oscilantes (Figura 10).



Figura 10 – Colmos de cana comercial RB975201 desintegrados após processamento em picador-desintegrador de facas oscilantes. (Fonte: De autoria própria)

Com os dados obtidos, foram realizados cálculos para composição de 3 kg de amostra para cada tratamento, conforme demonstrado nas Tabela 03 e 04.

Tabela 03 - Massa de 10 colmos limpos da cana-de-açúcar comercial RB975201 e sua impureza vegetal.

Material	Massa (kg)
Cana limpa	14,168
Impureza vegetal	1,871
Total	16,039

Tabela 04 - Massa de cana e impurezas vegetais utilizadas para a obtenção de amostras de 3 kg cana-de-açúcar comercial RB975201 com 0, 25, 50,75 e 100% de impureza vegetal.

Composição da amostra*	Colmo limpo	Impureza vegetal	Impureza processada**
0%	3 kg	0 g	0%
25%	2,768 kg	232 g	7,73%
50%	2,535 kg	465 g	15,50%
75%	2,303 kg	697 g	23,23%
100%	2,071 kg	929 g	30,97%

*Teor de impureza adicionada aos tratamentos em relação ao peso dos colmos integrais (colmos + ponteiros + folhas verdes e secas).

**Teor de impureza processada em relação a amostra de 3kg.

A seguir, amostras de 3 kg foram montadas, sendo a impureza vegetal incorporada a cana desfibrada nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% (Figura 11).



Figura 11 – Tratamentos de cana-de-açúcar comercial RB975201 com 0, 25, 50, 75 e 100% da impureza vegetal presentes nos colmos integrais (Fonte: Elaboração própria).

3.5 Extração e clarificação do caldo extraído

A extração do caldo foi realizada em prensa hidráulica, sendo 500 g de material submetidos à pressão de 250 kgf.cm^{-2} pelo período de 1 minuto (ABNT, 2019a).

Para que a clarificação fosse eficiente foi essencial que o caldo extraído apresente teores de P_2O_5 da ordem de 250 à 300 ppm. Entretanto, devido aos solos brasileiros serem deficientes deste nutriente, é comum que as culturas produzidas também apresentem pobreza deste mineral em sua constituição. Desta forma, foram adicionados $0,36 \text{ g.L}^{-1}$ de ácido fosfórico ao caldo extraído, visando a obtenção da concentração ideal para esta etapa.

Posteriormente, o pH do caldo extraído foi ajustado a $6,0 \pm 0,1$ com Hidróxido de Cálcio a 6°Bé e o Brix corrigido para $16 \pm 0,1$. Em seguida, foi aquecido até ebulição e

foi disposto em provetas graduadas contendo polímero Kemira LX (auxiliar de decantação). Após 20 minutos em repouso, o caldo clarificado foi sifonado.

3.6 Determinação do Açúcar Teórico Recuperável (ATR)

O ATR é a quantidade de açúcar presente no caldo de cana (kg) que pode ser recuperado e utilizado na indústria para produção de açúcar e etanol. É utilizado atualmente para realização do pagamento da cana entregue pelos fornecedores às usinas e destilarias brasileiras.

O ATR foi calculado utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$\text{ATR (kg/t)} = (9,6316 \times \text{Pol da cana}) + (9,15 \times \text{AR da cana})$$

$$\text{Pol da cana} = \text{Pol do caldo} \times (1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times \text{Coeficiente C}$$

$$\text{AR da cana} = (3,641 - (0,0343 \times \text{Pureza do caldo})) \times ((1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times \text{Coeficiente C})$$

$$\text{Coeficiente C} = 1,0313 - 0,00575 \times \text{Fibra}$$

$$\text{Pureza do caldo} = \frac{\text{Pol do caldo}}{\text{Brix do caldo}} \times 100$$

3.7 Caracterização tecnológica do caldo extraído e clarificado

Foram realizadas as seguintes análises nos caldos: Brix (ABNT, 2019c), Pol Aparente, Pureza Aparente, pH, Acidez Total, Açúcares Redutores, Açúcares Redutores Totais (CTC, 2005), Teor de Amido (CHAVAN, KUMAR e JADHAD, 1991) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN e CIOCALTEAU, 1927).

O caldo clarificado obtido foi diluído até 16° Brix – no caso da cana comercial, e o pH foi ajustado para 4,5 através da adição de ácido sulfúrico 1N. Com o mosto preparado, foram realizadas as análises de ART e Acidez Total. É essencial a quantificação dos açúcares presentes no mosto para o cálculo da eficiência fermentativa: calculada através do rendimento real pelo rendimento prático (Fernandes, 2011).

3.8 Determinação da Fibra

Para cálculo do teor de Fibra da cana, os resíduos fibrosos (bolos úmidos) obtidos após da passagem das amostras pela prensa hidráulica foram mensurados, obtendo-se os PBUs (Peso do Bolo Úmido), conforme Figura 12. Logo após, foram colocados em estufa de circulação forçada de ar à $105\pm 5^{\circ}\text{C}$, até obterem peso constante. Em seguida, foram novamente pesados determinando-se os PBSs (Peso do Bolo Seco).



Figura 12 - Bolos úmidos obtidos após passagem de 500 g de cada tratamento em prensa hidráulica. (Fonte: De autoria própria)

3.7.1. Fibra PCTS

Método utilizado pelo Laboratório de PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose). A equação, proposta e regulamentada pelo CONSECANA, é uma metodologia rápida e simples. A Fibra PCTS foi estabelecida pela seguinte fórmula:

$$F = (0,08 \times \text{PBU}) + 0,8760$$

Onde:

PBU: é o peso do bolo úmido, expresso em gramas (g).

3.7.2. Fibra Tanimoto

Ao contrário do método anterior, a quantificação da Fibra Tanimoto considera em sua equação o peso do PBU e PBS, além da quantidade de Sólidos Solúveis Totais presentes no caldo. Esta metodologia foi criada por Tanimoto em 1964, sendo estabelecida pela seguinte fórmula (ABNT, 2019b):

$$FT = \frac{100 \times PBS - B \times PBU}{5 \times (100 - B)}$$

Onde:

FT: é a fibra da cana-de-açúcar obtida pelo método de Tanimoto, expressa em porcentagem (%);

PBS: é o peso do bolo seco, expresso em gramas (g);

PBU: é o peso do bolo úmido, expresso em gramas (g);

B: é o brix refratométrico do caldo, expressos em graus brix (°B).

3.9 Preparo do Mosto

O caldo clarificado foi padronizado a $16 \pm 0,1^\circ \text{Brix}$, sendo o pH corrigido com ácido sulfúrico até $4,5 \pm 0,1$, e a temperatura a $32 \pm 1^\circ \text{C}$, obtendo-se o mosto.

O processo fermentativo ocorreu em frascos erlenmeyer, onde foram adicionados 250 mL de mosto e 30 g.L^{-1} de levedura *Saccharomyces cerevisiae* prensada, visando atingir a concentração de 10^7 UFC.mL^{-1} . Os frascos foram mantidos a $32 \pm 1^\circ \text{C}$, sob agitação constante de 150 rpm.

Após 12 horas de fermentação todos os frascos apresentaram $^\circ \text{Brix} \leq 1$, indicando o término do processo fermentativo. O vinho foi submetido à centrifugação à 1650 g, por 5 minutos (Himac, CR 21G), obtendo-se o vinho delevurado.

3.10 Caracterização tecnológica do mosto

Foram determinados Brix, Açúcares Redutores Totais, Acidez Total (CTC, 2005), Teor de Amido (CHAVAN, KUMAR e JADHAD, 1991) e Compostos Fenólicos Totais (FOLIN e CIOCALTEAU, 1927).

3.11 Análises microbiológicas do processo fermentativo

As células de leveduras foram quantificadas em Câmara de Neubauer (LEE, ROBISON e WANG, 1981) no início (40 minutos após a inoculação) e ao final da fermentação.

Os parâmetros avaliados foram viabilidade celular, índice de brotamentos e viabilidade de brotos, através das seguintes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Viabilidade celular (\%)} &= \frac{\text{Células vivas}}{\text{Células vivas} + \text{Células mortas}} \times 100 \\ \text{Índice de Brotamento (\%)} &= \frac{\text{Brotos vivos}}{\text{Células vivas} + \text{Células mortas}} \times 100 \\ \text{Viabilidade dos Brotos (\%)} &= \frac{\text{Brotos vivos}}{\text{Brotos vivos} + \text{Células mortas}} \times 100 \end{aligned}$$

3.12 Determinações tecnológicas do vinho

Foram realizados as análises de Teor de glicerol (AMORIM, 2003) e Acidez Total (CTC, 2005) nos vinhos de levedurados. Posteriormente, os mesmos foram destilados em micro-destilador de álcool (Tecnal, modelo TE-012).

3.13 Análises no destilado

Os teores alcoólicos dos destilados foram determinados com leitura direta em densímetro portátil (Antoon Paar, modelo DMA 35).

Para determinação da qualidade do destilado, as amostras foram submetidas ao cromatógrafo gasoso utilizando o equipamento Agilent Technologies 7890A, coluna capilar Agilent 19091 V-433, 30,0 m x 250 µm x 1,40 µm nominal. Um autoinjeter/amostrador automático foi usado, com injeção de 10 µL de cada amostra com a rampa de temperatura de 60°C, 80°C e 200°C, empregando-se como gás de arraste ar sintético. O software de cromatografia Agilent OpenLab foi usado para acumular várias amostras e padrões. Ésteres, cetonas, aldeídos e álcoois superiores foram identificados pela comparação dos tempos de retenção com os padrões.

3.14 Determinação 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. A eficiência de fermentação foi calculada dividindo o rendimento real de etanol pelo rendimento prático de etanol.

3.15 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, empregando-se o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos, AgroEstat 1.1.0.712 ver 77 (BARBOSA e MALDONADO JUNIOR, 2015). Os desdobramentos dos efeitos foram construídos através de Regressão Polinomial utilizando-se Microsoft Excel 365.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Qualidade da cana-de-açúcar

Os valores médios obtidos para Fibra PCTS, Fibra Tanimoto, ATR PCTS e ATR Tanimoto estão apresentados na Tabela 05. Nota-se que, independentemente da metodologia utilizada (PCTS e Tanimoto), quanto maior o nível de impureza presente na amostra, maior é a Fibra quantificada.

O teor de Fibra foi significativamente maior para a cana-energia em relação a cana comercial. Altos valores de fibra é uma das principais características da cana-energia, fato que evidencia sua rusticidade e seu grande potencial para geração de bioenergia (CARPINTIERI, SILVA e MARCHIORI, 2021). De acordo com Duft (2017), uma das principais características da cana energia é o teor de fibra superior a 18%.

RB975201 e Vertix 3 apresentaram valores significativamente diferentes, tanto para o método PCTS quanto no método de Tanimoto. Junior (2020) obteve concentração similar para CTC4 (13,41%) e inferior para Vertix 9 (14,73%). Silva *et al.* (2019) encontrou resultados médios de 14,16% para cana convencional RB867515, 15,10% para a cana-energia Vignis 3 e 18,78% para cana-energia Virnis 1126 (Tipo 2).

Tabela 05 - Valores médios e análise de variância para Fibra PCTS, ATR PCTS (Açúcar Teórico Recuperável calculado com Fibra PCTS), Fibra Tanimoto e ATR Tanimoto (Açúcar Teórico Recuperável calculado com Fibra Tanimoto), das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	Fibra PCTS (%)	Fibra Tanimoto (%)	ATR Tanimoto (t.ha ⁻¹)	ATR PCTS (t.ha ⁻¹)
Variedade (TP)				
RB975201	13,44 b	14,45 b	116,79a	130,40 a
Vertix 3	16,38 a	21,37 a	68,07b	67,12 b
Teste F	106,33**	139,21**	6114,90**	4183,59**
CV	6,03	10,35	2,13	3,13
DMS	0,90	1,86	1,98	3,11
Teor de impureza (TS)				
0%	13,27 c	16,42 b	100,23 a	113,35 a
25%	13,82 bc	16,90 b	94,08 b	102,94 b
50%	14,45 bc	17,20 b	91,09 bc	97,68 bc
75%	15,70 ab	18,53 ab	89,47 bc	92,98 cd
100%	17,27 a	20,49 a	87,28 c	86,85 d
Teste F	8,38**	10,48**	12,66**	23,26**
CV	10,52	7,99	4,31	5,98
DMS	2,31	2,10	5,87	8,71
TPxTS	0,80ns	0,88ns	3,26*	5,01**

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Nos últimos anos, a fibra ganhou destaque com a evolução das tecnologias de segunda geração e a exportação da energia elétrica a partir do excedente de bagaço. A cana-energia Tipo 1, pode atingir em média 24,8 toneladas de fibra.hectare⁻¹ (BRESSIANI, S/D). A vantagem de produzir ainda mais fibra é o vigor e a rusticidade da planta e maior eficiência no cultivo, parâmetro que determinará as opções energéticas para questões de sustentabilidade (CARVALHO-NETTO *et al.*, 2014).

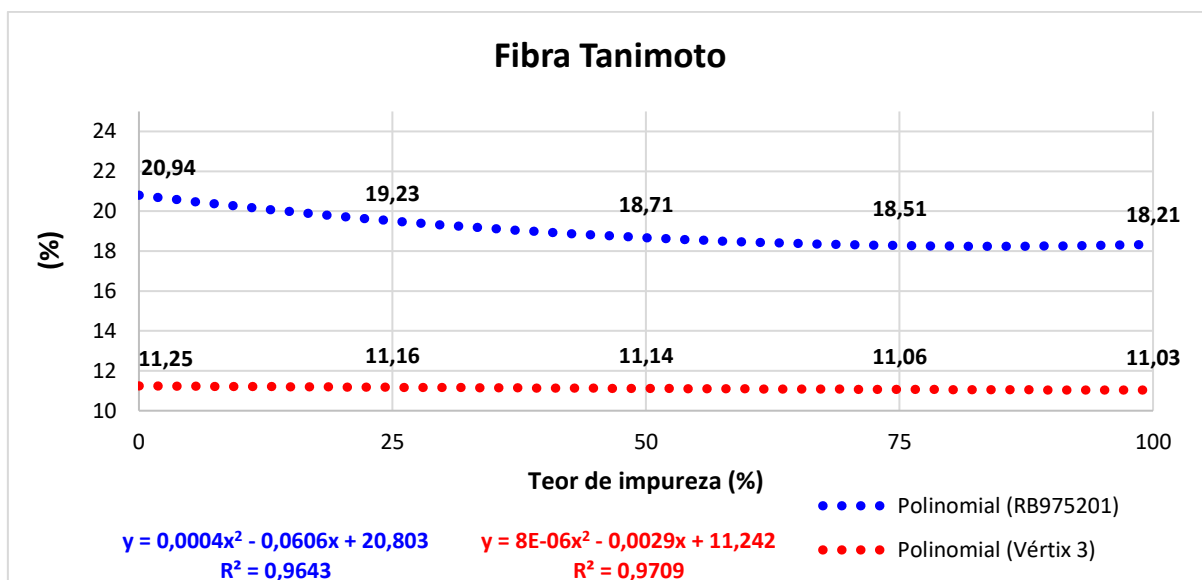


Figura 13 - Regressão Polinomial para Fibra da cana pelo método de Tanimoto para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

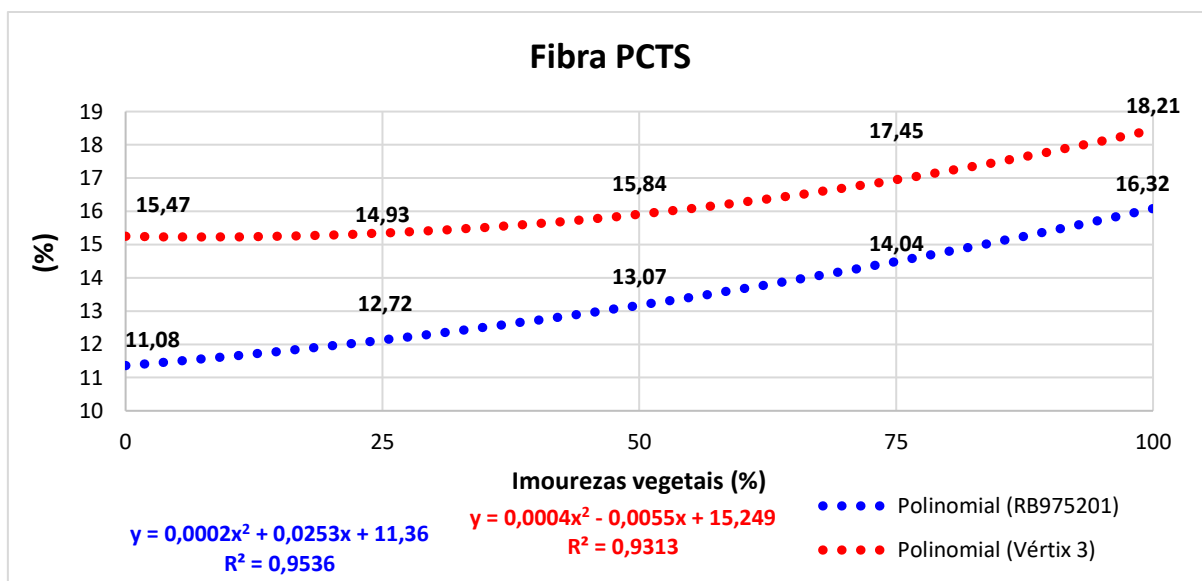


Figura 14 - Regressão Polinomial para Fibra da cana pelo método do PCTS para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

A tendência de redução do ATR (Figuras 15 e 16) também foi observada por Neto (2010) para a variedade RB867515, em que o ATR foi influenciado negativamente pela presença do ponteiro da mesma forma que os valores de sólidos

solúveis e sacarose aparente no caldo. Junior (2020) obteve valores de 145,32 kg.t⁻¹ de ATR para a variedade CTC2 e 75,72 kg.t⁻¹ para a cana energia Vertex 9.

Assim como o estudo de Marques *et al.* (2015), o método segundo PCTS estimou ATR a mais por tonelada para a variedade RB975201 do que o método por Tanimoto. O mesmo não ocorre para a cana energia Vertex 3, onde o método Tanimoto estima ATR superior ao método PCTS – Consecana. Essa diferença, ainda segundo Marques *et al.* (2015), pode estar relacionada a constante C.

Neto (2010), obteve valores inferiores de ATR pelo método PCTS (CONSECANA) para cultivares com ciclo de maturação precoce: SP911049 apresentou valor de 87,91 kg.t⁻¹, IACSP933046 96,78 kg.t⁻¹, e a SP80182 kg.t⁻¹; enquanto para cultivares com ciclo de maturação tardia, como a RB722454 e a RB867515 apresentaram valores de produção de ATR de 128,47 kg.t⁻¹ e 142,63 kg.t⁻¹.

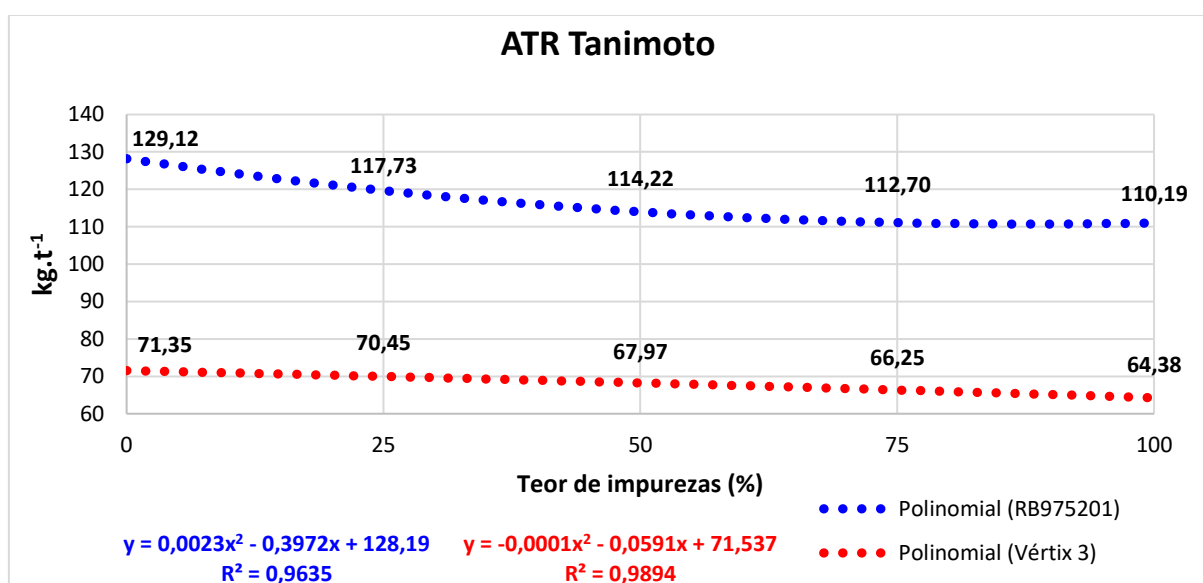


Figura 15 - Regressão Polinomial para Açúcar Teórico Recuperável calculado com Fibra Tanimoto para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

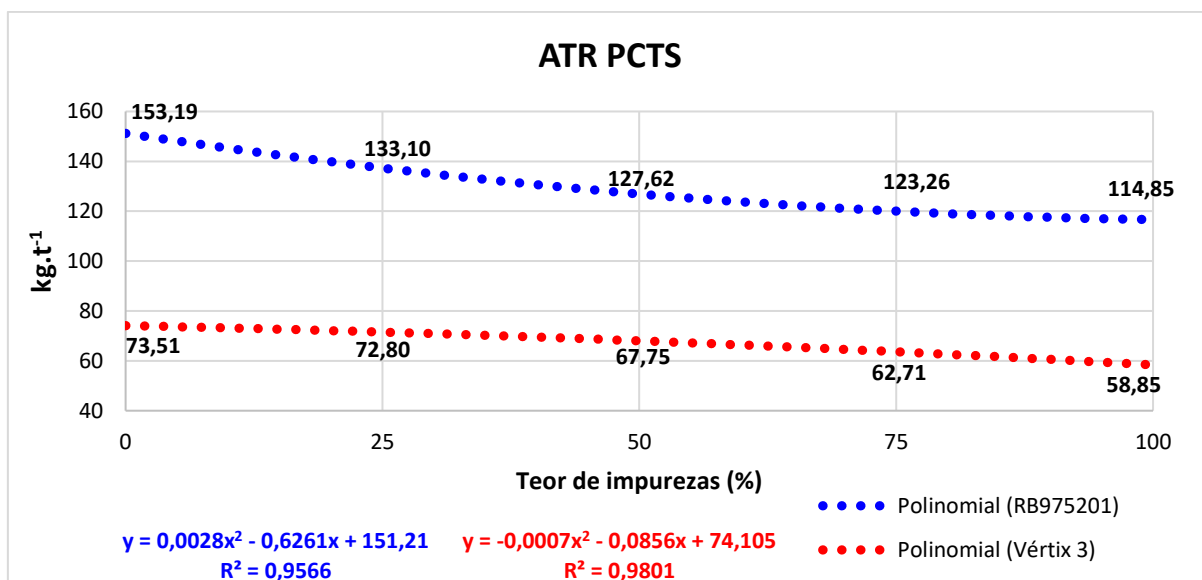


Figura 16 - Regressão Polinomial para Açúcar Teórico Recuperável calculado com Fibra PCTS para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

3.2 Resultados obtidos para caldo extraído

As tabelas 06 e 07 apresentam os valores médios obtidos para as características químico-tecnológicas dos caldos extraídos de cana-de-açúcar e cana energia obtidos com diferentes teores de impurezas vegetais na safra 2021/2022.

O valor médio determinado para °Brix foi superior a 18% para a cana comercial, valor padrão que indica aptidão ao processamento de cana (SILVA *et al.*, 2015; MUTTON e MUTTON, 2015). Entretanto, o teor para cana energia foi inferior ao da cana comercial e ao encontrado por Borsuk (2021) que, comparando o °Brix do caldo da cana energia oriunda do cruzamento MP x LCP85384 com as variedades comerciais RB867515 e RB966928, obteve concentração entre 18 e 24%.

Constatou-se diferença significativa para os dados de Sólidos Solúveis (°Brix), em que cana comercial apresenta maiores valores comparado a cana-energia. Os valores encontrados para Brix na cana-energia se assemelham ao obtido por Silveira (2019) no qual foram identificados valores variando de 10,54 a 18,37 °Brix.

Tabela 06 - Valores médios e análise de variância para Brix, Pol Aparente, Pureza Aparente, Açúcares Redutores Totais (ART) e Açúcares Redutores (AR) do caldo extraído das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	°Brix	Pol (%)	Pureza (%)	ART (%)	AR (%)
Variedade (TP)					
RB975201	19,12 a	15,4 a	81,20 a	17,87 a	1,50 a
Vertix 3	11,12 b	7,66 b	68,98 b	9,37 b	1,76 a
Teste F	7053,91**	4696,11**	110,43**	7963,96**	2,16 _{ns}
CV	1,99	3,13	4,89	2,20	34,53
DMS	0,3029	0,36	3,69	0,30	0,56
Teor de impureza (TS)					
0%	16,09 a	13,20 ^a	80,88 a	14,59 a	1,3 b
25%	15,19 ab	12,06ab	78,55 a	13,69 ab	1,57 ab
50%	14,92 b	11,38bc	74,92 ab	13,42 b	1,64 ab
75%	14,78 b	10,95bc	72,19 ab	13,28 b	1,74 ab
100%	14,62 b	10,41c	68,92 b	13,12 b	1,91 a
Teste F	5,32**	13,63**	4,46**	5,32**	3,54*
CV	4,71	7,11	8,54	5,23	20,72
DMS	1,05	1,21	9,45	1,05	0,49
TPxTS	3,95**	1,61 _{ns}	1,31 _{ns}	3,95**	1,18 _{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

A tendência de diminuição apresentada para o parâmetro de Brix (Figura 17) difere da encontrada por Melo, Paterson e Moraes (1994). Os autores observaram um aumento nos valores de Brix e ligeira diminuição nos valores da Pol com o aumento da impureza vegetal nas amostras, que pode ser explicado pela contaminação do caldo com substâncias capazes de alterar o índice de refração, sombreando o valor real dos sólidos solúveis.

Na comparação dos tratamentos principais, os resultados entre as variedades de cana apresentaram diferenças significativas para Pol Aparente, Pureza Aparente e Açúcares Redutores Totais (ART). Para todos os parâmetros listados, cana-energia Vertix 3 obteve teores inferiores à cana comercial. Para o princípio de riqueza mínima, em que a matéria-prima apresenta qualidade, a Pol deve apresentar valores acima ou iguais a 18%, Pureza acima de 85% (MUTTON, 1990) e ART superior a 18%. Os resultados obtidos para a variedade RB975201 indicam que a mesma estava em seu

ponto máximo de maturação, atingindo patamares de 15,5% de Pol e Pureza acima de 80%.

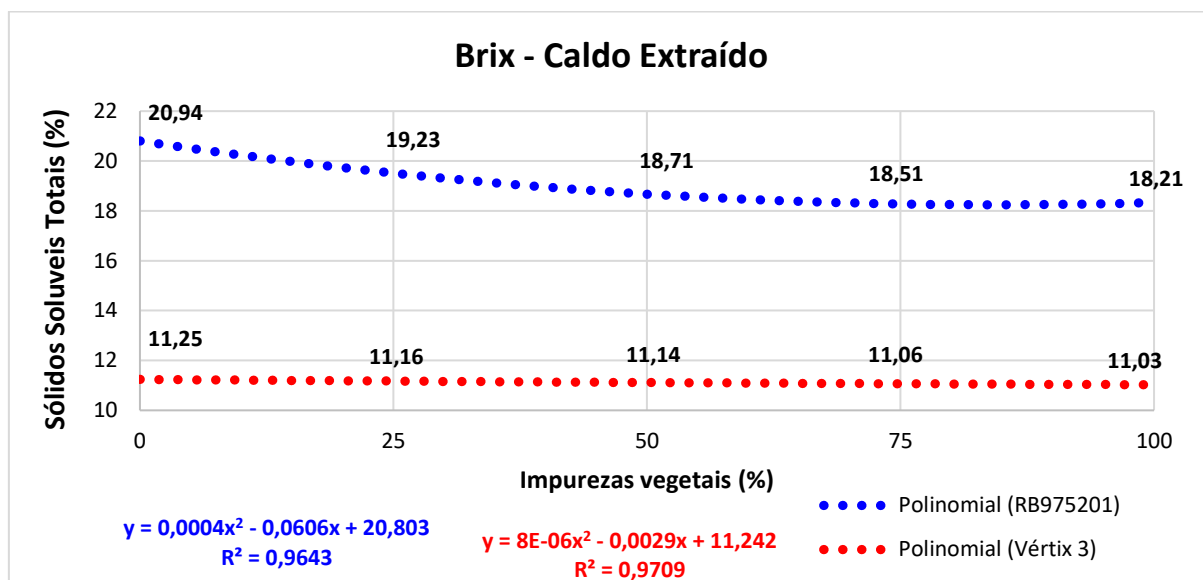


Figura 17 - Regressão Polinomial para °Brix do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

O teor de sacarose aparente contida no caldo foi determinada através de métodos polarimétricos. Somente o valor médio auferido para cana comercial encontra-se dentro da faixa ideal de 14-22% para o processamento industrial (SILVA *et al.*, 2015).

A tendência de diminuição da Pol do caldo extraído (Figura 15) se assemelha ao relatado por Neto (2010). Ao avaliar os valores médios das variáveis tecnológicas do caldo da cana-de-açúcar e a influência das impurezas vegetais para a variedade RB867515, obteve valores semelhantes aos determinados no presente ensaio. Neto (2010) atribuiu a redução em 3 pontos da Pol (19,13% na cana limpa para 16,11% para cana+palha+ponteiro) pela presença de bainhas, ponteiros e palhas. Além da redução deste parâmetro, observou também a redução do Brix (22,37 para 19,33%), e, conseqüentemente, o teor de Pureza (85,48 para 83,35%).

Os patamares de Pol encontrados no presente trabalho, se assemelham aos encontrados por Silveira (2019) durante pesquisa de curva de maturação de clones de cana energia, com valores entre 5,42 até 12,09%. A presença de impurezas reduziu

significativamente o resultado da Pol, condizendo com o estudo de Fingerut e Paes (2014), que obtiveram diferença de 2 pontos na presença de 2%.

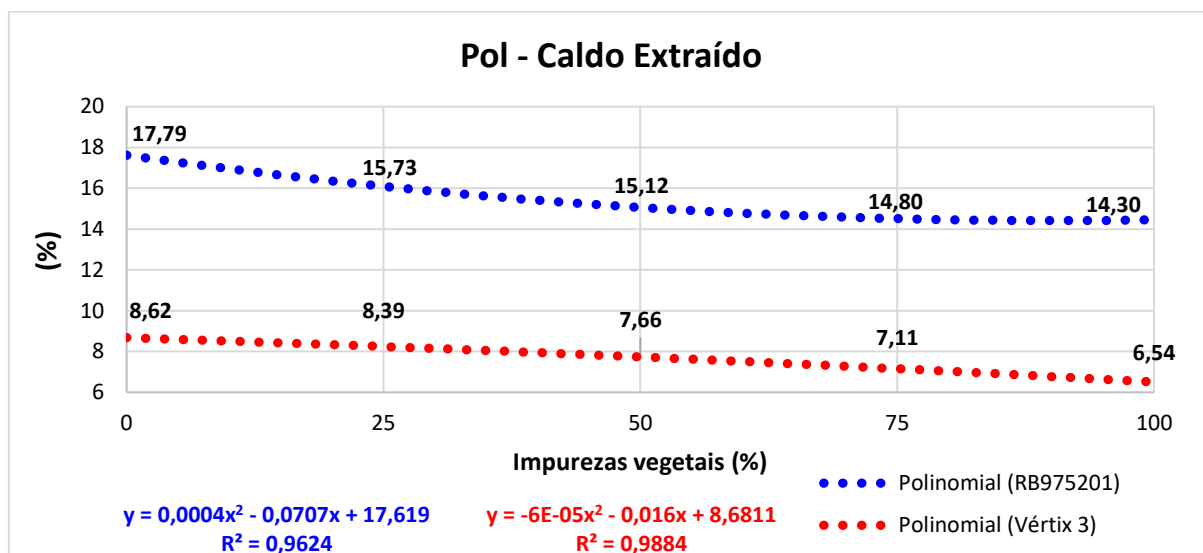


Figura 18 - Regressão Polinomial para Pol Aparente do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Observou-se que a tendência de redução na Pureza (Figura 19) é impactada pela diminuição nos teores de Pol e Brix. Comportamento semelhante ao observado por Neto (2010) ao comparar cana limpa RB867515 com cana acrescida de impurezas vegetais.

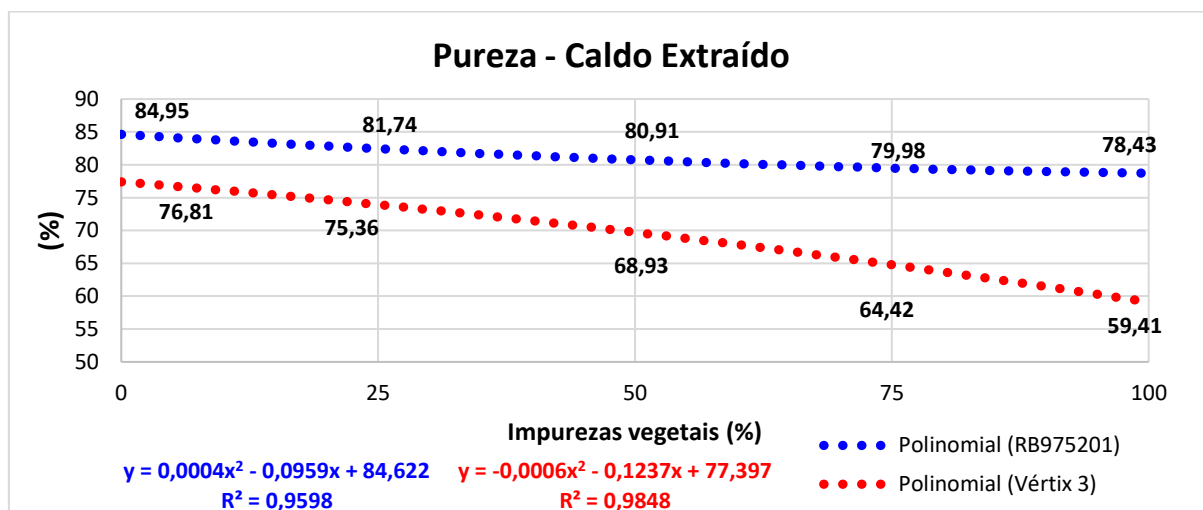


Figura 19 - Regressão Polinomial para Pureza Aparente do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Para a produção de bioetanol, os Açúcares Redutores Totais possuem grande importância no processamento industrial pois são utilizados em várias reações metabólicas como fonte de energia para as leveduras durante a fermentação etanólica, sendo determinante para o rendimento e eficiência do processo (MASSON *et al.*, 2015). O valor deste parâmetro é significativo entre resultados para os teores de impurezas nos valores médios de ART, o aumento do teor de impureza vegetal provocou a diminuição deste parâmetro (Figura 17). Esse resultado se assemelha ao trabalho de Ravaneli *et al.* (2004) em que a cana com ponteiro apresentou menor ART comparada a cana despontada.

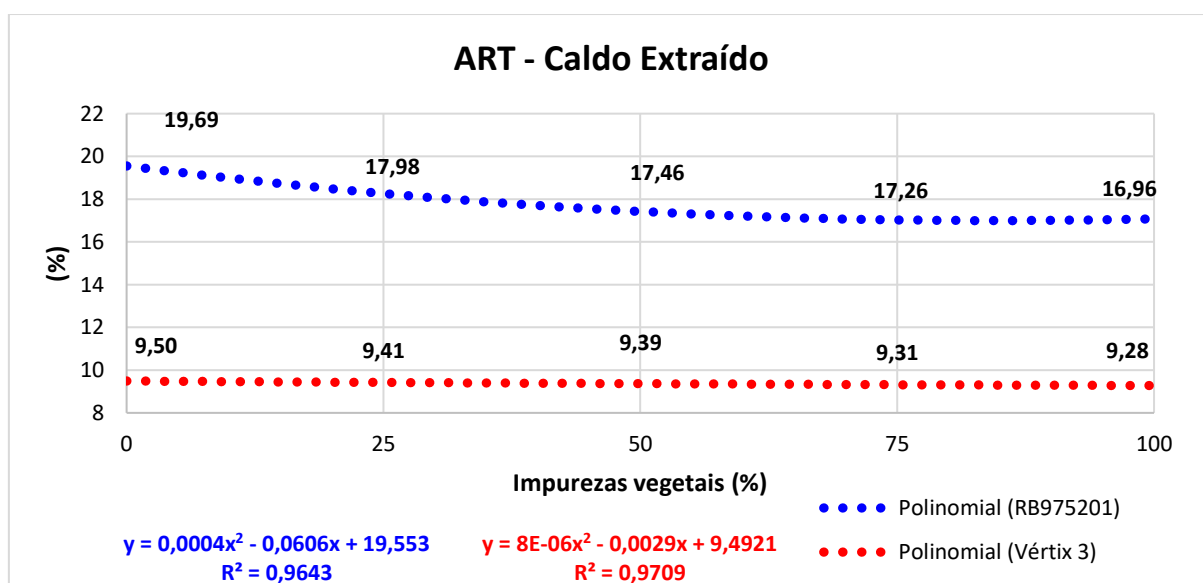


Figura 20 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores Totais (ART) do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Todos os tratamentos tiveram um aumento no resultado de açúcares redutores, havendo incremento de 17,3% para a cana energia comparada a cana comercial e 46,9% entre os tratamentos secundários. O resultado superior obtido para cana-energia nestas condições se assemelha aos resultados obtidos por Silveira (2019).

A concentração de AR para o processamento industrial deve ser inferior ou igual a 0,80% segundo Amorim (2005). Sendo assim, somente a cana comercial encontra-se dentro desta faixa desejada (Figura 21). Segundo o Canal da Bioenergia (2021), a cana energia possui uma quantidade maior de glicose e frutose e menor

quantidade de sacarose no caldo comparada a cana convencional. Verificou-se uma tendência de aumento significativa com a presença de impurezas nos valores observados (Figura 21). De acordo com Neto (2010), a presença de ponteio na variedade RB867515 impactou diretamente neste parâmetro, tendo aumento significativo ao comparado com a cana limpa.

Junior (2020) obteve valores médios superiores na safra de 2019/2020 comparados a este trabalho ao estudar a variedade de cana energia Vertix 9, com valores médios de 15,33°Brix, 8,09% de Pol, 10,88% de ART e 1,64% de AR. Resultados similares foram obtidos por Neto (2010) e Ravanelli *et al.* (2004), que atribuíram o aumento do valor de AR pela presença de ponteiros.

No estudo de Silveira (2019), os clones de cana energia C33, C34 e C35 apresentaram teores de açúcares redutores de 3 a 5% até o fim das curvas de maturação em agosto e 1,2% no final. Entretanto, o valor médio para a cana comercial variedade IACSP942094 apresentou valor médio de 0,5%.

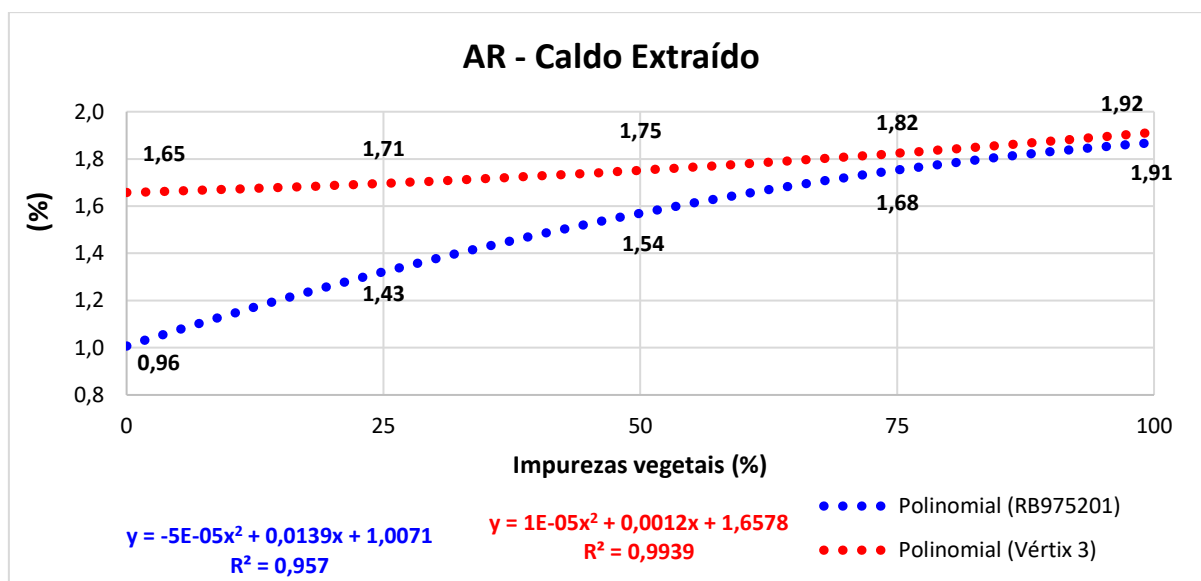


Figura 21 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores (AR) do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Os resultados obtidos para as determinações do pH e acidez total apresentados na Tabela 07 não diferiram entre si em relação aos tratamentos primário e secundário.

O caldo extraído da cana é caracterizado por valor de pH na faixa 5,0 a 5,3 (GOMES, 2019) e abaixo, ocorre a precipitação e formação de complexos (MENG *et al.*, 2022).

O pH da cana-de-açúcar é naturalmente ácido, em vista disso, os tratamentos encontram-se dentro da faixa ideal de pH considerada para processamento industrial, 5,0 a 5,5 (AMORIM, 2005).

A acidez total varia com a variedade da cana, tempo de maturação e condições ambientais. Os ácidos orgânicos são produzidos pelo próprio metabolismo da cana e o principal ácido orgânico da cana-de-açúcar é o ácido aconítico (FERMENTEC, 2012). Além disso, influenciam no pH, determinam as condições reacionais da clarificação e interferem na decantação de impurezas (ARAUJO, 2017)

Os valores médios obtidos para acidez total não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, porém estão superiores ao recomendado pela literatura, que considera valores inferiores ou iguais a $0,8 \text{ gH}_2\text{SO}_4.\text{L}^{-1}$ (DELGADO e CÉSAR, 1977).

Dos resultados obtidos para Amido, observou-se diferença significativa para a RB975201 e Vertex 3, sendo 45,9% maior para a cana energia. Os valores auferidos neste trabalho são inferiores aos relatados anteriormente por Figueira, Carvalho e Sato (2011) em seus estudos, que obtiveram teores de amido superiores a 1.000 ppm para as variedades RB867515, SO832847, RB72454, SP803280 e RB855536. Eles atribuíram estes valores a cana imatura e a correlação das variedades com o índice pluviométrico e temperatura.

Muitos polissacarídeos podem ser encontrados no caldo de cana, como é o caso do amido conhecido por causar efeitos negativos no processamento da cana destinada fabricação de açúcar (ALVES, 2012). Os teores de amido diferiram entre si quando comparado às variedades de cana, sendo observado que o incremento de impurezas vegetais proporcionou aumento (Figura 18) em 115,35%. Os resultados para cana de açúcar são inferiores com o valor de $355,9 \pm 8,3$ ppm para a variedade RB867515 encontrado por Alves (2012). Entretanto dentro da faixa de teores de 150 a 600 ppm encontrados nas variedades de cana plantadas no Brasil (PARAZZI, 2017).

Tabela 07 - Valores médios e análise de variância para pH, acidez total, amido e compostos fenólicos do caldo extraído das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	pH	Acidez Total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Amido (ppm)	Compostos fenólicos (ppm)
Variedade (TP)				
RB975201	5,07 a	1,93 a	103,35 b	450,01 b
Vertix 3	5,00 a	2,23 a	150,80 a	587,60 a
Teste F	0,44ns	7,62ns	29,69*	39,30**
CV	6,82	16,19	21,67	13,37
DMS	0,34	0,33	27,71	69,85
Teor de impureza (TS)				
0%	5,03 a	2,14 a	80,71 d	467,42 c
25%	4,98 a	1,87 a	107,12 cd	492,50 bc
50%	4,90 a	2,02 a	123,70 bc	507,01 abc
75%	5,18 a	2,17 a	150,05 ab	555,26 ab
100%	5,02 a	2,20 a	173,81 a	571,85 a
Teste F	2,44ns	2,34ns	32,54**	6,03**
CV	3,14	12,12	14,16	9,68
DMS	0,23	0,37	26,51	74,00
TPxTS	0,50ns	0,34ns	2,21ns	0,06ns

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

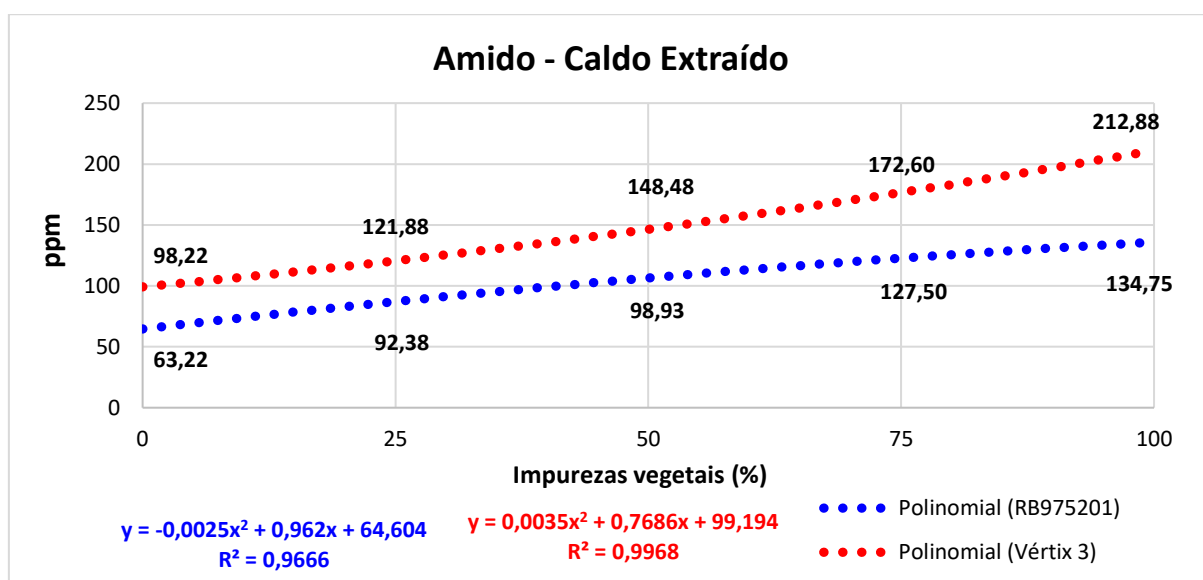


Figura 22 - Regressão Polinomial para Teor de amido do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Como mecanismo de defesa, a produção de compostos fenólicos é resposta da planta que permite responder a estresses bióticos ou abióticos (MAGRI, 2020), como pragas, doenças, temperatura e déficit hídrico. Os compostos fenólicos mais comuns encontrados na cana-de-açúcar que impactam a fermentação são: tanino, antocianina, sacaretina e melanoidna (COSTA *et al.*, 2014).

O resultado do tratamento principal e secundário diferiu significativamente para compostos fenólicos, substância que afeta o processo fermentativo (ANDRADE, 2014). Desta forma, o teor de fenol possui uma relação direta ao aumento do teor de impureza, resultando em um aumento de 122,35% comparado a testemunha. Costa (2017) obteve resultados similares para o caldo de cana coletado em unidade agroindustrial da região de Jaboticabal-SP, com valores de compostos fenólicos totais de 510 ppm.

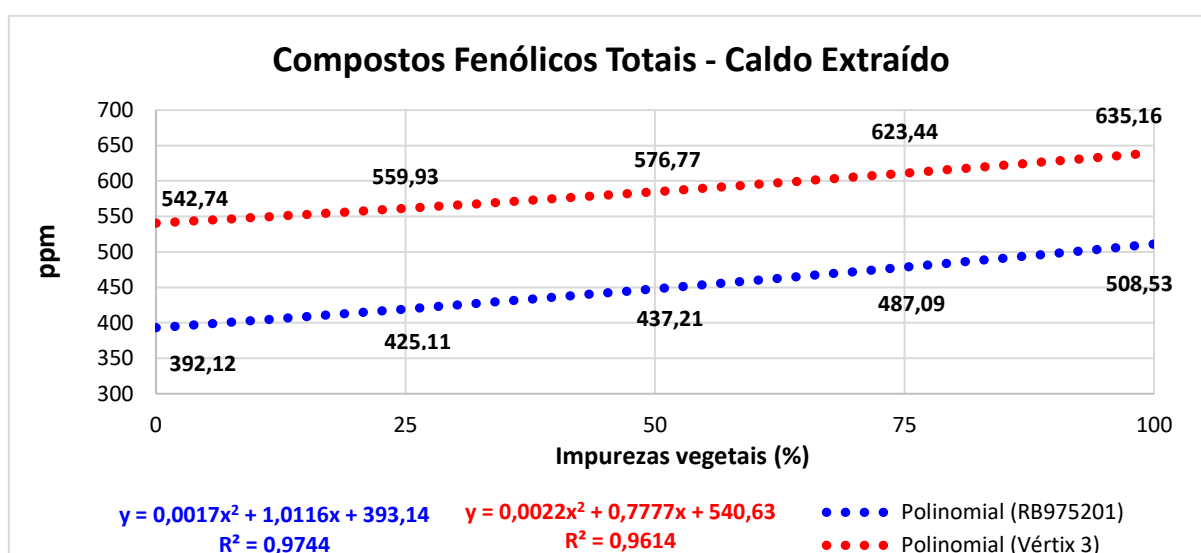


Figura 23 - Regressão Polinomial para Compostos Fenólicos Totais do caldo extraído para variedades RB975201 e Vértex 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Os valores obtidos para os compostos fenólicos são aderentes àqueles na literatura. Costa *et al.* (2006) relata valores médios de 181,08 e 188,89 ppm para as variedades SP-832847 e RB855156; Silva *et al.* (2012) encontraram valores entre 692 a 887 ppm para quatro variedades de cana-de-açúcar sendo estas: RB867515, RB92579, SP813250 e VAT90212. Junior (2020) obteve valores médios inferiores aos

encontrados neste trabalho: 307,76 ppm para a variedade CTC4 e 413,46 ppm para a cana energia Vertex 9.

3.3 Resultados obtidos para caldo clarificado

O tratamento do caldo é processo físico-químico que ocorre após a extração e antecede o preparo do mosto e fermentação. O objetivo do processo é obter caldo claro, limpo e eliminar parte das impurezas solúveis, coloidais ou insolúveis (RICCI, 2020).

O caldo clarificado obtido após o processo de purificação foi submetido as análises de sólidos solúveis (°Brix), sacarose aparente (Pol), Pureza, ART, pH, acidez total, teor de amido e compostos fenólicos totais. Os resultados médios determinados estão apresentados nas Tabelas 08 e 09.

Os resultados obtidos para o tratamento principal diferiram significativamente entre si para os parâmetros tecnológicos °Brix, Pol (%) e ART. Deve-se destacar que os valores obtidos são inferiores ao caldo extraído, assim como estudado por Freitas (2017). Para o incremento de impurezas vegetais, houve diferenças significativas para Pol e ART, sendo valor inferior para o máximo de impureza presente.

Após o processo de purificação do caldo, a quantidade de sólidos solúveis, no caldo da cana comercial foi padronizada a 16 °Brix através da adição de água deionizada, não foi realizada padronização no caldo da cana energia uma vez que apresenta valores inferiores a 16°Brix. Nota-se que, o valor obtido de sólidos solúveis para cana energia encontra-se significativamente inferior comparado a cana comercial. Silveira (2019) encontrou valores na faixa de 10,54° a 18,37 °Brix para clones os clones C33, C34 e C35 de cana-energia.

Os resultados obtidos para sólidos solúveis totais do caldo clarificado (Figura 24) indicaram que, mesmo após o processo de clarificação, a presença de impurezas vegetais reduziu 1 ponto para a variedade RB975201 e 2 pontos para a Vertex 3.

Em virtude da diluição do caldo extraído, os valores médios para Pol e ART dos caldos clarificados tendem a ser menores comparados ao caldo extraído. Diante disso, observou-se que os resultados obtidos para Pol do caldo clarificado diferiram estatisticamente entre si para as variedades estudadas e a presença de impureza vegetal, com diminuição de 8,5% comparado a testemunha. Apesar da cana-energia

deter o menor valor comparado a cana comercial, ainda é superior àquele encontrado por Almeida (2018) de 9%.

Tabela 08 - Valores médios e análise de variância para Brix, Pol Aparente, Pureza Aparente e Açúcares Redutores Totais (ART) do caldo clarificado das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	°Brix	Pol (%)	Pureza (%)	ART (%)
Variedade (TP)				
Cana comercial	16,25 a	13,64 a	83,95 a	14,65 a
Cana energia	14,88 b	11,92 b	80,38 a	13,31 b
Teste F	19,09*	70,92**	6,25ns	38,96**
CV	15,56	5,05	5,50	4,83
DMS	1,00	0,65	4,54	0,68
Teor de impureza (TS)				
0%	15,85 a	13,44 a	84,88 a	14,62 a
25%	15,53 a	13,14 a	84,63 a	14,19 ab
50%	15,52 a	12,83 ab	82,73 a	14,00 abc
75%	15,25 a	12,22 b	80,18 a	13,44 c
100%	15,67 a	12,29 b	78,42 a	13,65 bc
Teste F	1,02ns	9,78**	3,11**	6,77**
CV	3,95	3,74	5,49	3,60
DMS	0,90	0,70	6,64	0,74
TPxTS	0,25ns	0,89ns	0,40ns	1,55ns

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Analisando os valores médios obtidos (Tabela 08 e Figura 26), nota-se que a cana-energia obteve o menor valor de pureza aparente comparada com a cana comercial. Mariano (2015) relata que “mesmo contendo mais açúcar por hectare, a pureza é menor” para estas variedades; dado que o valor médio obtido da Pol e Brix são inferiores e a pureza é uma relação entre estes. Apesar de não existirem diferenças estatísticas entre os tratamentos com impurezas vegetais, a pureza reduziu em 6 pontos, o que corresponde a uma queda percentual de 7,6%.

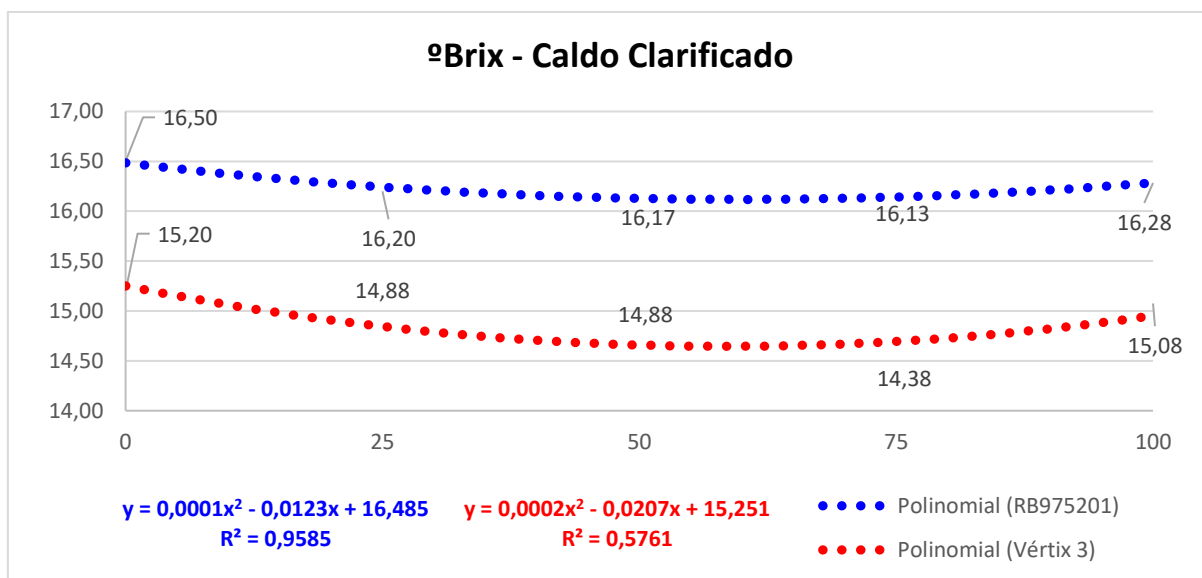


Figura 24 - Regressão Polinomial para °Brix do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

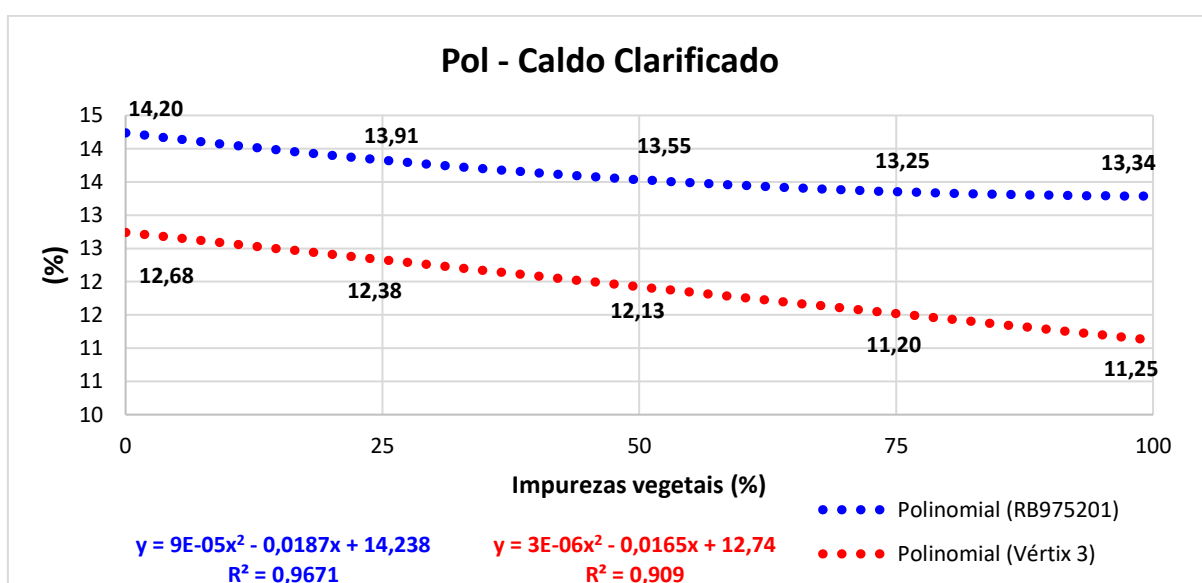


Figura 25 - Regressão Polinomial para Pol Aparente do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

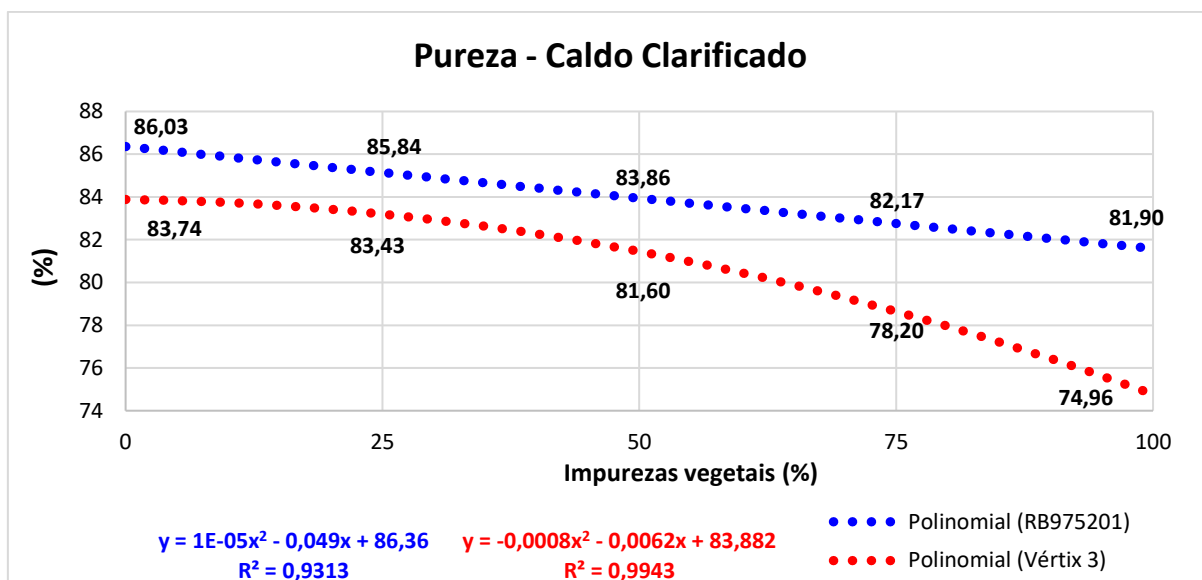


Figura 26 - Regressão Polinomial para Pureza Aparente do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vértex 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

O caldo de cana energia possui naturalmente menores teores de sólidos solúveis e baixa pureza (Junior, 2020). Diante disso o valor médio para ART – açúcares redutores totais, é significativamente menor para cana energia comparada a cana comercial. Além disso, a cana comercial possui elevadas quantidades de sacarose na composição que são mensuradas nesta análise. Considerando o incremento de impurezas vegetais, o valor médio de ART diminuiu significativamente em 6,63 % quando comparado a testemunha sobre o impacto de 100% de impureza vegetal.

Mesmo com essa redução frente ao acréscimo de impurezas vegetais, os valores obtidos de ART para a variedade comercial estão dentro do valor mínimo de 12,5% para processamento sustentável (SCHAFFERT e PARRELLA, 2012).

Considerando a tendência de diminuição do ART no caldo clarificado (Figura 27), a cana energia Vértex 3 apresentou os menores valores em relação a RB975201 em todos os tratamentos; sendo esta diferença significativa. Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam que para este parâmetro, a impureza vegetal presente no processamento da cana energia possui maior impacto em comparação a cana comercial, com valor de 4% de ART para o tratamento com 100%.

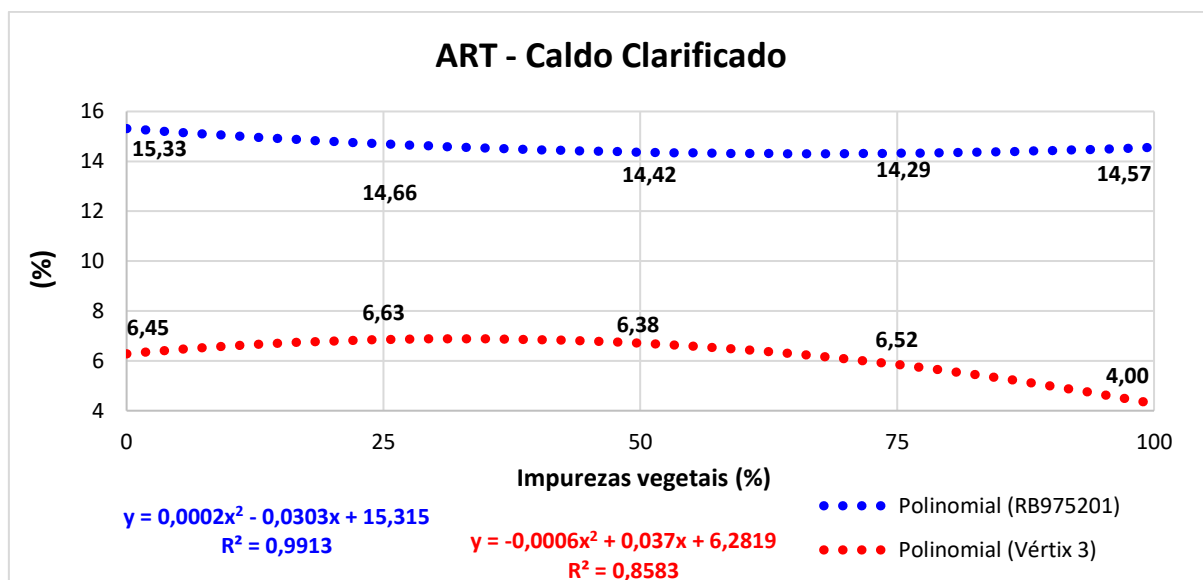


Figura 27 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores Totais (ART) do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

A adequação do pH do caldo extraído é fundamental para garantir excelente processo de clarificação, sem perdas de açúcares e nutrientes do caldo essenciais para as leveduras. Analisando os resultados obtidos para pH, os tratamentos primário e secundário não tiveram diferenças significativas entre si, e ficaram próximo a 6,0 conforme estabelecido.

Houve redução da acidez dos caldos clarificados em relação aos teores encontrados no caldo extraído. Isto por que, a caleagem antes do processo de clarificação proporciona a adsorção e a precipitação dos ácidos presentes no caldo (ALBUQUERQUE, 2011). O valor médio de acidez total para cana comercial está acima do recomendado por Ripoli e Ripoli (2009), que recomendam concentrações inferiores a $0,8 \text{ mg.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$, entretanto, pouco menciona-se sobre cana energia (JUNIOR, 2020). A impureza vegetal não impactou estatisticamente este parâmetro.

A Acidez Total foi maior significativamente na cana energia em comparação a cana comercial; resultado superior ao encontrado por Junior (2020) de $1,30 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ para cana energia Vertix 9 comparado a $0,51 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ para CTC2. O valor médio obtido para a RB975201 foi semelhante ao encontrado por Neto (2010) para a variedade CTC15, de $1,21 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$. No mesmo estudo, ele concluiu que a

presença de bainha junto aos colmos não influencia a qualidade da matéria-prima; enquanto a presença de palha proporciona redução dos níveis de acidez do caldo.

A presença de amido no caldo a ser processado direciona a operação ineficiente e a perdas de produção (ALVES, 2012), principalmente, àquele que será destinado a fabricação de açúcar.

Para o resultado dos tratamentos no parâmetro do teor de amido (ppm), houve diferenças significativas para as variedades, apresentando valores médios de 101,87 ppm para a RB975201 enquanto 65,53 ppm para Vertex 3, esta diferença também foi observada no estudo de Junior (2020). Nesta, a cana-de-açúcar CTC2 apresentou valor superior (306,18ppm) comparada a cana energia Vertex 9 (217,14 ppm). Conforme a tendência (Figura 28), na presença de 100% de impureza este parâmetro aumentou significativamente tanto para a variedade comercial quanto para a variedade energia, com valores de 323,00 ppm e 547,30 ppm.

Tabela 09 - Valores médios e análise de variância para pH, Acidez Total, Teor de Amido e Compostos Fenólicos Totais para caldo clarificado das variedades RB975201 e Vertex 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	pH	Acidez Total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Amido (ppm)	Compostos fenólicos (ppm)
Variedade (TP)				
RB975201	5,58 a	1,13 b	101,87 a	248,52 b
Vertex 3	5,56 a	1,86 a	65,53 b	492,49 a
Teste F	0,22 _{ns}	18,27**	29,99*	283,29**
CV	2,52	35,84	25,06	12,37
DMS	0,14	0,54	21,11	46,12
Teor de impureza (TS)				
0%	5,52 a	1,50 a	57,41 b	336,68 b
25%	5,50 a	1,34 a	107,18 a	331,94 b
50%	5,52 a	1,52 a	90,22 a	362,60 ab
75%	5,50 a	1,59 a	85,31 ab	386,15 ab
100%	5,80 a	1,54 a	78,39 ab	435,14 a
Teste F	2,28 _{ns}	1,08 _{ns}	5,59**	4,71**
CV	4,39	17,22	25,91	14,83
DMS	0,36	0,38	31,95	80,97
TPxTS	2,54 _{ns}	0,26 _{ns}	0,64 _{ns}	0,75 _{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

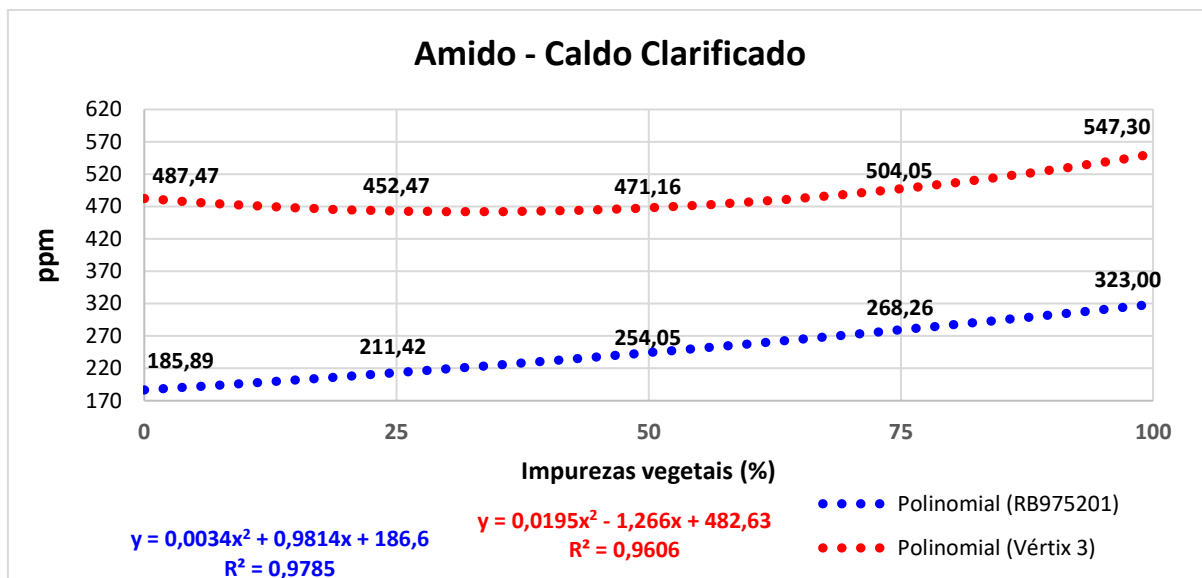


Figura 28 - Regressão Polinomial para Teor de Amido do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Os valores auferidos para os compostos fenólicos (ppm) diferiram significativamente entre si para o tratamento principal, em que a cana energia apresentou resultado 98% maior comparada a cana comercial. Verificou-se ainda que o aumento de impureza vegetal no processamento aumentou significativamente em 29%, em que o máximo de impureza (100%) resultou em um maior valor, conforme tendência na Figura 29. Os fenóis impactam negativamente o processo fermentativo causando a inibição à atividade celular da *S. cerevisiae* (JUNIOR, 2020; FREITA, 2013).

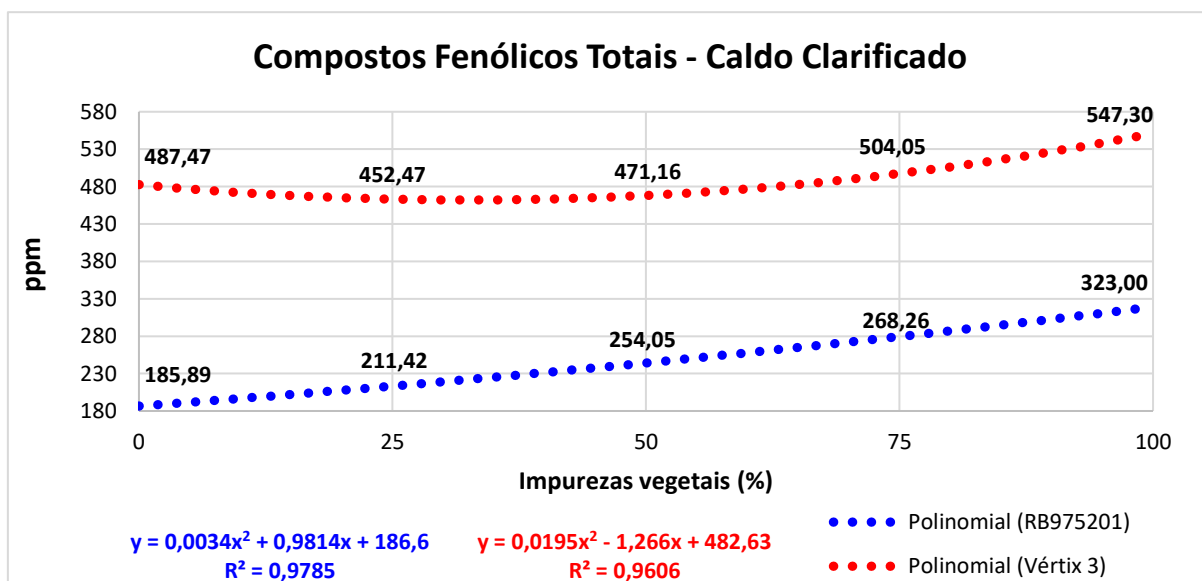


Figura 29 - Regressão Polinomial para Compostos Fenólicos Totais do caldo clarificado para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

3.4 Resultados obtidos para as análises do mosto

Na Tabela 10, são apresentados os resultados obtidos dos valores médios do ART e da acidez total para o mosto. Observou-se diferença significativa nos valores médios no tratamento primário em relação ao parâmetro da acidez total, de modo que a cana energia apresenta maior valor.

A determinação de Acidez Total dos mostos determinou valores significativamente superior para os mostos de cana energia ($2,58 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$). Os valores encontrados são maiores ao estudo de Junior (2020), que foram de $0,50 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ para cana comercial CTC2 e $1,97 \text{ g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ para cana energia Vertix 9. As impurezas de origem vegetal impactaram significativamente nos valores de acidez total.

Tabela 10 - Valores médios e análise de variância para Acidez Total e Açúcares Redutores Totais (ART) para mosto das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	Acidez Total ($\text{g.L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$)	ART (%)
Variedade (TP)		
RB975201	1,46 b	13,79 a
Vertix 3	2,58 a	10,97 b
Teste F	34,00**	19,31**
CV	29,96	16,36
DMS	0,61	2,03
Teor de impureza (TS)		
0%	2,07 ab	12,74 ab
25%	1,89 b	12,56 ab
50%	1,85 b	12,87 a
75%	2,05 ab	12,33 ab
100%	2,24 a	11,41 b
Teste F	3,99*	3,01*
CV	11,01	7,63
DMS	0,32	1,39
TPxTS	1,65ns	0,37ns

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Os valores médios dos açúcares redutores totais (ART) determinados nos mostos de cana energia foram de 10,97%, teores significativamente menores que os

encontrados nos mostos preparados a partir de cana comercial (13,79%). O resultado obtido para cana comercial corrobora o encontrado por Junior (2020) de 13,32% para a variedade CTC2 e 10,66% para a cana energia Vertix 9. A tendência de diminuição deste parâmetro com acréscimo de impurezas pode ser observada na Figura 30. Os resultados obtidos permitem considerar que no decorrer do aumento de impurezas, ocorre diminuição significativa nesta característica, evidenciando o impacto na matéria-prima.

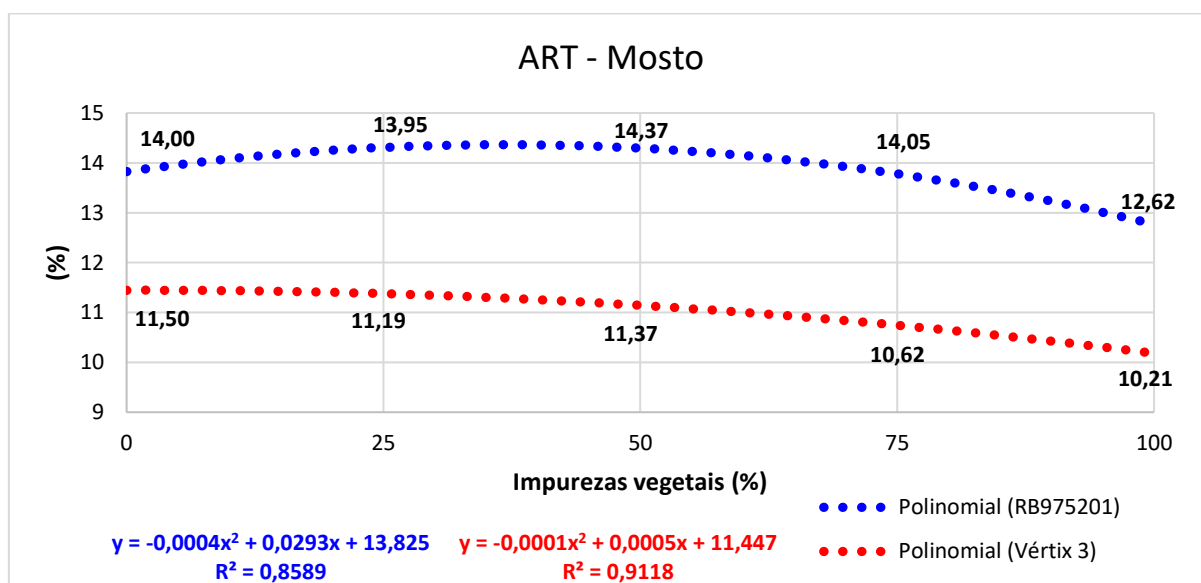


Figura 30 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores Totais (ART) do mosto para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

3.5 Análises microbiológicas do processo fermentativo

O comportamento fisiológico das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* no início da fermentação é apresentado na Tabela 11.

Analisando-se os resultados obtidos para a viabilidade celular, os tratamentos se encontraram acima do parâmetro recomendado por Amorim (2005) com viabilidade igual ou superior a 85% no início do processo fermentativo para fermentações com alta taxa de rendimento. Os resultados obtidos estão superiores àqueles encontrado por Junior (2020), que obteve 89,51% para cana energia Vertix 9 e 87,99% para cana comercial CTC2. Não foram observadas diferenças significativas quanto as análises microbiológicas das leveduras entre os tratamentos com impureza vegetal.

A análise de brotos indica que, em mostos preparados com 100% de impureza, houve maior brotamento das células, porém não significativas. O comportamento fisiológico das leveduras submetidas aos dois substratos – cana comercial e cana energia, não apresentou diferença significativa. Avaliar o índice de brotamento e brotos viáveis é importante, visto que possuem ação fundamental para a manutenção da população de leveduras (RAVANELI, 2010).

Tabela 11 - Valores médios e análise de variância para Viabilidade Celular, Índice de Brotamento e Viabilidade dos Brotos das leveduras no início do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Análises Microbiológicas Iniciais			
Tratamentos	Viabilidade celular (%)	Índice de brotamento (%)	Viabilidade dos brotos (%)
Variedade (TP)			
RB975201	97,99 a	42,29 a	99,31 a
Vertix 3	96,14 a	41,59 a	98,61 a
Teste F	6,51 _{ns}	0,01 _{ns}	0,61 _{ns}
CV	2,36	48,63	2,88
DMS	2,31	20,53	2,86
Teor de impureza (TS)			
0%	95,38 a	36,21 a	99,50 a
25%	99,19 a	42,43 a	99,67 a
50%	97,36 a	43,93 a	98,18 a
75%	94,84 a	43,67 a	98,82 a
100%	98,55 a	43,48 a	98,64 a
Teste F	1,04 _{ns}	1,03 _{ns}	1,10 _{ns}
CV	5,46	21,61	1,67
DMS	7,81	13,35	2,44
TPxTS	1,90 _{ns}	1,44 _{ns}	0,73 _{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

O comportamento fisiológico da levedura *Saccharomyces cerevisiae* ao final do processo fermentativo é apresentado na tabela 12. Pela análise microbiológica final, todos os tratamentos apresentaram valores médios superiores a 85%, confirmando a qualidade do fermento biológico utilizado.

No entanto, apesar de não existir diferenças significativas, é notório o impacto das impurezas durante este processo pela queda da viabilidade, aumento do índice de brotação e diminuição da viabilidade de brotos. Portanto, o tempo é fator importante nos processos fermentativos (RIBEIRO, 2019), por que, comparado ao início da fermentação, houve queda dos parâmetros.

Masson et al (2015) ao estudar a variedade RB966928, obteve valores de 92,35% de viabilidade celular, 95,59% para viabilidade dos brotos e índice de brotamento de 14,46%, similares a este presente estudo.

Tabela 12 - Valores médios e análise de variância para Viabilidade Celular, Índice de Brotamento e Viabilidade dos Brotos das leveduras ao final do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Análises Microbiológicas Finais			
Tratamentos	Viabilidade celular (%)	Índice de brotamento (%)	Viabilidade dos brotos (%)
Variedade (TP)			
RB975201	95,83 a	11,48 b	89,16 a
Vertix 3	97,83 a	23,28 a	93,16 a
Teste F	0,60 _{ns}	46,08**	0,30 _{ns}
CV	6,11	31,61	25,28
DMS	5,94	5,53	23,19
Teor de impureza (TS)			
0%	98,41 a	17,21 a	95,44 a
25%	97,84 a	16,31 a	95,12 a
50%	96,50 a	19,10 a	95,91 a
75%	93,32 a	15,89 a	75,60 a
100%	96,68 a	18,39 a	93,73 a
Teste F	1,44 _{ns}	0,88 _{ns}	1,76 _{ns}
CV	4,81	23,57	20,44
DMS	6,84	6,03	27,46
TPxTS	1,98 _{ns}	1,49 _{ns}	0,02 _{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Os compostos fenólicos, como monofenóis e polifenóis – presentes nas partes mais jovens da planta, são capazes de inibir a levedura durante o desdobramento de açúcares residuais durante a fermentação alcoólica; compostos como flavonoides, ácido caféico e fenetil éster apresentam ação antimicrobiana, ou seja, possuem

aptidão para inibir o crescimento e/ou divisão celular e nas movimentações dos microrganismos (SILVA, 2013). Este fato explica a diminuição da viabilidade celular da *Saccharomyces* durante o processo fermentativo, uma vez que o incremento de matéria vegetal aumenta a concentração destes compostos no substrato a ser fermentado.

3.6 Resultados obtidos para as determinações tecnológicas do vinho

Os resultados observados para os teores de glicerol, acidez total, teor alcoólico e eficiência fermentativa indicaram que não houve diferenças significativas entre as variedades e os teores de impurezas vegetais (Tabela 13)

Dentre os produtos gerados durante a fermentação, o glicerol – produto secundário de maior proporção pela redução da glicose e controle osmótico da levedura, consome de 2 a 9% do ART presente no mosto considerando rendimento de 86 a 92% (MUTTON, 2021).

O glicerol é metabólito produzido pelas leveduras em condições de estresse osmótico na mesma rota do etanol, desviando parte dos açúcares da rota fermentativa. Os teores no presente estudo são semelhantes ao encontrado por Cherubin (2003), permanecendo entre 0,5 a 1,0%, sendo considerados valores elevados para a condução do experimento.

A avaliação estatística indicou que mostos provenientes de cana energia mostram valores inferiores comparado a cana comercial, corroborando com os resultados de Costa (2015) e Mendes (2019), que obtiveram concentrações de 0,60 e 0,66%. Verificou-se que não ocorreram diferenças significativas para o incremento de impurezas no teor de glicerol.

Estatisticamente, houve diferenças significativas entre as médias observadas para a acidez total para o tratamento secundário. Esses valores, entretanto, são superiores aos recomendados pela literatura de 0,8 g.L⁻¹ H₂SO₄ (DELGADO e CÉSAR, 1977).

Houve uma diferença significativa para o teor de etanol para as variedades de cana utilizadas. Verificou-se que o tratamento com cana comercial produziu maior teor de etanol devido maior concentração de ATR no começo da fermentação, evidenciando um ótimo desempenho. Resultados similares foram obtidos por Junior

(2020) ao comparar cana energia Vertix 9 e cana-de-açúcar CTC2, com 6,86% e 8,1% respectivamente.

A eficiência fermentativa é obtida pela pelo balanço de massa ART% convertido em etanol, sendo comparativo direto entre o substrato e o produto final. Pela análise geral dos valores de eficiências fermentativas, não houve diferença significativa entre as médias observadas para os tratamentos entre variedades de cana. Junior (2020) obteve valores médios na ordem de 84,8% e melhores eficiências para fermentações a partir de cana-de-açúcar. Apesar de não existirem diferenças estatísticas para o incremento vegetal, observou-se redução da eficiência fermentativa na ordem de 4,5% na presença de impureza.

Tabela 13 - Valores médios e análise de variância para Teor de Glicerol, Acidez Total, Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa ao final do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

Tratamentos	Glicerol (%)	Acidez Total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Teor alcoólico (%)	Eficiência Fermentativa (%)
Variedade (TP)				
RB975201	0,81 a	2,67 a	8,01 a	86,58 a
Vertix 3	0,73 a	2,72 a	6,29 b	86,48 a
Teste F	3,46 _{ns}	0,18 _{ns}	19,55**	0,00 _{ns}
CV	18,60	13,13	17,21	12,65
DMS	0,14	0,35	1,23	11,02
Teor de impureza (TS)				
0%	0,78 a	2,59 ab	7,41 a	88,66 a
25%	0,81 a	2,45 b	7,28 a	87,59 a
50%	0,77 a	2,58 ab	7,21 a	86,42 a
75%	0,74 a	2,85 ab	7,00 a	85,35 a
100%	0,75 a	3,03 a	6,84 a	84,62 a
Teste F	1,18 _{ns}	2,85*	1,12 _{ns}	0,50 _{ns}
CV	9,25	14,48	8,52	7,56
DMS	0,10	0,57	0,89	9,63
TPxTS	0,71 _{ns}	0,48 _{ns}	0,04 _{ns}	0,01 _{ns}

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p > 0,05$). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Como fonte alternativa a produção de bioetanol, Freitas (2013) ao estudar genótipos de sorgo sacarino CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 verificou que, esta

cultura energética, possuía resultados mais adequados da eficiência fermentativa quando processados sem folhas, quando foram processados com folhas (impureza vegetal) a eficiência caiu em 4% para a levedura PE-2 e 7% para a CAT-1; demonstrando a importância da qualidade da matéria-prima.

Pela análise geral da tendência da eficiência fermentativa (Figura 31), verificou-se boas performances fermentativas, com melhores valores de 88,72% para a variedade comercial e 88,61% para a variedade energia. A queda da eficiência fermentativa se iniciou no tratamento com 25% de impureza, seguindo o mesmo padrão para os seguintes. Os resultados demonstram que se pode alcançar maiores eficiências com uso de matéria-prima de qualidade, contribuindo para a melhoria contínua do processo industrial.

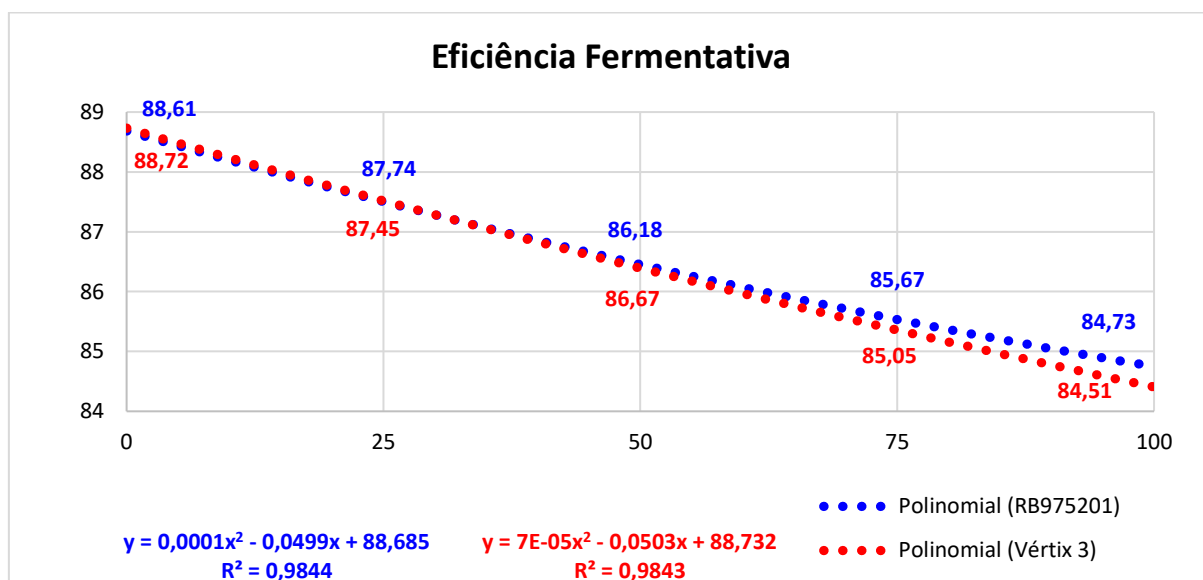


Figura 31 - Regressão Polinomial para Eficiência Fermentativa para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

3.7 Análise do destilado

As avaliações cromatográficas dos destilados das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais, quanto as concentrações de Acetato de etila, Acetona, Diacetil, Acetal e Acetaldeído, Furfural, Metanol, Isopropanol, n-Propanol, Isobutanol, n-Butanol e Isoamílico, estão apresentadas nas Figuras 32 à 35. O preparo das amostras para a análise

cromatográfica foi realizado de maneira composta com a mesma concentração das repetições e tratamentos.

De acordo com as Figuras 32 e 33, na presença de 100% de impurezas, houve um aumento na concentração de Acetato de etila da ordem de 37,04 mg.L⁻¹ e 11,71 mg.L⁻¹ para RB975201 e Vertix 3 Tipo 1, respectivamente. O acetato de etila é um éster derivado do ácido acético e/ou etanol. É originado durante a fermentação na reação do acetil-coA do etanol e reações de esterificação catalisadas pelo cobre (CORRÊA, 2020).

De acordo com as concentrações determinadas, foi observada maior concentração média de Acetona no tratamento com 100% de impurezas em ambas as variedades de cana, sendo encontrados 1,37 mg.L⁻¹ para cana comercial e 1,15 mg.L⁻¹ para cana energia.

Foi verificado maior formação de Diacetil e Acetal em mostos dos tratamentos com 100% de impureza vegetal. Foi verificado aumento de 53,19% e 112,78% para a concentração de Diacetil e 336,45% e 273,23% para Acetal para RB975201 e Vertix 3 Tipo 1, respectivamente, em relação aos colmos limpos.

A maior concentração média de Acetaldeído foi observada no tratamento com 100% de impureza vegetal para cana comercial e cana energia com 111,25 mg.L⁻¹ e 137,86 mg.L⁻¹, respectivamente. A avaliação da concentração de Acetaldeído é de extrema importância por ser considerado contaminante orgânico do etanol combustível (RODGHER *et al.*, 2006). Originado pela reação de oxidação do etanol, é produzido principalmente nas primeiras horas de fermentação (CORRÊA, 2020). O controle correto da fermentação, por sua vez, evita a formação. Este composto possui grande importância no ramo da cachaça, podendo contribuir para a qualidade sensorial da cachaça não envelhecida.

Destaca-se que o furfural é produzido a partir da pirólise do bagaço ou de leveduras durante o processo de fermentação, sendo assim, sua concentração pode ser diminuída com um tratamento de caldo eficiente associado a adequada decantação do vinho após o término da fermentação (RIBEIRO *et al.*, 2017). Furfural não foi produzido no mosto de cana comercial com 0% de impureza vegetal, enquanto substratos oriundos da cana energia permaneceram sem sua formação até o tratamento de 50% de impurezas vegetais.

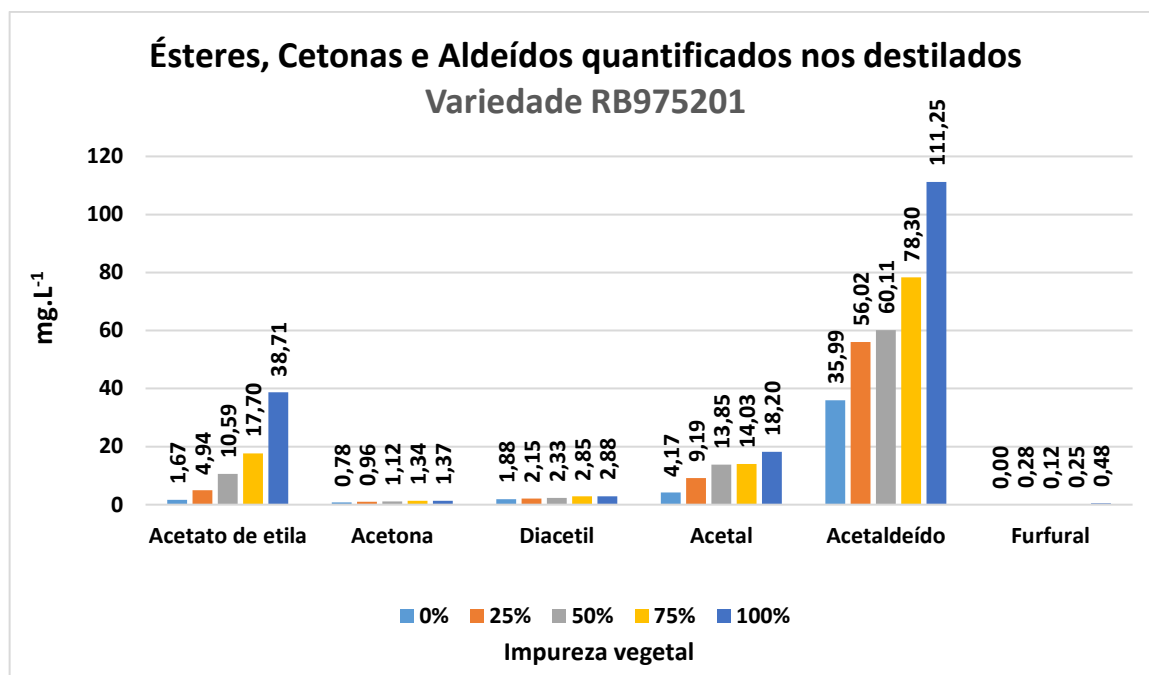


Figura 32 - Valores médios da concentração de Acetato de etila, Acetona, Diacetil, Acetal e Acetaldeído e Furfural quantificados nos destilados de cana comercial RB975201 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

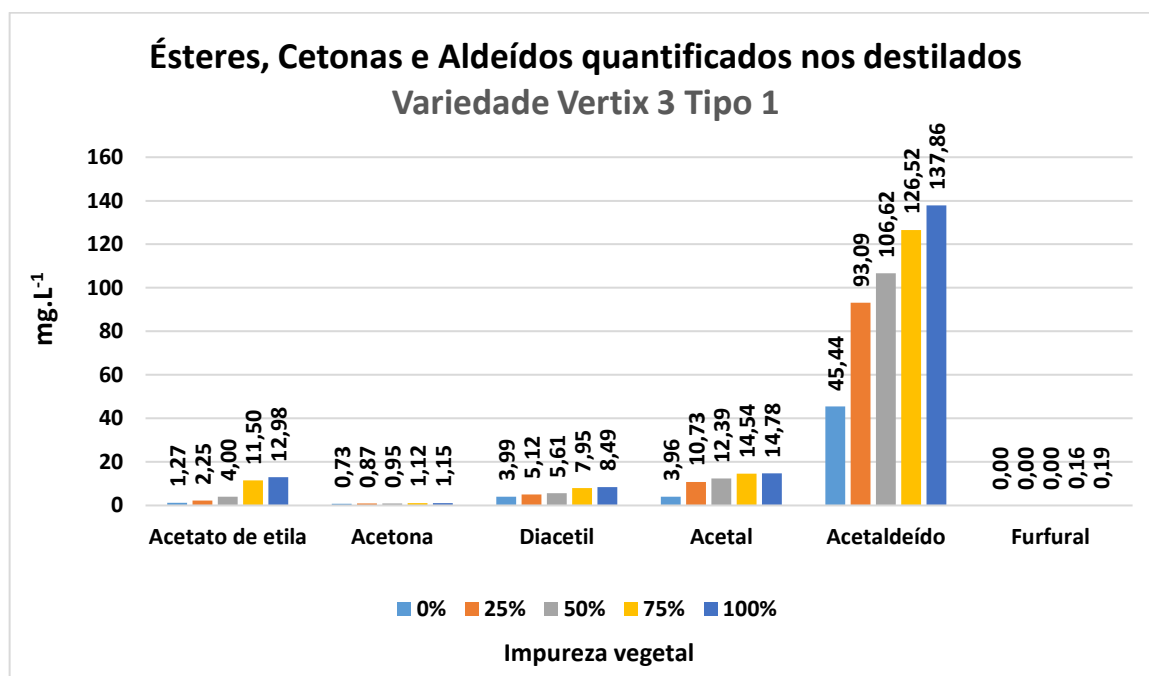


Figura 33 - Valores médios da concentração de Acetato de etila, Acetona, Diacetil, Acetal e Acetaldeído e Furfural quantificados nos destilados de cana-energia Vertex 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

O metanol, presente em maiores concentrações quando há presença de impurezas vegetais, é formado a partir da hidrólise da pectina (resíduo resultante da extração do caldo) durante o processo fermentativo (MUTTON *et al.*, 2020). Desta forma, quanto maior o teor de impurezas de caráter vegetal, maior o índice de formação de metanol produzido.

De acordo com os resultados obtidos, foi quantificado aumento de 250,91% e 98,95% da concentração deste álcool para variedades RB975201 e Vertix 3, respectivamente, na presença de 100% de impurezas.

A soma dos compostos butílicos, propílicos e isoamílico caracterizam os álcoois superiores. São formados no processo de fermentação durante a degradação dos aminoácidos pelas leveduras, sendo reação influenciada pela natureza e composição do mosto (CORRÊA, 2020). O n-Propanol, Isobutanol e Isoamílico são álcoois contaminantes, que além de causarem problemas ambientais, são irritantes aos olhos e membranas mucosas (SILVA, 2009).

Foi verificado maior formação de álcool Isoamílico, n-Propanol e Isobutanol nos tratamentos com 100% de impureza vegetal. Sendo observado aumento de 28,90% e 5,80% para na concentração de n-Propanol; 48,57% e 35,11% para Isobutanol; e 23,43% e 38,91% para Isoamílico para RB975201 e Vertix 3 Tipo 1, respectivamente, em relação aos colmos limpos.

De acordo com as concentrações representadas pelas Figuras 34 e 35, Isopropanol não foi produzido em mostos oriundos da cana comercial, sendo a formação somente observada na cana-energia com 100% de impureza.

O n-Butanol é classificado como contaminante devido a toxicidade relativamente alta. Independentemente da variedade ou teor de impureza vegetal na matéria-prima, a concentração de n-Butanol foi inferior à 1,10 mg.L⁻¹ para todos os tratamentos.

Sem a presença de impureza vegetal, ao final do processo fermentativo, foram produzidos 987,35 mg.L⁻¹ de compostos secundários nos vinhos de cana comercial e 729,89 mg.L⁻¹ nos vinhos de cana-energia. A presença de 100% de impureza gerou um acréscimo de 44,72% destas substâncias para RB975201 e 42,51% para Vertix 3, obtendo teores finais de 1.428,86 mg.L⁻¹ e 1.040,16 mg.L⁻¹, respectivamente.

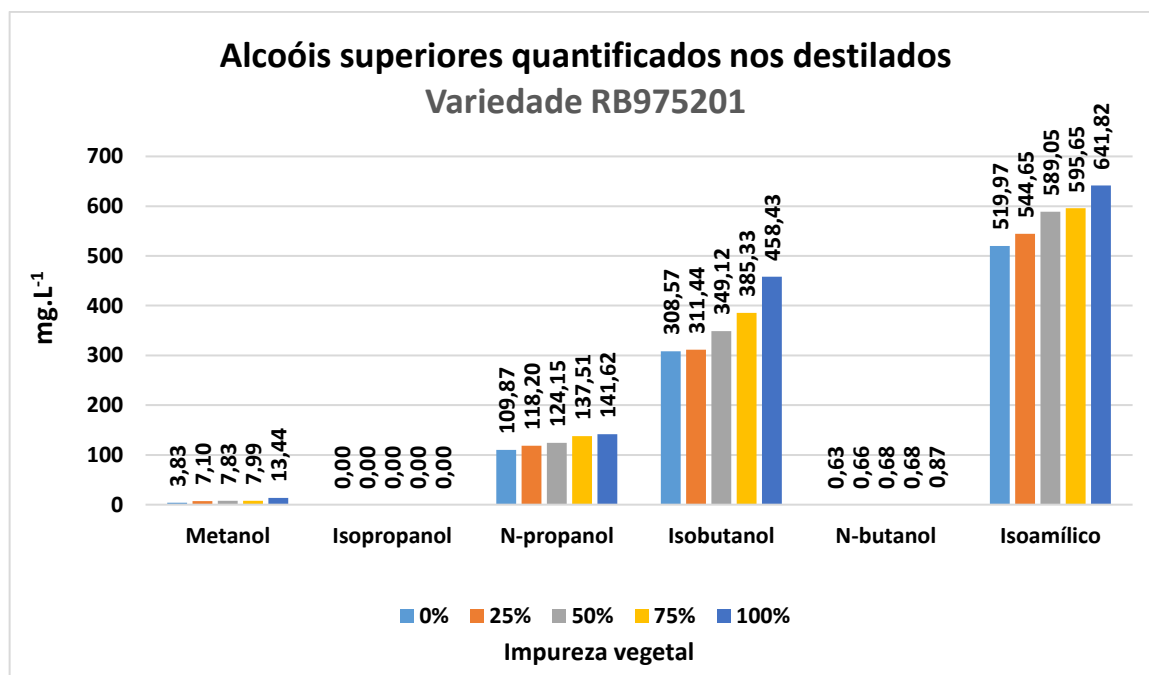


Figura 34 - Valores médios da concentração de Metanol, Isopropanol, n-Propanol, Isobutanol, n-Butanol e Isoamílico quantificados nos destilados de cana comercial RB975201 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

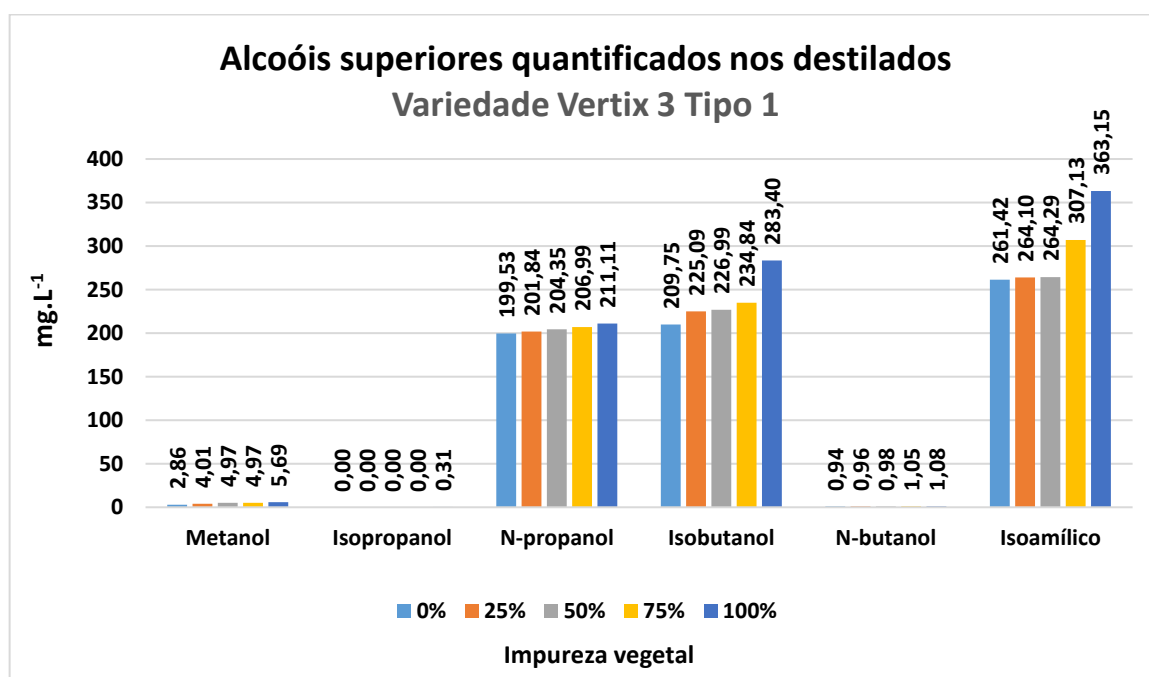


Figura 35 - Valores médios da concentração de Metanol, Isopropanol, n-Propanol, Isobutanol, n-Butanol e Isoamílico quantificados nos destilados de cana-energia Vertex 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP.

5. CONCLUSÕES

A adição de impurezas vegetais compromete os parâmetros tecnológicos da matéria-prima reduzindo significativamente os valores de Pol, Pureza, AR e ART, importantes para a produção do bioetanol.

A Vertex 3 possui maiores teores de fibra e comportamento semelhante a RB975201 para os reflexos de impurezas e valores inferiores para os parâmetros de interesse para produção de bioetanol, principalmente em açúcares.

O acréscimo de palha, palmito e folhas verdes aumentam valores de amido, compostos fenólicos e fibra através dos métodos PCTS e Tanimoto.

A característica microbiológica da levedura fermentadora utilizada neste experimento não é afetada pela adição de impurezas vegetais.

O teor alcoólico obtido quando na presença de impurezas diminui 7,69% comparado a testemunha. A eficiência fermentativa ocorre melhor no tratamento testemunha, enquanto que no incremento de 100% de impurezas diminui em 4,5%.

A presença de 25% de impurezas vegetais leva ao aumento de compostos N-propanol no destilado obtido da cana energia, iso-amílico e furfural em ambas as variedades de cana e acetal no tratamento cana energia.

A presença de 50% de impurezas vegetais acarreta aumento de compostos N-butanol e metanol no destilado obtido através da cana energia.

A presença de 100% de impurezas vegetais resulta no aumento de compostos acetaldeído e acetona nos destilados obtidos em ambas as variedades de cana, N-propanol, diacetil, N-butanol, acetato de etila e acetal no tratamento com cana comercial.

6. REFERÊNCIAS

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Sistemas de produção para cana-de-açúcar**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/904624/sistemas-de-producao-para-cana-de-acucar>>. Acesso em: 07 jan 2023.

Aitken, K., McNeil, M. **Diversity analysis**. Genetics, genomics and breeding of sugarcane, CRC Press. p. 19-42. 2010

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

Alcarde, A.R., Walder, J.M.M., Horri, J. **Fermentação de mosto de cana-de-açúcar irradiado**. Food Science and Technology • Sci. agric. 2003. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400011>

ALCOOLBRAS. **Cana limpa**. Revista AlcoolBras 9:3-7. 2006

Alexander, A.G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 752p. 1973

Alvim, J.C., Alvim, F.A.L.S., Sales, V.H.G., Sales, P.V.G., Oliveira, E.M., Costa, A.C.R. **Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos**. Journal of Bioenergy and Food Science 1(3):61-77. 2014

Almeida, M. **Cana energia na indústria**. Piracicaba Engenharia Sucroalcooleira. 2018. Disponível em < <https://www.piracicabaengenharia.com.br/cana-energia-na-industria/>>. Acesso em: 13/02/2023.

Alves, F.V. **Interferência do amido e da dextrana nas análises tecnológicas do caldo de cana-de-açúcar**. Dissertação para obtenção do título de mestre em Ciências. Universidade de São Paulo. 2012.

Amorim, H. V. **Métodos analíticos para o controle da produção de açúcar e álcool**. Fermentec 3º ed. Piracicaba. 2003.

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

Araujo, E.S., Campos, L.M.A. **Estudo da eficiência do pré-tratamento hidrotérmico visando a desestruturação da fibra da cana energia**. Anais da 16ª Jornada UNIFACS de Iniciação Científica - JUIC Universidade Salvador – UNIFACS – 11 a 14 de novembro de 2019.

Araujo, F.A.D. **Intensificação do processo de purificação do caldo da cana-de-açúcar por decantação química e adsorção**. Tese apresentada como parte dos requisitos à obtenção do grau de doutor em Engenharia Química. Recife. 233 pg. 2017.

Aude, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural** 23(2):241-248. 1993.

Baccarin, J.C. **Expansão e mudanças tecnológicas no agronegócio canavieiro: impactos na estrutura fundiária e na ocupação agropecuária no estado de São Paulo**. São Paulo: Unesp, 2019

Bacchi, O.O.S. **Botânica da cana-de-açúcar**. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/Planalsucar, p. 25-37. 1983.

Barbosa, J.C.; Maldonado Junior, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat 292 – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos**. FUNEP: Jaboticabal, 2015

Barizi, D. **Manejo nutricional complementar de outono e os reflexos na qualidade da matéria-prima e produção de açúcar**. Trabalho para graduação em Engenharia Agrônômica. UNESP. 2021.

Barnett, J.A. **The utilization of dissaccharides and some other sugars by yeast**. Advances in Carbohydrate Chemistry & Biochemistry 39:347-404. 1981.

Barreto, M.J. **Os argumentos e as implicações da mecanização na colheita da cana-de-açúcar nos canaviais do estado de São Paulo**. Revista da ANPEGE 16(30): pg.127-145. 2020.

Basso, L.C., Basso, T.O., Rocha, S.N. **Ethanol production in Brazil: the industrial process and its impact on yeast fermentation**. Biofuel production-recent developments and prospects 1530:85-100. 2011.

Beluci, L. R. **Maturadores químicos e seus efeitos na cana-de-açúcar**. Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical e subtropical. 2021.

Blackburn, F. **Sugarcane**. New York: Longman. 414 p. 1984.

Bordonal, R.D.O., Carvalho, J.L.N., Lal, R. Figueiredo, E.B., Oliveira, B.G., Scala Jr, N. **Sustainability of sugarcane production in Brazil**. A review. **Agron. Sustain. Dev.** **38**, 13 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>.

Bovi, R.; Serra G. E. **Impurezas fibrosas da cana-de-açúcar e parâmetros tecnológicos do caldo extraído**. Scientia agricola. Piracicaba, v.56, n.4, oct/dec. 1999.

Bovi R, Serra, G.E. **Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmo e a clarificação do caldo de cana-de-açúcar**. Scientia agricola 58:457-463. 2001.

Borsuk, L. G. M. **Comparação de produtividade entre cultivares de cana-de-açúcar com variedade de cana-energia**. Encontro internacional de produção científica da Unicesumar. 2021. ISSN: 2594-4991.

Braibante, M.E.F., Pazinato, M.S., Rocha, T.R., Friedrich, L.S., Nardy, F.C. **A cana-de-açúcar no Brasil sob um olhar químico e histórico: uma abordagem interdisciplinar**. Química nova na escola 35:3-10. 2013.

Bressiani, J. A. **Cana-energia: a matéria-prima das biorrefinarias**. Revista Opiniões Sucroenergético. Disponível em: <https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/15-cana-energia-materia-prima-das-biorrefinarias/>. Acesso em: 18/02/2023.

Buzo, F.H. **Aplicação de preparado enzimático como coadjuvante no controle de formação de espuma em um processo de fermentação alcoólica em escala industrial**. 2020. Dissertação (Mestrado Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP Araraquara.

Cana Online. **Granbio apresenta uma “super variedade de cana” em evento sobre novidades tecnológicas**. 2018. Disponível em: <
<http://www.canaonline.com.br/conteudo/granbio-apresenta-umasuper-variedade-de-cana-em-evento-sobre-novidades-tecnologicas.html>>. Acesso em: 18/04/2023.

Carneiro, A.E.V., Trivelin, P.C.O., Victoria, R.L. **Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana planta**. Scientia Agrícola 52:199-209. 1995.

Carvalho-Netto, O. V., Bressiani, J. A., Soriano, H. L., Fiori, C. S., Santos, J. M., Barbosa, G. V. S., Xavier, M. A., Landell, M. G. A., Pereira, G. A. G. **The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry**. 2014. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. DOI: 10.1186/s40538-014-0020-2

Canal da Bioenergia. **Cana-de-açúcar ideal para cogeração de energia**. 2021. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/supercana-e-solucao-para-aumentar-cogeracao-de-energia/>>. Acesso em: 18/02/2023.

Canal Jornal da Bioenergia. **RB975201**. 2016. Disponível em: <
<https://www.canalbioenergia.com.br/variedades-rb-ocupam-65-das-areas-cultivadas-com-cana-em-sp-e-ms/rb975201-4/>>. Acesso em: 18/04/2023.

Carvalho, J.N.L., Nogueiro, R.C., Menandro, L.M.S., Bordonal, R.O., Borges, C.D., Cantarella, H., Franco, H.C. **Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review**. Gcb Bioenergy 9(7):1181-1195. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12410>

Canaoeste. Equipe de Campo – Praga Zero. Disponível em:<
<https://www.canaoeste.com.br/servicos/programa-praga-zero/>>. Acesso em: 11 fev. 2023. 2013.

Casagrande, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep. 157 p. 1991.

Castro, P.R.C., Christoffoleti, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In.: Mendonça AF (Ed.) **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico**. Maceió: Insecta, p. 3-48. 2005.

Chavan, S. M.; Kumar, A.; Jadhav, S. J. **Rapid quantitative analysis of starch in sugarcane juice**. International Sugar Journal, Glamorgan, v. 93, n. 107, p. 56-59, 1991.

Cherubin, R.A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica**. Tese apresentada para obtenção do título de doutor em Agronomia ESALQ. 2003.

Clarke, M.A., Legendre, B.R. **Qualidade da cana-de-açúcar: impactos no rendimento do açúcar e fatores de qualidade**. STAB: açúcar, álcool e subprodutos 17(6):24. 1999

Costa, G. H. G., Masson, I. S., Roviero, J. P., Mutton, M.J.R. **Reflexos no processamento de cana-de-açúcar bisada na qualidade do açúcar VHP**. B.CEPPA, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 281-288, jul./dez. 2014

Costa, G.H.G., Freita, C.M., Mendes, F.Q., Mutton, M.J.R. **Extrato de sementes de moringa como flocculante de caldo de cana-de-açúcar**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.10, p.1794-1798, out. 2016 DOI: 10.1590/S0100-204X2016001000012

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2019) **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2018/19 - n.4**. Brasília: Conab, 75p.

Corrêa, A.C. **Composição química e características sensoriais de cachaças monodestiladas produzidas com leveduras selecionadas e fermento natural**. Tese para obtenção do título de Doutora em Ciências. USP. 2020.

CONSECANA, Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Piracicaba: CONSECANA, 112p. 2006

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

Cursi, D.E., Hoffmann, H.P., Barbosa, G.V.S., Bressiani, J.A., Gazaffi, R., Chapola, R.G., Fernandes Junior, A.R., Balsalobre, T.W.A., Diniz, C.A., Santos, J.M., Carneiro, M.S. **History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil**. Sugar Tech 1:1-22. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00951-1>

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

D'hont, A. Grivet, L., Feldmann, P., Glaszmann, J.C., Rao, S., Berding, N. **Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics**. Molecular and General Genetics 250:405-413. 1996.

Denham, T. **Sugarcane: Origins and Development**. In.: Smith C (Ed.) Encyclopedia of Global Archaeology. New York, NY: Springer New York, p. 7121–7123. 2014.

Dias Neto, A.F., Albiero, D., Rossetto, R., Biagi, J.D. **Modeling of mechanized sugarcane harvesting to support decision-making on asset management**. Sugar Tech 24(3):798-812. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01126-2>

Dodić, S., Popov, S., Dodic, J., Rankovic, J., Zavargo, Z., Mucibabic, R.J. (2009) **Bioethanol production from thick juice as intermediate of sugar beet processing**. Biomass and Bioenergy 33(5):822-827. 2009.

Duft, D. **Será que você sabe o que é cana-energia?**. Disponível em: <https://www.inteliagro.com.br/o-que-e-cana-energia/>. Acesso em: 18/02/2023.

Fermentec. **Ácido aconítico é o principal ácido da cana-de-açúcar**. 2012. Disponível em < <https://fermentecnews.com.br/2012/07/17/acido-aconitico/#:~:text=O%20%C3%A1cido%20trans%20acon%20%C3%ADtico%20%C3%A9,na%20cana%20de%20da%C3%A7%C3%BAcar.>> Acesso em 12/02/2023.

Fernandes, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 66p. 2000.

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

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

Figueira, J. A., Carvalho, P. H. Sato, H. H. **Sugarcane starch: quantitative determination and characterization**. Original Papers Food Sci. Technol 31 (3). 2011.

Figueiredo, I.C., Maciel, B.F., Marques, M.O. et al. (2008) **A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de álcool**. Nucleus ISSN-e 1982-2278, Nº. Extra 1, 2008 (Ejemplar dedicado a: Universidade da Cana), págs. 1-11. 2008.

Garcia, D.B., Ravaneli, G.C., Madaleno, L.L., Mutton, M.A., Mutton, M.J.R. (2010) Damages of spittlebug on sugarcane quality and fermentation process. Plant Pathology. Scientia. agricola. (Piracicaba, Braz.) 67 (5) • Oct 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500009>

Finguerut, J., Paes, L.A.D. **Impurezas e qualidade da cana-de-açúcar**. Centro de Tecnologia Canavieira, 2014. Disponível em: < http://www.stab.org.br/palestra_ws_limpeza_da_cana/JAIME_FINGUERUT.pdf>.

Freita, L.A. **Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino**. Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em microbiologia agropecuária. 2013.

Folin, O.; Ciocalteu, V. **On tyrosine and tryptophane determinations in proteins**. The 309 Journal of Biological Chemistry, v. 73, n.2, p.627-50, 1927.

Garofalo, D.F.T., Packer, A.P., Ramos, N.P., Kondo, V.Y., Matsuura, M.I.da S., F., Cabral, O.M.R. **Dinâmica na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: 1990 a 2018**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 41p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos 124). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1125169>. 2020.

Gimenez, A.Z., Franzé, R.V., Madaleno, L.L. **Teores de impurezas vegetais e a concentração do amido no caldo de cana**. Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal(SP), v.8, n.1, p. 42-53, 2016. (ISSN: 2178-9436).

Goldemberg, J., Coelho, S.T., Guardabassi, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane**. Energy policy 36(6) pg. 2086-2097. 2008

Granbio. **O que é Cana-Energia?** Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>>. Acesso em: 22 jan 2023. 2017.

Granbio. **Variedades Vertex para ambientes restritivos**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355063/32772467/Jose%CC%81+Bressiani.pdf/69cb6c5f-d27e-a7ef-6285-8a40ac1c3040>>. Acesso em 18/04/2023.

Gupta, V., Raguvanshi, S., Gupta, A., Saini, N., Gaur, A., Khan, M.S., Gupta, R.S., Singh, J., Duttamajumder, S.K., Srivastava, S., Suman, A., Khurana, J.P., Kapur, R., Tyagi, A.K. **The water-deficit stress- and red-rot-related genes in sugarcane**. Functional Integrative Genomics 10(2):207-214. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10142-009-0144-9>.

Holanda, L.A. **Desgastes das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar**. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) UNESP, Botucatu. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) **Censo Agro 2017**. Disponível em <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html>. Acesso em: 04 fev.2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) **Produção de cana-de-açúcar – 2022**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>> Acesso em: 11 fev. 2023.

Junior, C. N. S. **Produção de etanol de cana energia por *Pichia kudriavzevii* comparado com métodos convencionais**. Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Microbiologia Agropecuária. 2020.

Lamas, F.M. **A tecnologia na agricultura**. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, Brasília: Embrapa. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 06 fev. 2023. 2017

Lane, J. H., Eynon, L. **Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator**. London: Normam Rodge. 1934.

Lee, S. S.; Robison, F. M.; Wang, H. Y. 1981. Rapid Determination of Yeast Viability. Biotechnology and Bioengineering Symp, p. 641–649, 1981.

Lee, S. S.; Robison, F. M.; Wang, H. Y. 1981. **Rapid Determination of Yeast Viability**. Biotechnology and Bioengineering Symp, p. 641–649, 1981.

Lima, J.R.T. **Colheita mecanizada da cana-de-açúcar: o que nos revelam os especialistas do setor sobre as motivações e impeditivos da sua adoção na realidade canavieira de Alagoas?**. Estudos Sociedade e Agricultura 29(1):219-246. 2021.

Magri, N. T. C. **Correlação entre a qualidade do caldo de cana-de-açúcar e infecção por *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* agente causal do raquitismo das soqueiras**. Tese apresentada para obtenção do título de doutora em ciências. Universidade de São Paulo. 2020.

Mariano, J. **Cana-energia: a revolução sucroenergética está começando**. Disponível em: < <https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-201015>> . Acesso em 15/02/2023.

Marques, T.A., Neves, L.C.G., Rampazo, E.M., Junior, E.L.D., Souza, F.C. e Marques, P. A. A. **TRS value of sugarcane according to bioenergy and sugar levels**. Crop Production • Acta Sci., Agron. 37 (3) • Set 2015 . DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19065>.

Masson IS, Costa GHG, Roviero JP, Freita LA, Mutton MA, Mutton MJR (2015). **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. Ciência Rural, 45:1695-1700.

Matsuoka, S., Kennedy, A.J., Santos, E.G.D., Tomazela, A.L., Rubio, L.C. **Energy cane: Its concept, development, characteristics, and prospects**. Advances in Botany. Volume 2014, Article ID 597275, 13 pg. 2014.

May, A., Durães, F.O.M., Filho, Shaffert, R.E., Parrella, R.A.C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G–tecnologia qualidade Embrapa**. Doc 139. ISSN 1518-4277. 2012.

Mello, F. A. D., Peterson, M., Moraes, J.I. **Influência de impurezas na avaliação da qualidade da cana através do sistema de pagamento da cana-de-açúcar pelo teor de sacarose**. Cad. 6mega Univ. Fed. Rural PE. Sér. Agron., Recife, n. 6, p. 65-82, 1994.

Monzoni, M., Carvalho, A. P. D., Canelas, P. P. L., Breviglieri, G. V., Bartolomei, M. P., Lima, G. B. B. P. **Tendências e oportunidades na economia verde: energias renováveis**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces). 2010.

Moraes, M.L., Bacchi, M.R.P. **Etanol: do início às fases atuais de produção**. Revista de Política Agrícola 23(4):5-22. 2015.

Mutton, M.J.R. **Produzir matéria-prima com qualidade envolve obrigatoriamente o compromisso da agrícola e da indústria**. Cana Online. 2020. Disponível em <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/produzir-materia-prima-com-qualidade-envolve-obrigatoriamente-o-compromisso-da-agricola-e-da-industria.html>>. Acesso em 18/04/2023.

Mutton, M.J.R. **Efeitos de impurezas sobre a sistemática de pagamento de cana-de-açúcar pela qualidade**. 1990. Tese (Doutorado Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – USP ESALQ.

Mutton, M.J.R., Garcia, G.G., Teixeira, V., Silva, A.F., Costa, G.H.G., Ferreira, O.E. **The clarification of sugarcane juice and the use of CA-11 yeast produces better quality cachaça**. Revista Ciência Agronômica. V.51 nº 4 2020. ISSN 1806-6690.

Mutton, M.J.R., Mutton, M.A. **Maturadores químicos em cana-de-açúcar: efeitos na fermentação etanólica e microbiota do mosto** in.: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., 2002, Recife. **Anais**. Recife: Stab, 2002. p.452-457.

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.

Maxuel, A.A., Hornink, G.G. **Saccharomyces cerevisiae**. Boletim 3 Série Microrganismos. UNIFAL-MG. 2022.

Neto, H.F.S. **Aspectos agrotecnológicos, florescimento, impurezas vegetais e produção de bagaço de cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Agronomia. 2010.

Neves, J.L.M., Magalhães, P.S.G., Ota, W.M. **Sistema de Monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24. n.3, p. 764-770. 2004.

Noceli, R.C.F., Zambon, V., Silva, O.G.M., Morini, M.S.C. **Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica.** In.: Fontanetti CS, Bueno OC (Org.) Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica. Bauru: Canal 6 Editora, p. 89-102.

Nova cana. **Cana-de-açúcar: a cultura que potencializou o Brasil.** Disponível em: <<https://agropos.com.br/cana-deacucar/#:~:text=As%20principais%20tecnologias%20com%20potencial,tratos%20culturais%20e%20a%20colheita>>. Acesso em: 06 jan. 2023. 2013.

Oliveira, M.R.B., Filho, R.F.S., Mattos, E.C., Pereira, E.B., Baptista, A.S. **Produção de etanol a partir do melaço de cana.** REA – Revista de estudos ambientais (Online) v.21, n. 1, p.38-45, jan./jun. 2019. DOI: 10.7867/1983- 1501.2019v21n1p38-45.

Paes, L.A.D. **Levantamento dos níveis de impurezas nas últimas safras. Centro de Tecnologia Canavieira.** 2011. Disponível em <<http://stab.org.br/impurezas/Luiz.pdf>>. Acesso em: 18/04/2023.

Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A.S., Hatziloukas, E. **Saccharomyces cerevisiae and its industrial applications.** AIMS microbiology 6(1):1-31. 2020. DOI: [10.3934/microbiol.2020001](https://doi.org/10.3934/microbiol.2020001).

Parazzi, C., Papin, L., Belluco, A.E.S. **Hidrólise enzimática do amido do caldo da cana-de-açúcar na fermentação etanólica.** Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente. v.5 n.1. 2017.

Pardo, M., Ward, M., Bains, S., Molina, M., Blackstock, W., Gil, C., Nombela, C. A proteomic approach for the study of *Saccharomyces cerevisiae* cell wall biogenesis. ELECTROPHORESIS: An International Journal 21(16):3396-3410. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/1522-2683\(20001001\)21:16<3396::AID-ELPS3396>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1522-2683(20001001)21:16<3396::AID-ELPS3396>3.0.CO;2-J).

Ramos, C.R.G. **Metodologia para determinação do índice de colheitabilidade para avaliar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2016.

Ramos, C.R.G., Lanças, K. P., Santos, R.S., Silva, R.L. **Perdas e impurezas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes configurações de trabalho da colhedora.** Energia na Agricultura 31(4):317-327. 2016. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n4p317-327>.

Ravaneli, G, C. **Qualidade da matéria-prima, microbiota fermentativa e produção de etanol sob ataque de Mahanarva fimbriolata em cana-de-açúcar.** 105p., 2010. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. FCAV/UNESP. Jaboticabal, 2010.

Ricci, A.C.G. **Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por meio de ozonização e processo oxidativos avançado eletroquímico**. Tese para obtenção do título de Doutor em Ciências. Universidade de São Paulo. 2020.

Ribeiro, M. L.D., Ferreira, O.E., Teixeira, V., Mutton, M.A., Mutton, M.J.R. **Tratamento físico-químico do caldo de cana produz cachaça de qualidade**. Revista Ciência Agronômica. 48. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170053>.

Ribeiro, N.N. **Caracterização das condições fermentativas da levedura *Pichia membranifaciens* para produção de etanol de segunda geração**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária. 2019.

Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

Ripoli T.C.C., Ripoli M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Edição dos Autores, 333 p. 2009

Roche Couste, E. **Weed control in sugar cane: research and application** In.: Weed control in sugar cane: research and application, p. 1-13. 1967.

Rodgher, V.S., Stradiotto, N.R., Zanoni, M.V.B., Barros, A.A. **Eletroanálise de derivados acetaldeído com hidrazina e determinação em amostras de álcool combustível por voltametria de onda quadrada**. Quim. Nova. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000400007>.

Rodrigues, G.S.S.C., Ross, J.L.S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: Edufu, 272p. 2020.

Santos, D. **Ecofisiologia da cana-de-açúcar: Recomendações técnicas para cultura da cana-de-açúcar no estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agronômico. 1977.

Santos, I.J. **Cinética de fermentações e estudo de metabólitos e enzimas intracelulares envolvidas na fermentação alcoólica cervejeira conduzidas com leveduras de alta e baixa fermentação em diferentes composições de mosto**. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

Santos, L.J.D. **Uso de inteligência artificial para quantificar e classificar impurezas em cana-de-açúcar para fins industriais**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2021.

Schneider, F. **Sugar Analysis ICUMSA methods**. Peterborough: ICUMSA , p.265. 1979.

Schaffert, R.E., Parrella, R.A.C. **Planejamento industrial**. In: May A, Durães FOM, Pereira Filho IA, Schaffert RE, Parrella RAC (Eds.) Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 85-92. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139). 2012.

Segato, S.V., Mattiuz, C.F.M., Mozambani, A.E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, p. 19-36. 2006

Seleglim, A.R. **Estratégias para o controle da broca peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera, Erebidæ), em cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2020.

Silva, F. S. G., Machado, G., Silva, F. C., Marchiori, L. F. S., Castro, A., Silva, V. F. **Avaliação experimental e panorama da cana energia na cadeia produtiva sucroenergética: caracterização e identificação de potencialidades**. 2019. 8ª Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu.

Silva, L. N., Nuñez, D. N. C. **Influence of ripeners on RTS accumulation in sugarcane f. Poaceae**. *Brazilian Journal of Science*, 2(1), 1–6. 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.244>

Silva, M. D. A., Carlin, S. D., Campana, M. P., Landell, M. D. A., Perecin, D., Vasconcelos, A. C. M. **Brotação da cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação**. STAB: Açúcar Alcool e Subprodutos, 22, 28-31. 2003.

Silva, M.A., Carlin, S.D., Perecin, D. **Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar**. Revista Ceres 51:457-466. 2004.

Silva, M.A., Landell, M.G.A., Campana, M.P., Xavier, M.A. **Produtividade de Mudas Sob Diferentes Densidades de Plantio em Viveiro Oriundo de Cultura de Meristema**. STAB 8:538-543. 2002.

Silva, V.S.G.; Silva, J.C.T.; Reis, R.M.S.; Silva, C.A.; Clemente, P.R.A.; dos Santos, L.A. **Fenóis e fósforo inorgânico no caldo de quatro variedades de cana-de-açúcar**. 5º Encontro Nacional de Tecnologia Química. 2012.

Silva, M.V. **Efeito da adição de compostos fenólicos sobre o crescimento de levedura etanológica (*Saccharomyces* sp.) em meio sintético e em caldo de cana-de-açúcar**. Dissertação para título de Magister Scientiae. UFV. 2013.

Silva Neto, H. F. D. **Qualidade da cana-de-açúcar avaliadas nas partes do colmo**. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2014.

Silva, P. M. **Desenvolvimento de metodologia para determinação de álcoois superiores em álcool combustível, utilizando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção eletroquímica.** Dissertação de Mestrado em química. UNESP. 2009.

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.

Silveira, G. M. **Curvas de maturação em cana energia.** Dissertação para obtenção do título de mestre em Ciências. Universidade de São Paulo. 2019.

Sonego, J.L.S. **Estudo da produção de etanol de sacarose por fermentação extrativa utilizando arraste com dióxido de carbono.** 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2016.

Souza, Z.M. Prado, R.M., Paixão, A.C.S., Cesarin, L.G. **Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar.** Pesquisa Agropecuária Brasileira 40:271-278. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300011>.

Stupiello, J.P. **Nitrogênio Qualidade da matéria prima e efeitos na fábrica.** STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos 19(4):13. 2001.

Stupiello, J.P., Fernandes, A.C. **Qualidade da matéria-prima proveniente das colhedoras de cana picada e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar.** STAB 2(2):45-49. 1984.

Suriano, A., Segato, S.V. **Controle de *Mahanarva fimbriolata* com uso do inseticida thiamethoxan em aplicação conjunta à colhedora de cana-de-açúcar.** Nucleus, Edição Especial:105-112. 2009.

Tanimoto, T. **The press method of cane analysis.** Hawaiian Planther's Record, Honolulu, 51 (2):133-150, 1964.

Thomas, A.L. **Desenvolvimento da planta de cana-de-açúcar.** 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia/UFRGS, Porto Alegre. 2015.

Toledo, F.S. **Origens: Indígenas e paulistas.** Jundiaí: Paco e Littera, 2022.

Vedana, R., Rodrigues, K., C. T.T., Parré, J.L., Shikida, P.F.A. **Distribuição espacial da produtividade de cana-de-açúcar no Brasil.** Revista de Política Agrícola 28(4):121. 2019.

Vian, C.E.F., Gonçalves, D.B. **Modernização empresarial e tecnológica e seus impactos na organização do trabalho e nas questões ambientais na agroindústria canavieira**. Economia Ensaios 22(1):1-30. 2007.

Vian, C. E. F. **Qualidade de matéria-prima**. 2022. Disponível em <

Vieira, A. **Canaviais, açúcar e aguardente na Madeira**. Funchal:Ceha, 447p. 2004.

Walker, G.M. **Yeasts**. In.: Schaechter M (Ed.). Desk encyclopedia of microbiology. Cambridge:Academic Press/Elsevier, p. 1174-1187. 2009.

Walker, G.M., Stewart, G.G. **Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages**. Beverages 2(4):30. 2016.

Wheals, A.E.,Basso, L.C., Alves, D.M.G., Amorim, H.V. **Fuel ethanol after 25 years**. Trends in biotechnology volume 17 pg 482-487. 1999.

Yang, S., Zeng, K., Chen, K., Wu, J., Wang, Q., Li, X., Deng, Z., Huang, Y., Huang, F., Chen., R., Zhang, M. **Chromosome transmission in BC4 progenies of intergeneric hybrids between *Saccharum* spp. and *Erianthus arundinaceus* (Retz.) Jeswiet**. Scientific Reports 9(1):2528. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38710-8>.