

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

**QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA NAS
PARTES DO COLMO**

Hélio Francisco da Silva Neto

Engenheiro Agrônomo

2014

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

**QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA NAS
PARTES DO COLMO**

Hélio Francisco da Silva Neto

Orientador : Prof. Dr. Marcos Omir Marques

Coorientador: Dr. Luiz Carlos Tasso Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

2014

Silva Neto, Hélio Francisco
S586q Qualidade da cana-de-açúcar avaliada nas partes do colmo. / Hélio
Francisco da Silva Neto. -- Jaboticabal, 2014
iv, 141 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: Marcos Omir Marques

Coorientador: Luiz Carlos Tasso Júnior.

Banca examinadora: Cláudio Lima de Aguiar, Tadeu Alcides
Marques, Wanderley José de Melo, José Marques Júnior

Bibliografia

1. Açúcar. 2. Bioenergia. 3. Entrenó. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:664.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA NAS PARTES DO COLMO

AUTOR: HÉLIO FRANCISCO DA SILVA NETO

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCOS OMIR MARQUES

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ CARLOS TASSO JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCOS OMIR MARQUES
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. CLAUDIO LIMA DE AGUIAR
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição / ESALQ / USP / Piracicaba/SP


Prof. Dr. TADEU ALCIDES MARQUES
Departamento de Agricultura / Faculdade de Agronomia / UNOESTE / Presidente Prudente/SP


Prof. Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 27 de junho de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Hélio Francisco da Silva Neto – nascido no dia 27 de fevereiro de 1985 na cidade de Catanduva, Estado de São Paulo, onde cursou o ensino fundamental e médio. Em fevereiro de 2003 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, campus de Jaboticabal. Durante o curso desenvolveu trabalhos voltados para a fitotecnia da cultura do amendoim. Em 2008 obteve o título de Engenheiro Agrônomo e no mesmo ano ingressou no Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela mesma Universidade. Durante o curso foi bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e desenvolveu pesquisas referentes à cultura da cana-de-açúcar, abordando temas relacionados à qualidade da matéria prima e comparação agroindustrial entre cultivares de cana. No dia 22 de julho de 2010 obteve aprovação da banca examinadora na defesa de sua dissertação de mestrado. No mesmo ano foi aprovado em primeiro lugar no processo seletivo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, para o Curso de Doutorado. Durante o curso foi bolsista CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), desenvolvendo trabalhos relacionados à área do setor sucroenergético, com ênfase em Fitotecnia e Tecnologia do Açúcar e do Alcool, atuando principalmente nos seguintes temas: caracterização agroindustrial dos cultivares de cana-de-açúcar, qualidade da matéria prima, manejo varietal, produção de bioenergia e experimentação agrícola. Até o presente momento organizou e publicou 2 livros, 17 capítulos de livros, 28 artigos em periódicos científicos e revistas de divulgação, 260 trabalhos em anais de eventos nacionais e internacionais. Participou na coorientação de 24 alunos de graduação e de 27 bancas examinadoras de conclusão de curso. Organizou 7 eventos de extensão e popularização da ciência e tecnologia. É revisor científico da revista Nucleus e Membro do Grupo de Pesquisa Cana-de-açúcar e Derivados e do Grupo de Pesquisa Caracterização do Solo para fins de Manejo Específico (CSME).

A toda minha família

Dedico

AGRADECIMENTOS

À DEUS por me proteger em todos os momentos de minha vida.

A todos os meus familiares pelo carinho, amor, dedicação, compreensão, ajuda e atenção em mais esta conquista.

Ao professor Dr. Marcos Omir Marques pela confiança, ensinamentos e pelos momentos de sabedoria compartilhados. Com certeza o aprendizado adquirido permanecerá ao longo dos anos, assim como a minha gratidão.

Ao Dr. Luiz Carlos Tasso Júnior pelos conselhos profissionais e pessoais que foram de grande valia para a minha formação e que levo comigo seu exemplo de força, batalha e liderança.

Aos Engenheiros Agrônomos da Canaeste, Gustavo de Almeida Nogueira, Alessandra Durigan e Daniela Aragão Santa Rosa que participaram de forma efetiva da condução e avaliação dos experimentos agrícolas, contribuindo sempre com sua valiosa experiência na área.

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) que sempre foram solícitos e atenciosos.

Aos membros da Banca Examinadora da Qualificação (Prof. Dr. José Carlos Barbosa, Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Prof. Dr. José Marques Júnior, Profa. Dra. Luciana Maria Saran) e da Defesa do Doutorado (Prof. Dr. Wanderley José de Melo, Prof. Dr. Cláudio Lima de Aguiar, Prof. Dr. José Marques Júnior, Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques), que por meio de suas correções e sugestões, proporcionaram a melhoria deste trabalho.

Aos colegas de profissão e de laboratório, os mestrandos, Bruno Fernandes Modesto Homem, Fernando Abackerli de Pauli e Kaio César Raghianti pelos momentos de trabalho, pesquisa, festas e alegrias que vivenciamos juntos.

A todos os estagiários que participam e participaram do Grupo de Pesquisa Cana-de-Açúcar e Derivados, aqui representados pelo Eng. Agrônomo Antonio Carlos Pereira Lebre.

Ao técnico do Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol Wladimir Carnevalli por todas as atividades realizadas e pelos momentos de alegria e descontração presentes em todo o tempo de convívio.

Ao grande amigo Laerte Souza Bárbaro Júnior pelas divertidas conversas nos mais variados momentos de descontração.

Aos Engenheiros Agrônomos Fábio Camilotti e Juliano Henrique Bernardi pelo auxílio na realização dos trabalhos e amizade compartilhada.

Aos funcionários da FCAV, em especial, ao Marcelo Scatolin (Fazenda FEPE), à Elisabete Yoshie O. Ogassavara e Renata de Paula R. de Campos (secretárias do Departamento de Tecnologia) e Wilson Aparecido Cardoso de Oliveira (UAD)

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de estudo.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) que dispõe de excelente infraestrutura.

À cidade de Jaboticabal que me acolheu de forma cativante.

A todas as outras pessoas que, imperdoavelmente, por hora, esqueci de agradecer, mas que levarei comigo a lembrança de sua ajuda.

E por fim, a todos que estão lendo esta tese neste momento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	01
1. Introdução.....	01
2. Revisão de Literatura.....	02
2.1. Cenário da cultura no país.....	02
2.2. Características morfológicas da cana-de-açúcar.....	03
2.3. Qualidade da matéria-prima.....	06
3. Referências.....	07
CAPÍTULO 2 - Potencial de produção de açúcar e etanol pelas diferentes partes do colmo de cana-de-açúcar	10
Resumo.....	10
Introdução.....	10
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	13
Conclusões.....	22
Referências.....	22
CAPÍTULO 3 - Fósforo inorgânico e polissacarídeos em caldos extraídos de nós e entrenós do colmo de cana-de-açúcar, ao longo da safra.	25
Resumo.....	25
Introdução.....	25
Material e Métodos.....	26
Resultados e Discussão.....	28
Conclusões.....	34
Referências.....	35
CAPÍTULO 4 - Teores de polissacarídeos em diferentes partes do colmo de cana-de-açúcar (cultivares CTC 9, CTC 15 e CTC 16)	38
Resumo.....	38
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	41
Conclusões.....	43
Referências.....	44

CAPÍTULO 5 - Atividade enzimática em caldos extraídos de diferentes partes do colmo de cana	46
Resumo.....	46
Introdução.....	46
Material e Métodos.....	47
Resultados e Discussão.....	49
Conclusões.....	53
Referências.....	53
CAPÍTULO 6 - Atividade enzimática em caldo de cana-de-açúcar extraído de diferentes partes constituintes do colmo	56
Resumo.....	56
Introdução.....	56
Material e Métodos.....	58
Resultados e Discussão.....	59
Conclusões.....	67
Referências.....	68
CAPÍTULO 7 - Atividades da polifenoloxidase e peroxidase em caldo extraído de nós e entrenós da cana-de-açúcar	71
Resumo.....	71
Introdução.....	71
Material e Métodos.....	72
Resultados e Discussão.....	74
Conclusões.....	81
Referências.....	81
CAPÍTULO 8 - Potencial de contribuição das partes integrantes do colmo de três cultivares de cana-de-açúcar para produção de etanol celulósico e de energia elétrica	85
Resumo.....	85
Introdução.....	85
Material e Métodos.....	87
Resultados e Discussão.....	89
Conclusões.....	96
Referências.....	97
CAPÍTULO 9 – Considerações Finais	100
APÊNDICES	107
Apêndice A (material suplementar).....	108
Apêndice B (material ilustrativo suplementar).....	118
Apêndice C (material suplementar-Fluxograma).....	122
ANEXOS	130

QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADA NAS PARTES DO COLMO

RESUMO – O estudo detalhado das partes constituintes do colmo de cana, por meio de análises bioquímicas e tecnológicas, pode possibilitar o conhecimento minucioso da qualidade do caldo e assim, auxiliar em diversas ações ao longo do processo de industrialização. Sendo assim, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar diferentes partes do colmo de cultivares de cana-de-açúcar, e sua influência na qualidade da matéria-prima. As coletas dos colmos de cana ocorreram em área experimental da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FCAV/UNESP-Jaboticabal, SP. As análises bioquímicas e tecnológicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol da mesma Universidade. Os cultivares apresentaram diferenças em relação às variáveis estudadas, e o cultivar SP81-3250 apresentou os resultados mais satisfatórios. O caldo extraído dos entrenós apresentou maior porcentagem de sacarose aparente, teor de açúcares redutores totais, níveis de fósforo inorgânico e, menor teor de polissacarídeos e atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase. De modo inverso, o caldo dos nós apresentou baixa qualidade, durante toda a safra, evidenciando assim menor predisposição para a produção de açúcar. O terço superior do colmo e a presença da casca apresentaram maior atividade enzimática, o que poderia proporcionar caldo de cana mais escuro, dificultando a produção de açúcar de qualidade. A região do colmo representada pelo entrenó obteve maior potencial de geração de bioenergia.

Palavras-chave: açúcar, bioenergia, entrenó, enzima, etanol, *Saccharum spp*

QUALITY OF SUGARCANE EVALUATED IN STALKS PARTS

ABSTRACT – The detailed study of the constituent parts from sugarcane stalks by means of biochemical and technological analysis, may enable a thorough knowledge of the quality of the juice and thus aid in several actions throughout the process of industrialization. Therefore, this study was conducted in order to compare different parts of the sugarcane cultivars stalks, and their influence on the quality of the raw material. The collections of the sugarcane stalks occurred in Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão from FCAV/UNESP-Jaboticabal, SP. The biochemical and technological analyzes were performed at the Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol in the same University. The cultivars showed differences in the studied variables, and the cultivar SP81-3250 showed the most satisfactory results. The juice extracted from internodes had a higher percentage of apparent sucrose level, total reducing sugars, inorganic phosphorus levels and lower content of polysaccharides and enzymatic activity of polyphenol oxidase and peroxidase. In reverse, node juice had low quality, throughout the crop, showing their lower predisposition to produce sugar. The upper third of the stalk and the presence of the bark showed higher enzyme activity, which could provide cane juice darker, hindering the production of quality sugar. The region of the stalk represented by internode got greater potential for bioenergy generation.

Keywords: sugar, bioenergy, internode, enzyme, ethanol, *Saccharum spp*

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

A qualidade da matéria-prima interfere, de forma direta, no desempenho do processo industrial (ALONSO, 2006). Entretanto, as variáveis normalmente analisadas na cana-de-açúcar se atêm a avaliações voltadas à parte agrícola. A Indústria, por sua vez, tem suas necessidades atendidas apenas pelas variáveis tecnológicas de rotina, preconizadas pelo Consecana (Conselho formado por representantes de fornecedores de cana e da indústria), que permitem caracterizar superficialmente a qualidade da matéria-prima (SILVA NETO et al., 2011).

A metodologia adotada para avaliação da qualidade da cana-de-açúcar foi criada em 1998 e, com o passar do tempo, tem sofrido inúmeras alterações, fazendo com que atualmente o valor pago pela tonelada de cana seja realizado com base no ATR (Açúcar Total Recuperável), o qual é calculado por uma fórmula paramétrica, em que se considera a qualidade da cana e os preços médios de mercado dos produtos fabricados pela usina (açúcar e etanol) no mercado interno e internacional. Para a avaliação desta qualidade são realizadas as análises tecnológicas na cana, que incluem brix, porcentagem de sacarose aparente (POL), fibra e açúcares redutores (AR). Com base nessas informações, calcula-se o ATR da matéria-prima expressa em kg de ATR por toneladas de cana. De posse do valor acordado, para o quilograma de ATR, calcula-se o valor a ser pago por uma tonelada de cana.

Essa metodologia, por contemplar a qualidade, sobretudo, tem por princípio a remuneração mais justa da matéria-prima, servindo como incentivo aos produtores na busca constante por novas tecnologias de forma a se obter maiores receitas e menores custos de produção (SILVA NETO et al., 2011).

Muitos são os desafios a serem vencidos pela indústria. As avaliações da qualidade do caldo, normalmente realizadas, contemplam apenas uma parte das necessidades do processo de industrialização, de tal forma que outras poderiam ser inseridas, o que permitiria definir com maior exatidão a melhor época de colheita, o melhor destino definido ao caldo, se ele teria maior aptidão à produção de açúcar ou

etanol ou quais operações deveriam ser realizadas para adequar e potencializar o uso do mesmo.

Logicamente, para se atingir esses objetivos, o processo de produção precisaria evoluir em direção a novos equipamentos e etapas que, até então não são contempladas, visariam atender às necessidades, de forma específica.

Um exemplo disso seria em relação às partes que compõem o colmo e que são de interesse para a indústria, as quais além de apresentarem diferenças estruturais (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008), poderiam apresentar distinção na qualidade do caldo (SILVA NETO et al., 2011).

Sendo assim, o estudo detalhado das partes do colmo de cana, por meio de análises bioquímicas e tecnológicas, poderia possibilitar o conhecimento minucioso da qualidade do caldo e assim, auxiliar em diversas ações ao longo do processo de industrialização.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar diferentes partes do colmo de cultivares de cana-de-açúcar, e sua influência na qualidade da matéria-prima.

2. Revisão de literatura

2.1. Cenário da cultura no país

A produção da cultura em todo o território nacional alcançou a marca de 682.172 milhões de toneladas na safra 2011/2012, enquanto a safra anterior (2010/2011) obteve produção de 719.157 milhões de toneladas (5,4% maior em relação à safra 2011/2012). Novamente, o estado que mais colaborou para tais números foi o de São Paulo, com produção registrada na safra 2010/2011 de 427.946 milhões de toneladas, a qual foi 17,5% maior que a produção registrada para a safra 2011/2012 (364.285 milhões de toneladas) (AGRIANUAL, 2012).

A produtividade da cultura para o Brasil foi de 79,196 t ha⁻¹, valor este correspondente à safra 2010/2011, a qual obteve valor 0,4% acima da produtividade encontrada na safra 2011/2012 (78,889 t ha⁻¹). Quanto ao estado de São Paulo, a produtividade calculada na safra 2010/2011 foi de 85,007 t ha⁻¹, está por sua vez foi

1,7% maior em relação à produtividade encontrada na safra 2011/2012, a qual foi de 83,609 t ha⁻¹ (AGIANUAL, 2012).

Na safra 2012/2013, a área total cultivada foi de 9.685.470 hectares em todo o território brasileiro, e o Estado de São Paulo cultivou área de 5.210.612 hectares. A produção total brasileira foi de 596.629.800 toneladas, enquanto a paulista foi de 323.124.400 toneladas. A partir dos valores listados, pode-se calcular a produtividade desta safra, a qual foi, para o território nacional, de 61,600 t ha⁻¹ e para o Estado de São Paulo, 62,012 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2013).

A safra de 2013/2014 apresentou 9.784.404 hectares de cultivo em todo território brasileiro. Sendo que, o Estado de São Paulo cultivou área de 5.141.268 hectares. A produção total brasileira foi de 739.902.000 toneladas, enquanto a paulista foi de 411.301.000 toneladas. A partir dos valores listados pode-se calcular a produtividade desta safra, a qual foi para o território nacional de 75,62 t ha⁻¹, e para o Estado de São Paulo, 79,99 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2014).

2.2. Características morfológicas da cana-de-açúcar

A classificação botânica mais utilizada e aceita atualmente é a proposta por Cronquist (1981) e citada por Scarpari e Beauclair (2008), na qual a cultura da cana-de-açúcar é representada da seguinte forma:

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordem: Cyperales

Família: Poaceae

Tribo: Andropogoneae

Subtribo: Saccharininae

Gênero: *Saccharum* spp

Espécies: *Saccharum officinarum*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis* e *Saccharum edule*.

A cana-de-açúcar, segundo Daniels e Roach (1987), é definida como pertencente à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*. Também definida por Figueiredo et al. (2008) como planta de ciclo perene e própria de climas subtropicais e tropicais.

A cana é uma planta que perfilha, o que influencia todo o manejo desta cultura, com destaque às práticas de plantio. Este perfilhamento define, ainda, a capacidade que cada cultivar tem de rebrota, por meio das gemas não brotadas dos colmos cortados (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008). O perfilhamento pode ser afetado por diversos fatores como: luz, temperatura, umidade e nutrientes (ALEXANDER, 1973).

Alguns cultivares de cana-de-açúcar apresentam maior número de perfilhos, enquanto outros cultivares se desenvolvem e formam colmos mais rapidamente com menor produção de perfilhos. A produtividade da cultura é determinada, em grande parte, pela fase de perfilhamento (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008).

A propagação da cana-de-açúcar é, normalmente, feita por toletes, que contém uma ou mais gemas. A gema é definida como um colmo em miniatura, que contém nós, entrenós e primórdios de raiz (CASAGRANDE e VASCONCELOS, 2008).

O colmo é composto por nós e entrenós bem marcados¹ e se localiza acima do solo, tendo como função a sustentação das folhas e das panículas (MOZAMBANI et al., 2006), conduzir água e nutrientes do solo às folhas e armazenar açúcar (VALSECHI, 2008).

O colmo pode ser encontrado na forma ereta, semi-ereta ou decumbente de acordo com a idade da planta, sendo constituído por nós e internós (CESNIK e MIOCQUE, 2004).

Estudos envolvendo as partes do colmo são importantes para avaliar as diferenças existentes entre elas, cujas funções são distintas, tais como a maior atividade metabólica que ocorre no nó e o maior acúmulo de sacarose normalmente verificada no entrenó (SILVA NETO et al., 2010).

¹ Anexo - Material ilustrativo disponível no Anexo 1, página 131.

A região nodal¹ é definida por Mozambani et al. (2006) como importante para definir os cultivares de cana-de-açúcar, pois engloba a gema, anel de crescimento, cicatriz foliar e zona radicular, diferentes de um cultivar para outro.

O entrenó é a região do colmo de cana-de-açúcar situada entre dois nós. Pode se apresentar na forma cilíndrica, tumescente, conoidal, obconoidal, curvado ou bobinado¹ (SCARPARI E BEAUCLAIR, 2008). Seu diâmetro pode ser classificado em: fino (menores que 2 cm), médio (entre 2 e 3 cm) e grosso (maiores que 3 cm).

Segundo Scarpari e Beauclair (2008) os feixes vasculares, também conhecidos como “fibras” nas análises tecnológicas, são praticamente paralelos ao longo dos entrenós, mas acabam se “embaralhando” nos nós, permitindo ramificações necessárias para atingir as bainhas e folhas da planta. Os feixes vasculares são os canais transportadores de água e nutrientes entre o sistema radicular e todas as demais partes da planta. O tecido macio que envolve os feixes é formado por células que armazenam caldo contendo açúcar dissolvido. Assim, economicamente, o colmo se torna a parte mais importante da planta, pois o produto de interesse a ser extraído na indústria, o caldo, está localizado nesse local.

A casca, de composição mais resistente, envolve uma matriz de células parenquimatosas, com parede de espessura muito fina, em que estão encaixados os feixes vasculares. A chamada fibra é constituída da casca e feixes vasculares, e o tecido parenquimatoso é conhecido como medula. Estes dois, fibra e medula, são os tipos de materiais que compõem a fase sólida de um colmo de cana. O armazenamento do caldo de alta densidade e pureza ocorre nas paredes das células formadas pelo tecido parenquimatoso (SEGATO et al., 2006).

Os vasos condutores estão presentes desde as raízes às folhas da planta e são responsáveis pelo transporte da água e nutrientes. O fluido neste sistema condutor é variado em sua composição, caracterizado com menor pureza e mais diluído que o caldo que se encontra nas células de armazenamento (SEGATO et al., 2006).

Os feixes vasculares situam-se bem próximos uns dos outros, na casca e na região do nó, sendo que nestes locais o conteúdo de fibra é mais elevado. Nestas

¹ Anexo - Material ilustrativo disponíveis nos Anexos 2 e 3, página 131.

partes, o caldo pode apresentar menor pureza e menores teores de sacarose, pois possuem grandes quantidades de caldo vascular (SEGATO et al., 2006).

2.3. Qualidade da matéria-prima

De acordo com Fernandes (2003), o manejo agrícola e industrial feito de forma correta podem alterar consideravelmente a qualidade da matéria-prima, levando em conta as características intrínsecas da própria planta. Essas características definem o potencial de produção de açúcar e etanol.

Pode-se relacionar a quantidade de impurezas e a pureza dos açúcares presentes à qualidade da matéria-prima, sendo que essa pode sofrer alterações de acordo com os ambientes de produção, época de colheita, características dos cultivares, etc. (ALONSO, 2006).

Segato et al. (2006) explicaram que a qualidade da matéria-prima é definida pelas características físico-químicas e microbiológicas da mesma, sendo que elas afetam a recuperação do açúcar na fábrica e a qualidade do produto final. No passado, essa qualidade era determinada apenas pela quantificação da POL (teor de sacarose aparente).

Na definição de qualidade da matéria-prima, Stupiello (1992) cita que diversos são os fatores interferentes, tais como as características dos cultivares, o ambiente, o ataque de pragas e doenças, a maturação e o manejo agrícola e industrial.

De acordo com Marques et al. (2008), há dois tipos de fatores: os intrínsecos e os extrínsecos. Os fatores intrínsecos estão relacionados, mais precisamente, com teores de fibra, sacarose e açúcares redutores, ou seja, com a composição da cana. Essa composição, ou esses fatores, são alterados de acordo com o cultivar, o tipo de solo, os tratamentos culturais realizados e com as variações climáticas. Os fatores extrínsecos estão relacionados com as impurezas no colmo, ou seja, quantidade de terra, presença de pedras e areia, presença de plantas invasoras, compostos produzidos por microrganismos, etc.

Segundo Clarke e Legendre (1999), a velocidade de processamento da cana numa usina é bastante reduzida se a matéria-prima for de baixa qualidade. Como

consequência, há redução gradual da qualidade e da quantidade dos produtos finais produzidos.

Quanto aos processos de industrialização da cana, as produções de açúcar e etanol, de forma quantitativa e qualitativa, estão relacionadas à qualidade da matéria-prima.

3. Referências

AGRIANUAL 2012: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2012. 482 p.

AGRIANUAL 2013: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2013. 480 p.

AGRIANUAL 2014: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2014. 480 p.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sinke system**. Amsterdam: Elsevier, 1973, 752 p.

ALONSO, O. Estratégias para melhorar a qualidade da cana-de-açúcar para a indústria. In:_____. SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E. ; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livro Ceres, 2006. cap. 22, p. 361.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, FUNEP, 1991, 157 p.

CASAGRANDE, A.A.; VASCONCELLOS, A.C.M. Fisiologia da parte aérea. In.: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELLOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A.; **Cana-de-açúcar**. Campinas. IAC, 2008. P. 57-78.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.

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, v.17, n.6, 1999.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution. In Heinz, D.J. (ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Elsevier, Amsterdam, p.7-84, 1997.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba, STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, p. 193, 2003.

FIGUEIREDO, P. **Breve História da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L., VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. Cana-de-açúcar. IAC: Instituto Agrônomo, Campinas, 2008. 882 f.

MARQUES M. O.; MUTTON, M. A., NOGUEIRA, T. A. R., TASSO JÚNIOR, L. C., NOGUEIRA, G. A., BERNARDI, J. H. **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. 319p.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. de. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, F. M.. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. de (coord.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. cap. 1, p. 11-18

SCARPARI, M. S., BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e Botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 47-56.

SEGATO, S.V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. **Terminologias no Setor sucroalcooleiro**. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 2006, 415p.

SILVA NETO, H.F.; MARQUES, M.O.; SILVA, J.D.R.; TASSO JÚNIOR, L.C. Limitações e avanços tecnológicos na indústria da cana-de-açúcar. **PORTAL DIA DE CAMPO**, 2011. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23420&secao=Artigos%20Especiais>. Acesso em: 10 novembro. 2013.

SILVA NETO, H. F. TASSO JUNIOR, L. C.; SILVA, J. D. R.; MARQUES, D. MARQUES, M. O. Nós e entrenós de cana de açúcar armazenados por 168 horas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34, 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010. 1 CD.

STUPIELLO, J.P. **Produção de aguardente: qualidade da matéria-prima.** In: MUTTON, M.J.R., MUTTON, M. A. Aguardente de cana: produção e qualidade. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p.9-21, 93-132.

VALSECHI, O.A. **Características tecnológicas e avaliação da qualidade industrial da cana-de-açúcar.** 1st Ethanol Week: Sharing the Brazilian Experience Araras, SP. 1 a 5 de setembro de 2008.

CAPÍTULO 2 - Potencial de produção de açúcar e etanol pelas diferentes partes do colmo de cana-de-açúcar.

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo comparar nós e entrenós do colmo de cana, considerando os valores da POL (porcentagem de sacarose aparente), ART (açúcares redutores totais), e potencial produtivo de açúcar e etanol à partir do caldo extraído de três cultivares, ao longo do ano agrícola 2010/2011. O experimento foi desenvolvido na FCAV/UNESP-Jaboticabal, SP. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. O tratamento principal foi constituído pelos cultivares de cana-de-açúcar, o tratamento secundário pelas duas partes do colmo de cana e o ternário pelas épocas de análises distribuídas ao longo da safra. No caldo extraído foram quantificadas a POL e ART. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A partir dos valores médios obtidos, procedeu-se à estimativa da produção de açúcar especial e VHP e de etanol anidro e hidratado. Em relação às variáveis analisadas, pode-se afirmar que houve diferenciação entre os cultivares estudados. Os melhores resultados foram obtidos pelo cultivar SP81-3250 e o cultivar RB867515 apresentou os resultados menos satisfatórios. Quanto às partes componentes do colmo houve variação de comportamento caracterizado pela superioridade do entrenó. O potencial produtivo de açúcar e de etanol, obtidos pelas partes estudadas, foi crescente ao longo da safra, e o valor máximo coincidiu com a época de colheita recomendada para estes cultivares. Além disso, foi neste período que ocorreu a maior diferença entre as partes do colmo, permitindo a inferência da melhor qualidade do caldo dos entrenós.

Palavras-chave: entrenó, matéria-prima, cultivares, *Saccharum spp*

Introdução

A cana-de-açúcar é formada de raízes, folhas, flores e colmos (SEGATO, 2006). Os colmos, definidos como a parte acima do solo, são formados por nós e entrenós, os quais apresentam diferentes formatos e funções. A atividade metabólica da planta ocorre em sua maior parte nos nós, enquanto os entrenós têm como principal função o acúmulo da sacarose (SILVA NETO et al., 2010).

Dessa forma, a qualidade do caldo extraído dessas partes do colmo interfere, segundo a sua origem, na eficiência do processamento da cana (SILVA NETO et al., 2014). Scarpari e Beauclair (2008) revelaram ainda, que na parte do colmo representada pelo nó encontra-se um emaranhado de feixes vasculares,

responsáveis pela distribuição de água e nutrientes para as folhas. Neste local é encontrado um maior teor de fibra e conseqüentemente menor teor de sacarose.

De modo semelhante, em experimento realizado com cultivares de cana, Branco et al. (2010) observaram maiores valores da POL (porcentagem de sacarose aparente) e ART (açúcares redutores totais) no entrenó (13,97 e 14,90% cana respectivamente), quando comparado ao nó (12,08 e 12,93% cana, respectivamente).

Do ponto de vista qualitativo, Ripoli e Ripoli (2004) estabelecem os valores de 14 e 15% como valores mínimos da POL e ART na cana, respectivamente, para se obter boa eficiência no processo de produção de açúcar e etanol.

O acúmulo de açúcares na cana ao longo do tempo é expresso pelas curvas de maturação e, juntamente com o ambiente de produção, se prestam a caracterizar os cultivares. Sendo assim, Feliciano (2009), comparando o potencial de produção de açúcar e etanol de cultivares tardios, observou aumento do potencial produtivo ao longo da safra, sendo constatados os maiores valores aos 17 meses e meio, em condições de cana-planta de ano e meio.

Dentro deste contexto, em relação às partes do colmo, o potencial produtivo de açúcar ou etanol se diferencia. Homem et al. (2010) e Alvarenga et al. (2010), com base em uma avaliação pontual, num determinado momento da safra, concluíram que a maior produção se deu no entrenó (15 litros de etanol e 20 quilogramas de açúcar por tonelada, respectivamente, a mais que a produção encontrada no nó).

Entretanto, é importante que se conheça a evolução dessas variáveis ao longo do tempo, para se ter uma ideia do que realmente acontece com a matéria-prima e suas partes individualizadas, servindo para nortear a destinação dos caldos de diferentes origens de acordo com a parte do colmo.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo comparar nós e entrenós do colmo de cana, considerando os valores da POL, ART e potencial produtivo de açúcar e etanol a partir do caldo extraído de partes do colmo de três cultivares, ao longo do ano agrícola 2010/2011.

Material e Métodos

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP-Jaboticabal, SP¹. Sua altitude média é de 575 m acima do nível do mar, e sua localização geográfica é definida como: latitude 21° 15' 22"S e longitude 48° 18' 58" WG.

O clima é do tipo tropical com inverno seco, e classificado de acordo com o Sistema Internacional de Classificação Köppen, como Aw. A pluviometria média anual é de 1425 mm, com concentração de chuvas no verão e seco no inverno². O experimento foi instalado em um Latossolo-Vermelho, eutrófico, A moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999)³.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. O tratamento principal foi constituído pelos três cultivares de cana-de-açúcar⁴: RB867515, RB72454 e SP81-3250. Tais cultivares são classificados como de maturação do meio para o final de safra (MARQUES et. al., 2008).

O tratamento secundário considerou as duas partes do colmo de cana (nó e entrenó). Para o tratamento ternário utilizou-se as épocas de análises distribuídas ao longo do ano agrícola 2010/2011: 6, 7, 8, 9, 10 e 11 meses após a colheita da cana. A primeira análise (Época 6) foi realizada no dia 26/04/2010, aos 6 meses de idade, nas condições de cana soca (cana de terceiro corte).

No campo, o experimento era constituído por quatro blocos. Em cada bloco os cultivares eram representados pelas parcelas experimentais¹, dispostas ao acaso. Cada parcela era composta de cinco linhas de cana com 12 metros de comprimento e espaçamento de 1,5 metros entre elas, totalizando 90m². Considerou-se como área útil, em que se realizaram as amostragens, as três linhas centrais, descartando-se um metro de cada extremidade, resultando em uma área de 45m².

¹ Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figuras 1A a 3A, página 119.

² Anexo - Material disponível nos Anexos 4 a 7 página 132 e 133.

³ Material suplementar (Apêndice A), Tabelas 1A e 2A, página 109.

⁴ Anexo – Material disponível nos Anexos 8, a 10, paginas 133 a 135.

Por ocasião das amostragens, procederam-se às coletas de 15 colmos de cada parcela, sendo os mesmos cortados, em sequência na linha de plantio, de forma manual, com o uso de facção¹. O local de coleta era escolhido aleatoriamente no momento da amostragem. Após o corte, os colmos¹ eram despontados, despalhados, enfeixados, etiquetados¹ e encaminhados ao Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Etanol¹.

No laboratório, os colmos que compunham os feixes eram seccionados¹, com auxílio de uma serra elétrica portátil Skil 4003¹, em nós e entrenós. Cada uma das partes¹ era agrupada e submetida à ação de um desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II¹, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, era pesada uma porção de 500 g¹, a qual era encaminhada à prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II¹ para extração do caldo¹, de acordo com Consecana, SP (2006).

Após a filtração do caldo em algodão hidrófilo¹, procederam-se às análises tecnológicas, sendo determinados os teores de açúcares redutores (AR) e de açúcares redutores totais (ART), de acordo com o método proposto por Lane e Eynon (1923)¹. A partir desses resultados, procederam-se aos cálculos da POL. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A partir dos valores médios obtidos, procedeu-se à estimativa da produção de açúcar especial e VHP e de etanol anidro e hidratado, segundo Consecana, SP (2006).

Resultados e Discussão

Considerando os valores de POL e ART (Tabela 1), verifica-se que o cultivar SP81-3250 foi superior, enquanto que coube ao RB867515 os menores resultados. Porém, de modo geral, os valores obtidos ficaram aquém dos limites mínimos preconizados por Ripoli e Ripoli (2004).

¹ Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figuras 4A a 19A, páginas 119 e 120.

Tabela 1. Valores médios de POL (porcentagem de sacarose aparente na cana) e de ART (açúcares redutores totais na cana) obtidos de diferentes partes do colmo dos cultivares de cana-de-açúcar, ao longo da safra 2010/2011, além da análise estatística.

Causas de variação	POL		ART	
	-----	% cana	-----	
Cultivares (C)				
RB867515	10,86	b	12,07	c
RB72454	11,54	a	12,77	b
SP81-3250	11,76	a	13,03	a
Partes (P)				
Entrenó	12,80	a	14,17	a
Nó	9,99	b	11,07	b
Épocas (E - meses)				
6	8,11	e	9,73	e
7	9,28	d	10,76	d
8	10,97	c	12,17	c
9	12,49	b	13,63	b
10	14,76	a	15,86	a
11	12,72	b	13,58	b
Estatística-Teste F				
Blocos	2,90	^{NS}	3,05	^{NS}
Cultivares (C)	76,43	**	74,81	**
Partes(P)	2980,75	**	3064,50	**
Épocas (E)	512,51	**	373,99	**
Interação (C) x (P)	12,69	**	11,49	**
Interação (C) x (E)	4,14	**	3,61	**
Interação (P) x (E)	29,94	**	27,44	**
Interação (C) x (P) x (E)	1,94	^{NS}	1,88	^{NS}
Coefficiente de Variação (CV%)				
Cultivares (C)	3,26		3,15	
Partes (P)	2,72		2,66	
Épocas (E)	4,63		4,44	

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, em cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. NS e ** Não significativo e significativo ao nível de 1 % de probabilidade (Teste F), respectivamente.

Considerando nós e entrenós, é possível verificar a desuniformidade da distribuição dos açúcares ao longo do colmo. Como era de se esperar, os entrenós apresentaram os maiores valores. Essa irregularidade na distribuição dos açúcares decorre da diferenciação entre as partes no tocante à quantidade e morfologia dos feixes fibrovasculares e diversidade de estruturas determinantes da atividade metabólica nesses locais (SILVA NETO et al., 2014).

Nesse sentido, a distribuição paralela dos feixes fibrovasculares nos entrenós (SCARPARI E BEAUCLAIR, 2008) e a ocupação dos demais espaços dessa parte pelas células isodiamétricas acumuladoras de sacarose (MARQUES; MARQUES e TASSO JUNIOR, 2001) caracteriza tais locais como sendo de menor atividade metabólica em comparação aos nós, onde predominam emaranhado de feixes fibrovasculares, gemas laterais de brotamento, primórdios radiculares e anel de crescimento, cujas funções demandam energia adicional, o que explica os menores teores de sacarose resultantes da maior necessidade, nesses locais, de açúcares simples, fontes de energia química a ser liberada pela degradação oxidativa dos mesmos (respiração), de forma a viabilizar as respectivas funções na planta.

Na comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo (Tabelas 2 e 3) pode-se observar que o cultivar SP81-3250 apresentou os maiores valores da POL e de ART. De modo inverso e independente da parte considerada, os menores valores foram obtidos para o cultivar RB867515.

Na comparação entre as partes do colmo, de forma geral, os maiores valores de POL e ART ocorreram no entrenó. Ressalta-se ainda, que o cultivar SP81-3250 apresentou a maior diferença entre as partes estudadas, ou seja, o nó obteve 23,74% a menos de POL e 23,50% a menos de ART em relação ao entrenó. Resultados semelhantes foram obtidos por Branco et al. (2010) que também constataram a superioridade do entrenó quando comparado ao nó 13,97 e 12,08% respectivamente, para a POL e 14,90 e 12,93%, respectivamente para o ART.

Tabela 2. Efeito da Interação obtida entre cultivares (C) e partes do colmo (P), para os teores de porcentagem de sacarose aparente na cana (POL%cana).

CULTIVARES	ENTRENÓ	NÓ	TESTE F
RB867515	12,23 Ca	9,50 Bb	929,06**
SP81-3250	13,35 Aa	10,18 Ab	1259,38**
RB72454	12,82 Ba	10,27 Ab	817,69**
TESTE F	64,85**	35,65**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade (Teste F).

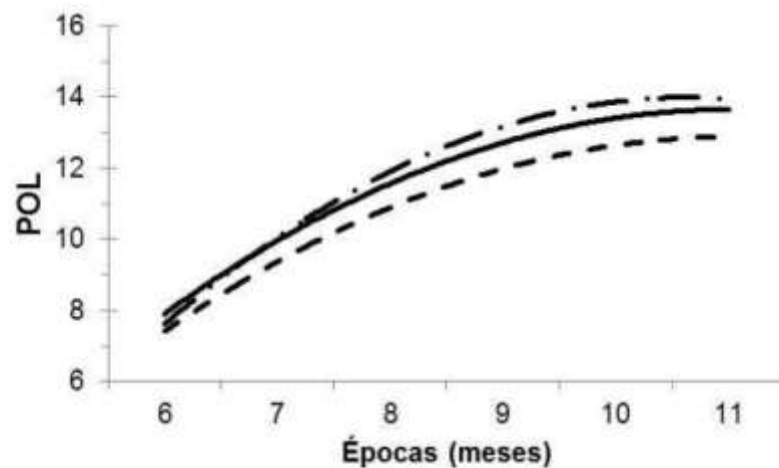
Tabela 3. Desdobramento da interação obtida entre cultivares (C) e partes da planta (P), para os teores de açúcares redutores na cana (ART%cana).

CULTIVARES	ENTRENÓ	NÓ	TESTE F
RB867515	13,56 Ca	10,58 Bb	943,06**
SP81-3250	14,77 Aa	11,30 Ab	1281,55**
RB72454	14,19 Ba	11,34 Ab	862,88**
TESTE F	64,68**	32,21**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade (Teste F).

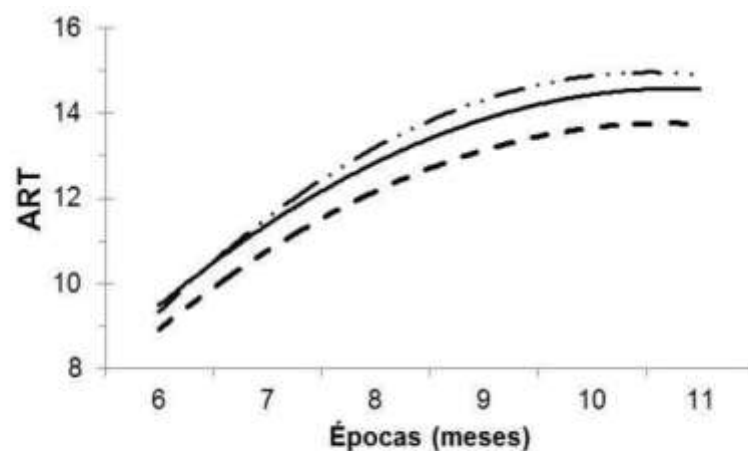
Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os efeitos da interação entre cultivares e épocas de análise para a POL e ART, respectivamente. Todos os cultivares estudados apresentaram aumento dos valores de POL e ART ao longo do período analisado, e se ajustaram ao modelo quadrático quando submetidos à análise de regressão polinomial. Em experimento objetivando comparar dezoito cultivares de cana, Ragghianti (2011) obteve aumento dos valores de AR e POL ao longo da safra, e na maioria dos cultivares tardios integrantes daquele estudo, também se ajustaram no modelo quadrático.

O maior valor foi encontrado aos 11 meses de idade do canavial. De modo semelhante, Feliciano (2009) também obteve aumento da qualidade do caldo ao longo da safra, porém seu maior valor ocorreu aos 17 meses. Entretanto, é importante ressaltar que o trabalho citado foi realizado nas condições de cana-planta de ano e meio.



Cultivares	Teste F	R ²	Equação
RB867515 (---)	148,41**	0,9583	$y = 7,40811480 + 0,09311036x - 0,00038697x^2$
SP81-3250 (-·-·)	265,15**	0,8918	$y = 7,58244920 + 0,11783530x - 0,00051724x^2$
RB72454 (-)	185,34**	0,9051	$y = 7,83558193 + 0,10166936x - 0,00043246x^2$

Figura 1. Desdobramento da interação entre cultivares (C) e épocas de análise (E), para os teores de porcentagem de sacarose aparente (POL%cana), além das equações de regressão¹. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade (Teste F).



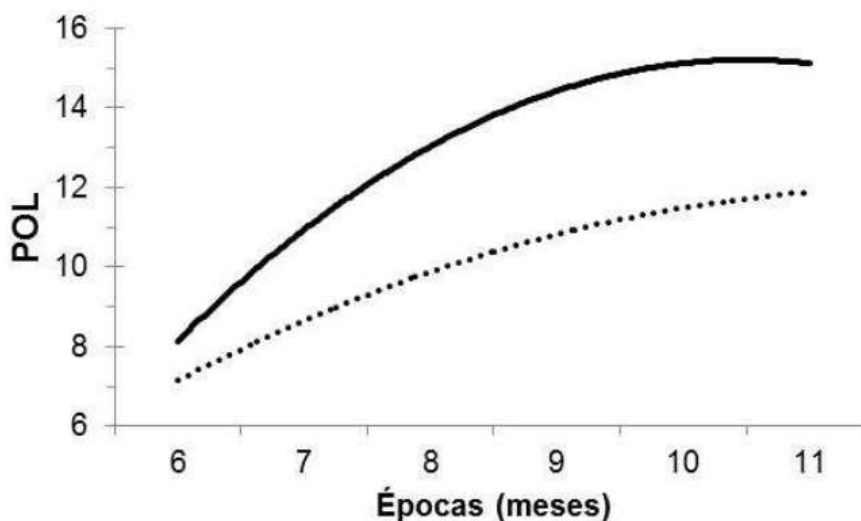
Cultivares	Teste F	R ²	Equação
RB867515 (---)	125,05**	0,9434	$y = 8,92939359 + 0,08736311x - 0,00037762x^2$
SP81-3250 (-·-·)	208,70**	0,8424	$y = 9,28688924 + 0,10814588x - 0,00048784x^2$
RB72454 (-)	148,84**	0,8785	$y = 9,41757945 + 0,09413136x - 0,00041197x^2$

Figura 2. Desdobramento da interação entre cultivares (C) e épocas de análise (E), para os teores de açúcares redutores na cana (ART% cana), além das equações de regressão². ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

¹ Material suplementar (Apêndice A), Tabela 3A, página 109.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 4A, página 109.

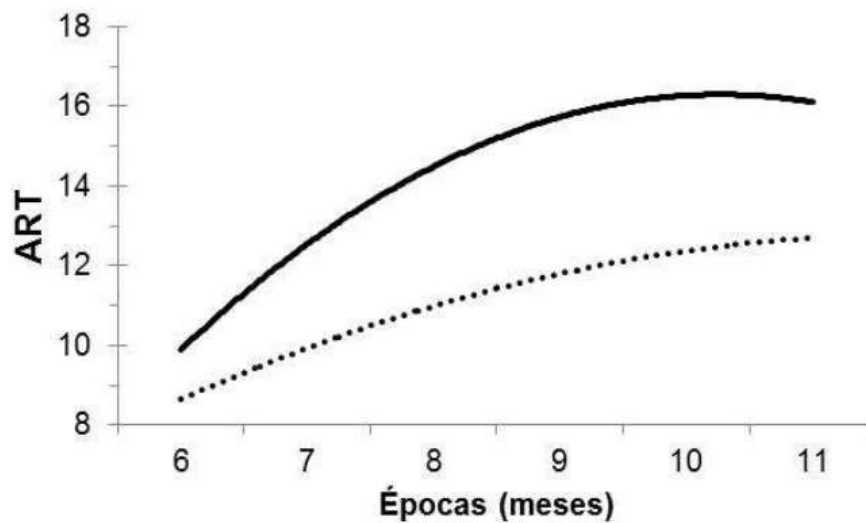
Em todas as épocas o entrenó foi superior ao nó, sendo que a maior diferença ocorreu no final da safra (Épocas 10 e 11), coincidindo com a época recomendada para colheita destes cultivares (MARQUES et al., 2008) (Figuras 3 e 4). Dessa forma, fica evidente a melhor qualidade do caldo no entrenó, desde as épocas iniciais de cultivo da cana até o ponto de colheita.



Cultivares	Teste F	R ²	Equação
Nó (····)	129,85**	91,53	$y = 7,08315355 + 0,07499654x - 0,00029555x^2$
Entrenó (—)	527,28**	91,74	$y = 8,13427707 + 0,13341348x - 0,00059556x^2$

Figura 3. Efeito da interação entre partes do colmo (P) e épocas de análise (E), para os valores de porcentagem de sacarose aparente (POL%cana), além das equações de regressão¹. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 5A, página 110.



Cultivares	Teste F	R ²	Equação
Nó (···)	92,74**	87,05	$y = 8,55093377 + 0,06615942x - 0,00026552x^2$
Entrenó (-)	451,87**	89,13	$y = 9,87164108 + 0,12693414x - 0,00058611x^2$

Figura 4. Desdobramento da interação entre partes do colmo (P) e épocas de análise (E), para os teores de açúcares redutores na cana (ART% cana), além das equações de regressão¹. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade (Teste F).

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 são expressos os valores médios da estimativa do potencial produtivo de açúcar especial, açúcar VHP, etanol anidro e etanol hidratado, respectivamente, dos nós e entrenós da cana-de-açúcar. Para as duas partes estudadas, houve aumento do potencial de produção até a época 10, seguido de uma diminuição nas amostras coletadas na última amostragem realizada. Porém, desde o início o entrenó foi superior ao nó, sendo que nas épocas iniciais a diferença entre eles foi de aproximadamente 13,34 quilogramas de açúcar VHP e 13,28 quilogramas de açúcar especial e 7,9 litros de etanol anidro e 8,24 litros de etanol hidratado, por tonelada. De modo semelhante, esta diferença entre as partes também foi comprovada por Alvarenga et al. (2010) e Homem et al. (2010). Os primeiros autores obtiveram maior produção no entrenó (aproximadamente 20 quilogramas por tonelada a mais do que no nó), enquanto os outros autores revelaram que com a venda do etanol obtido pelo maior potencial produtivo do entrenó, seria possível um ganho de U\$\$ 41,69 por tonelada.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 6A, página 110.

A maior diferença entre as partes do colmo ocorreu nas épocas finais, sendo que o entrenó, aos 10 meses, apresentou maior potencial de produção de açúcar e etanol (40 quilogramas de açúcar e 23 litros de etanol a mais por tonelada quando comparado ao nó). É importante ressaltar, para o ciclo de maturação destes cultivares, a colheita seria realizada justamente no período de maior diferença na produção de açúcar e etanol entre as partes do colmo.

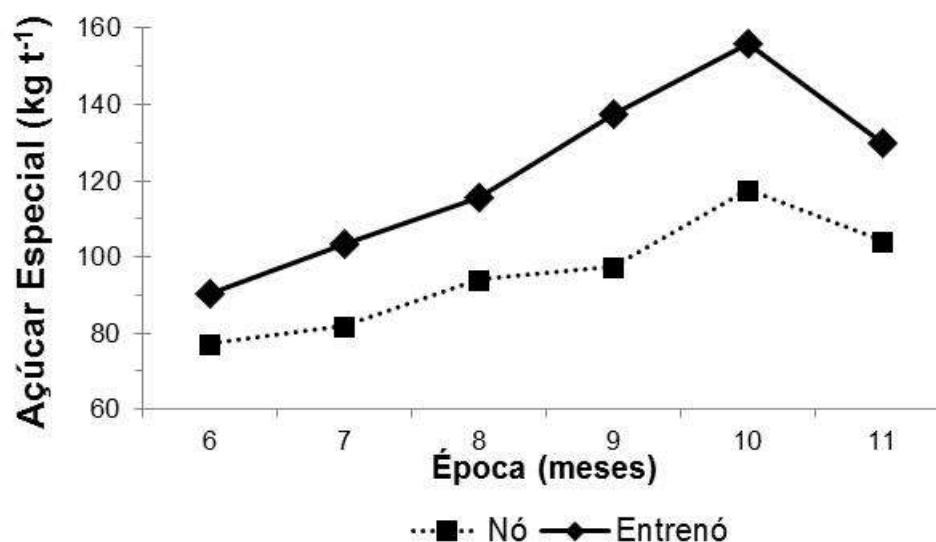


Figura 5. Potencial produtivo de açúcar especial obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo da safra¹.

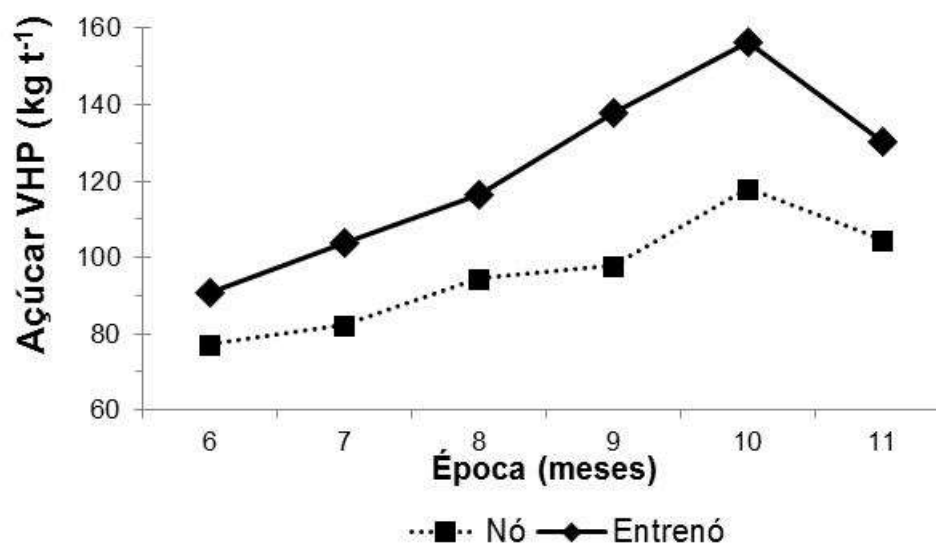


Figura 6. Potencial produtivo de açúcar VHP obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo da safra².

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 7A, página 110.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 8A, página 111.

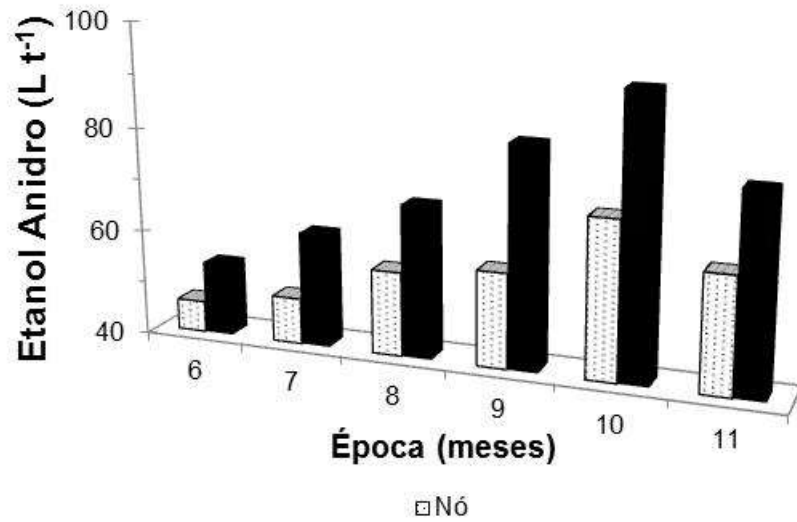


Figura 7. Potencial produtivo de etanol anidro obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo da safra¹.

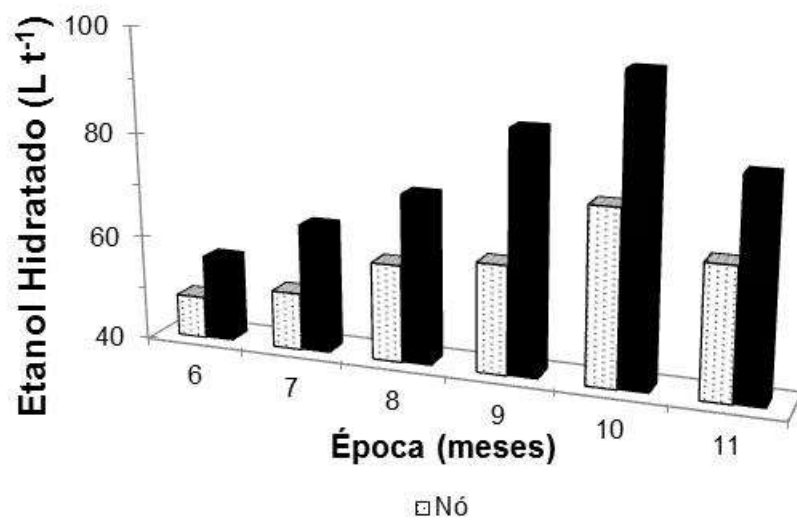


Figura 8. Potencial produtivo de etanol hidratado obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo da safra².

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 9A, página 111.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 10A, página 111.

Conclusões

Em relação às variáveis analisadas, pode-se afirmar que houve diferenciação entre os cultivares estudados. Os melhores resultados foram obtidos pelo cultivar SP81-3250 e o cultivar RB867515 apresentou os resultados menos satisfatórios.

Quanto às partes componentes do colmo houve variação de comportamento caracterizado pela superioridade do entrenó.

O potencial produtivo de açúcar e de etanol, obtidos pelas partes estudadas, foi crescente ao longo da safra, e o valor máximo coincidiu com a época de colheita recomendada para estes cultivares. Além disso, foi neste período que ocorreu a maior diferença entre as partes do colmo, permitindo a inferência da melhor qualidade do caldo dos entrenós.

Referências

ALVARENGA, T. C. ; DINIZ, J. R.; SILVA NETO, H. F.; MARQUES, M. O. ATR e Potencial produtivo em diferentes partes do colmo da cana-de-açúcar (cultivares SP80-1842, SP91-1049 e RB855536). In: SICUSP, 18., 2010, Piracicaba. **Anais Eletrônicos...** Piracicaba: USP, 2010. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=5191&numeroEdicao=18>. Acesso em: 15 de março de 2013.

BRANCO, R. V.; SILVA NETO, H. F.; SILVA J. D. R.; MARQUES, M. O. Variáveis tecnológicas de nós e entrenós de cana-de-açúcar (cultivares IACSP94-2101, IACSP93-3046 e IACSP94-4004). In: SICUSP, 18., 2010, Piracicaba. **Anais Eletrônicos...** Piracicaba: USP, 2010. Disponível em: <http://sistemas.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=5112&numeroEdicao=18>. Acesso em: 15 de março de 2011.

CONSECANA-SP - CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções**. Piracicaba: Consecana, 2006. 112p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos 1999. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. Produção de informação, Embrapa solos, 1999, 412p.

FELICIANO, R. F. **Estudo comparativo entre cultivares de cana-de-açúcar em relação a conceitos de produção e margens de contribuição**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2009. 104p. (Trabalho de Graduação em Engenharia Agrônoma).

HOMEM, R. F. M.; SILVA NETO, H. F.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Açúcar total recuperável e produtividade de sacarose por cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 21. , 2009, Jaboticabal. **Anais eletrônicos...** Jaboticabal: UNESP, 2009. Disponível em: http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_36136596890.pdf. Acesso em: 17 mar. 2011.

LANE, H.; EYNON, L. Determination of reducing sugar by means of Fehling's solution with methylene blue as internal indicator. **Journal of the Society of Chemistry Industry**, London, v.42, p.32-37, 1923.

MARQUES M. O., MUTTON, M. A., NOGUEIRA, T. A. R., TASSO JÚNIOR, L. C., NOGUEIRA, G. A., BERNARDI, J. H. **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. 319p.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do Açúcar. Produção e Industrialização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal, Funep, 2001. 166p.

RAGGHIANI, K. C. **Avaliação tecnológica de diferentes cultivares de cana-de-açúcar, amostrados ao longo da safra 2009/2010**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2011. 155p. (Trabalho de Graduação em Engenharia Agrônoma)

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.

SEGATO, S.V. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 415p., 2006.

SCARPARI, M. S., BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e Botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 47-56.

SILVA NETO, H. F.; HOMEM, B. F. M.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Evaluación de la Acidez en el Jugo de Diferentes Partes del Tallo de Caña de Azúcar, Ciclo 2010/2011. **Interciencia**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 277-280, abr. 2014.

SILVA NETO, H. F. TASSO JUNIOR, L. C.; SILVA, J. D. R.; MARQUES, D. MARQUES, M. O. Nós e entrenós de cana de açúcar armazenados por 168 horas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34, 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010.

CAPÍTULO 3 - Fósforo inorgânico e polissacarídeos em caldos extraídos de nós e entrenós do colmo de cana-de-açúcar, ao longo da safra.

RESUMO - O objetivo com este trabalho foi quantificar o teor de fósforo inorgânico e de polissacarídeos presentes no caldo extraído de nós e entrenós de diferentes partes do colmo de cultivares de cana-de-açúcar ao longo da safra. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com 4 repetições. O tratamento principal analisou os cultivares de cana, o secundário, as partes do colmo, e o tratamento ternário, as épocas de amostragem distribuídas ao longo da safra. Após a extração do caldo de cana, foi realizada a determinação do teor de fósforo inorgânico e de polissacarídeos. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O cultivar SP81-3250 apresentou os melhores resultados (maior quantidade de fósforo inorgânico e baixo teor de polissacarídeos). Os cultivares RB72454 e RB867515 revelaram valores elevados de polissacarídeos e baixo teor de fósforo inorgânico, em grande parte do período estudado, demonstrando a necessidade de maior atenção na utilização desses cultivares para produção de açúcar de qualidade. A melhor qualidade do caldo obtida pelo entrenó devido ao maior teor de fosfato inorgânico e menor de polissacarídeos, ao longo de toda a safra, permite a inferência de que esta parte do colmo é a mais indicada para a produção de açúcar. Ao longo da safra houve aumento nos teores de fósforo inorgânico e de polissacarídeos para ambas as partes do colmo de cana.

Palavras chave: açúcar, dextrana, entrenó, nó, qualidade, cultivares

Introdução

A produção de açúcar está intimamente ligada à qualidade da matéria-prima (LANDELL e VASCONCELOS, 2006). Duas variáveis interferem de forma direta na produção de açúcar e por isso merecem destaque na avaliação da qualidade do caldo (teores de fósforo inorgânico e de polissacarídeos).

Para a indústria, o teor adequado de fósforo inorgânico no caldo é um indicador de qualidade do mesmo, com reflexo na qualidade do açúcar produzido, pelo fato de que no transcorrer do processo de clarificação do caldo, os fosfatos inorgânicos livres reagem com o hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, adicionado no momento da caleagem, formando o fosfato tricálcico $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, o qual, ao precipitar, arrasta impurezas coaguladas e floculadas ao fundo do decantador de caldo (KORNDÖRFER, 2004). Sendo assim, Mahadevaiah et al. (2007) ressaltaram

a importância de se quantificar o teor de fósforo inorgânico no caldo, e destacaram que o teor mínimo de fosfatos inorgânicos, para que ocorra uma clarificação eficiente deve ser de 300 mg L^{-1} de P_2O_5 , sendo necessário o acréscimo do nutriente quando teores menores forem encontrados.

Outro fator determinante da qualidade do caldo refere-se à presença de polissacarídeos ou gomas, pois elevados teores desses componentes podem interferir no processo de industrialização, ocasionando diversos problemas, tais como aumento da viscosidade do caldo, menor taxa de cristalização (MOREL; WIENESE e SCHOONEES, 2006), alongamento do cristal de açúcar, prejudicando a polarização do açúcar bruto, propiciando assim problemas na etapa da refinação (CLARKE, 1997), além de aumentar as perdas de sacarose no melaço (CUDDIHY; PORRO e RAUH, 2001). A presença dessas gomas podem ter origem no metabolismo da própria cana ou ser decorrente da atividade metabólica de bactérias do gênero *Leuconostoc* (MARQUES et al., 2008).

Os polissacarídeos presentes no caldo têm seus níveis influenciados por diversos fatores, dentre eles, a época de análise no ano agrícola, o cultivar de cana-de-açúcar, podendo, inclusive, variar dependendo da parte do colmo analisada (SILVA NETO et al., 2011). De modo semelhante, Bordonal et al. (2012) e Lebre et al. (2010) obtiveram variação dos teores de fosfatos inorgânicos ao longo da safra, enquanto Tasso Júnior et al. (2014) e Silva Neto et al. (2010), constataram diferença entre as partes do colmo.

Diante disto, o objetivo com este trabalho foi quantificar o teor de fósforo inorgânico e de polissacarídeos presentes no caldo extraído de diferentes partes do colmo de cultivares de cana-de-açúcar ao longo da safra.

Material e Métodos

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, situada no município de Jaboticabal, ao norte do Estado de São Paulo, com uma altitude média de 575 m acima do nível do mar. Sua localização geográfica é definida como: latitude $21^\circ 15' 22''$ S e longitude $48^\circ 18' 58''$ WG.

O clima é do tipo tropical com inverno seco, e classificado de acordo com o Sistema Internacional de Classificação Köppen, como Aw. A pluviometria média anual é de 1425 mm, com concentração de chuvas no verão e seco no inverno. O experimento foi instalado em um Latossolo-Vermelho, eutrófico, A moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com 4 repetições. O tratamento principal foi constituído pelos três cultivares de cana-de-açúcar: RB867515, RB72454 e SP81-3250. Tais cultivares são classificados como de maturação do meio para o final de safra (MARQUES et. al., 2008).

O tratamento secundário considerou as duas partes do colmo de cana (nó e entrenó). Para o tratamento ternário utilizou-se as épocas de análises distribuídas ao longo do ano agrícola 2010/2011: 6, 7, 8, 9, 10 e 11 meses após a colheita da cana. A primeira análise (Época 6) foi realizada no dia 26/04/2010, aos 6 meses de idade, nas condições de cana soca (cana de terceiro corte).

No campo, o experimento foi constituído por quatro blocos. Em cada bloco os cultivares eram representados pelas parcelas experimentais, dispostas ao acaso. Cada parcela era composta de cinco linhas de cana com 12 metros de comprimento e espaçamento de 1,5 metros entre elas, totalizando 90m². Considerou-se como área útil, em que se realizaram as amostragens, as três linhas centrais, descartando-se um metro de cada extremidade, resultando em uma área de 45m².

Em cada amostragem foram coletados 15 colmos de cana, retirados em sequência na linha de plantio. Os colmos foram despalhados, despontados, enfeixados e encaminhados para o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol da FCAV/UNESP. No laboratório, com o intuito de separar as diferentes partes do colmo, utilizou-se uma serra elétrica portátil Skil 4003. Os nós e entrenós foram agrupados, de forma separada, e cada parte foi submetida à ação de um desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, foi pesada uma porção de 500 gramas, a qual foi encaminhada à prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II para extração do caldo, de acordo com Consecana, SP (2006). Após a filtragem do caldo em algodão

hidrófilo foi determinado o teor de fósforo inorgânico presente no caldo de cana¹ pelo método de Gomori, de acordo com Delgado e César (1984) e dos teores de polissacarídeos¹ segundo Central Castilla (1993). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F. E, quando significativo, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O cultivar SP81-3250 obteve a maior média de fósforo inorgânico (288,72 mg L⁻¹) (Tabela 1). Essa superioridade vai ao encontro de Marques et al. (2008) que classificam esse exemplar como responsiva, indicada para ambientes de produção A, B e C, ou seja, trata-se de cultivar exigente e, portanto, acumulador de maiores teores de nutrientes em seus tecidos.

Da mesma forma, os demais cultivares são recomendados para ambientes de produção C, D e E, ou seja, apresentam desempenhos satisfatórios em ambientes de produção inferiores. Sendo assim, pode-se destacar o cultivar SP81-3250 por apresentar melhor qualidade de matéria-prima, em relação aos níveis de fósforo inorgânico, o que possibilitaria produto final de melhor qualidade (LANDELL e VASCONCELOS, 2006).

A parte do colmo representada pelo entrenó e as épocas finais de análise apresentaram os maiores valores de fosfatos inorgânicos.

Os níveis de polissacarídeos não apresentaram variações decorrentes dos cultivares. Porém, para o entrenó, observaram-se menores teores de polissacarídeos, demonstrando assim sua maior aptidão para os processos industriais. Ao longo da safra houve aumento dos polissacarídeos.

Para os três cultivares em estudo, o entrenó apresentou maior teor de fósforo inorgânico (Tabela 2). Os teores encontrados na parte do colmo representada pelo entrenó podem ser considerados adequados, enquanto que os níveis obtidos para os nós encontram-se abaixo do mínimo recomendado por Mahadevaiah et al. (2007) para que ocorra clarificação do caldo de forma eficiente. Neste caso, de acordo com os autores citados acima, seria recomendado a adição do nutriente no caldo extraído

¹ Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figuras 20A a 23A, página 120.

da região nodal do colmo de cana, o que aumentaria os custos de produção do açúcar. De modo semelhante, Tasso Júnior et al. (2014) também constataram diferenças no teor deste nutriente para as partes do colmo de cana. Esses resultados vão ao encontro dos resultados obtidos por Silva Neto et al. (2010) que observaram maiores teores de P_2O_5 no entrenó (472,82 mg L⁻¹), quando comparado ao nó (340,55 mg L⁻¹).

Tabela 1. Médias dos teores de fósforo inorgânico e polissacarídeos contidos no caldo de cana-de-açúcar, ao longo da safra 2010/2011, além de dados estatísticos.

CAUSAS VARIAÇÃO	FÓSFORO (mg P ₂ O ₅ L ⁻¹)	POLISSACARÍDEOS (µg g SS ⁻¹)
CULTIVARES (C)		
RB867515	272,33 b	295,89
SP81-3250	288,72 a	301,82
RB72454	279,91 b	242,76
PARTES (P)		
Entrenó	311,77 a	214,46 b
Nó	248,87 b	345,86 a
ÉPOCAS (E)		
6	177,54 f	131,53 d
7	202,17 e	138,37 d
8	226,69 d	220,98 c
9	264,44 c	354,38 b
10	365,63 b	363,75 b
11	445,45 a	472,03 a
Teste F		
Blocos	0,47 ^{NS}	0,81 ^{NS}
(C)	16,97 ^{**}	4,77 ^{NS}
(P)	770,64 ^{**}	62,07 ^{**}
(E)	1309,13 ^{**}	49,79 ^{**}
(C) x (P)	5,79 [*]	1,81 ^{NS}
(C) x (E)	5,03 ^{**}	2,27 ^{**}
(P) x (E)	22,69 ^{**}	5,43 ^{**}
(C) x (P) x (E)	5,27 ^{**}	2,85 ^{**}
Coefficiente de Variação - CV		
CV (C)	4,92	36,81
CV (P)	4,85	35,72
CV (E)	5,04	34,17

¹ Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna e para o mesmo atributo diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. NS, * e** - não significativo e significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. mg – miligrama. L – litro. µg – micrograma. SS⁻¹ – sólidos solúveis.

Tabela 2. Desdobramento da interação obtida entre partes do colmo e cultivares de cana para os teores de fósforo inorgânico (mg L^{-1})

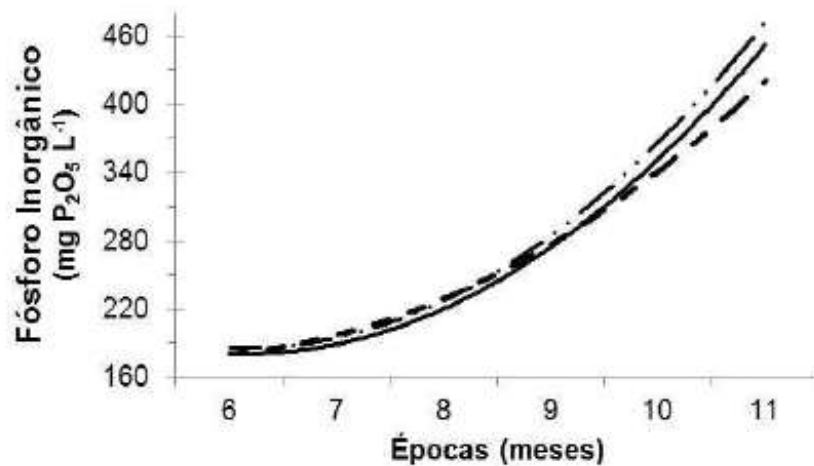
Cultivares	Entrenó	Nó	Teste F
RB867515	300,12 Ba	244,55 Ab	200,53**
SP81-3250	325,49 Aa	251,94 Ab	351,26**
RB72454	309,70 Ba	250,13 Ab	230,42**
Teste F	21,01**	1,90 ^{NS}	

Comparação na vertical para letras maiúsculas e na horizontal para letras minúsculas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. ^{NS} e ** - não significativo e significativo ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Os três cultivares avaliados apresentaram aumento dos teores ao longo do período de safra (Figura 1), e assim como no trabalho de Bordonal et al. (2012), o teor de fósforo no caldo acompanhou o ciclo de maturação dos cultivares.

Isso pode ter ocorrido pelo fato do processo de acúmulo de sacarose exigir maior concentração do elemento fósforo, o qual participa dos processos de transporte, fosforilação, fosfatases e da sacarose P. Dessa forma, a quebra da ligação fosfato (sacarose P) fornece a energia necessária para a sacarose entrar no vacúolo, local onde ela é acumulada (CASAGRANDE e VASCONCELOS, 2008).

Além disso, todos os cultivares se ajustam ao modelo quadrático pela análise de regressão polinomial, o que é discordante dos resultados obtidos por Lebre et al. (2010), que obtiveram o ajuste dos cultivares ao modelo linear. Vale destacar que os cultivares analisados pelos autores apresentavam ciclo de maturação precoce, enquanto os cultivares do presente trabalho possuem maturação tardia., confirmando assim a estreita relação existente ente teores de fosfatos inorgânicos e maturação da cana.

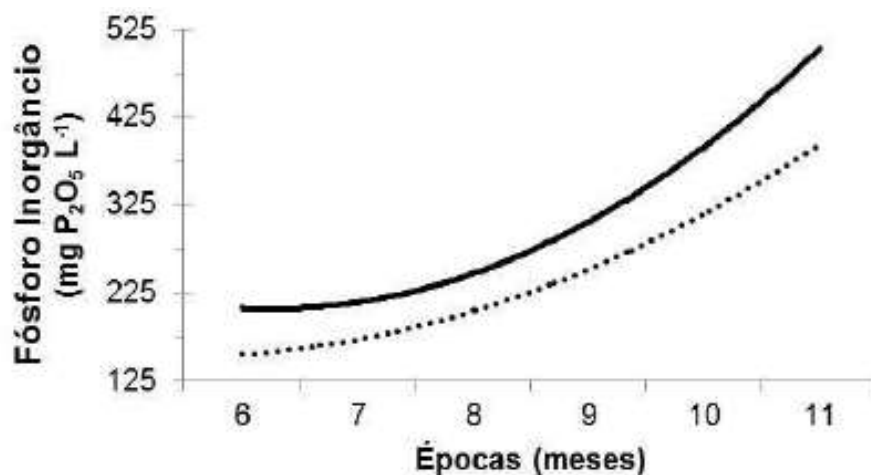


Cultivares	Teste F	R ²	Equação
RB867515 (- -)	16,33**	97,70	$y = 173,350932 + 1,12791590x + 0,00343744x^2$
SP81-3250 (- ** -)	43,64**	97,34	$y = 175,762032 + 1,10732692x + 0,00561945x^2$
RB72454 (-)	28,71**	99,36	$y = 170,374039 + 1,16827977x + 0,00455848x^2$

Figura 1. Efeito da interação obtida entre cultivares e épocas de análise para os teores de fósforo inorgânico, além das equações de regressão¹. ** - significativo ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste F.

Para todas as épocas amostradas, a quantidade de fosfatos inorgânicos foi maior no entrenó, quando comparado ao nó da planta (Figura 2). Este maior teor de fósforo presente no caldo do entrenó nos permite a inferência de sua maior qualidade, uma vez que elevado teor de fósforo está relacionado à maior acúmulo de sacarose, podendo inclusive direcioná-lo para a produção de açúcar (BORDONAL et al., 2012), pois o fósforo inorgânico livre reage com o hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ adicionado no momento da caleagem, formando o fosfato tricálcico $[Ca_3(PO_4)_2]$, o qual, ao precipitar, arrasta impurezas coaguladas e floculadas ao fundo do decantador de caldo (KORNDÖRFER, 2004).

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 11A, página 111.



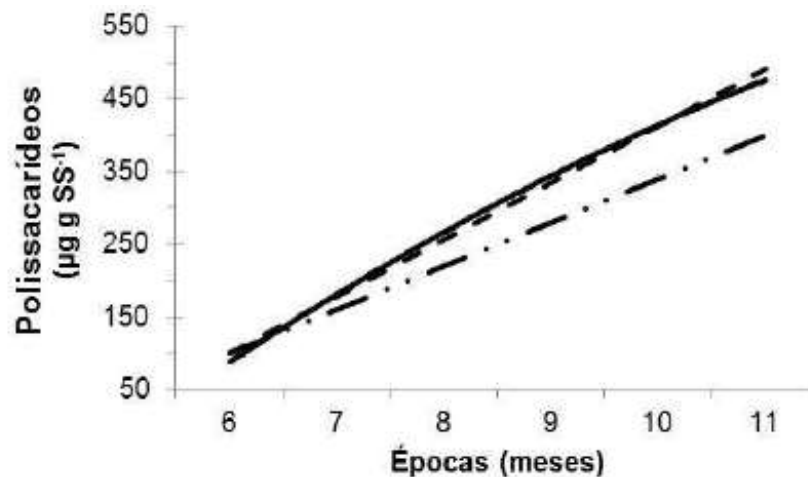
Cultivares	Teste F	R ²	Equação
Nó (---)	11,58**	98,93	$y = 148,389232 + 1,26439125x + 0,00236345x^2$
Entrenó (-)	93,42**	97,63	$y = 197,935437 + 1,00462381x + 0,00671347x^2$

Figura 2. Desdobramento obtido entre partes do colmo e épocas de análise durante a safra para os teores de fósforo inorgânico, além das equações de regressão¹. ** significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste F.

Na comparação entre cultivares, para uma mesma época de análise, não foi possível detectar diferença entre eles, na maioria dos casos (Figura 3). Somente ao final da safra houve diferença entre os cultivares, sendo que o RB867515 seguido pelo RB72454 apresentaram maiores teores de polissacarídeos. Por conta disso, estes exemplares poderiam apresentar aumento da viscosidade do caldo, menor taxa de cristalização (MOREL; WIENESE e SCHOONEES, 2006), problemas durante os processos de clarificação, filtração e cristalização e aumento das perdas de sacarose no melaço (CUDDIHY; PORRO e RAUH, 2001).

Na comparação entre as épocas de análise para um mesmo cultivar, houve aumento dos teores de polissacarídeos para todos os cultivares em estudo. O cultivar RB72454 se ajustou ao modelo quadrático de equação de regressão, enquanto os cultivares RB867515 e SP8103250 se enquadraram ao modelo linear.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 12A, página 111.



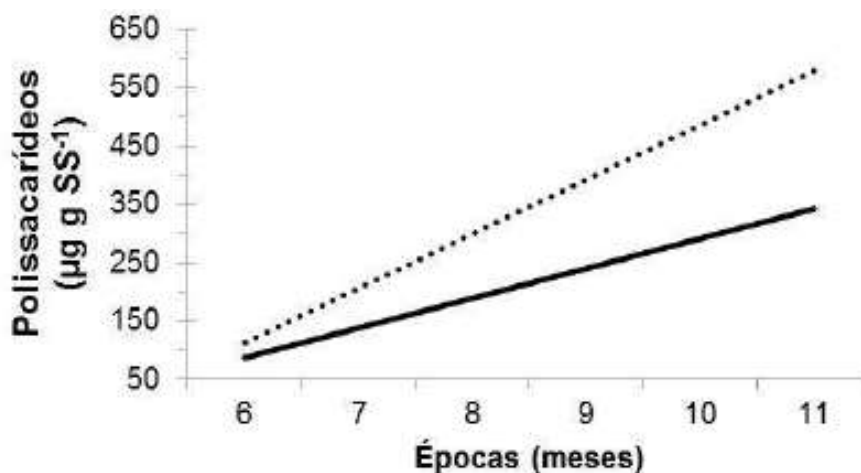
Cultivares	Teste F	R ²	Equação
RB867515 (---)	95,85**	97,53	$y = 120,909144 + 2,63789204x$
SP81-3250 (-**-)	51,27**	97,73	$y = 114,791810 + 1,92922243x$
RB72454 (-)	5,75*	79,13	$y = 89,3326022 + 4,66897390x - 0,01383092x^2$

Figura 3. Efeito da Interação obtida entre cultivares (C) e épocas de análise (E) durante a safra para os teores de polissacarídeos, além das equações de regressão¹. * e ** - significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente. SS – sólidos solúveis.

Pode-se inferir, de acordo com os resultados, que ao longo das épocas as partes do colmo, nó e entrenó, comportaram-se de forma semelhante aumentando seus teores de polissacarídeos ao longo do período estudado (Figura 4). Porém, na análise comparativa entre as duas partes, o nó apresentou maiores valores de polissacarídeos, principalmente nas épocas finais da safra, coincidindo com a época de colheita destes cultivares (MARQUES et al., 2008). Nestas condições, pode-se deduzir que o maior teor de polissacarídeos encontrado no caldo extraído do nó pode ocasionar inúmeros problemas durante a produção de açúcar, dentre eles maior custo de produção, alongamento dos cristais do açúcar refinado (CLARKE, 1997) e, pela sua elevada afinidade com a sacarose, os polissacarídeos permanecem nos cristais de açúcar obtidos ao final do processo. (GODSHALL; VERCELLOTTI e TRICHE, 2002). Dessa forma, o açúcar produzido não se enquadra nos padrões exigidos para exportação, seja pela falta de padronização dos cristais de açúcar ou pela presença de polissacarídeos no produto.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 13A, página 112.

De maneira contrária, o entrenó, assim como no trabalho de Silva Neto et al. (2011), apresentou menores valores de polissacarídeos, sendo esta inferioridade observada durante toda a safra, indicando assim, sua melhor qualidade para os processos de industrialização.



Cultivares	Teste F	R ²	Equação
Nó (---)	192,82**	89,40	$y = 143,215316 + 3,05488031x$
Entrenó (—)	59,22**	98,06	$y = 102,154100 + 1,69303758x$

Figura 4. Efeito da Interação obtida entre as partes do colmo (P) e as épocas (E), para os teores de polissacarídeos, além das equações de regressão¹. ** - significativo ao nível de 1 % de probabilidade, pelo Teste F. SS – sólidos solúveis.

Conclusões

O cultivar SP81-3250 apresentou os melhores resultados (maior quantidade de fósforo inorgânico e baixo teor de polissacarídeos).

Os cultivares RB72454 e RB867515 revelaram valores elevados de polissacarídeos e baixo teor de fósforo inorgânico, em grande parte do período estudado, demonstrando a necessidade de maior atenção na utilização desses cultivares para produção de açúcar de qualidade.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 14A, página 112.

A melhor qualidade do caldo obtida pelo entrenó devido ao maior teor de fosfato inorgânico e menor de polissacarídeos, ao longo de toda a safra, permite a inferência de que esta parte do colmo é a mais indicada para a produção de açúcar.

Ao longo da safra houve aumento nos teores de fósforo inorgânico e de polissacarídeos para ambas as partes do colmo de cana.

Referências

BORDONAL, R. O.; MARQUES, M. O.; BARBOSA, J. C.; SILVA NETO, H. F.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, D. Teores de fosfatos inorgânicos em caldo de cultivares precoces e tardios de cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v.30, n.3, p.34-37, 2012.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M de; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 57-78.

CENTRAL CASTILLA S.A. **Analysis of dextrans in cane juices**. 1.ed. Cali, Colombia, 1993., pp. 01-04

CLARKE, A. M. Dextrana em los ingenios azucares: presencia y control. **Sugar y azucar**, p.38-45, 1997.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar e Álcool. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2006. 112p.

CUDDIHY, J. A.; PORRO, M. E.; RAUH, J. S. The presence of total polysaccharides in sugar production and methods for reducing their negative effects. **Journal of American Society of Sugarcane Technologists**, v. 21, p. 73-91, 2001.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. Determinação de fosfatos em caldo e mosto de cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v.2, n.4, p.42-45, 1984.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. Produção de informação, Embrapa solos, 1999, 412p.

GODSHALL, M. A.; VERCELLOTTI, J. R.; TRICHE, R. Comparison of cane and beet macromolecules in processing. **International Sugar Journal**, v. 104, p. 228-233, 2002.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord.). **Fósforo na agricultura brasileira**, 1. Piracicaba: Potafós, 2004. Cap. 11, p. 291-305.

LANDELL, M. A. G.; VASCONCELOS, A. C. M. (Org.). **Atas das reuniões 2006**. Ribeirão Preto: Grupo Fitotécnico de Cana-de-açúcar, 2006 (Cd-ROM).

LEBRE, A. C. P.; SILVA NETO, H. F.; SILVA J. D. R.; JÚNIOR TASSO, L. C.; MARQUES, M. O. Fosfatos inorgânicos em caldos de seis cultivares de cana-de-açúcar, na safra 2009/2010. In: SICUSP, 18., 2010, Piracicaba. **Anais Eletrônicos...** Piracicaba: USP, 2010. Disponível em: <http://sistemas.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=5215&numeroEdicao=18>.

MAHADEVIAH, M. S.; YOGENDRA K.; MANSOUR S. A. G.; SURESHA, M. S.; SATHISH, M. A.; NAGENDRAPPA, G. A simple spectrophotometric determination of phosphate in sugarcane juices, water and detergent samples. **Journal of Chemistry**, v. 4, n. 4, p. 467-473, 2007.

MARQUES M. O., MUTTON, M. A., NOGUEIRA, T. A. R., TASSO JÚNIOR, L. C., NOGUEIRA, G. A., BERNARDI, J. H. **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. 319p.

MOREL, B. P. G.; WIENESE, S.; SCHOONEES, B. M. The cause of sarkan in sugarcane. **International Sugar Journal**, v. 108, n. 1290, p.317-326, 2006

SILVA NETO, H. F.; SILVA, J. D. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Fósforo inorgânico no caldo de diferentes partes do colmo de cana. In: SIMCANA, 2., 2010, Botucatu. **Anais...** Botucatu:FEPAF. 1 CD.

SILVA NETO, H. F.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C.; LEBRE, A. C. P.; Teores de polissacarídeos em diferentes partes do colmo de cana-de-açúcar (cultivares CTC 9, CTC 15 e CTC 16). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, p.1-8, 2011. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/teores%20de%20polissacarideos.pdf>. Acesso 26 Fev. 2013.

TASSO JÚNIOR, L. C.; SILVA NETO, H. F.; HOMEM, B. F. M.; MARQUES, M. O. Fósforo inorgánico en el jugo de diferentes partes del tallo de los cultivares CTC 9, CTC 15 y CTC 16 de caña de azúcar, ciclo 2010/2011. **Interciencia**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 274-276, abril 2014.

CAPÍTULO 4 - Teores de polissacarídeos em diferentes partes do colmo de cana-de-açúcar (cultivares CTC 9, CTC 15 e CTC 16)

RESUMO - A presença de polissacarídeos, ao longo do processo de fabricação do açúcar ocasiona perda de sacarose e aumento da viscosidade do caldo, dificultando assim a etapa de cristalização e formação dos cristais de açúcar. Dessa forma, os teores de polissacarídeos no caldo de cana influenciam diretamente na qualidade do açúcar produzido, sendo que o conhecimento dos seus teores é fundamental na definição de procedimentos a serem adotados na condução do processo industrial. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo determinar os teores de polissacarídeos presentes no caldo extraído do nó e entrenó do colmo de cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido na FCAV/UNESP-Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. O tratamento principal foi composto pelos três cultivares de cana: (CTC 9, CTC 15 e CTC 16) e o tratamento secundário pelas duas partes do colmo de cana (nó e entrenó). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F). Quando houve significância pelo teste F, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ($P < 0,05\%$). O cultivar CTC 9 obteve os menores valores de polissacarídeos quando comparados aos valores dos entrenós e nós dos demais cultivares. Os cultivares CTC 15 e CTC 16 apresentaram elevados valores de polissacarídeos, o que nos permite inferir de um maior custo de produção do açúcar e a necessidade de maior atenção nestes exemplares. O entrenó obteve menor valor de polissacarídeos indicando sua melhor qualidade de caldo para a fabricação do açúcar. Os teores de polissacarídeos encontrados no nó podem ocasionar inúmeros problemas dentro do processo de industrialização da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: açúcar, entrenó, dextrana

Introdução

No Brasil a produção e exportação de açúcar têm grande relevância na economia brasileira, proporcionando ao país inúmeros benefícios (HAMERSKI, 2009). Neste contexto, a produção de açúcar, de forma quantitativa e qualitativa, está relacionada à qualidade da matéria-prima entregue nas unidades industriais.

Diversos fatores podem influenciar na qualidade da cana, dentre eles pode-se destacar o tempo entre corte e moagem, condições climáticas durante o ciclo vegetativo da cultura no campo, a colheita, presença de impurezas (minerais e vegetais), entre outros (CLARKE, 1997). Além disso, a variação na qualidade do caldo extraído está relacionada às características intrínsecas de cada cultivar de cana-de-açúcar.

Muitas variáveis são utilizadas para definir a qualidade do caldo, e visando à produção de açúcar a determinação dos teores de polissacarídeos assume relevada importância. Dentre os polissacarídeos presentes no caldo de cana destaca-se a dextrana (produto gerado a partir da deterioração microbiológica da cana-de-açúcar por meio das bactérias do gênero *Leuconostoc* spp) (CLARKE, 2000). Este polissacarídeo gera uma massa gelatinosa que pode entupir as peneiras, como também retardar a cristalização tornando os méis mais viscosos (DELGADO e CESAR, 1977). Neste sentido, Hamerski (2009) recomenda tomar um rigoroso cuidado na limpeza dos equipamentos para evitar a contaminação e proliferação destas bactérias.

O polissacarídeo no processo de industrialização do açúcar também ocasiona perda de sacarose (RIPOLI e RIPOLI, 2004) elevando a viscosidade do xarope, e dessa forma dificulta a etapa de cristalização na formação dos cristais de açúcar (CLARKE, 1997). Ocasionalmente, ainda, problemas na elongação do cristal de açúcar, podendo prejudicar a polarização do açúcar bruto, propiciando problemas na etapa da refinação (CLARKE, 1997).

O teor de polissacarídeos presentes no caldo de cana preconizados por Ripoli e Ripoli (2004) é de no máximo $500 \mu\text{g g SS}^{-1}$. Porém, Lopes (1993) recomenda o teor de dextrana de até $250 \mu\text{g g SS}^{-1}$. Lebre et al. (2009) estudaram seis cultivares de cana de açúcar e encontraram valores elevados (de 250 até 1913, $5 \mu\text{g g SS}^{-1}$) para todos os exemplares analisados, .

Silva et al. (2010) relataram maiores teores de polissacarídeos presentes no caldo extraído do nó quando comparado ao entrenó, o que permitiu a inferência de pior qualidade do caldo e maiores problemas na alongação do cristal do açúcar refinado.

Cordeiro et al. (2010), estudando os níveis de polissacarídeos no caldo de três cultivares de cana-de-açúcar, encontraram diferenças entre eles e uma média de $517,56 \mu\text{g g SS}^{-1}$ de polissacarídeos presente no nó, enquanto o entrenó obteve $348,73 \mu\text{g g SS}^{-1}$, indicando sua melhor aptidão para a produção de açúcar. Ao estudar diferentes cultivares Savan et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes, sendo que os teores de polissacarídeos variaram de 260,22 a $378,79 \mu\text{g g SS}^{-1}$, obtidos pelos cultivares IACSP91-1099 e CTC 7, respectivamente. Em relação às

partes do colmo, o nó obteve maior teor de polissacarídeos, e os autores ressaltam a necessidade de maiores cuidados em caldos extraídos desta parte do colmo.

Dessa forma, ficam evidentes as diferenças nos teores de polissacarídeos entre os cultivares e as partes que compõem o colmo de cana. O conhecimento dos seus valores torna-se de fundamental importância, na medida em que pode auxiliar em diversas ações dentro do processo industrial da cana-de-açúcar. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo determinar os teores de polissacarídeos presentes no caldo extraído do nó e entrenó do colmo de cultivares cana-de-açúcar.

Material e Métodos

A área experimental foi instalada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista, (FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal), situada no município de Jaboticabal, ao norte do estado de São Paulo, Brasil. O local possui altitude média de 575 m acima do nível do mar. Sua localização geográfica é definida como: latitude 21° 15' 22" S e longitude 48° 18' 58" WG.

O clima é do tipo tropical com inverno seco, e classificado de acordo com o Sistema Internacional de Classificação Köppen, como Aw. A pluviometria média anual é de 1425 mm, com concentração de chuvas no verão e seco no inverno. O solo é classificado como um Latossolo-Vermelho, eutrófico, A moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, com 3 repetições. O tratamento principal foi os três cultivares de cana-de-açúcar estudados e o secundário as diferentes partes do colmo (nó e entrenó).

Os cultivares de cana-de-açúcar estudados foram os recém lançados pelo programa de melhoramento genético Centro de Tecnologia Brasileira¹: CTC 9, CTC 15 e CTC 16. No campo, as parcelas representavam cada um dos cultivares. Cada parcela era formada por 5 linhas de cada, espaçadas 1,5 metros entre elas e com 12 metros de comprimento. Para a amostragem dos colmos foram consideradas as três linhas centrais, descartando-se um metro de cada extremidade das linhas.

¹ Anexo – Material disponível nos Anexos 11 a 13, páginas 137 a 139.

Em cada unidade experimental, nas condições de cana-soca (cana de terceiro corte), no dia 05/10/2010, foram coletados 10 colmos de cana, retirados em sequência na linha de plantio. Os colmos foram despalhados, despontados, enfeixados, etiquetados e encaminhados para o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol da FCAV/UNESP. No laboratório, com o auxílio de serra elétrica portátil Skil 4003, os colmos foram separados em nós e entrenós. Em seguida, cada porção foi encaminhada ao desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar.

Do material desintegrado, após homogeneização, foi pesada uma porção de 500 g, a qual foi encaminhada à prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II para extração do caldo, de acordo com Consecana, SP (2006). No caldo extraído foi determinado o teor de polissacarídeos de acordo com o método proposto por Central Castilla (1993). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os teores de polissacarídeos obtidos pelos cultivares e partes do colmo de cana em estudo. O cultivar CTC 9 obteve o resultado mais satisfatório, apresentando o menor teor de polissacarídeos ($222,15 \mu\text{g g SS}^{-1}$). O valor encontrado está abaixo do limite preconizado por Lopes (1993) que é de $250 \mu\text{g gSS}^{-1}$. Tal resultado evidencia o comportamento diferente entre os cultivares de cana, e neste caso, diferentemente do ocorrido com Lebre (2009) foi possível destacar o cultivar de melhor desempenho.

O cultivar CTC 15 apresentou resultado intermediário, e o cultivar CTC 16 obteve o maior teor de polissacarídeos. Os valores obtidos pelos dois cultivares estão acima do preconizado por Lopes (1993). Nestas condições podem ocorrer maiores custos para a fabricação do açúcar, uma vez que elevados teores de polissacarídeos estão relacionados a perda de sacarose, (RIPOLI e RIPOLI, 2004),

entupimento de tubulações e peneiras e menor rendimento na etapa de cristalização (DELGADO e CESAR, 1977).

Em relação às partes do colmo o entrenó apresentou média menor (231,29 $\mu\text{g g SS}^{-1}$) do que a do nó (521,37 $\mu\text{g g SS}^{-1}$). Resultados semelhantes foram relatados por Cordeiro et al.(2010). Porém, os valores obtidos para o entrenó são maiores do que os encontrados neste experimento.

Tabela 1. Teores médios¹ de polissacarídeos presentes no caldo de diferentes partes do colmo de três cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivares (C)	Polissacarídeos ($\mu\text{g g SS}^{-1}$)
CTC 9	222,15 c
CTC 15	422,96 b
CTC 16	483,88 a
DMS (5%)	57,69
Teste F	80,30 **
Partes (P)	
Nó	521,37 a
Entrenó	231,29 b
DMS (5%)	38,45
Teste F	270,17 **
Estatística	
Teste F (C x P)	16,26 **
Média Geral	376,33
Coeficiente de Variação (%)	9,95

¹ Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. DMS – Diferença mínima significativa. ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F. SS – sólidos solúveis.

O efeito da interação entre cultivares de cana e partes do colmo, para os teores de polissacarídeos são apresentados na Figura 1. Na comparação entre os cultivares para a parte do colmo representada pelo nó o cultivar CTC 9 apresentou os menores valores de polissacarídeos. Os demais cultivares apresentaram elevados teores de polissacarídeos. Os valores encontrados para estes cultivares estão acima do limite recomendado por Ripoli e Ripoli (2004) para avaliar a qualidade do cana que é de 500 micrograma de polissacarídeos por grama de sólidos solúveis. Tais resultados indicam a possibilidade de maiores problemas

durante a produção de açúcar, tais como a cristalização, polarização e refinação do açúcar (CLARKE, 1997).

Na comparação entre as partes do colmo o entrenó obteve menor valor de polissacarídeos quando comparado ao nó. Resultados semelhantes foram encontrados por Savan et al. (2010), que constataram maior teor de polissacarídeos na parte do colmo representada pelo nó. Neste sentido, Silva et al. (2010) também concluíram que o entrenó apresenta melhor qualidade de caldo.

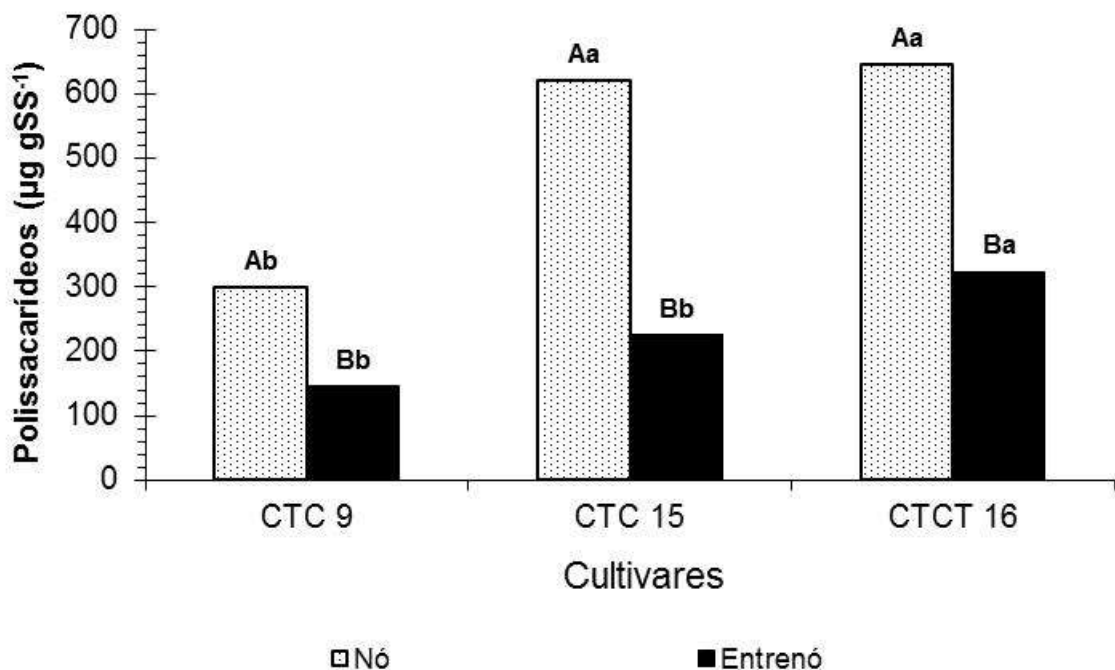


Figura 1. Interação obtida entre os cultivares de cana-de-açúcar e as partes do colmo para os teores de polissacarídeos. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo) e mesma letra maiúscula (comparação entre as partes do colmo de um mesmo cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conclusões

O cultivar CTC 9 obteve os menores teores de polissacarídeos quando comparados aos valores dos entrenós e nós dos demais cultivares.

Os cultivares CTC 15 e CTC 16 apresentaram elevados teores de polissacarídeos, o que nos permite inferir de um maior custo de produção do açúcar e a necessidade de maior atenção nestes exemplares.

O entrenó obteve menor teor de polissacarídeos, indicando caldo com melhor qualidade para a fabricação do açúcar.

Os elevados teores de polissacarídeos encontrados no nó podem ocasionar inúmeros problemas dentro do processo de industrialização da cana-de-açúcar.

Referências

CENTRAL CASTILLA S.A. **Analisis of dextrans in cane jueces**. 1.ed. Cali, Colombia, 1993., pp. 01-04

CLARKE, M.A. Dextrana em fábricas de açúcar. Causas e Controle II. **Sociedade dos Tecnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil/STAB**, Piracicaba, v.18, n.4, p.48-53, 2000.

CLARKE, A. M. Dextrana em los ingenios azucares: presencia y control. **Sugar y azucar**, p.38-45, 1997.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar e Álcool. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2006. 112p.

CORDEIRO, R.C., SILVA NETO, H.F., SILVA, J.D.R., TASSO JUNIOR, L.C., MARQUES, M.O. TEORES DE POLISSACARÍDEOS EM CALDO DE DIFERENTES PARTES DO COLMO DE CANA-DE-AÇÚCAR (CULTIVARES RB72454, RB867515 E SP81-3250). In: Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 22., 2010, Jaboticabal. **Resumos...** Jaboticabal: UNESP, 2010, p. 1481-1483.

DELGADO, A.A.; CESAR, M.A.A. Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana. Sertãozinho: Zanini, 1977. p. 47-54.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. Produção de informação, Embrapa solos, 1999, 412p.

HAMERSKI, F. Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual do Paraná, Curitiba, 2009.

LEBRE, A. C. P.; BARBOSA, M. S.; SILVA NETO, H. F.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. Teores de dextrana no caldo de diferentes cultivares de cana-de-açúcar . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: SBFV, 2009. Disponível em: <http://www.sbfv.org.br/congresso2009/trabalhos/tema/interacao_planta-inseto_e_planta-microorganismo/-1048.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2013.

LOPES, C.H. Manual de controle de qualidade de açúcar da Sucral. São Carlos: [s.n], 1993. 62p.

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.

SAVAN, T. L.; SILVA NETO, H. F.; SILVA, J. D. R.; MARQUES, M. O. Polissacarídeos em caldos de diferentes partes de colmo cana-de-açúcar (cultivares IACSP91-1099, IACSP95-5000 e CTC 7). In: SICUSP, 18., 2010, Piracicaba. **Anais Eletrônicos...** Piracicaba: USP, 2010. Disponível em: <http://sistemas.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=5406&numeroEdicao=18>. Acesso em: 30 jun. 2013.

SILVA, J. D. R.; SILVA NETO, H. F.; TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Polissacarídeos em caldos de cana-de-açúcar. In: SIMCANA, 2., 2010, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2010. 1 CD-ROM.

CAPÍTULO 5 – Atividade enzimática em caldos extraídos de diferentes partes do colmo de cana

RESUMO – Este trabalho teve por objetivo determinar a atividade enzimática em caldos extraídos de diferentes partes do colmo de três cultivares de cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x2), com três repetições. O primeiro fator foi constituído por três cultivares de cana-de-açúcar (RB72454, RB867515 e SP81-3250). Para o segundo fator foram consideradas as duas partes do colmo (nó e entrenó). No caldo extraído foi determinada a atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Os tratamentos cultivar e partes do colmo influenciaram a atividade das duas enzimas estudadas. O cultivar RB867515 apresentou a maior atividade enzimática, indicando sua menor aptidão para produção de açúcar cristal branco. A parte do colmo de onde o caldo é extraído pode ser considerada precursora de cor, devido à maior atividade enzimática obtida pelo nó. A atividade enzimática pode estar relacionada ao processo de acúmulo de sacarose nas diferentes partes do colmo.

Palavras-chave: açúcar, escurecimento enzimático; peroxidase, polifenoloxidase, quinonas.

Introdução

As plantas apresentam estratégias de defesa que têm por finalidade impedir ou retardar a penetração de agentes fitopatogênicos. Os mecanismos utilizados pela planta para se proteger podem ser estruturais ou bioquímicos, os quais criam condições desfavoráveis ou inibitórias para o organismo invasor. Dentre as substâncias bioquímicas produzidas destacam-se as quinonas, que são compostos altamente tóxicos obtidos pela ação da atividade enzimática (ALVARENGA et al., 2011).

Entretanto, este processo é considerado prejudicial à qualidade da cana-de-açúcar, pois está relacionado ao escurecimento do caldo. A polifenoloxidase (EC. 1.14.18.1), por exemplo, é uma enzima que tem sua atividade caracterizada por oxidar os compostos fenólicos do caldo na presença de oxigênio molecular. Os produtos dessa reação são substâncias denominadas quinonas que, combinadas entre si e com outras substâncias, originam as melaninas, produtos de condensação,

com alta massa molecular e cor escura (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012).

De modo semelhante, a peroxidase (EC. 1.11.1.7) também participa do processo de escurecimento e formação de cor do caldo. Embora, a polifenoloxidase pode ser considerada a principal enzima precursora de cor no caldo (BUCHELI e ROBINSON, 1994 e EISSA et al., 2010). Neste sentido, QUDSIEH et al., (2002) encontraram correlação significativa entre atividade da polifenoloxidase e escurecimento do caldo.

A importância da coloração do caldo decorre da sua influência na produção do açúcar. Caldo com maior índice de cor proporciona a produção de cristais de açúcar mais escuros (VICKERS et al., 2005), os quais podem não atender aos requisitos de alguns mercados, restringindo a sua comercialização em mercados menos exigentes em que o valor agregado do produto é menor (JACKSON et al., 2006).

Um dos fatores que proporcionam variação na atividade enzimática é o cultivar de cana-de-açúcar. Em experimento realizado por Jittanit et al. (2011), utilizando-se de aspectos relacionados ao controle enzimático, os autores puderam concluir que o cultivar de cana Suphan Buri 50 apresentou melhor qualidade de caldo do que o cultivar Singapore. Nestas condições, é importante conhecer a atividade enzimática para os cultivares de cana, pois alguns cultivares podem apresentar escurecimento enzimático no caldo em níveis prejudiciais ao processo de fabricação do açúcar (MARQUES; RAMPAZO e MARQUES, 2013).

Diante disso, foi formulada a hipótese de que, além dos cultivares, as partes que compõe o colmo de cana e que apresentam diferenças estruturais e no acúmulo de sacarose (SILVA NETO et al., 2014a), também poderiam apresentar distinção em relação à atividade enzimática do caldo. Assim sendo, este trabalho teve por objetivo determinar a atividade enzimática em caldos extraídos de diferentes partes do colmo de três cultivares de cana-de-açúcar.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na FCAV/UNESP campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x2), com três repetições. O primeiro fator foi constituído pelos três cultivares de cana-de-açúcar (RB72454, RB867515 e SP81-3250). Para o segundo fator, foram consideradas as duas partes do colmo (nó e entrenó).

Aos 12 meses de idade, nas condições de cana-soca (cana de quarto corte), foram coletados 15 colmos de cada cultivar, cortando-os rente ao solo, com o auxílio de facão apropriado. Na sequência, procedeu-se ao desponte, no ponto natural de quebra do palmito, despalha manual, enfeixamento e etiquetagem para, então, serem transportados ao o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol.

No laboratório, os colmos foram seccionados em nós e entrenós, com auxílio de serra elétrica portátil Skil 4003. As partes obtidas foram passadas separadamente em desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, retirou-se uma porção de 500 g que foi submetida à pressão de 250 kg cm^{-2} por sessenta segundos, em uma prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II, obtendo-se o caldo extraído, de acordo com Consecana, SP (2006).

No caldo extraído foram determinadas as atividades enzimáticas, utilizando-se o método proposto por Vieira; Lupetti e Fatibello-Filho (2003), que prevê o uso do produto Polyclar Super R (PVP), como agente de preservação da atividade enzimática até o momento da realização da análise. A atividade da polifenoloxidase¹ foi determinada pelo método preconizado por Ponting e Joslyn e da peroxidase¹ por Ferhrramann e Diamond, ambos descritos por Campos et al. (1996), sendo estabelecido que uma unidade de atividade enzimática era a quantidade de extrato enzimático capaz de aumentar a absorbância em 425 e 470 nm para a polifenoloxidase e peroxidase, respectivamente, com taxas de 0,001 unidades por minuto (0,001 $\Delta A/\text{min}$).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

¹ Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figura 24A e 25A, página 120.

Resultados e Discussão

O cultivar RB867515 apresentou, para as duas enzimas estudadas, níveis superiores aos demais exemplares (Tabela 1). Os cultivares RB72454 e SP813250, apresentaram atividade enzimática de mesma ordem de grandeza. De modo semelhante, Bucheli e Robinson (1994) também encontraram diferenças na atividade enzimática entre cultivares de cana e ressaltaram a importância de se obter cultivares que apresentem baixos níveis de atividade enzimática.

Em relação à parte do colmo, da qual foi extraído o caldo, verifica-se para as duas enzimas, maior atividade quando o caldo é proveniente do nó. Sendo assim, pode-se inferir que esta região do colmo pode proporcionar caldos mais escuros e de pior qualidade devido às atividades da polifenoloxidase e peroxidase, que são as principais responsáveis por alterações indesejáveis na cor (MENEZES et al., 2008).

Tabela 1. Valores médios de atividade da polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) para cultivares e partes do colmo, além de dados estatísticos.

Cultivar	Partes	PPO	POD
		(0,001 ΔA_{425} /min)	(0,001 ΔA_{470} /min)
RB72454	Nó	22,58	69,71
	Entrenó	15,78	50,04
RB867515	Nó	38,17	83,92
	Entrenó	23,51	56,34
SP81-3250	Nó	19,11	73,24
	Entrenó	17,76	55,58
Estatística – Teste F			
(Cultivar)		30,00**	15,85**
(Partes)		34,03**	211,40**
(Cultivar x Partes)		8,80*	4,14*
Int. Partes x RB72454		9,07*	58,25**
Int. Partes x RB867515		42,20**	114,51**
Int. Partes x SP81-3250		0,35 ^{NS}	46,93**
Int. Cultivar x Nó		40,78**	16,47**
Int. Cultivar x Entrenó		6,33*	3,56 ^{NS}
CV (%)		12,12	4,87

*, ** - Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente. NS – não significativo. CV – coeficiente de variação. Int. – Interação. A – absorvância.

Na comparação entre as partes do colmo, observa-se que a atividade da polifenoloxidase foi maior no caldo extraído do nó (RB72454 e RB867515, Figura 1), indicando maior potencial escurecimento do caldo para esta porção do colmo, uma vez que a polifenoloxidase é a principal responsável pelo aumento de cor no caldo de cana (BUCHELI e ROBINSON, 1994 e EISSA et al., 2010). Resultados similares foram obtidos por Bucheli; Dry e Robinson, (1996) nos quais os autores constataram elevada atividade da enzima polifenoloxidase no nó em comparação ao entrenó (25 e 5 unidades por grama de peso fresco, respectivamente).

Vale ressaltar que caldo com elevada atividade de polifenoloxidase produz cristais de açúcar de maior índice de cor (VICKERS et al., 2005). Sendo assim, este escurecimento do caldo oriundo da região do nó pode diminuir a qualidade do açúcar produzido, não permitindo que ele se enquadre nos padrões para exportação (JACKSON et al., 2006). Processo semelhante ocorreu com a rejeição da farinha de trigo no mercado consumidor, devido à ação da polifenoloxidase no escurecimento do produto (FEILLET; AUTRAN e VERNIÉRE, 2000).

É importante destacar o mecanismo de defesa da planta, o qual pode explicar a maior atividade da polifenoloxidase encontrada nos nós. Esta possível relação decorre da necessidade da cana em perpetuar a espécie, e para isso precisa proteger seus meristemas embrionários (gemas), os quais se localizam na região nodal. Neste contexto, a polifenoloxidase tem sua atividade caracterizada por oxidar os compostos fenólicos na presença de oxigênio molecular, produzindo quinonas (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012), que são compostos altamente tóxicos, utilizados pela planta no combate à microrganismos (ALVARENGA et al., 2011), justificando assim a necessidade da cana apresentar elevada atividade da polifenoloxidase na região dos nós.

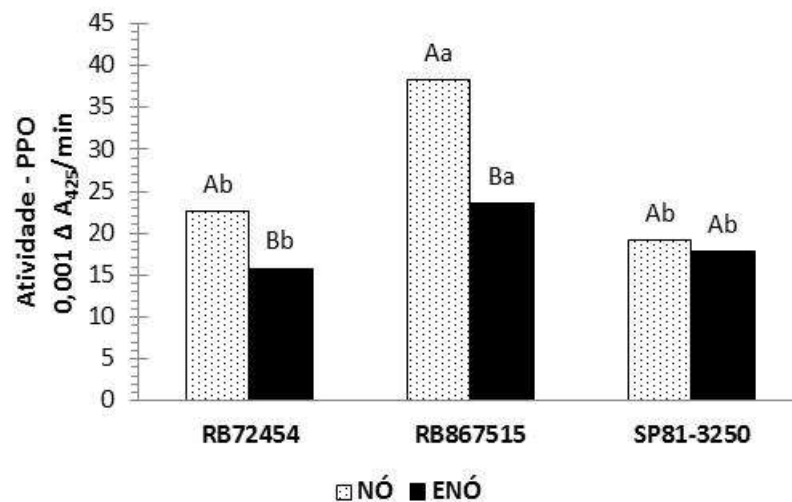


Figura 1. Efeito da interação obtida entre cultivares e partes do colmo para os valores de atividade da polifenoloxidase (PPO). Letras maiúsculas comparação entre as partes do colmo de um mesmo cultivar. Letras minúsculas comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo.

Na comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo, a atividade enzimática do caldo do cultivar RB867515 foi superior para as duas regiões do colmo (Figura 1). De modo semelhante, Jittanit et al. (2011) concluíram que o cultivar de cana Suphan Buri 50 apresentou melhor qualidade de caldo, nos aspectos enzimáticos, do que o cultivar Singapore.

Neste contexto, vale destacar a elevada atividade enzimática apresentada pelo cultivar RB867515 pois, de acordo com Marques; Rampazo e Marques (2013) alguns cultivares apresentam escurecimento enzimático no caldo em níveis prejudiciais ao processo de fabricação do açúcar cristal branco. De modo contrário, o cultivar SP81-3250 obteve baixa atividade de polifenoloxidase. Tal comportamento corrobora com o resultado obtido por Oliveira et al. (2007) que constatou pequena tendência ao escurecimento do caldo deste mesmo cultivar.

Comparando os cultivares pelo caldo extraído dos nós, verifica-se superioridade da atividade enzimática do cultivar RB867515 (Figura 2). Já no entrenó, não houve diferenciação entre o caldo dos exemplares estudados. Esta diferença entre os cultivares, observada nos nós e ausente nos entrenós, pode ter ocorrido pelo fato da peroxidase promover grande variedade de reações de

biodegradação e com isso apresenta alto grau de versatilidade (LUIZ; HIRATA e CLEMENTE, 2007).

Na comparação entre as partes do colmo, o caldo do nó obteve maior atividade enzimática. Uma possível explicação para isso seria de que o metabolismo da planta é mais ativo na região do nó, sendo encontrado para o caldo desta região do colmo elevados teores de acidez fixa e total, açúcares redutores e menor teor de sacarose (SILVA NETO et al., 2014a). No entrenó ocorre o inverso, sendo este o local de maior acúmulo de sacarose (SILVA NETO et al., 2014b).

Dessa forma, os resultados indicam uma possível relação entre o processo de acúmulo de sacarose e a ação destas enzimas, o que também foi destacado por Qudsieh et al. (2002) que observaram correlação negativa entre atividade enzimática e maturação da cana.

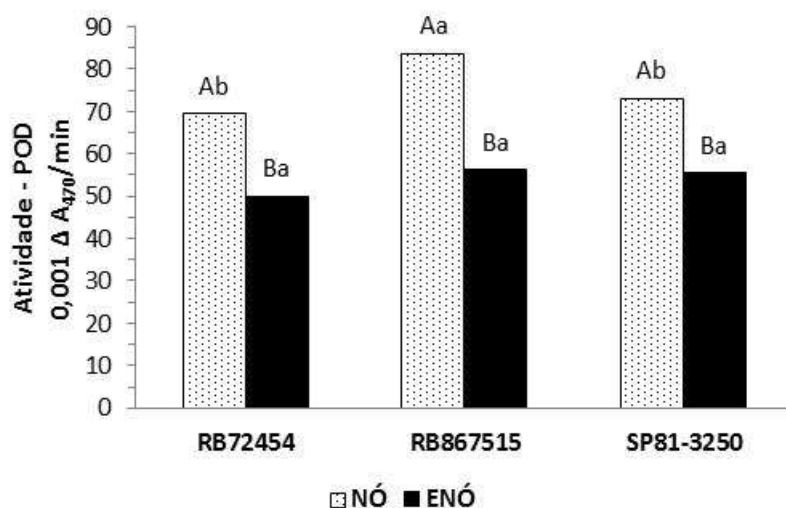


Figura 2. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e partes do colmo para os valores de atividade da peroxidase (POD). Letras maiúsculas comparação entre as partes do colmo de um mesmo cultivar. Letras minúsculas comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo.

Conclusões

Os tratamentos cultivar e partes do colmo influenciaram a atividade das duas enzimas estudadas.

O cultivar RB867515 apresentou a maior atividade enzimática, indicando sua menor aptidão para produção de açúcar cristal branco.

A parte do colmo de onde o caldo é extraído pode ser considerada precursora de cor, devido à maior atividade enzimática obtida pelo nó.

A atividade enzimática pode estar relacionada ao processo de acúmulo de sacarose nas diferentes partes do colmo.

Diante desses resultados, a hipótese inicialmente formulada foi confirmada.

Referências

ALVARENGA, T. C.; SILVA NETO, H. F.; OGASSAVARA, F. O.; ARANTES, F. A. MARQUES, M. O.; FRIGIERI, M. C. Polifenoloxidase: uma enzima intrigante. **Ciência e Tecnologia**, Jaboticabal, v.3, n.1, p.83-93, 2011.

BUCHELI, C. S.; DRY, I. B.; ROBINSON, S. P. Isolation of a full-length cDNA encoding polyphenol oxidase from sugarcane, a C4 grass. **Plant Molecular Biology**, v. 31, n. 6, p. 1233-1238, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF00040840>>

BUCHELI, C. S.; ROBINSON, S. P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 2, p. 257-261, 1994. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf00038a006>>

CAMPOS, C. F.; SOUZA, P. E. A.; COELHO, V.; GLÓRIA, M. B. A. Chemical composition, enzyme activity and effect of enzyme inactivation on flavor quality of green coconut water. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 20, n.6, p. 487-500, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.1996.tb00761.x>>

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba, SP, 4ed., 2003. 116p

EISSA, H. A.; SHEHATA, A. N.; RAMADAN, M. T.; ALI, H. A. Preservation of Sugarcane Juice by Canning. 1. Effect of Thermal and Chemical Pre-treatments on the Enzymatic Browning of Sugarcane Juice. **Journal of American Science**, v. 6, n. 9, p. 883-888, 2010.

FEILLET, P. ; AUTRAN, J. C. ; VERNIÉRE, C. I. Pasta brownness an assessment. **Journal of Cereal Science**, v. 32, p. 215-233, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1006/jcrs.2000.0326>>

JACKSON, P. A.; O'SHEA, M. G.; RATTEYC, A. R.; BONNETT, G. D.; LINDEMAN, P. F. COX, M. C.; VICKERS, J. E.; MORGAN T. Effect of Genotype and Genotype × Nitrogen Rate Interactions on Color in Juice and Raw Sugar from Sugarcane. **Crop Science Society of America**, v. 46 n. 2, p. 886-892, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0213>>

JITTANIT, W.; WIRIYAPUTTIPONG, S.; CHAROENPORNWORANAM, H.; SONGSERMPONG, S. Effects of Varieties, Heat Pretreatment and UHT Conditions on the Sugarcane Juice Quality. **Chiang Mai Journal Science**, v. 38, n. 1, p. 116-125, 2011.

KWIATKOWSKI, A.; OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E. Atividade enzimática e parâmetros físico-químicos de água de cocos colhidos em diferentes estádios de desenvolvimento e estação climática. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 551-559, Junho 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000200029>>

LUÍZ, R. C.; HIRATA, T. A. M; CLEMENTE, E. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxidase de abacate (*Persea americana* MILL.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1766-1773, nov./dez., 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600025>>

MARQUES, T. A.; RAMPAZO, E. M.; MARQUES, P. A. A. Oxidative enzymes activity in sugarcane juice as a function of the planting system. **Food Science and Technology**, Campinas, 33(1): 146-150, Jan.-Mar. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013005000010>>

MENEZES, E. M. S.; ROSENTHAL, A.; SABAA-SRUR, A.; CAMARGO, L.; CALADO, V.; SANTOS, A. Efeito da alta pressão hidrostática na atividade de enzimas da polpa de açaí. **Food Science and Technology**, Campinas, 28, p. 14-19, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000500003>>

OLIVEIRA, A. C. G.; SPOTO, M. H. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUSA, C. P.; GALLO, C. R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n.4, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000400029>

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A.; Effect of Maturity on Chlorophyll, Tannin, Color, and Polyphenol Oxidase (PPO) Activity of Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 1615-1618, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf010959l>>

SILVA NETO, H. F.; HOMEM, B. F. M.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Evaluación de la Acidez en el Jugo de Diferentes Partes del Tallo de Caña de Azúcar, Ciclo 2010/2011. **Interciencia**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 277-280, abr. 2014a.

SILVA NETO, H. F.; PAULI, F. A.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Porcentagem de sacarose aparente e potencial produtivo de açúcar em cultivares de cana. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 5, p. 53 – 58, 2014b.

VICKERS, J. E.; GROF, C. P. L.; BONNETT, G. D.; JACKSON, P. A.; KNIGHT, D. P.; ROBERTS, S. E.; ROBINSON, S. P. Overexpression of Polyphenol Oxidase in Transgenic Sugarcane Results in Darker Juice and Raw Sugar. **Crop Science Society of America**, v. 45, n. 1, p. 354-362, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.0354>>

VIEIRA, I.C.; LUPETTI, K.O.; FATIBELLO-FILHO, O. Determinação de paracetamol em produtos farmacêuticos usando um biossensor de pasta de carbono modificado com extrato bruto de abobrinha (*Cucurbitapepo*). **Química Nova**, São Paulo, n.1, v. 26, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000100009>>

CAPÍTULO 6 - Atividade enzimática em caldo de cana-de-açúcar extraído de diferentes partes constituintes do colmo

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo determinar a atividade enzimática no caldo extraído de diferentes terços do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar, com e sem casca. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcelas sub-subdivididas, com três repetições. O tratamento principal constituiu-se dos cultivares de cana (RB867515, SP81-3250, IACSP93-3046 e IACSP95-5000). O tratamento secundário considerou as partes do colmo de cana (terço superior-TS, terço médio-TM e terço inferior-TI). Para o terceiro tratamento foi analisado a ausência ou presença da casca no colmo de cana. No caldo extraído foi determinada a atividade enzimática (polifenoloxidase e peroxidase). De posse dos resultados obtidos foi realizado a análise de variância pelo Teste F. Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Houve diferença entre os cultivares para as duas enzimas analisadas, sendo que o cultivar IACSP95-5000 obteve maior atividade para a enzima polifenoloxidase e o SP81-3250 para a peroxidase. Os terços da cana exerceram maior influência para a atividade da enzima polifenoloxidase, indicando sua possível relação com o processo de maturação do colmo. A casca pode ser considerada precursora de cor devido à maior atividade enzimática encontrada para a polifenoloxidase, apesar de proporcionar menor atividade da peroxidase. As enzimas apresentaram comportamentos diferentes para os tratamentos estudados, e, em alguns casos, antagônicos, evidenciando assim a independência entre elas.

Palavras-chave: açúcar; casca; escurecimento enzimático; peroxidase; polifenoloxidase; *Saccharum* spp.

Introdução

A atividade enzimática se destaca como uma importante variável relacionada à qualidade da cana-de-açúcar, pois influencia de forma direta a qualidade do açúcar produzido. Caldo de cana com elevada atividade de polifenoloxidase (PPO) resulta em cristais de açúcar de cor mais escura (VICKERS et al., 2005), dificultando sua comercialização principalmente no mercado externo, que exige rigorosos padrões de qualidade (JACKSON et al., 2006).

A existência desta estreita relação entre atividade enzimática e cor do açúcar é decorrente, principalmente, da ação da polifenoloxidase que oxida compostos fenólicos, em presença de oxigênio molecular, e o resultado final das reações catalisadas por essas enzimas são quinonas, substâncias que se combinam entre si,

e outros componentes do meio para formar produtos de condensação de alta massa molecular e de cor escura, as melaninas (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012). São elas que conferem cor escura no caldo de cana, que por sua vez vai dar origem a açúcar de coloração mais intensa.

De acordo com Bucheli e Robinson (1994) e Eissa et al., (2010) a enzima polifenoloxidase é a principal responsável pela formação de cor no caldo de cana. Entretanto, outras enzimas também atuam neste processo, como a peroxidase (POD), por exemplo. Esta enzima pode promover uma grande variedade de reações e com isso apresenta um alto grau de versatilidade (LUIZ; HIRATA e CLEMENTE, 2007; VANINI; KWIATKOWSKI e CLEMENTE, 2010).

Diante disso, a atividade destas enzimas é procedente de distintas fontes e diferem em sua atividade relativa diante de substratos específicos (SILVA; ROSA e VILAS BOAS, 2009). Neste contexto, em experimento realizado por Jittanit et al. (2011), utilizando-se de aspectos relacionados ao controle enzimático, os autores puderam concluir que o cultivar de cana Suphan Buri 50 apresenta melhor qualidade de caldo do que o cultivar Singapore.

De modo semelhante, Qudsieh et al. (2002) encontraram diferenças em relação às partes que compõe o colmo de cana, sendo que a região do topo obteve maior atividade da polifenoloxidase e maior índice de cor.

A retirada da casca da cana proporciona melhor qualidade de caldo (SONGSERMPONG e JITTANIT et al., 2010). Os resultados apresentados por Mao; Xu e Que (2007) revelaram que a retirada da casca, aliada ao tratamento com branqueamento e ácido ascórbico, foi eficaz no controle da cor do caldo e reduziu de forma eficiente a atividade da enzima polifenoloxidase, a qual foi sete vezes maior no tratamento em que a casca foi mantida.

Entretanto, a atividade da polifenoloxidase e da peroxidase pode apresentar comportamentos distintos. Avaliando três cultivares de uva (polpa e casca), Troiani; Tropiani; e Clemente (2003) obtiveram para a variedade Borbon maior atividade da polifenoloxidase na casca, porém, a peroxidase obteve comportamento inverso, apresentando menor atividade na casca (91% menor do que na polpa).

Neste sentido, é importante conhecer de forma detalhada a atividade enzimática presente em diferentes regiões do colmo de cana. Sendo assim, este

trabalho teve como objetivo determinar a atividade enzimática (PPO e POD) no caldo extraído de diferentes terços do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar, com e sem casca.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcelas sub-subdivididas, com três repetições. O tratamento principal constituiu-se dos cultivares de cana¹ (RB867515, SP81-3250, IACSP93-3046 e IACSP95-5000). O tratamento secundário considerou as partes do colmo de cana (terço superior-TS, terzo médio-TM e terzo inferior-TI). Para o terceiro tratamento foi analisado a ausência ou presença da casca no colmo de cana.

Aos 10 meses de idade, nas condições de cana soca (cana de quarto corte), foram coletados 15 colmos de cada cultivar, cortando-os rente ao solo, com o auxílio de facão apropriado. Na sequência, procedeu-se ao desponte, no ponto natural de quebra do palmito, despalha manual, enfeixamento e etiquetagem para, então, serem transportados ao o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol. No laboratório, os colmos foram separados em terços de comprimentos aproximados, com auxílio de serra elétrica portátil Skil 4003, definindo-se assim, três partes a saber: terzo superior (TS)², terzo médio (TM) e terzo inferior (TI)². Em seguida, para cada terzo foi realizada a raspagem da casca², visando a sua remoção, com o auxílio de canivete comum.

As frações obtidas foram passadas separadamente em desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, retirou-se uma porção de 500 g que foi submetida à pressão de 250 kg cm⁻² por sessenta segundos, em uma prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II, obtendo-se o caldo extraído², de acordo com Consecana, SP (2006).

No caldo extraído foram determinadas as atividades enzimáticas, utilizando-se o método proposto por Vieira; Lupetti e Fatibello-Filho (2003), que prevê o uso do

¹ Anexo – Material disponível nos Anexos 14 e 15, paginas 140 a 141.

² Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figuras 26A a 29A, página 120.

produto Polyclar Super R (PVP), como agente de preservação da atividade enzimática até o momento da realização da análise. A atividade da polifenoloxidase foi determinada pelo método preconizado por Ponting e Joslyn e da peroxidase por Ferhrramann e Diamond, ambos descritos por Campos et al. (1996), sendo estabelecida que uma unidade de atividade enzimática era a quantidade de extrato enzimático capaz de aumentar a absorbância em 425 e 470 nm para a polifenoloxidase e peroxidase, respectivamente, com taxas de 0,001 unidades por minuto ($0,001 \Delta A/\text{min}$).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O cultivar IACSP95-5000, o terço superior e a presença da casca apresentaram maior atividade enzimática para a polifenoloxidase (Tabela 1). Para a enzima peroxidase, as maiores atividades foram encontradas para o cultivar SP81-3250 e no tratamento em que a casca foi retirada.

Como houve interações significativas entre os tratamentos estudados, os resultados serão discutidos com base nos desdobramentos dos mesmos.

Na comparação entre os cultivares, para um mesmo terço do colmo, o cultivar IACSP95-5000 apresentou maior atividade da polifenoloxidase (Figura 1). Esta superioridade pode estar relacionada às características intrínsecas do cultivar. Assim como neste estudo, Jittanit et al. (2011) pode destacar o cultivar de melhor qualidade de caldo em relação aos aspectos enzimáticos. De modo semelhante, Bucheli e Robinson (1994) também encontraram diferenças entre os cultivares de cana para os níveis de atividade da enzima polifenoloxidase e puderam observar que os exemplares que apresentaram baixa atividade enzimática proporcionaram caldos de menor escurecimento enzimático.

Tabela 1. Valores médios da atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) para os tratamentos estudados, além de dados estatísticos.

	PPO	POD
Cultivar (C)	(0,001 Δ A ₄₂₅ /min)	(0,001 Δ A ₄₇₀ /min)
RB867515	15,64 b	60,58 b
SP81-3250	16,11 b	76,26 a
IACSP93-3046	17,52 b	64,37 b
IACSP95-5000	31,32 a	57,00 b
DMS (5%)	4,20	9,98
Terços (T)		
Terço Superior (TS)	23,45 a	64,54
Terço Médio (TM)	18,42 b	66,71
Terço Inferior (TI)	18,57 b	62,41
DMS (5%)	0,69	5,25
Casca (Ca)		
Com	21,27 a	56,52 b
Sem	19,02 b	72,58 a
DMS (5%)	0,51	3,83
Teste F		
C	65,26**	14,39**
T	227,53**	2,23 ^{NS}
Ca	80,24**	74,69**
C x T	9,83**	9,74**
C x Ca	21,47**	4,25*
T x Ca	4,83*	5,37*
C x T x Ca	10,51**	5,03**
Coefficiente de Variação		
CV % Parcela	19,52	14,49
CV % Subparcela	4,61	10,92
CV % Sub - Subparcela	5,28	12,21

Médias seguidas de letras distintas na vertical, em cada tratamento, diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * e ** - significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente. NS – não significativo. DMS – diferença mínima significativa.

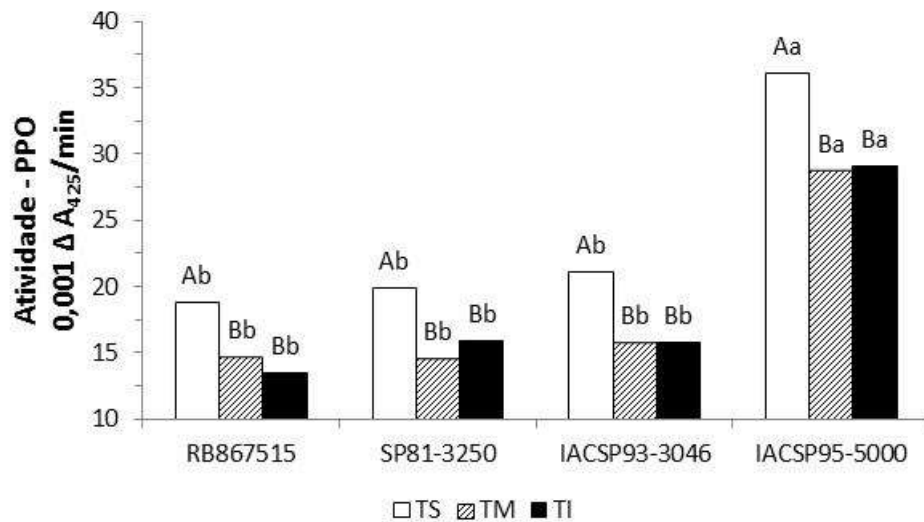


Figura 1. Desdobramento da interação obtida entre Cultivares (C) e Terços do colmo (T) para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo) e mesma letra maiúscula (comparação entre as partes do colmo de um mesmo cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

O cultivar IACSP95-5000 apresentou maior atividade enzimática, em relação aos demais cultivares, independente da casca estar presente ou não (Figura 2). A superioridade em termos de atividade da polifenoloxidase, para este cultivar, em todos os tratamentos estudados, indica a necessidade de maior atenção para este exemplar, uma vez que alguns cultivares podem apresentar escurecimento enzimático no caldo em níveis prejudiciais ao processo de fabricação do açúcar (MARQUES; RAMPAZO e MARQUES, 2013). Resultados semelhantes foram obtidos por Vickers et al. (2005), que constataram produção de cristais de açúcar mais escuros, quando o caldo apresentava elevada atividade de polifenoloxidase. Vale lembrar que o índice de cor do açúcar é uma das principais variáveis relacionadas à qualidade, e quando o índice de cor é elevado, há depreciação do produto obtido, diminuindo seu valor de venda no mercado, e em alguns casos, impossibilita sua comercialização no mercado internacional (JACKSON et al., 2006).

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 15A, página 112.

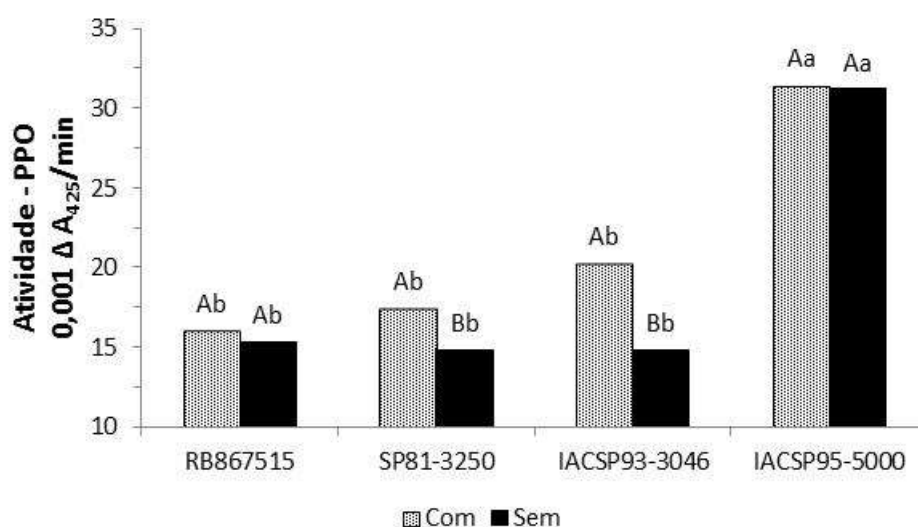


Figura 2. Desdobramento da interação obtida entre Cultivares (C) e Casca (Ca) para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre os cultivares na presença ou ausência da casca) e mesma letra maiúscula (comparação entre os tratamentos com e sem casca para um mesmo cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Com – com casca. Sem – sem casca

Em relação aos terços do colmo, o superior apresentou maior atividade da polifenoloxidase, independente do cultivar de origem (Figura 1) e da presença da casca (Figura 3). Os terços médios e inferiores apresentaram atividades enzimáticas em níveis semelhantes.

Resultados similares foram obtidos por Bucheli; Dry e Robinson (1996) e Qudsieh et al. (2002) que constataram maior atividade da polifenoloxidase no topo do colmo, sendo também observada redução da atividade enzimática ao longo do colmo até chegar à base. Assim sendo, o comportamento da enzima polifenoloxidase se relaciona de modo inverso ao processo de maturação que ocorre no colmo de cana.

Por estas considerações e pela elevada correlação negativa entre atividade da polifenoloxidase e a maturação da cana durante a safra ($r = -0,85$ e $P < 0,0001$) mencionada por Qudsieh et al. (2002), pode-se inferir que a maior atividade enzimática encontrada no terço superior do colmo possa decorrer da variação em relação ao estágio de maturação dessa parte em comparação às demais.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 16A, página 113.

A existência dessa relação entre maturação e atividade da polifenoloxidase é devido à degradação bioquímica dos compostos fenólicos, como o tanino, que ocorre durante o processo de maturação, diminuindo assim o substrato para ação da enzima (QUDSIEH et al., 2002).

A presença da casca proporcionou atividades enzimáticas em níveis superiores especialmente quando se tratava dos cultivares SP81-3250 e IACSP93-3046 (Figura 2). De forma geral a superioridade proporcionada pela casca se deu de forma independente do terço do colmo. (Figura 3). Uma possível explicação para esses resultados, é que a ação da polifenoloxidase é baseada na sua capacidade de oxidar compostos fenólicos (QUEIROZ et al., 2008) apresentando especificidade de substrato pouco estrita, o que faz com que sua atividade varie de acordo com o substrato (SILVA; ROSA e VILAS BOAS, 2009). Analisando a casca da cana Elakkiya et al. (2012) constatou a presença de uma gama de moléculas fenólicas, as quais proporcionam a ação da enzima polifenoloxidase, aumentando assim sua atividade enzimática. Nestas condições, as polifenoloxidase oxidam estes compostos fenólicos com o auxílio do oxigênio molecular e o resultado final das reações catalisadas por essas enzimas são quinonas, substâncias que se combinam entre si, e outros componentes do meio para formar produtos de condensação de alta massa molecular e cor escura, as melaninas (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012). Portanto, a presença da casca pode ocasionar caldo de cana mais escuro, cujas causas podem se resumir na maior concentração de enzima, do substrato ou da natureza do substrato presente na casca.

É importante destacar também que as quinonas, produzidas durante a ação da enzima polifenoloxidase, são classificadas como compostos altamente tóxicos, utilizados pelas plantas no combate à microrganismos (ALVARENGA et al., 2011). Dessa forma, se justifica a maior atividade da polifenoloxidase encontrada na presença da casca, o que auxiliaria no processo de proteção da cana.

Resultados similares foram obtidos por Songsermpong e Jittanit et al. (2010) e Mao; Xu e Que (2007) que constataram melhor qualidade do caldo e menor atividade enzimática na ausência da casca de cana.

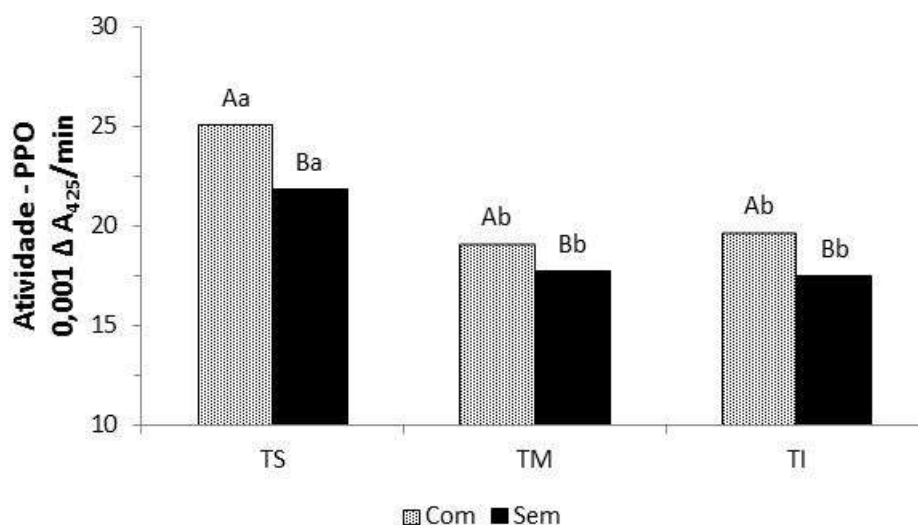


Figura 3. Efeito da interação obtida entre Terços do colmo (T) e Casca (Ca) para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre as partes do colmo na presença ou ausência da casca) e mesma letra maiúscula (comparação entre os tratamentos com e sem casca para uma mesma parte do colmo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior. Com – com casca. Sem – sem casca.

Para a enzima peroxidase, destaca-se que a maior atividade enzimática ocorreu para o cultivar SP81-3250 independente do terço (Figura 4) e da presença de casca (Figura 5). Dessa forma, pode-se inferir que as atividades enzimáticas da polifenoloxidase e peroxidase ocorreram de formas distintas nos cultivares.

De forma geral, comparando os terços do colmo, não foi possível definir uma tendência em relação à atividade da peroxidase (Figura 4). O mesmo é válido em relação à presença ou não da casca (Figura 5). Essa oscilação de comportamento, em relação aos terços, permite-se deduzir sobre a ausência de relação da atividade enzimática com o processo de maturação.

Comportamentos semelhantes são relatados na literatura com outras espécies de plantas, como é o caso das variedades de abacate Fortuna e Choquete que apresentaram menor atividade da polifenoloxidase no estágio maduro, indicando a correlação entre a atividade desta enzima e o processo de maturação da planta. Outra abordagem diz respeito às formas da enzima classificadas de acordo com sua

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 17A, página 113.

solubilidade. Nesse aspecto, a atividade da peroxidase solúvel apresentou menor atividade no estágio verde, e a atividade da peroxidase ionicamente ligada aumentou com a mudança do estágio verde para maduro para a variedade Choquete (VANINI; KWIATKOWSKI e CLEMENTE, 2010).

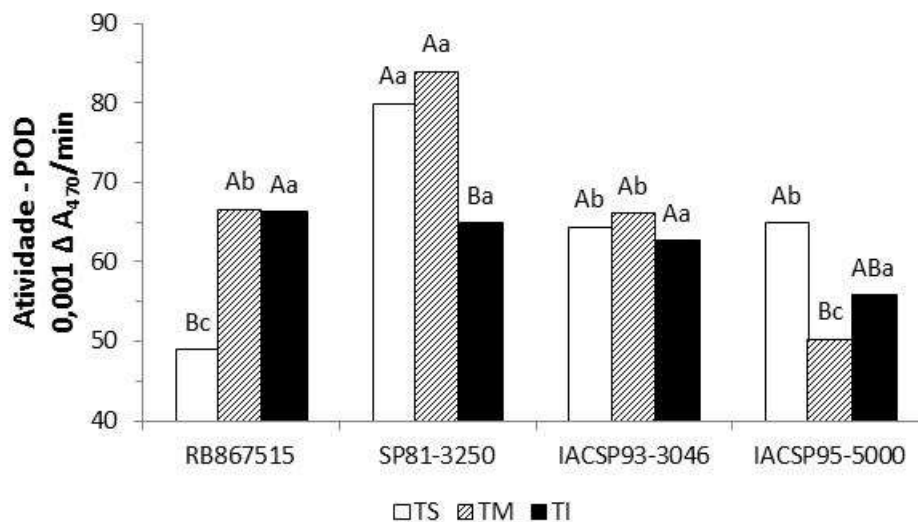


Figura 4. Desdobramento da interação obtida entre Cultivares (C) e Terços do colmo (T) para a atividade da enzima peroxidase (POD)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo) e mesma letra maiúscula (comparação entre as partes do colmo de um mesmo cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

Na comparação com e sem casca, os tratamentos em que a casca foi retirada obtiveram os maiores valores (Figuras 5 e 6). Uma possível explicação para este comportamento seria o fato da peroxidase promover grande variedade de reações e com isso apresenta alto grau de versatilidade (LUIZ; HIRATA e CLEMENTE, 2007; VANINI; KWIATKOWSKI e CLEMENTE, 2010).

De maneira similar, Troiani; Tropiani; e Clemente (2003) obtiveram variação da maior atividade da polifenoloxidase na casca, porém, assim como no presente estudo, a peroxidase obteve comportamento inverso, apresentando menor atividade da peroxidase na casca.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 18A, página 113.

Entretanto, é importante ressaltar que a elevada atividade da polifenoloxidase encontrada na presença da casca da cana pode ocasionar caldo mais escuro e conseqüentemente açúcar refinado de menor qualidade, uma vez que a polifenoloxidase (e não a peroxidase) é a principal responsável pelo escurecimento e formação de cor no caldo de cana (BUCHELI e ROBINSON, 1994 e EISSA et al, 2010).

Assim sendo, apesar da menor atividade da peroxidase encontrada nos tratamentos em que a casca foi mantida, a casca da cana pode ser considerada precursora de cor devido à maior atividade da enzima polifenoloxidase.

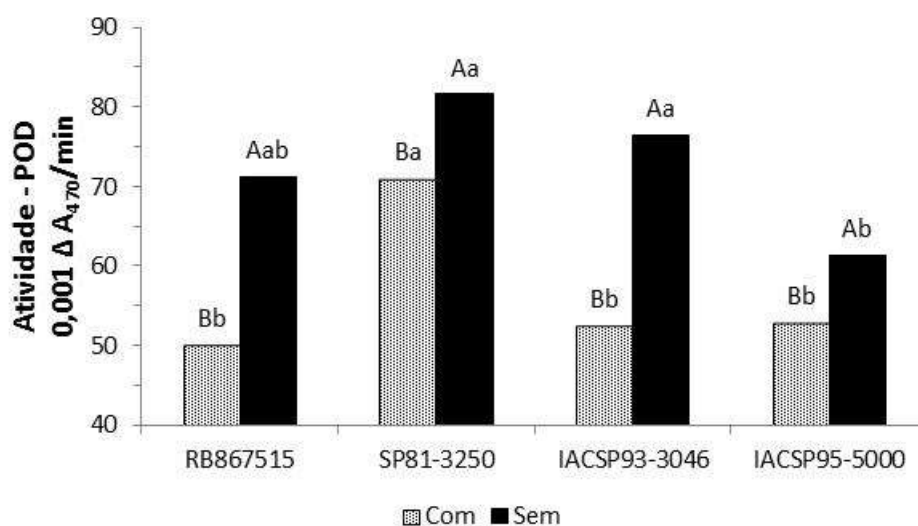


Figura 5. Desdobramento da interação obtida entre Cultivares (C) e Casca (Ca) para a atividade da enzima peroxidase (POD)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre os cultivares na presença ou ausência da casca) e mesma letra maiúscula (comparação entre os tratamentos com e sem casca para um mesmo cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Com – com casca. Sem – sem casca.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 19A, página 113.

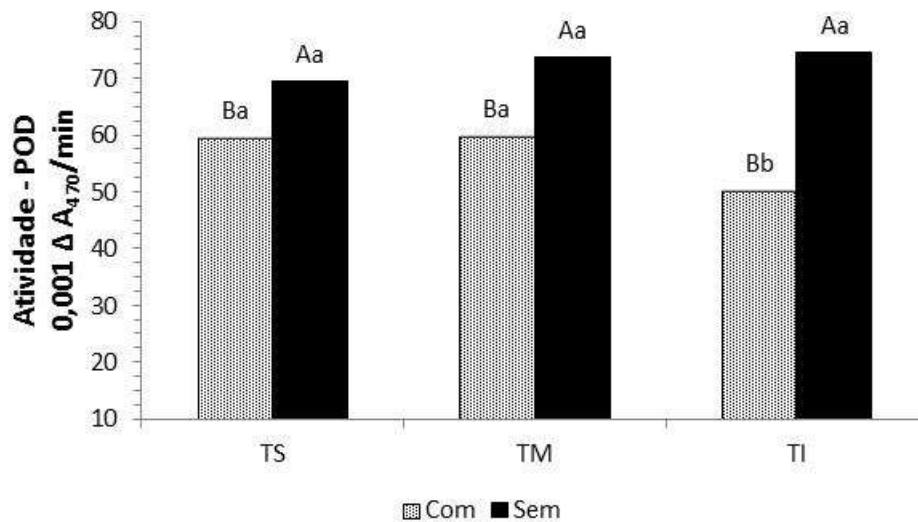


Figura 6. Desdobramento da interação obtida entre Terços do colmo (T) e Casca (Ca) para a atividade da enzima peroxidase (POD)¹. Médias seguidas de mesma letra minúscula (comparação entre as partes do colmo na presença ou ausência da casca) e mesma letra maiúscula (comparação entre os tratamentos com e sem casca para uma mesma parte do colmo) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior. Com – com casca. Sem – sem casca.

Conclusões

Houve diferença entre os cultivares para as duas enzimas analisadas, sendo que o cultivar IACSP95-5000 obteve maior atividade para a enzima polifenoloxidase e o SP81-3250 para a peroxidase.

Os terços da cana exerceram maior influência para a atividade da enzima polifenoloxidase, indicando sua possível relação com o processo de maturação do colmo.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 20A, página 114.

A casca pode ser considerada precursora de cor devido à maior atividade enzimática encontrada para a polifenoloxidase, apesar de proporcionar menor atividade da peroxidase.

As enzimas apresentaram comportamentos diferentes para os tratamentos estudados, e, em alguns casos, antagônicos, evidenciando assim a independência entre elas.

Referências

ALVARENGA, T. C.; SILVA NETO, H. F.; OGASSAVARA, F. O.; ARANTES, F. A. MARQUES, M. O.; FRIGIERI, M. C. Polifenoloxidase: uma enzima intrigante. **Ciência e Tecnologia**, Jaboticabal, v.3, n.1, p.83-93, 2011.

BUCHELI, C. S.; DRY, I. B.; ROBINSON, S. P. Isolation of a full-length cDNA encoding polyphenol oxidase from sugarcane, a C4 grass. **Plant Molecular Biology**, v. 31, n. 6, p. 1233-1238, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF00040840>>

BUCHELI, C. S.; ROBINSON, S. P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 2, p. 257-261, 1994. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf00038a006>>

CAMPOS, C. F.; SOUZA, P. E. A.; COELHO, V.; GLÓRIA, M. B. A. Chemical composition, enzyme activity and effect of enzyme inactivation on flavor quality of green coconut water. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 20, n.6, p. 487-500, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.1996.tb00761.x>>

Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba, SP, 4ed., 2003. 116p

EISSA, H. A.; SHEHATA, A. N.; RAMADAN, M. T.; ALI, H. A. Preservation of Sugarcane Juice by Canning. 1. Effect of Thermal and Chemical Pre-treatments on the Enzymatic Browning of Sugarcane Juice. **Journal of American Science**, v. 6, n. 9, p. 883-888, 2010.

ELAKKIYA, S.; PALLAVI, R.; TENNETY, S. S. R.; SUGANYADEVI, P. To evaluate in vitro antioxidant property of sugarcane (*Saccharum Officinarum* L) peel. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 3, n. 3, p. 65-73, julho 2012.

JACKSON, P. A.; O'SHEA, M. G.; RATTEYC, A. R.; BONNETT, G. D.; LINDEMAN, P. F. COX, M. C.; VICKERS, J. E.; MORGAN T. Effect of Genotype and Genotype × Nitrogen Rate Interactions on Color in Juice and Raw Sugar from Sugarcane. **Crop Science Society of America**, v. 46 n. 2, p. 886-892, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0213>>

JITTANIT, W.; WIRIYAPUTTIPONG, S.; CHAROENPORNWORANAM, H.; SONGSERMPONG, S. Effects of Varieties, Heat Pretreatment and UHT Conditions on the Sugarcane Juice Quality. **Chiang Mai Journal Science**, v. 38, n. 1, p. 116-125, 2011.

KWIATKOWSKI, A.; OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E. Atividade enzimática e parâmetros físico-químicos de água de cocos colhidos em diferentes estádios de desenvolvimento e estação climática. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 551-559, Junho 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000200029>>

LUÍZ, R. C.; HIRATA, T. A. M; CLEMENTE, E. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxidase de abacate (*Persea americana* MILL.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1766-1773, nov./dez., 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600025>>

MAO, L. C.; XU, Y. Q.; QUE, F. Maintaining the quality of sugarcane juice with blanching and ascorbic acid. **Food Chemistry**, Washington, v. 104, n. 2, p.740-745, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.055>>

MARQUES, T. A.; RAMPAZO, E. M.; MARQUES, P. A. A. Oxidative enzymes activity in sugarcane juice as a function of the planting system. **Food Science and Technology**, Campinas, 33(1): 146-150, Jan.-Mar. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013005000010>>

QUEIROZ, C.; LOPES, M. L. M.; FIALHO, E.; VALENTE-MESQUITA, V.L. Polyphenol Oxidase: Characteristics and Mechanisms of Browning Control, **Food Reviews International**, v.24, n.4, p. 361-375, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/87559120802089332>>

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A.; Effect of Maturity on Chlorophyll, Tannin, Color, and Polyphenol Oxidase (PPO) Activity of Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 1615-1618, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf010959l>>

SILVA, M. V.; ROSA, C. I. L. F; VILAS BOAS, E. V. B. Conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba v. 27, n. 1, p. 83-96, 2009.

SONGSEMPONG, S.; JITTANIT, W. Comparison of peeling, squeezing and concentration methods for the sugarcane juice production. **Suranaree Journal of Science & Technology**, v. 17, n. 1, janeiro-março, 2010.

TROIANI, E. P.; TROPIANI, C. T.; CLEMENTE, E. Peroxidase (POD) and polyphenoloxidase (PPO) in grape (*Vitis vinifera* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 7, n. 3, p. 635-642, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000300019>>

VANINI, L. S.; KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Polyphenoloxidase and peroxidase in avocado pulp (*Persea americana* Mill.). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 525-531, abr.-jun. 2010. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000200036>>

VICKERS, J. E.; GROF, C. P. L.; BONNETT, G. D.; JACKSON, P. A.; KNIGHT, D. P.; ROBERTS, S. E.; ROBINSON, S. P. Overexpression of Polyphenol Oxidase in Transgenic Sugarcane Results in Darker Juice and Raw Sugar. **Crop Science Society of America**, v. 45, n. 1, p. 354-362, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.0354>>

VIEIRA, I.C.; LUPETTI, K.O.; FATIBELLO-FILHO, O. Determinação de paracetamol em produtos farmacêuticos usando um biossensor de pasta de carbono modificado com extrato bruto de abobrinha (*Cucurbitapepo*). **Química Nova**, São Paulo, n.1, v. 26, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000100009>>

CAPÍTULO 7 - Atividades da polifenoloxidase e peroxidase em caldo extraído de nós e entrenós da cana-de-açúcar

RESUMO - O objetivo com este trabalho foi determinar a atividade enzimática do caldo extraído de diferentes partes do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com parcelas sub-subdividas, com três repetições. O primeiro tratamento estudado foi Cultivar (RB867515, SP81-3250, IACSP93-3046 e IACSP95-5000). O segundo foi Terço do colmo (superior, médio e inferior). O terceiro tratamento foi Parte (nós, entrenós e o terços inteiros). No caldo extraído foi determinada a atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. O cultivar IACSP95-5000 apresentou elevada atividade enzimática para todas as partes do colmo estudadas, indicando ser um cultivar com maior escurecimento de caldo, o que nos permite inferir de sua menor aptidão para a produção de açúcar. A maior atividade da polifenoloxidase encontrada nos nós influenciou de forma direta a atividade desta enzima no caldo extraído do terço inteiro (nó e entrenó). Para a peroxidase, os maiores valores de atividade enzimática foram obtidos no caldo extraído do terço inteiro, indicando que esta enzima e seu substrato encontram-se em locais diferentes do colmo. A menor atividade da enzima polifenoloxidase obtida no entrenó e no terço inferior do colmo pode proporcionar caldo mais claro e conseqüentemente açúcar cristal branco de maior qualidade. A polifenoloxidase, diferentemente da peroxidase, teve sua atividade inversamente relacionada ao processo de maturação do colmo.

Palavras-chave: açúcar; colmo, enzima; escurecimento enzimático; variedade.

Introdução

Dentre os componentes do caldo de cana destacam-se os compostos fenólicos que interferem na sua coloração (OLIVEIRA et al., 2007). A coloração do caldo, por sua vez, correlaciona-se, de forma direta, com o índice de cor do açúcar produzido (JACKSON et al., 2006) e quanto maior o índice de cor, menor será a qualidade do açúcar produzido.

Neste contexto, as enzimas polifenoloxidase e peroxidase, em especial a primeira (BUCHELI e ROBINSON, 1994), se destacam na medida em que suas atividades conferem cor ao caldo de cana.

A polifenoloxidase tem sua atividade caracterizada por oxidar os compostos fenólicos do caldo na presença de oxigênio molecular. O produto dessa reação são substâncias denominadas quinonas que, combinadas entre si e com outras substâncias, originam as melaninas, produtos de condensação, de alta massa molecular e cor escura (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012).

Dessa forma, o processamento de caldo elevada atividade da polifenoloxidase resulta em cristais de açúcar com elevado índice de cor (VICKERS et al., 2005). Esse produto, nessas condições, pode não atender às exigências de alguns mercados, restringindo a sua comercialização em mercados menos exigentes em que o valor agregado do produto é menor (JACKSON et al., 2006).

De outra forma, a peroxidase pode promover uma grande variedade de reações de bi degradação, o que lhe confere alto grau de versatilidade (LUIZ; HIRATA e CLEMENTE, 2007), mas que também, embora em menores proporções, resultam em aumento dos índices de cor do caldo.

Vários são os fatores que interferem nas atividades enzimáticas mencionadas. Contudo, é possível agrupar os cultivares de cana-de-açúcar de acordo com essas atividades enzimáticas (EISSA et al., 2010) e destacar partes integrantes do colmo distintas em relação a essas mesmas atividades, desde que as diferenças entre os fatores interferentes resultem em diferenças expressivas. Assim, este trabalho parte da hipótese de que as diferentes partes constituintes do colmo proporcionam caldos que se distinguem quanto à atividade da polifenoloxidase e peroxidase.

Sendo assim, o objetivo com este trabalho foi determinar a atividade enzimática do caldo extraído de diferentes partes do colmo de quatro cultivares de cana-de-açúcar.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na FCAV/UNESP campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com parcelas sub-subdivididas, com três repetições. O primeiro tratamento estudado foi Cultivar, sendo utilizados: RB867515, SP81-3250, IACSP93-3046 e IACSP95-5000. O

segundo foi Terço, sendo definidos terços do colmo superior, médio e inferior. O terceiro tratamento foi Parte, sendo incluídos nós, entrenós e os terços inteiros.

Aos 11 meses de idade, nas condições de cana-soca (cana de quarto corte), foram coletados 15 colmos de cada cultivar, cortando-os rente ao solo, com o auxílio de facão apropriado. Na sequência, procedeu-se ao desponte, no ponto natural de quebra do palmito, despalha manual, enfeixamento e etiquetagem para, então, serem transportados ao o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Etanol.

No laboratório, os colmos foram separados em terços de comprimentos aproximados, com auxílio de serra elétrica portátil Skil 4003, definindo-se assim, três partes a saber: terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI), as quais foram separadas em nós e entrenós ou os terços foram mantidos íntegros.

As frações obtidas foram passadas separadamente em desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, retirou-se uma porção de 500 g que foi submetida à pressão de 250 kg cm^{-2} por sessenta segundos, em uma prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II, obtendo-se o caldo extraído¹, de acordo com Consecana, SP (2006).

No caldo extraído foram determinadas as atividades enzimáticas, utilizando-se o método proposto por Vieira; Lupetti e Fatibello-Filho (2003), que prevê o uso do produto Polyclar Super R (PVP), como agente de preservação da atividade enzimática até o momento da realização da análise. A atividade da polifenoloxidase foi determinada pelo método preconizado por Ponting e Joslyn e da peroxidase¹ por Ferhrramann e Diamond, ambos descritos por Campos et al. (1996), sendo estabelecido que uma unidade de atividade enzimática era a quantidade de extrato enzimático capaz de aumentar a absorvância em 425 e 470 nm para a polifenoloxidase e peroxidase, respectivamente, com taxas de 0,001 unidades por minuto ($0,001 \Delta A/\text{min}$).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

¹ Material ilustrativo suplementar (Apêndice B), Figuras 30A a 32A, página 120.

Resultados e Discussão

O cultivar IACSP95-5000 apresentou maior atividade de polifenoloxidase (29,52 UE, tabela 1). Os demais cultivares apresentaram valores da mesma ordem de grandeza. A elevada atividade enzimática apresentada pelo cultivar citado acima pode proporcionar caldo mais escuro, uma vez que a polifenoloxidase é a principal responsável pela formação de cor no caldo de cana (BUCHELI e ROBINSON, 1994).

A maior atividade da polifenoloxidase encontrada para o cultivar citado acima pode proporcionar escurecimento do caldo em níveis prejudiciais ao processo de fabricação do açúcar cristal branco (Marques; Rampazo e Marques, 2013). De modo semelhante, (BUCHELI e ROBINSON, 1994) encontraram diferenças entre os cultivares de cana para a polifenoloxidase e destacam a importância de se estudar estas enzimas. Utilizando-se de aspectos relacionados ao controle enzimático Jittanit et al. (2011) também puderam observar melhor qualidade de caldo para o cultivar Suphan Buri 50 em comparação ao Singapore.

O terço superior do colmo obteve maior atividade da polifenoloxidase (23,88 EU, tabela 1), o que se assemelha com os resultados de Qudsieh et al. (2002). Os autores constataram maior atividade enzimática no topo do colmo, indicando assim que o TS proporciona caldo de inferior qualidade.

Isso pode ter ocorrido devido à polifenoloxidase apresentar maior atividade em regiões de crescimento do colmo, diminuindo seu nível até a base (BUCHELI; DRY e ROBINSON, 1996). Tal comportamento é o inverso do obtido no processo de maturação do colmo de cana, o qual ocorre com maior intensidade na base em direção ao topo. Esta inferência vai ao encontro dos resultados obtidos por Qudsieh et al. (2002), que constataram maior atividade da polifenoloxidase em estágio iniciais de maturação, sendo esta uma possível explicação para a maior atividade enzimática encontrada no caldo extraído do terço superior do presente estudo que poderia não estar completamente maduro e sim ainda em processo de crescimento.

Esta relação entre atividade da polifenoloxidase e maturação da cana pode ser explicada pela degradação bioquímica de compostos fenólicos, principalmente tanino, que ocorre durante o processo de maturação. O tanino é substrato de ação da polifenoloxidase e apresenta correlação negativa com a maturação da cana,

sendo encontrado em partes imaturas como o topo do colmo (QUDSIEH et al., 2002).

Tabela 1. Valores médios de atividade da polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) para cultivares, frações da cana e partes do colmo, safra 2011/2012.

	PPO	POD
Cultivar (C)	(0,001 ΔA_{425} /min)	(0,001 ΔA_{470} /min)
RB867515	20,98 b	69,81
SP81-3250	16,43 b	72,00
IACSP93-3046	20,23 b	70,11
IACSP95-5000	29,52 a	73,82
Teste F	24,30**	2,28 ^{NS}
CV (%)	26,72	8,97
Terços do colmo (T)		
Superior	23,88 a	71,09
Médio	20,14 b	71,49
Inferior	21,36 b	71,72
Teste F	12,65**	0,08 ^{NS}
CV (%)	14,80	9,44
Partes do Colmo (P)		
Nó	28,89 a	64,25 c
Entrenó	15,08 c	69,94 b
Terço inteiro	21,41 b	80,12 a
Teste F	149,31**	64,77**
CV (%)	15,58	8,39
Estatística (Interações)		
C x T	2,06 ^{NS}	8,90**
C x P	7,63**	14,95**
T x P	2,25 ^{NS}	12,16**
C x T x P	2,24*	9,62**

Médias seguidas de letras distintas na vertical, em cada tratamento, diferem entre si pelo Teste de Tukey. * e ** - Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. NS – não significativo. CV – coeficiente de variação.

Em relação às partes do colmo, o nó obteve maior atividade de polifenoloxidase (tabela 1). Resultados similares foram obtidos por Bucheli; Dry e Robinson, (1996) nos quais os autores constataram elevada atividade da enzima polifenoloxidase no nó em comparação ao entrenó (25 e 5 unidades por grama de peso fresco, respectivamente).

Uma possível explicação da variação ocorrida entre as partes do colmo para a polifenoloxidase decorre da diferenciação entre as partes no tocante à quantidade e morfologia dos feixes fibrovasculares e diversidade de estruturas (SILVA NETO et

al., 2014a) determinantes para atividade metabólica nesses locais (SILVA NETO et al., 2014b).

Nesse sentido, a distribuição paralela dos feixes fibrovasculares nos entrenós (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008) e a ocupação dos demais espaços dessa parte pelas células isodiamétricas acumuladoras de sacarose (MARQUES; MARQUES e TASSO JUNIOR et al., 2001), acaba por caracterizar tais locais como sendo de menor atividade metabólica em comparação aos nós.

Na região do nó predominam emaranhado de feixes fibrovasculares, gemas laterais de brotamento, primórdios radiculares e anel de crescimento, cujas funções demandam energia adicional a qual explica os menores teores de sacarose (SILVA NETO et al., 2014a) resultantes da maior necessidade, nesses locais, de açúcares simples, fonte de energia química a ser liberada pela degradação oxidativa dos mesmos (respiração), de forma a viabilizar as respectivas funções na planta. Ou seja, a região do nó se caracteriza por apresentar atividade metabólica intensa, o que explicaria a maior atividade enzimática nesta parte do colmo.

Resultados similares foram obtidos por Silva Neto et al. (2014b) que constataram maior nível de acidez total e fixa para a região nodal e atribui este comportamento ao maior metabolismo desta parte do colmo.

Outro ponto a ser destacada é o mecanismo de defesa da planta, que justificaria a maior atividade da polifenoloxidase encontrada nos nós. Esta possível relação decorre da necessidade da cana em perpetuar a espécie, e para isso precisa proteger meristemas embrionários (gemas), os quais se localizam na região nodal. Neste contexto, a polifenoloxidase tem sua atividade caracterizada por oxidar os compostos fenólicos na presença de oxigênio molecular, produzindo quinonas (KWIATKOWSKI; OLIVEIRA e CLEMENTE, 2012), que são compostos altamente tóxicos, utilizados pela planta no combate à microrganismos (ALVARENGA et al., 2011), demonstrando assim a necessidade da cana apresentar elevada atividade da polifenoloxidase na região dos nós.

Para a enzima peroxidase não houve diferença entre os cultivares e terços do colmo (Tabela 1). De maneira semelhante, FREITAS et al. (2008) constataram diferenças entre variedades de uva para a enzima polifenoloxidase, porém também não observaram diferença entre elas para a peroxidase.

Para os quatro cultivares em estudo o nó foi a região do colmo que apresentou maior atividade da enzima polifenoloxidase e o entrenó a menor (Figura 1). O terço inteiro do colmo apresentou resultados intermediários, evidenciando assim que quando a extração do caldo é realizada de forma conjunta (nó e entrenó), a maior parte da atividade enzimática é decorrente da região nodal.

Caldo com elevada atividade de polifenoloxidase produz cristais de cor mais escura (VICKERS et al., 2005). Dessa forma, se justifica a separação do colmo, sendo que o entrenó possibilita, por meio de sua menor atividade enzimática, a obtenção de caldo mais claro e conseqüentemente açúcar especial de superior qualidade. A importância de se obter açúcar especial de qualidade é necessária pelo fato de que a intensidade de cor do açúcar é uma das mais importantes variáveis analisadas, e quando presente em elevado valor ocasiona baixo preço de venda e em alguns casos causa impede a comercialização do produto no mercado internacional (JACKSON et al., 2006).

O cultivar IAC95-5000 obteve maior atividade da enzima polifenoloxidase para todas as partes do colmo analisadas (Figura 1). Este resultado indica que este cultivar de cana não apresenta elevada aptidão para a produção de açúcar, uma vez que a produção de açúcar necessita de caldo mais claro e a polifenoloxidase é a principal enzima precursora de cor (BUCHELI e ROBINSON, 1994 e EISSA et al., 2010).

De modo contrário o cultivar SP81-3250 apresentou as menores atividades enzimáticas para todas as partes do colmo analisadas. O comportamento deste cultivar vai ao encontro dos resultados obtidos por Oliveira et al. (2007) que observou pequena tendência ao escurecimento para o caldo deste mesmo exemplar.

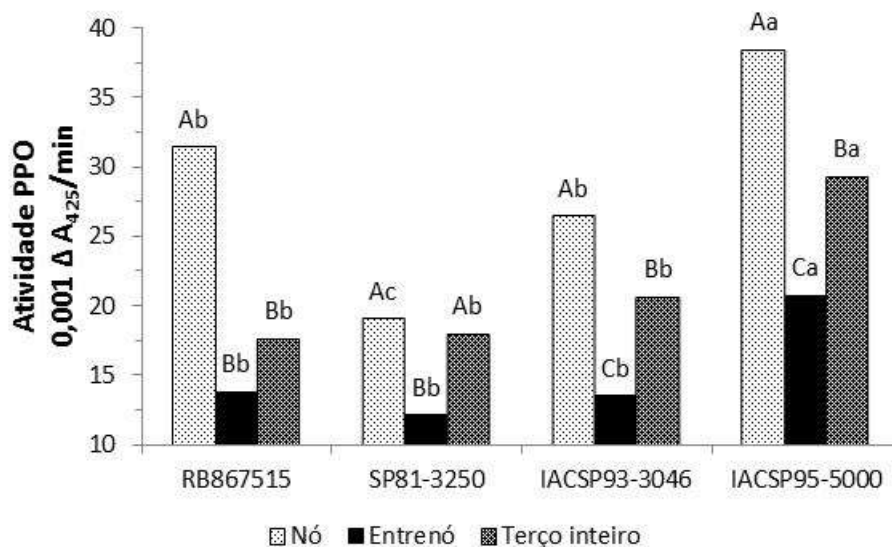


Figura 1. Efeito da interação obtida entre cultivares (C) e Partes do colmo (P) para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO)¹. Médias seguidas de letras distintas maiúsculas (comparação entre partes do colmo de um mesmo cultivar) e letras distintas minúsculas (comparação entre cultivares para uma mesma parte do colmo) diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para a enzima peroxidase não houve um comportamento definido na comparação entre cultivares e terços do colmo (Figura 2). O terço inferior do cultivar RB867515, o terço superior do cultivar SP81-3250 e o terço médio dos cultivares IACSP95-5000 e IACSP93-3046 apresentaram elevada atividade enzimática. Esta maior variabilidade dos resultados encontrados para a peroxidase se deve ao fato desta enzima promover uma grande variedade de reações de biodegradação e com isso apresenta um alto grau de versatilidade. (LUIZ; HIRATA e CLEMENTE, 2007).

Neste contexto, a ausência de um padrão entre os terços do colmo pode indicar que a enzima peroxidase, diferentemente da polifenoloxidase (QUDSIEH et al., 2002), não apresente relação com o ciclo de maturação da cana. Tal inferência vai ao encontro dos resultados obtidos por (VANINA; KWIATKOWSKI e CLEMENTE, 2010) que constataram menor atividade da polifenoloxidase no estágio maduro das variedades de abacate Fortuna e Choquete. Enquanto que a peroxidase solúvel apresentou menor atividade no estágio verde, e, aumento da atividade da

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 21A, página 114.

peroxidase ionicamente ligada com a mudança do estágio verde para maduro para a variedade Choquete.

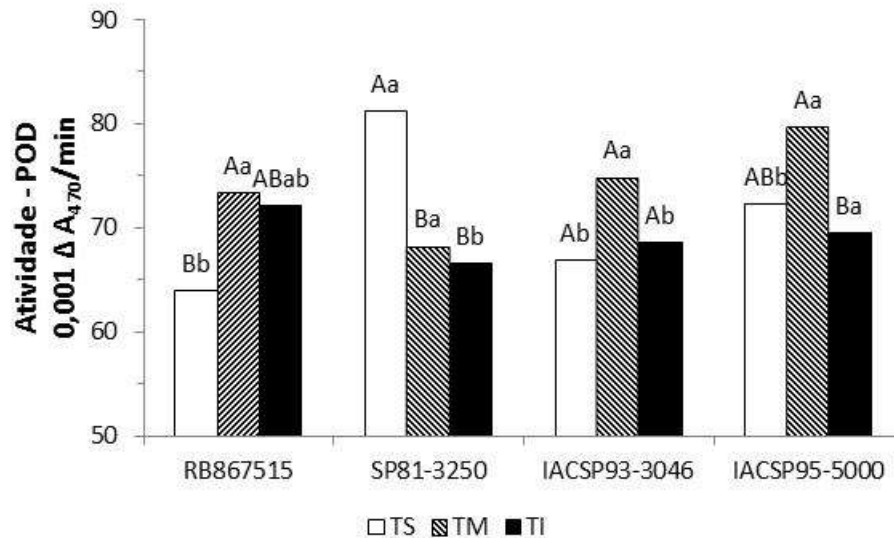


Figura 2. Efeito da interação obtida entre cultivares (C) e Terços do colmo (T) para a atividade da enzima peroxidase (PPO)¹. Médias seguidas de letras distintas maiúsculas (comparação entre terços do colmo de um mesmo cultivar) e letras distintas minúsculas (comparação entre cultivares para um mesmo terço do colmo) diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

A parte do colmo representada pelo terço inteiro (nó e entrenó) obteve as maiores atividades da enzima peroxidase na sua interação com cultivares (Figura 3) e terços do colmo (Figura 4). Enquanto que, o entrenó e o nó, analisados de forma separada, apresentaram menores valores. Este resultado nos permite a inferência de uma possível relação entre enzima e substrato, os quais apresentam indícios de acúmulo em partes diferentes do colmo. E, quando presentes de forma conjunta (nó e entrenó) promovem maior atividade enzimática.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 22A, página 114.

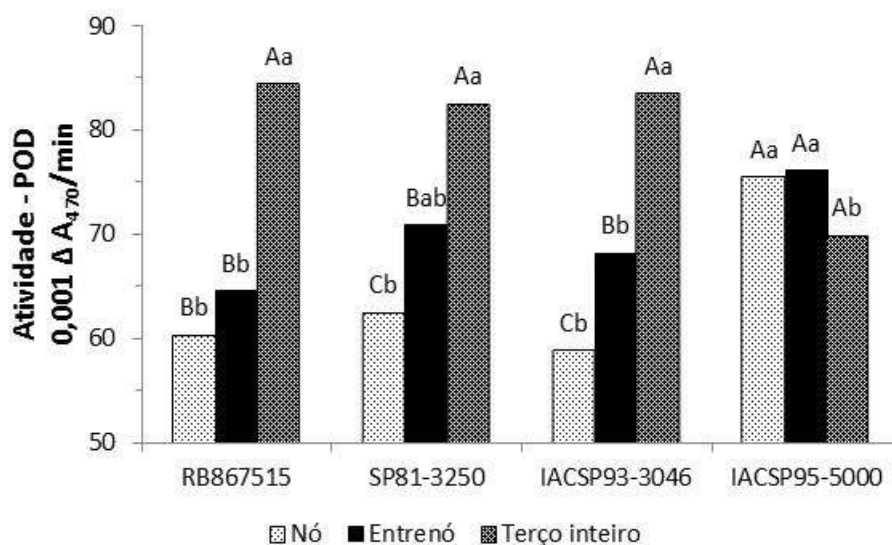


Figura 3. Efeito da interação obtida entre cultivares (C) e Partes do colmo (P) para a atividade da enzima peroxidase (POD)¹. Médias seguidas de letras distintas maiúsculas (comparação entre partes do colmo de um mesmo cultivar) e letras distintas minúsculas (comparação entre cultivares para uma mesma parte do colmo) diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

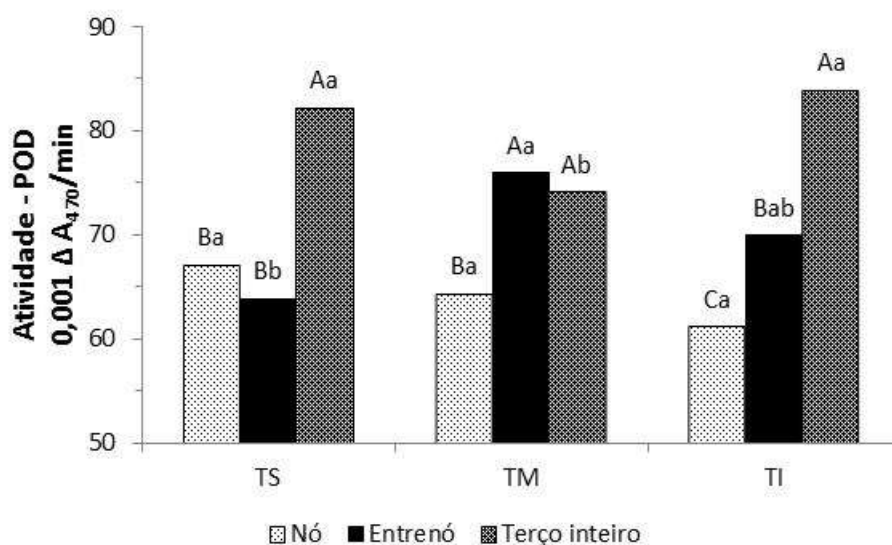


Figura 4. Efeito da interação obtida entre terços (T) e Partes do colmo (P) para a atividade da enzima peroxidase (POD)². Médias seguidas de letras distintas maiúsculas (comparação entre partes de um mesmo terço do colmo) e letras distintas minúsculas (comparação entre terços para uma mesma parte do colmo) diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 23A, página 114.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 24A, página 115

Conclusões

O cultivar IACSP95-5000 apresentou elevada atividade enzimática para todas as partes do colmo estudadas, indicando ser um cultivar com maior escurecimento de caldo, o que nos permite inferir de sua menor aptidão para a produção de açúcar.

A maior atividade da polifenoloxidase encontrada nos nós influenciou de forma direta a atividade desta enzima no caldo extraído do terço inteiro (nó e entrenó).

Para a peroxidase, os maiores valores de atividade enzimática foram obtidos no caldo extraído do terço inteiro, indicando que esta enzima e seu substrato encontram-se em locais diferentes do colmo.

A menor atividade da enzima polifenoloxidase obtida no entrenó e no terço inferior do colmo pode proporcionar caldo mais claro e conseqüentemente açúcar cristal branco de maior qualidade.

A polifenoloxidase, diferentemente da peroxidase, teve sua atividade inversamente relacionada ao processo de maturação do colmo.

A hipótese elaborada foi confirmada.

Referências

ALVARENGA, T. C.; SILVA NETO, H. F.; OGASSAVARA, F. O.; ARANTES, F. A. MARQUES, M. O.; FRIGIERI, M. C. Polifenoloxidase: uma enzima intrigante. **Ciência e Tecnologia**, Jaboticabal, v.3, n.1, p.83-93, 2011.

BUCHELI, C. S.; DRY, I. B.; ROBINSON, S. P. Isolation of a full-length cDNA encoding polyphenol oxidase from sugarcane, a C4 grass. **Plant Molecular Biology**, v. 31, n. 6, p. 1233-1238, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF00040840>>

BUCHELI, C. S.; ROBINSON, S. P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 2, p. 257-261, 1994. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf00038a006>>

CAMPOS, C. F.; SOUZA, P. E. A.; COELHO, V.; GLÓRIA, M. B. A. Chemical composition, enzyme activity and effect of enzyme inactivation on flavor quality of green coconut water. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 20, n.6, p. 487-500, 1996. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.1996.tb00761.x>>

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba, SP, 4ed., 2003. 116p

EISSA, H. A.; SHEHATA, A. N.; RAMADAN, M. T.; ALI, H. A. Preservation of Sugarcane Juice by Canning. 1. Effect of Thermal and Chemical Pre-treatments on the Enzymatic Browning of Sugarcane Juice. **Journal of American Science**, v. 6, n. 9, p. 883-888, 2010.

FREITAS, A. A de. ; FRANCELIN, M. F. ; HIRATA, G. F. ; CLEMENTE, E. ; SCHMIDT, F. L. Effect of peroxidase (POD) and polyphenoloxidase enzymes (PPO) on Benitaka and Rubi grape cultivars and on products processed in the form of juice and jelly. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 172-177, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000100025>>

JACKSON, P. A.; O'SHEA, M. G.; RATTEYC, A. R.; BONNETT, G. D.; LINDEMAN, P. F. COX, M. C.; VICKERS, J. E.; MORGAN T. Effect of Genotype and Genotype × Nitrogen Rate Interactions on Color in Juice and Raw Sugar from Sugarcane. **Crop Science Society of America**, v. 46 n. 2, p. 886-892, 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0213>>

JITTANIT, W.; WIRIYAPUTTIPONG, S.; CHAROENPORNWORANAM, H.; SONGSERMPONG, S. Effects of Varieties, Heat Pretreatment and UHT Conditions on the Sugarcane Juice Quality. **Chiang Mai Journal Science**, v. 38, n. 1, p. 116-125, 2011.

KWIATKOWSKI, A.; OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E. Atividade enzimática e parâmetros físico-químicos de água de cocos colhidos em diferentes estádios de desenvolvimento e estação climática. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 551-559, Junho 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000200029>>

LUÍZ, R. C.; HIRATA, T. A. M; CLEMENTE, E. Cinética de inativação da polifenoloxidase e peroxidase de abacate (*Persea americana* MILL.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1766-1773, nov./dez., 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600025>>

MARQUES, T. A.; RAMPAZO, E. M.; MARQUES, P. A. A. Oxidative enzymes activity in sugarcane juice as a function of the planting system. **Food Science and Technology**, Campinas, 33(1): 146-150, Jan.-Mar. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013005000010>>

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do Açúcar. Produção e Industrialização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal, Funep, 2001. 166p.

OLIVEIRA, A. C. G. ; SPOTO, M. H. F. ; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUSA, C. P. ; GALLO, C. R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n.4, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000400029>

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A.; Effect of Maturity on Chlorophyll, Tannin, Color, and Polyphenol Oxidase (PPO) Activity of Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 1615-1618, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/jf010959l>>

SCARPARI, M. S., BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e Botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 47-56.

SILVA NETO, H. F.; PAULI, F. A.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Porcentagem de sacarose aparente e potencial produtivo de açúcar em cultivares de cana. **Scientia Agropecuária**, Trujillo, v. 5, p. 53 – 58, 2014a.

SILVA NETO, H. F.; HOMEM, B. F. M.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Evaluación de la Acidez en el Jugo de Diferentes Partes del Tallo de Caña de Azúcar, Ciclo 2010/2011. **Interciencia**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 277-280, abr 2014b.

VICKERS, J. E.; GROF, C. P. L.; BONNETT, G. D.; JACKSON, P. A.; KNIGHT, D. P.; ROBERTS, S. E.; ROBINSON, S. P. Overexpression of Polyphenol Oxidase in Transgenic Sugarcane Results in Darker Juice and Raw Sugar. **Crop Science Society of America**, v. 45, n. 1, p. 354-362, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2005.0354>>

VIEIRA, I.C.; LUPETTI, K.O.; FATIBELLO-FILHO, O. Determinação de paracetamol em produtos farmacêuticos usando um biossensor de pasta de carbono modificado com extrato bruto de abobrinha (Cucurbitapepo). **Química Nova**, São Paulo, n.1, v. 26, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000100009>>

CAPÍTULO 8 – Potencial de contribuição das partes integrantes do colmo de três cultivares de cana-de-açúcar para produção de etanol celulósico e de energia elétrica

RESUMO - O objetivo com este trabalho foi avaliar o potencial das partes integrantes do colmo (nó e entrenó), de três cultivares de cana-de-açúcar, para produção de bagaço, energia elétrica, etanol celulósico e créditos de carbono, ao longo da safra 2010/2011. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. O tratamento principal analisou os cultivares de cana, o secundário as partes do colmo, e o tratamento ternário as épocas de amostragem distribuídas ao longo da safra. Para cada amostra coletada foi determinado o teor de fibra das partes do colmo, cujos resultados serviram de base para o cálculo do potencial de produção específica de bagaço. De posse destes valores, foram calculados as quantidades de energia elétrica, etanol celulósico e créditos de carbono advindas do uso do bagaço como fonte bioenergética. Dentre os exemplares estudados, os cultivares RB867515 e SP81-3250 apresentaram maior potencial de produção de bioenergia. O nó apresentou superioridade para valores de produção específica de bagaço, ao longo da safra. Considerando a participação relativa das partes integrantes da cana, verifica-se que o entrenó apresentou maior potencial de contribuição para a geração de bioenergia.

Palavras-chave: bioenergia, biomassa, cogeração, entrenó

Introdução

A combustão do bagaço de cana-de-açúcar possibilita a produção de energia elétrica em quantidades que superam a demanda do processo, sendo a ordem de grandeza do excedente dependente das características e da quantidade de matéria-prima (PELLEGRINI, 2002) e da eficiência energética do processo industrial, podendo ser disponibilizado à rede das concessionárias de energia elétrica, ou para outras usinas e indústrias (MOLINA JÚNIOR, 1995). Conseqüentemente, em determinadas épocas, o valor comercial do bagaço, chega a atingir níveis que correspondem a $\frac{1}{4}$ do valor da matéria-prima (PELLEGRINI, 2002).

Além da viabilidade econômica, em relação a outras fontes energéticas (OLIVÉRIO e HILST, 2004), há também benefícios do ponto de vista ambiental, pois a industrialização da cana proporciona redução da emissão de dióxido de carbono para atmosfera (RIPOLI e RIPOLI 2008), permitindo, de acordo com o protocolo de

Kyoto, a comercialização de créditos de carbono angariados com este processo (RAMOS, 2008).

Ao mesmo tempo, a fibra da cana se faz presente no bagaço, e compõe-se basicamente de celulose, hemicelulose e lignina (Badhan et al., 2007) sendo que, especialmente celulose e hemicelulose podem ser reduzidas, por hidrólise, a unidades de glicose e estas, por sua vez, podem ser convertidas em etanol (PANDEY e SOCCOL, 2000) que, devido a sua origem, denomina-se etanol celulósico.

Ademais, além da produção de etanol que proporciona, essa utilização se constitui em alternativa de solução para o problema da ociosidade de setores como a fermentação e a destilação, que se encontram em nível próximo de 30% de paralisação devido à flexibilidade das usinas para direcionarem a produção ora para o açúcar, ora para o etanol (PIERRO, 2013).

Assim, assume importância a porcentagem de fibra da cana, que é fator preponderante na definição da quantidade de bagaço produzido, o qual se constitui em característica intrínseca dos cultivares (DUTRA FILHO et al., 2012 e PASUCH et al., 2012), e sofre variações ao longo do período de safra (SILVA NETO et al., 2011).

Dentro deste contexto, as partes que compõem o colmo de cana e que são de interesse para a indústria, além de apresentarem distinção na qualidade do caldo (SILVA NETO et al., 2014), também apresentam diferenças estruturais (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008), podendo interferir no potencial bioenergético dos cultivares de cana-de-açúcar empregados em escala industrial.

Com base nas assertivas anteriores, formulou-se a hipótese de que o comportamento atribuído a fatores inerentes aos cultivares varia com as partes constituintes do colmo. Sendo assim, o objetivo com este trabalho foi avaliar o potencial das partes integrantes do colmo (nó e entrenó), de três cultivares de cana-de-açúcar, para produção de bagaço, energia elétrica, etanol celulósico e créditos de carbono, ao longo da safra 2010/2011.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na cidade de Jaboticabal, Estado de São Paulo, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FCAV/UNESP. A altitude média do local é de 575 m, latitude de 21° 15' 22" S, longitude 48° 18' 58" WG, temperatura média anual de 22°C, precipitação anual de 1425 mm e clima Aw (Köppen). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo-Vermelho, eutrófico, A moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. O tratamento principal foi constituído pelos três cultivares de cana-de-açúcar: RB867515, RB72454 e SP81-3250. Tais cultivares são classificados como de maturação do meio para o final de safra (MARQUES et. al., 2008).

O tratamento secundário considerou as duas partes do colmo de cana (nó e entrenó). Para o tratamento ternário utilizou-se as épocas de análises distribuídas ao longo do ano agrícola 2010/2011: 6, 7, 8, 9, 10 e 11 meses após a colheita da cana. A primeira análise (Época 6) foi realizada no dia 26/04/2010, aos 6 meses de idade, nas condições de cana soca (cana de terceiro corte).

No campo, o experimento constituiu-se de quatro blocos, nos quais os cultivares representavam as parcelas experimentais que foram dispostas ao acaso, sendo cada uma delas composta por cinco linhas de cana com 12 m de comprimento e espaçamento entrelinhas de 1,5 m, totalizando 90 m². A área útil da parcela, destinada à realização das amostragens, foi composta pelas três linhas centrais, descartando-se um metro das extremidades, resultando em uma área de 45 m².

Por ocasião das amostragens, procederam-se às coletas de 15 colmos de cada parcela, sendo os mesmos cortados, em sequencia na linha de plantio, de forma manual, com o uso de facão. O local de coleta foi escolhido aleatoriamente no momento da amostragem. Após o corte, os colmos foram despontados, despalhados, enfeixados, etiquetados e encaminhados ao Laboratório de Tecnologia do Açúcar e do Etanol da FCAV/UNESP.

No laboratório, os colmos foram seccionados, com o auxílio de uma serra elétrica portátil Skil 4003, em nós e entrenós. Cada uma das partes foi agrupada e submetida à ação de um desintegrador Codistil (Dedini) PH 45-II, específico para cana-de-açúcar. Do material desintegrado, após homogeneização, foi pesada uma porção de 500 g, a qual foi encaminhada à prensa hidráulica Codistil (Dedini) D-2500-II para extração do caldo, de acordo com Consecana, SP (2006). A pesagem do bolo úmido¹, do bolo seco¹, a determinação do Brix do caldo¹ e os cálculos da porcentagem de fibra das amostras foram realizados de acordo com Tanimoto (1964), segundo as normas operacionais definidas pelo Consecana, SP (2006).

A partir dos resultados obtidos, procedeu-se à estimativa da produção específica de bagaço, expressa em quilogramas de bagaço por tonelada da parte considerada (nó ou entrenó), partindo-se do princípio de que a fibra da cana representa, em média, 50% do bagaço (SILVA NETO et al., 2011), considerando-se tratar de um bagaço clássico, passível de ser queimado em uma caldeira de baixa pressão.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, e quando houve significância, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Com base nos valores da produção específica de bagaço, procedeu-se aos cálculos para a estimativa da quantidade de energia ou de etanol celulósico que seria produzida por meio da queima ou hidrólise de uma tonelada de bagaço proveniente de cada uma das partes do colmo. Para a realização desses cálculos, considerou-se que uma tonelada de bagaço gera $7,31 \times 10^{-4}$ GWh t⁻¹ de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992) ou 69,1 L de etanol (CGEE, 2009).

Para o cálculo do potencial de geração de energia elétrica ou de produção de etanol celulósico, para a tonelada de cana, considerou-se que, em média, 25% do colmo se constituem de nós e 75% de entrenós (LUCCHESI, 1995), sendo, neste caso, os valores expressos em relação a uma tonelada de cana.

Além disso, foi considerado que apenas 57% da quantidade de bagaço gerada poderia ser empregada para a geração de energia excedente, uma vez que 43% do bagaço produzido é utilizado para sustentar energeticamente a própria

¹ Material suplementar ilustrativo (Apêndice B), Figuras 33A a 35A, página 121.

unidade industrial, de acordo com o desempenho médio de geração elétrica das unidades sucroenergéticas do Estado de São Paulo (CONAB 2011).

De posse destes dados foi calculada a quantidade de créditos de carbono obtida de acordo com Rosa (2008), segundo o qual 1 kWh de energia equivale a $0,54 \times 10^{-3} \text{ t CO}_2$, e 1 t CO_2 corresponde a 1 crédito de carbono (BM&FBOVESPA, 2014).

Resultados e Discussão

Ao longo do período em que foi conduzido o experimento, a média das produções específicas de bagaço foram inferiores para o cultivar RB72454, evidenciando o maior potencial dos cultivares RB867515 e SP81-3250 (Tabela 1).

Quanto à ordem de grandeza dos valores apresentados, estes foram superiores aos valores apresentados por Silva Neto et al (2011), que analisaram outros cultivares de cana. Assim, podemos inferir que os cultivares deste estudo apresentaram elevada produção de biomassa, permitindo classifica-los como adequados aos processos industriais projetados para a realização da cogeração de energia elétrica a partir da queima do bagaço (DUTRA FILHO et al., 2012 e PASUCH et al., 2012).

Em relação às épocas de amostragem, foi constatado aumento da produção específica de bagaço durante a condução do trabalho. Tal comportamento vai de encontro ao obtido por Silva Neto et al. (2011), que encontraram maior produção específica de bagaço em épocas iniciais da safra, testando cultivares, cuja maturação se dá do início para o meio de safra, sendo esse o diferencial para este trabalho, cujos cultivares amadurecem no período entre o meio e o final de safra.

Tabela 1. Valores médios da produção específica de bagaço do nó e entrenó (kg t⁻¹), considerando o cultivar, as partes do colmo e as épocas ao longo da safra 2010/2011, além de dados estatísticos.

Tratamentos	Bagaço (kg t⁻¹)
CULTIVAR (C)	
RB867515	283,31 a
SP81-3250	281,99 a
RB72454	261,55 b
PARTE (P)	
Entrenó	255,78
Nó	295,45
ÉPOCA (E – meses de idade da cana)	
6	252,49 d
7	260,46 d
8	273,72 c
9	275,53 c
10	286,41 b
11	305,09 a
Estatística – Teste F	
Blocos	0,21 ^{NS}
Cultivares (C)	92,40 ^{**}
Partes (P)	697,93 ^{**}
Épocas (E)	88,26 ^{**}
Interação (C) x (P)	23,74 ^{**}
Interação (C) x (E)	1,90 ^{NS}
Interação (P) x (E)	3,36 ^{**}
Interação (C) x (P) x (E)	0,97 ^{NS}
Coefficiente de Variação (CV%)	
CV (C)	3,19
CV (P)	3,27
CV (E)	3,54

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, em cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS} e ^{**} - Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F), respectivamente.

Na comparação entre os cultivares para uma mesma parte do colmo, observa-se o maior potencial de produção de bagaço pelo cultivar RB867515, quando a origem do bagaço é o entrenó (Tabela 2) . De outra forma, quando o bagaço se origina do nó, a maior potencialidade se verifica no cultivar SP81-3250.

Independente da parte considerada, o cultivar RB72454 proporcionou valores inferiores.

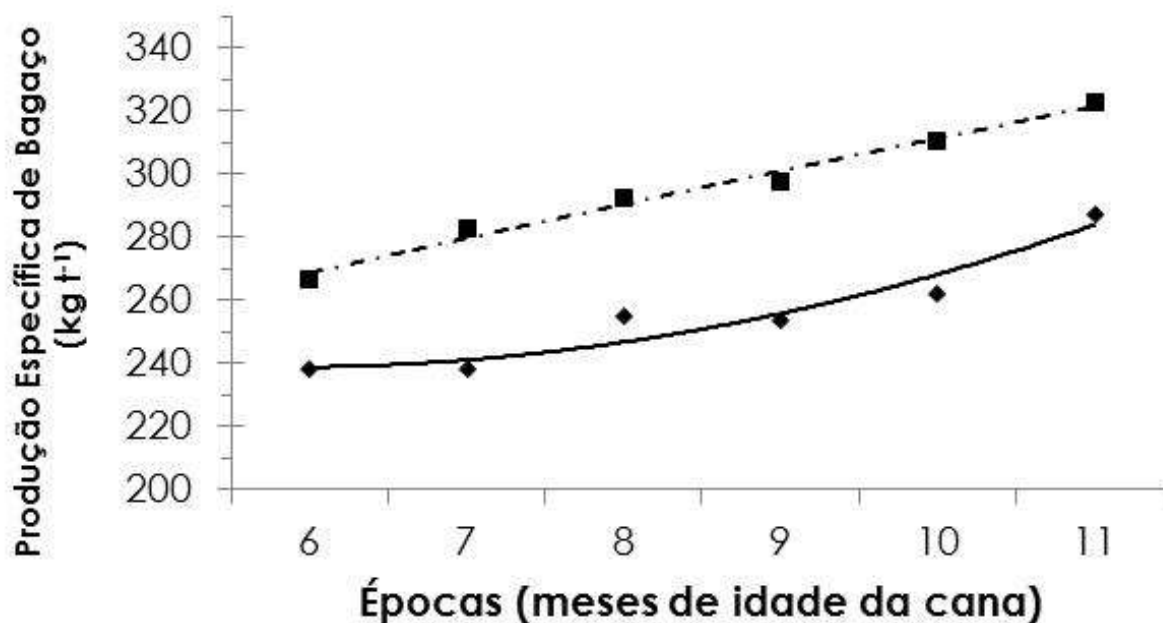
Tabela 2. Desdobramento da interação obtida entre cultivares (C) e partes do colmo (P), para a produção específica de bagaço (kg t^{-1}).

CULTIVARES	ENTRENÓ	NÓ	TESTE F
RB867515	266,02 Ab	300,59 Ba	176,65**
SP81-3250	254,94 Bb	309,03 Aa	432,66**
RB72454	246,38 Cb	276,72 Ca	136,11**
TESTE F	29,39**	85,07**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. ¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (Teste F).

Em relação à contribuição das partes integrantes do colmo, na definição do potencial de produção de bagaço, o nó foi superior para os três cultivares estudados. Este comportamento também é observado na Figura 1, em que as potencialidades das duas partes são plotadas em função da época de amostragem e se explica pelo fato de que nos nós ocorre maior concentração de fibras em decorrência da maior presença dos feixes vasculares responsáveis pela distribuição de água e nutrientes para as folhas, gemas e primórdios radiculares, enquanto que na região do entrenó os feixes estão dispostos de forma paralela, portanto, menos emaranhados e menos concentrados no tecido vegetal (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2008).

Observa-se aumento da produção específica de bagaço ao longo do período estudado (Figura 1) havendo ajuste, para as duas partes estudadas, de modelos quadráticos fornecidos pela análise de regressão polinomial, diferentemente do enfatizado por Silva Neto et al. (2011), em que os ajustes se deram em modelos lineares.



Partes (P)	Teste F	Equação	R ²
Entrenó (◆)	4,20*	$Y=238,022316 + 0,16340366x + 0,00098436x^2$	0,96
Nó (■)	4,96*	$Y=269,004227 + 0,51202720x - 0,00106968x^2$	0,99

Figura 1. Efeito da interação obtida entre partes do colmo (P) e épocas de análise (E), para a produção específica de bagaço (kg t^{-1}), além das equações de regressão¹. * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 2 observa-se o potencial energético das diferentes partes do colmo ao longo do período de condução do experimento. Verifica-se que o nó apresentou elevado potencial de produção de energia elétrica, com valores oscilando entre 194,89 e 235,97 kWh por tonelada de nó.

Os valores encontrados oscilaram de 16,45 a 22,31 L de etanol por tonelada de bagaço produzido pelas partes do colmo (Figura 3). Esta produção de etanol é possível pelo fato do bagaço ser constituído por celulose, hemicelulose e lignina (BADHAN et al., 2007), e a utilização desta biomassa, em uma usina, proporcionaria aumento da produção de etanol, além de evitar períodos ociosos nos setores da fermentação e da destilaria (PIERRO, 2013). Tudo isso a um baixo custo, visto que

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 25A, página 115.

ele é de fácil utilização e obtido diretamente na unidade industrial (PANDEY e SOCCOL, 2000).

Neste sentido, durante toda a safra, fica evidente o elevado potencial de produção de etanol celulósico proporcionado pela produção de bagaço da região do nó. Isso ocorre devido ao maior teor de fibra presente na região nodal, conforme também foi destacado por Santin et al. (2011) que observaram maior teor de fibra na região do nó quando comparado ao entrenó para outros três cultivares de cana em estudo.

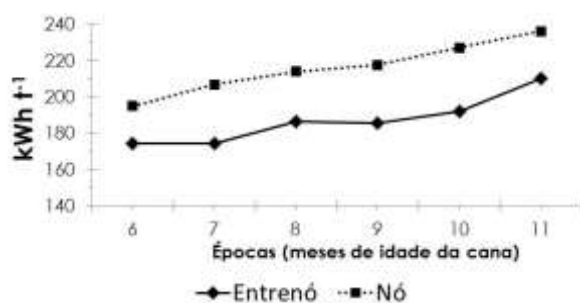


Figura 2. Potencial de produção de energia elétrica expresso pelas partes do colmo ao longo da safra¹.



Figura 3. Potencial de produção de etanol celulósico expresso pelas partes do colmo ao longo da safra².

Sendo assim, as figuras 4 e 5 expressam o que ocorre em uma unidade industrial, no que se refere à contribuição do nó e do entrenó para o potencial de produção de energia elétrica total e os créditos de carbono gerados por uma tonelada de cana. Observa-se que a produção de bioenergia do entrenó superou a do nó. Essa inversão de comportamento decorre do nó representar apenas 25% contra uma participação de 75% do entrenó na composição do colmo (LUCCHESI, 1995).

Vale ressaltar que a quantidade total de energia produzida pela queima do bagaço proveniente do entrenó (Figura 4) é suficiente para suprir a demanda energética do processo, que é de 96,00 kWh TC⁻¹, considerando-se 43% do total de energia produzida com 1 tonelada de cana do cultivar RB8675715, figura 8 (CONAB, 2011). Sendo assim, para as figuras 6 e 7 foi considerada a produção de energia

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 26A, página 116.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 27A, página 116.

elétrica e etanol celulósico obtidos pela biomassa do nó e a quantidade de bagaço excedente do entrenó.

Nestas condições, o excedente energético gerado (Figura 6), poderia ser vendido às concessionárias de energia elétrica, como mencionou Molina Júnior (1995). Além disso, também se torna viável a venda de créditos de carbono (RAMOS, 2008), tendo em vista que se trata de uma fonte de energia renovável, contribuindo assim para redução da emissão de dióxido de carbono (RIPOLI e RIPOLI, 2008).

Portanto, a separação do nó e entrenó no processamento industrial da cana, além de permitir melhor aproveitamento do caldo do entrenó, que apresenta qualidade superior para produção de açúcar (SILVA NETO et al., 2014), possibilita a escolha do destino do bagaço da região nodal e o excedente de biomassa do entrenó para produção de energia elétrica ou etanol celulósico, de acordo com o mercado.

Nas figuras 8 a 11 são apresentados os potenciais de geração de energia elétrica total, de créditos de carbono angariados com a mesma, da energia elétrica excedente e da produção de etanol celulósico para os cultivares no momento do corte. O cultivar RB72454 apresentou os menores potenciais (3,31 e 5,37% a menos que os cultivares SP81-3250 e RB867515, respectivamente). O comportamento apresentado por este cultivar é preterido pelas indústrias geradoras de bioenergia, pois estas necessitam de exemplares de elevada produção de biomassa (PELLEGRINI, 2002) e conseqüentemente maior potencial bioenergético, permitindo assim seu sucesso em relação a outras fontes de energia (OLIVÉRIO e HILST, 2004).

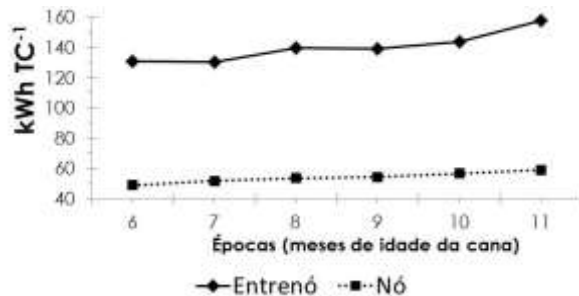


Figura 4. Produção total de energia elétrica, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, considerando a contribuição do nó e entrenó, à partir de uma tonelada de cana¹.

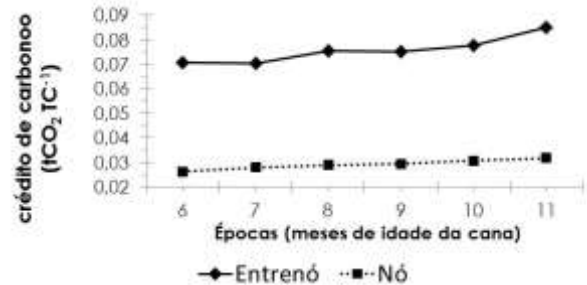


Figura 5. Quantidade total de créditos de carbono, ao longo da safra 2010/2011, considerando a contribuição do nó e entrenó, à partir de uma tonelada de cana².

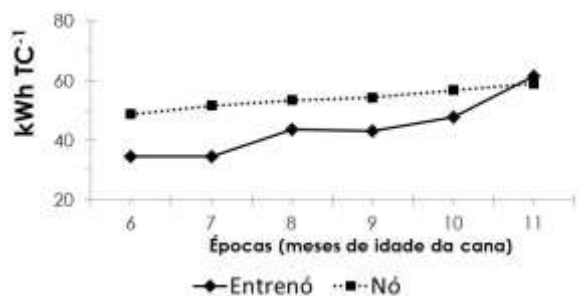


Figura 6. Produção de energia elétrica excedente, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, à partir de uma tonelada de cana³.

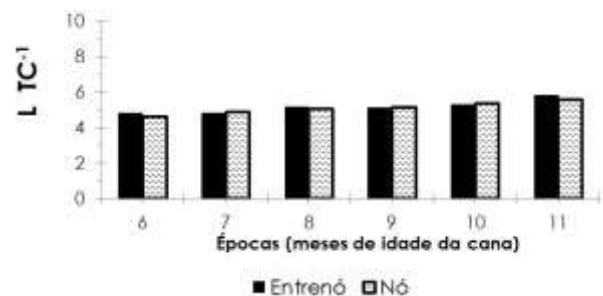


Figura 7. Produção de etanol celulósico obtido com a biomassa excedente, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, à partir de uma tonelada de cana⁴.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 28A, página 116.

² Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 29A, página 116.

³ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 30A, página 116.

⁴ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 31A, página 116.

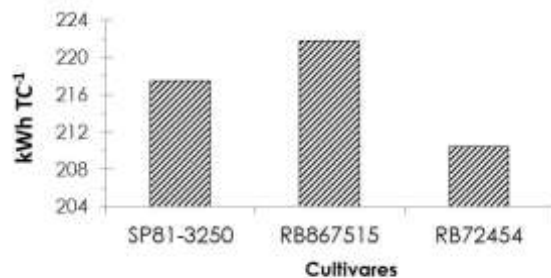


Figura 8. Potencial de produção de energia elétrica total dos cultivares estudados, no momento do corte, à partir de uma tonelada de cana¹.

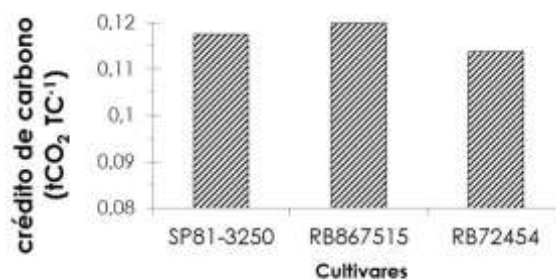


Figura 9: Quantidade de crédito de carbono dos cultivares estudados, no momento do corte, à partir de uma tonelada de cana³.

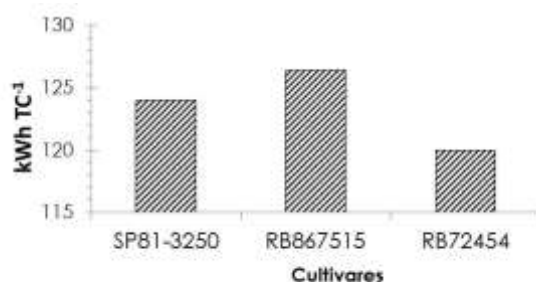


Figura 10. Potencial de produção de energia elétrica excedente dos cultivares estudados, no momento do corte³.

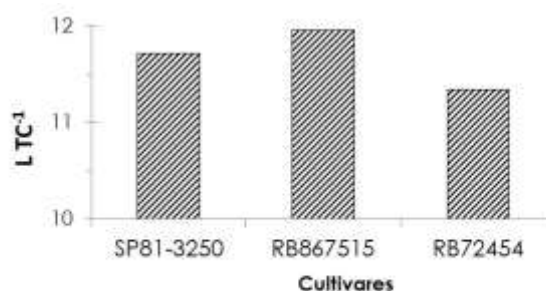


Figura 11. Potencial de produção de etanol celulósico obtido pela biomassa excedente dos cultivares estudados, no momento do corte³.

Conclusões

- Dentre os exemplares estudados, os cultivares RB867515 e SP81-3250 apresentaram maior potencial de produção de bioenergia.
- O nó apresentou superioridade para valores de produção específica de bagaço, ao longo da safra.
- Considerando a participação relativa das partes integrantes da cana, verifica-se que o entrenó apresentou maior potencial de contribuição para a geração de bioenergia.
- Fica comprovada a hipótese inicialmente formulada em relação à diferenciação de comportamento dos cultivares e das partes constituintes do colmo.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 32A, página 117.

Referências

BADHAN AK, CHADHA BS, KAUR J, SAINI HS, BHAT MK. Production of multiple xylanolytic and cellulolytic enzymes by thermophilic fungus *Myceliophthora* sp. IMI 387099. **Bioresource Technology** 98: 504-510, 2007.

BM&FBOVESPA **Mercado de Carbono**. 2014. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/mercados/mercado-de-carbono/mercado-de-carbono.aspx?idioma=pt-br>. Acesso em: 20 jan. 2014.

CGEE - **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, Brasil. 536 p, 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**. Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Informações do Agronegócio, Brasília, Brasil. 157p, 2011.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Consecana, Piracicaba, Brasil. 112p, 2006.

DUTRA FILHO JA, BASTOS GQ, MACHADO PR, SILVA LJ, SIMÕES Neto DE, Chaves A, Silva FSG. Estimativa do ganho por seleção para produtividade em famílias de cana-de-açúcar. **Comunicata Scientiae** 3: 35-40, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa, Brasília, Brasil. 412 p, 1999.

LUCCHESI AA. **Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. PCLQ/USP, Piracicaba, Brasil. 50p, 1995.

MARQUES MO, MUTTON MA, NOGUEIRA TAR, TASSO JÚNIOR LC, NOGUEIRA GA, BERNARDI JH. **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. FCAV, Jaboticabal, Brasil. 319p, 2008.

MOLINA JUNIOR WF, RIPOLI TC, GERALDI RN, AMARAL JR. Aspectos econômicos e operacionais do enfardamento de resíduos de colheita de cana-de-açúcar para aproveitamento energético. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos** 13: 28-31, 1995.

OLIVÉRIO JL; HILST AGP. DHR. - Dedini Hidrólise Rápida – revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagasse. **International Sugar Journal** 106: 168-172, 2004.

PANDEY A, SOCCOL CR Economic utilization of crop residues for value addition: a futuristic approach. **Journal of Scientific & Industrial Research** 59: 12-22, 2000.

PASUCH BD, CAIONE G, RODRIGUES M, DRESCHER AH, FERNANDES FM. Desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica da primeira soqueira da cana-de-açúcar em função de fontes de fósforo. **Comunicata Scientiae** 3: 263-270, 2012.

PELLEGRINI MC. **Inserção de centrais cogeneradoras a bagaço de cana no parque energético do Estado de São Paulo exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locacionais e de integração energética.** 167f. (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil, 2002.

PIERRO B. Do bagaço à inovação. **Revista Pesquisa Fapesp** 208: 56-61, 2013.

RAMOS R.A.V. Tecnologias, oportunidades e estudos para o incremento da co-geração de energia no setor sucroalcooleiro. In: MARQUES MO, MUTTON MA, NOGUEIRA TAR, TASSO JÚNIOR LC, NOGUEIRA GA, BERNARDI JH (ed.) **Tecnologias Na Agroindústria Canavieira.** FCAV, Jaboticabal, Brasil. p. 231-254, 2008.

RIPOLI MLC, RIPOLI TCC. Palhiço como fonte de energia. In: DINARDO-MIRANDA LL, VASCONCELOS ACM, LANDELL MAG (ed.) **Cana-de-açúcar** Instituto Agrônomo, Campinas, Brasil. P. 791-806, 2008.

ROSA, CA.. **Estudo do Balanço Energético e do Passivo Ambiental Resultante da Fabricação do Módulo Fotovoltaico.** 186f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, 2008.

SANTIN I, SILVA NETO HF, TASSO JÚNIOR LC, MARQUES MO. Teores de fibra em nós e entrenós de três cultivares de cana-de-açúcar. In: 19º SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 2011, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo:USP,2011.Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=3550&numeroEdicao=19>. Acesso em: 10 set. 2013

SCARPARI MS, BEAUCLAIR GF. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA LL, VASCONCELOS ACM, LANDELL MGA. (ed.) **Cana-de-açúcar**. Instituto Agrônomo, Campinas, Brasil. P. 45-56, 2008.

SILVA NETO HF, MARQUES MO, PAULI FA, TASSO JÚNIOR LC Produção e produtividade de bagaço da cana-de-açúcar ao longo da safra, visando a cogeração de energia. **Enciclopédia Biosfera** 7: 01-08, 2011.

SILVA NETO, H. F.; HOMEM, B. F. M.; TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O. Evaluación de la Acidez en el Jugo de Diferentes Partes del Tallo de Caña de Azúcar, Ciclo 2010/2011. **Interciencia**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 277-280, abr 2014.

TANIMOTO T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planters Record** 51: 133-150, 1964.

ZYLBERSZTAJN D, COELHO ST. Potencial de geração de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool brasileira, através de gaseificação da cana e emprego de turbinas a gás. **Revista Brasileira de Energia** 1: 01-13, 1992.

CAPÍTULO 9 – Considerações Finais

A importância da cana-de-açúcar no Brasil remete ao tempo da colonização, onde a base econômica da colônia era baseada nos engenhos de açúcar existentes na época. Dessa forma, o processo de desenvolvimento do país sempre esteve atrelado ao crescimento do setor canavieiro. Por conta disso, a agroindústria da cana apresenta posição de destaque no cenário socioeconômico brasileiro.

A cultura da cana-de-açúcar, caracterizada sempre pelo seu pioneirismo, faz uso de tecnologias agrícolas avançadas que possibilitam o aumento de sua produtividade no campo. Na indústria, a inovação ficou representada pela criação do Consecana, que avalia matéria-prima pela qualidade, incentivando os produtores agrícolas a entregar cana com maior qualidade, e assim receber sua remuneração da forma mais justa.

Entretanto, as variáveis consideradas na definição da qualidade contemplam apenas uma parte dos aspectos importantes para o processo industrial. Assim, outras variáveis poderiam ser incluídas na avaliação da qualidade cana-de-açúcar, como matéria-prima para a indústria. Algumas dessas variáveis foram estudadas neste trabalho, e os resultados obtidos indicam que sua adoção podem trazer benefícios ao processo.

Por se tratar de análises bioquímicas não usuais na indústria da cana, houve dificuldade para se encontrar, na literatura, a descrição de métodos, e qual o procedimento correto a ser adotado para o caldo de cana. Quando existentes, os métodos de análise de caldo eram díspares, o que tornava inconsistente a comparação dos resultados.

Por outro lado, isto mostra que se trata de análises, de certa forma, inovadoras e que podem contribuir para o desenvolvimento tecnológico do setor industrial sucroenergético. Neste sentido, a comparação dos cultivares de cana, se utilizando de tais variáveis, permitiria, por exemplo, a definição do exemplar de maior aptidão à produção de açúcar ou etanol, por exemplo.

Com base nos resultados apresentados nos capítulos antecedentes, pode-se inferir que os cultivares apresentaram diferenças em relação aos teores de fósforo inorgânico, níveis de polissacarídeos, atividade enzimática da polifenoloxidase e

peroxidase e na quantidade de bagaço gerada, e o cultivar SP81-3250 apresentou os resultados mais satisfatórios¹. Dessa forma, estas variáveis poderiam ser apreciadas pelos programas de melhoramento genético, e utilizadas na comparação entre os possíveis clones a serem disponibilizados. E, os resultados obtidos poderiam ser incluídos na descrição dos cultivares, a qual é exibida pelos referidos programas no momento em que um novo exemplar é apresentado. Esta maior concepção em relação à qualidade do caldo do cultivar permite, de acordo com suas características, selecionar os cultivares mais aptos à produção de açúcar, ou, o momento mais propício de se realizar sua colheita visando a geração de energia elétrica.

Também foram observadas diferenças em relação às partes constituintes do colmo. O caldo extraído dos entrenós apresentou maior porcentagem de sacarose aparente, teor de açúcares redutores totais, níveis de fósforo inorgânico e, menor teor de polissacarídeos e atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase. De modo inverso o caldo dos nós apresentou baixa qualidade de caldo, evidenciando assim sua menor predisposição para a produção de açúcar e, em alguns casos, até mesmo inviabilizando a produção pelo elevado custo de produção e/ou pela ausência de padrão nos cristais de açúcar que não se enquadrariam nos requisitos necessários para sua comercialização em mercados internacionais.

Outro ponto a ser destacado, seria em relação à qualidade do caldo ao longo do perfil do colmo. Neste experimento constatou-se que os terços superiores apresentaram maior atividade enzimática sendo relacionado com o processo de maturação do colmo. A maior atividade observada para esta região do colmo pode proporcionar caldo mais escuro o que dificultaria a produção de açúcar.

De maneira similar, os resultados obtidos neste trabalho indica que a presença da casca da cana proporciona aumento da atividade da enzima polifenoloxidase. Assim sendo, em unidades de pequeno porte, que tem por finalidade a produção de açúcar orgânico para exportação, a simples retirada da casca da cana, antes de se extrair o caldo, contribuiria para agregar valor qualitativo ao produto final, o que é preconizado por este tipo de mercado ao qual é destinado.

¹ Material Suplementar (Apêndice A), Tabela 33A, página 117.

De modo geral, fica evidente que a separação das partes do colmo proporciona aumento na eficiência do processo industrial e melhoria no aspecto qualitativo do açúcar produzido.

É claro que, em virtude dessa proposta, será necessária a introdução de novos equipamentos nas etapas que antecedem a extração do caldo.

Do ponto de vista energético, a separação do colmo de cana pode ser vantajosa, uma vez que 61% do bagaço oriundo do entrenó ocorre em valores suficientes para atender a demanda energética da unidade industrial processadora de cana. Assim, 39% da biomassa do entrenó e toda biomassa do nó estaria disponível para a produção de energia elétrica ou etanol celulósico, sendo a escolha dependente do comportamento do mercado.

Neste contexto, a separação das partes constituintes do colmo de cana possibilita o estabelecimento de algumas configurações para o setor industrial sucroenergético, os quais são apresentados na Figura 1. As configurações 2 a 6 priorizam a produção de açúcar de qualidade em relação à configuração 1, que é o modelo utilizado tradicionalmente na maioria das unidades processadoras de cana.

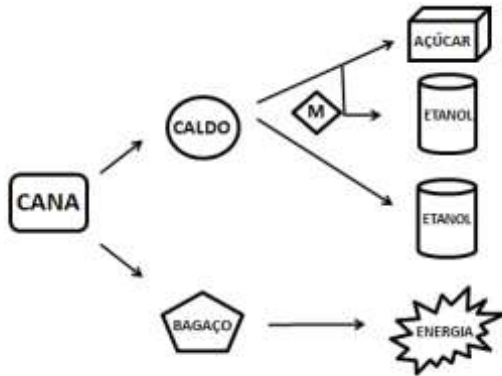
A configuração 2 é a que apresenta a maior receita (Tabela 1). Entretanto, obteve menor produção de etanol em comparação à configuração 1. Para diminuir esta diferença na produção de etanol, as configurações 3 à 5 propõem a utilização de parte da biomassa para produzir etanol celulósico. Porém, a produção de etanol a partir da biomassa não promoveu maior receita do que a configuração 2, evidenciando assim a maior receita da usina em produzir energia do que etanol celulósico, considerando os valores atuais do mercado.

A configuração 6 possibilita a melhor qualidade de açúcar produzido, pois utiliza apenas o caldo extraído dos entrenós dos terços médios e inferiores para a obtenção deste produto. Esta configuração proporciona também maior similaridade na quantidade dos produtos produzidos (Tabela 1) em relação ao modelo tradicional (configuração 1).

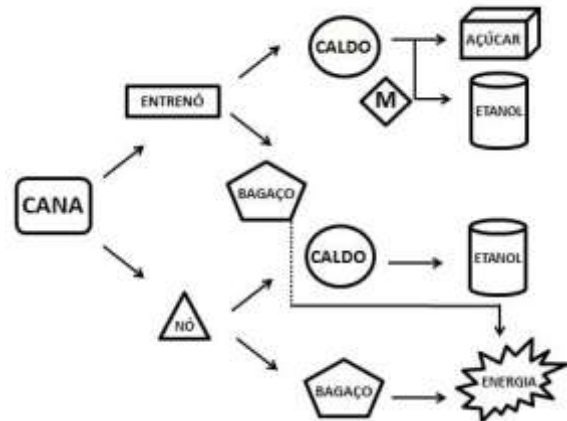
Em resumo, podemos concluir que as configurações 1 e 6 apresentam maior potencial de utilização por apresentarem maior receita e pela quantidade de produtos obtidos, respectivamente. Além de proporcionarem a produção de açúcar de melhor qualidade e de forma mais eficiente.

Entretanto, estes valores representam apenas a receita bruta, não sendo considerados os custos referentes à obtenção de cada produto. Também se fazem necessários novos estudos com o intuito de confirmar na prática essas inferências e a viabilidade física, das unidades processadora de cana, e econômica, do mercado. Contudo, se comprovadas, podem trazer inúmeros benefícios e avanços tecnológicos que o setor tanto necessita. E assim, mais uma vez a cultura da cana-de-açúcar, por meio de seu pioneirismo, pode servir de modelo para que outras indústrias utilizem de variáveis bioquímicas na avaliação da qualidade para conhecer de forma detalhada o melhor destino da matéria-prima. E, quando necessário, utilizem de técnicas, como o fracionamento de sua matéria-prima, para obtenção de produtos de maior qualidade e competitividade no mercado.

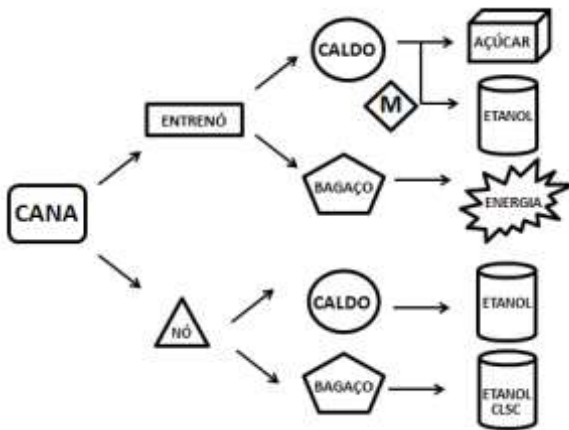
Configuração 1. Modelo tradicional



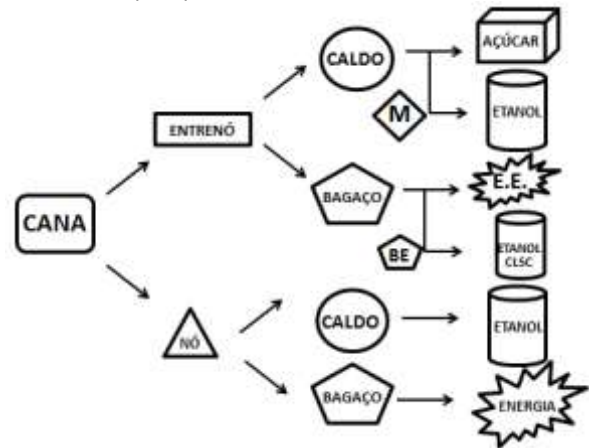
Configuração 2. Modelo separando nós e entrenós do colmo de cana.



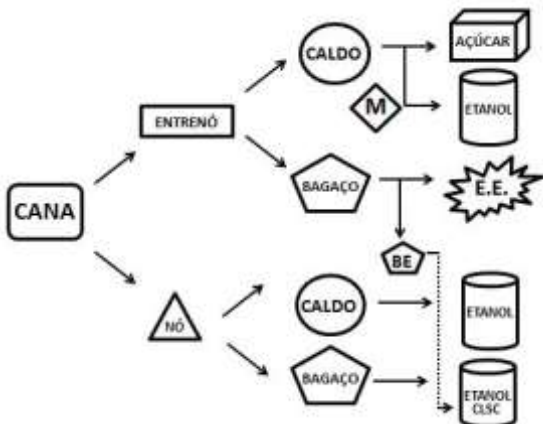
Configuração 3. Modelo utilizando bagaço dos entrenós para produzir etanol celulósico.



Configuração 4. Modelo utilizando o bagaço excedente dos entrenós para produzir etanol celulósico.



Configuração 5. Modelo utilizando o bagaço dos nós e o excedente dos entrenós para produzir etanol celulósico.



Configuração 6. Modelo separando os entrenós dos terços médios e inferiores.

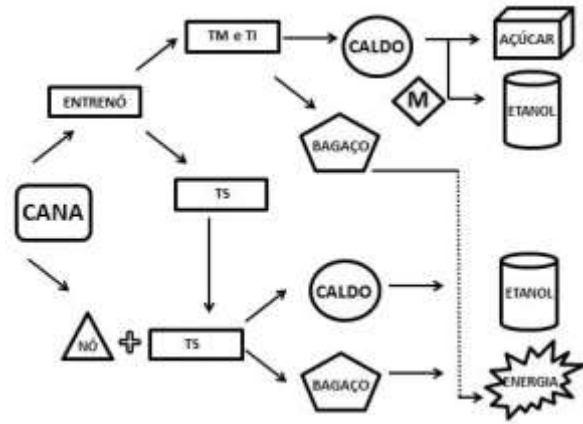


Figura 1. Configurações propostas para a indústria sucroenergética¹. M – melço. E.E. – energia elétrica utilizada para sustentar a demanda energética da usina. BE – bagaço excedente. CLSC. – celulósico. TM - terço médio. TI - terço inferior. TS - terço superior.

¹ O fluxograma com o balanço de massa para cada configuração é apresentado como material suplementar no Apêndice C, páginas 122 a 127.

Tabela 1. Quantidade produzida e receita obtida para cada uma das configurações propostas¹.

Produção		Configuração					
		1	2	3	4	5	
Açúcar Especial (kg t ⁻¹)	Caldo	Nó	0	0	0	0	0
		ENó	0	117	117	117	117
		Cana	73	0	0	0	0
	Total	73	117	117	117	117	
Valor (R\$ t⁻¹)			75,19	120,51	120,51	120,51	120,51
Etanol Anidro (L t ⁻¹)	Caldo	Nó	0	18	18	18	18
		ENó	0	0	0	0	0
		Cana	43	0	0	0	0
	Melaço	Nó	0	0	0	0	0
		ENó	0	4	4	4	4
		Cana	3	0	0	0	0
	Subtotal		46	22	22	22	22
	Biomassa	Nó	0	0	5	0	0
		ENó	0	0	0	5	0
		Nó e ENó	0	0	0	0	11
Subtotal		-	0	5	5	11	
Total		46	22	27	27	33	
Valor (R\$ t⁻¹)			61,18	29,26	35,91	35,91	43,89
Energia Elétrica (kWh t ⁻¹)	Gerada	Nó	0	0	0	56	0
		ENó	0	0	144	86	86
		Cana	200	200	0	0	0
		Subtotal	0	200	144	142	86
	Consumida ¹	86	86	86	86	86	
Total excedente		114	114	58	56	0	
Valor (R\$ t⁻¹)			35,34	35,34	17,98	17,36	0
Receita Total (R\$ t⁻¹)			171,71	185,11	174,4	173,78	164,4

Valor Açúcar Especial: R\$ 1,03/kg açúcar (28/05/2014) (CEPEA, ESALQ/USP, 2014).

Valor Etanol Anidro: R\$ 1,33/L (23/05/2014) (CEPEA, ESALQ/USP, 2014).

Valor Energia: R\$ 0,31/kWh (abr./2014 até abr. 2015) (ANEEL, 2014).

¹ considerando que a usina necessita de 86 kWh/t para suprir sua demanda energética (CONAB, 2011).

ENó – entrenó.

¹ O fluxograma com o balanço de massa para cada configuração é apresentado como material suplementar no Apêndice C, páginas 122 a 127.

Tabela 2. Quantidade produzida e receita obtida para cada uma das configurações propostas¹.

Produção		Configurações		
		1	6	
Açúcar Especial (kg t ⁻¹)	Caldo	Nó TS/TM/TI e Enó TS	0	0
		ENó TM/TI	0	78
		Cana	73	0
	Total		73	78
Valor (R\$ t⁻¹)			75,19	80,34
Etanol Anidro (L t ⁻¹)	Caldo	Nó TS/TM/TI e Enó TS	0	41
		Cana	43	0
	Melaço	ENó TM/TI	0	3
		Cana	3	0
Total		46	44	
Valor (R\$ t⁻¹)			61,18	58,52
Energia Elétrica (kWh t ⁻¹)	Gerada	Nó TS/TM/TI e Enó TS	0	0
		ENó TM/TI	0	0
		Cana	200	200
	Consumida ¹		86	86
Total excedente		114	114	
Valor (R\$ t⁻¹)			35,34	35,34
Valor Total (R\$ t⁻¹)			171,71	174,2

Valor Açúcar Especial: R\$ 1,03/kg açúcar (28/05/2014) (CEPEA, ESALQ/USP, 2014).

Valor Etanol Anidro: R\$ 1,33/L (23/05/2014) (CEPEA, ESALQ/USP, 2014).

Valor Energia: R\$ 0,31/kWh (abr./2014 até abr. 2015) (ANEEL, 2014).

1 - considerando que a usina necessita de 86 kWh/t para suprir sua demanda energética (CONAB, 2011).

ENó – entrenó; TS – terço superior; TM – terço médio. TI – terço inferior.

Referências

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2014 Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acesso em 28 maio 2014.

CEPEA **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. 2014. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 28 maio 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A Geração Termoeletrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**. Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Informações do Agronegócio, Brasília, Brasil. 157p, 2011.

¹ O fluxograma com o balanço de massa para cada configuração é apresentado como material suplementar no Apêndice C, páginas 122 a 127.

APÊNDICES

APÊNDICE A
(material suplementar)

Tabela 1A. Propriedades químicas do solo da área experimental, Jaboticabal, SP.

	pH	P	M.O.	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %
Amostras	CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	-----			mmol _c dm ⁻³	-----		
0 – 25	5,3	22	19	3,8	37	16	31	56,8	87,8	65
25 – 50	5,3	18	15	3,5	28	12	25	43,5	68,5	64

FONTE: Departamento de solos – FCAV/UNESP 2007/2008.

Tabela 2A. Propriedades granulométricas do solo da área experimental, Jaboticabal, SP.

Amostras	Argila	Silte	Areia		Classe Textural
			Fina	Grossa	
----- g Kg ⁻¹ -----					
0 – 25	590	120	150	140	Argilosa
25 - 50	610	120	140	130	Muito Argilosa

FONTE: Departamento de solos – FCAV/UNESP, 2007/2008.

Tabela 3A. Desdobramento da Interação obtida entre cultivares e épocas de análise ao longo da safra, para a porcentagem de sacarose aparente (POL%cana).

Cultivares	Épocas (meses)						Teste F
	6	7	8	9	10	11	
RB86-7515	7,77 Be	8,90 Bd	10,70 Bc	11,81 Bb	13,67 Ca	12,33 Bb	140,29**
SP81-3250	8,06 Abe	9,81 Ad	10,92 Abc	13,12 Ab	15,68 Aa	12,99 Ab	212,57**
RB72-454	8,51 Ad	9,13 Bd	11,31 Ac	12,53 Ab	14,92 Ba	12,83 ABb	167,91**
Teste F	4,33*	7,03**	2,95 ^{NS}	13,40**	32,38**	3,80*	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. * e ** - significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. NS - não significativo.

Tabela 4A. Desdobramento da Interação obtida entre cultivares e épocas de análise ao longo da safra, para açúcares redutores totais (ART%cana).

Cultivares	Épocas (meses)						Teste F
	6	7	8	9	10	11	
RB86-7515	9,28 Be	10,36 Bd	11,90 Ac	12,96 Bb	14,75 Ca	13,17 Bb	101,37**
SP81-3250	9,82 ABd	11,32 Ac	12,09 Ac	14,27 Ab	16,84 Aa	13,85 Ab	157,13**
RB72-454	10,09 Ad	10,59 Bd	12,52 Ac	13,68 Ab	15,99 Ba	13,73 ABb	122,72**
Teste F	4,76*	6,91**	2,72 ^{NS}	12,01**	30,74**	3,62*	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. * e ** - significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. NS - não significativo.

Tabela 5A. Desdobramento da Interação entre partes do colmo e épocas de análise ao longo da safra, para a porcentagem de sacarose aparente (POL%cana).

Épocas (meses)	Partes		
	Entrenó	Nó	Teste F
6	8,75 Ea	7,47 Eb	39,76**
7	10,36 Da	8,20 Db	113,61**
8	12,10 Ca	9,85 Cb	123,48**
9	14,59 Ba	10,38 Cb	428,67**
10	16,86 Aa	12,66 Ab	427,02**
11	14,12 Ba	11,32 Bb	189,95**
Teste F	381,69**	160,75**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 6A. Desdobramento da Interação obtida entre partes do colmo e épocas, para açúcares redutores totais (ART%cana).

Épocas (meses)	Partes		
	Entrenó	Nó	Teste F
6	10,50 Af	8,96 Bd	50,75**
7	12,01 Ae	9,50 Bb	134,78**
8	13,42 Ad	10,92 Bc	134,61**
9	15,95 Ab	11,32 Bc	458,51**
10	18,09 Aa	13,63 Ba	423,48**
11	15,06 Ac	12,10 Bd	186,81**
Teste F	290,04**	111,89**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 7A. Potencial produtivo de açúcar especial (expresso em kilogramas por tonelada) obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo do período analisado.

Partes	Épocas (meses)					
	6	7	8	9	10	11
Nó	77,25	81,95	94,14	97,61	117,56	104,37
Entrenó	90,53	103,59	115,77	137,52	155,92	129,86

Tabela 8A. Potencial produtivo de açúcar VHP (expresso em kilogramas por tonelada) obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo do período analisado.

Partes	Épocas (meses)					
	6	7	8	9	10	11
Nó	77,56	82,28	94,52	98,00	118,03	104,79
Entrenó	90,89	104,01	116,23	138,08	156,55	130,38

Tabela 9A. Potencial produtivo de etanol anidro (expresso em litros por tonelada) obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo do período analisado.

Partes	Épocas (meses)					
	6	7	8	9	10	11
Nó	45,93	48,73	55,97	58,04	69,90	62,06
Entrenó	53,83	61,59	68,83	81,77	92,71	77,21

Tabela 10A. Potencial produtivo de etanol hidratado (expresso em litros por tonelada) obtido pelas partes do colmo de cana-de-açúcar ao longo do período analisado.

Partes	Épocas (meses)					
	6	7	8	9	10	11
Nó	47,93	50,85	58,42	60,57	72,95	64,77
Entrenó	56,18	64,28	71,84	85,34	96,75	80,58

Tabela 11A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares de cana e épocas de análise ao longo da para os teores de fosfatos inorgânicos presente no caldo ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$).

Cultivares	Épocas (meses)						Teste F
	6	7	8	9	10	11	
RB867515	176,51 Ae	204,46 Ad	222,49 Ad	257,89 Ac	353,94 Bb	418,68 Ba	357,79**
SP81-3250	183,02 Ae	204,85 Ad	221,78 Ad	271,39 Ac	384,96 Ab	466,27 Aa	512,12**
RB72-454	173,07 Af	197,19 Ae	235,80 Ad	264,04 Ac	357,97 Bb	451,38 Aa	449,28**
Teste F	1,03 ^{NS}	0,75 ^{NS}	2,53 ^{NS}	1,85 ^{NS}	11,51**	23,98**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. NS e ** - Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 12A. Desdobramento da interação obtida entre partes do colmo de cana e épocas de análise ao longo da para os teores de fosfatos inorgânicos presente no caldo ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$).

Partes	Épocas (meses)						Teste F
	6	7	8	9	10	11	
Entrenó	201,15 Ae	231,01 Ad	243,68 Ad	288,21 Ac	407,20 Ab	499,32 Aa	821,87**
Nó	153,92 Bf	173,32 Be	209,69 Bd	249,67 Bc	324,05 Bb	391,56 Ba	509,95**
Teste F	67,98**	101,45**	35,22**	68,88**	210,74**	353,99**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 13A. Efeito da Interação obtida entre cultivares e épocas de análise durante a safra para os teores de polissacarídeos ($\mu\text{g g SS}^{-1}$).

Cultivares	Épocas (meses)						Teste F
	6	7	8	9	10	11	
RB867515	147,22 Ad	154,81 Ad	218,15 Acd	330,04 Bbc	400,16 Aab	524,95 Aa	19,66**
SP81-3250	126,93 Ac	134,03 Ac	221,98 Abc	251,96 Bbc	362,83 Aab	401,50 Ba	10,49**
RB72454	120,45 Ab	125,97 Ab	222,82 Ab	481,13 Aa	328,24 Aa	489,65 ABa	24,18**
Teste F	0,17 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,01 ^{NS}	11,54**	1,10 ^{NS}	3,44*	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. NS, * e ** - Não significativo e significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 14A. Desdobramento da Interação obtida entre as partes do colmo e as épocas de análise durante a safra para os teores de polissacarídeos ($\mu\text{g g SS}^{-1}$).

Épocas (meses)	Partes		Teste F
	Entrenó	Nó	
6	109,44 Ac	153,63 Ac	1,26 ^{NS}
7	115,69 Ac	160,86 Ac	1,32 ^{NS}
8	187,81 Abc	254,16 Ac	2,84 ^{NS}
9	237,98 Bb	470,78 Ab	34,95**
10	281,49 Bab	446,00 Ab	17,45**
11	354,35 Ba	589,71 Aa	35,72**
Teste F	12,08**	43,14**	

Letras maiúsculas comparação na horizontal. Letras minúsculas comparação na vertical. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. NS e ** - Não significativo e significativo ao nível de 1 % de probabilidade, pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 15A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e terços do colmo para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), expressa em $0,001 \Delta A_{425}/\text{min}$.

	RB867515	SP813250	IACSP93-3046	IACSP95-5000	Teste F
TS	18,74 Ab	19,90 Ab	21,08 Ab	36,10 Aa	75,15**
TM	14,68 Bb	14,52 Bb	15,72 Bb	28,75 Ba	49,92**
TI	13,50 Bb	15,90 Bb	15,75 Bb	29,12 Ba	52,99**
Teste F	52,43**	20,01**	65,90**	118,68**	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

Tabela 16A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e casca para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), expressa em $0,001 \Delta A_{425}/\text{min}$.

	RB867515	SP813250	IACSP93-3046	IACSP95-5000	Teste F
Com	16,01 Ab	17,41 Ab	20,22 Ab	31,46 Aa	53,25**
Sem	15,27Ab	14,81 Bb	14,82 Bb	31,19 Aa	71,29**
Teste F	2,13 ^{NS}	26,74**	115,50**	0,29 ^{NS}	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. Com – com casca. Sem – sem casca. NS – não significativo.

Tabela 17A. Desdobramento da interação obtida entre terços do colmo e casca para a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), expressa em $0,001 \Delta A_{425}/\text{min}$.

	TS	TM	TI	Teste F
Com	25,08 Aa	19,09 Ab	19,64 Ab	131,34**
Sem	21,83 Ba	17,74 Bb	17,50 Bb	70,91**
Teste F	55,97**	9,65**	24,28**	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior. Com – com casca. Sem – sem casca.

Tabela 18A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e terços do colmo para a atividade da enzima peroxidase (POD), expressa em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	RB867515	SP813250	IACSP93-3046	IACSP95-5000	Teste F
TS	48,91 Bc	79,92 Aa	64,39 Ab	64,94 Ab	15,44**
TM	66,60 Ab	83,94 Aa	66,06 Ab	50,24 Bc	18,24**
TI	66,25 Aa	64,93 Ba	62,66 Aa	55,81 ABA	2,07 ^{NS}
Teste F	12,34**	12,12**	0,35 ^{NS}	6,64**	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior. NS – não significativo.

Tabela 19A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e casca para a atividade enzimática da peroxidase (POD), expresso em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	RB867515	SP813250	IACSP93-3046	IACSP95-5000	Teste F
Com	50,02 Bb	70,96 Ba	52,37 Bb	52,75 Bb	11,31**
Sem	71,15 Aab	81,57 Aa	76,37 Aa	61,24 Ab	9,05**
Teste F	32,33**	8,15**	41,73**	5,22*	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. * e ** - significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, pelo Teste F. Com – com casca. Sem – sem casca.

Tabela 20A. Desdobramento da interação obtida entre terços do colmo e casca para a atividade da enzima peroxidase (POD), expressa em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	TS	TM	TI	Teste F
Com	59,57 Ba	59,77 Ba	50,23 Bb	6,37**
Sem	69,50 Aa	73,65 Aa	74,59 Aa	1,57 ^{NS}
Teste F	9,52**	18,62**	57,29**	

Médias seguidas de letras distintas minúsculas (comparação na horizontal) e letras distintas maiúsculas (na vertical) diferem entre si pelo Teste de Tukey. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior. NS – não significativo. Com – com casca. Sem – sem casca.

Tabela 21A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e partes do colmo para os valores de atividade da polifenoloxidase (PPO), expressos em $0,001 \Delta A_{425}/\text{min}$.

	Nó	Entrenó	Terço Integral	Teste F
RB867515	31,46 Ab	13,82 Bb	17,67 Bb	67,15**
SP81-3250	19,11 Ac	12,17 Bb	18,02 Ab	10,89**
IACSP93-3046	26,50 Ab	13,57 Cb	20,63 Bb	32,76**
IAC95-5000	38,49 Aa	20,75 Ca	29,31 Ba	61,41**
Teste F	31,64**	7,05**	13,98**	

Letras maiúsculas – comparação na horizontal. Letras minúsculas – comparação na vertical. Médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 22A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e terços do colo para os valores de atividade da peroxidase (POD), expressos em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	Superior	Médio	Inferior	Teste F
RB 867515	63,98 Bb	73,39 Aa	72,06 ABab	5,13*
SP81-3250	81,19 Aa	68,21 Ba	66,61 Bb	12,63**
IACSP93-3046	66,92 Ab	74,90 Aa	68,52 Ab	3,52 ^{NS}
IAC95-5000	72,29 ABb	79,69 Aa	69,48 Ba	6,50*
Teste F	11,67**	2,04 ^{NS}	6,81**	

Letras maiúsculas – comparação na horizontal. Letras minúsculas – comparação na vertical. Médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, * e ** - Não significativo e significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Tabela 23A. Desdobramento da interação obtida entre cultivares e partes do colmo para os valores de atividade da peroxidase (POD), expressos em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	Nó	Entrenó	Terço Integral	Teste F
RB867515	60,32 Bb	64,62 Bb	84,50 Aa	41,66**
SP81-3250	62,52 Cb	70,92 Bab	82,57 Aa	25,39**
IACSP93-3046	58,91 Cb	68,18 Bb	83,54 Aa	39,62**
IAC95-5000	75,54 Aa	76,06 Aa	69,87 Ab	2,95NS
Teste F	14,16**	5,56**	11,31**	

Letras maiúsculas – comparação na horizontal. Letras minúsculas – comparação na vertical. Médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS – Não significativo.

Tabela 24A. Desdobramento da interação obtida entre terços e partes do colmo para os valores de atividade da peroxidase (POD), expressos em $0,001 \Delta A_{470}/\text{min}$.

	Nó	Entrenó	Terço Integral	Teste F
Superior	67,18 Ba	63,87 Bb	82,23 Aa	31,96**
Médio	64,34 Ba	75,99 Aa	74,14 Ab	13,09**
Inferior	61,22 Ca	69,96 Bab	83,98 Aa	44,04**
Teste F	2,72 ^{NS}	11,26**	8,44**	

Letras maiúsculas – comparação na horizontal. Letras minúsculas – comparação na vertical. Médias seguidas de letra distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F. NS – Não significativo.

Tabela 25A. Desdobramento da interação entre partes do colmo e épocas de análise durante a safra, para a produção de bagaço (kg tcana^{-1}).

	Entrenó	Nó	Teste F
6	238,38 Cb	266,61 Ea	51,44**
7	238,14 Cb	282,78 Da	128,58**
8	254,87 Bb	292,56 CDa	91,65**
9	253,62 Bb	297,44 Ca	123,94**
10	262,31 Bb	310,50 Ba	149,90**
11	287,37 Ab	322,81 Aa	81,06**
Teste F	41,78**	49,84**	

Letras maiúsculas comparação na vertical. Letras minúsculas comparação na horizontal. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Tabela 26A. Potencial de produção de energia elétrica obtido pelas partes do colmo ao longo da safra, expressos em quilowatt-hora por tonelada (kWh t^{-1}).

	Entrenó	Nó
6	174,2558	194,8919
7	174,0803	206,7122
8	186,31	213,8614
9	185,3962	217,4286
10	191,7486	226,9755
11	210,0675	235,9741

Tabela 27A. Potencial de produção de etanol celulósico obtido pelas partes do colmo ao longo da safra, expressos em litros de etanol por tonelada (L t^{-1}).

	Entrenó	Nó
6	16,47	18,422
7	16,45	19,54
8	17,61	20,21
9	17,52	20,55
10	18,12	21,455
11	19,85	22,30

Tabela 28A. Produção de energia elétrica total, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, considerando a contribuição do nó e entrenó, à partir de uma tonelada de cana. Valores expressos em quilowatt-hora por tonelada cana (kWh TC⁻¹).

	Entrenó	Nó
6	130,69	48,72
7	130,56	51,67
8	139,73	53,46
9	139,04	54,35
10	143,81	56,74
11	157,55	58,99

Tabela 29A. Quantidade de crédito de carbono total obtida por cada parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, considerando a contribuição do nó e entrenó, à partir de uma tonelada de cana. Valores expressos em tonelada de dióxido de carbono por tonelada cana (t CO₂ TC⁻¹).

	Entrenó	Nó
6	0,070	0,026
7	0,070	0,027
8	0,075	0,028
9	0,075	0,029
10	0,077	0,030
11	0,085	0,031

Tabela 30A. Produção de energia elétrica excedente, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, à partir de uma tonelada de cana. Valores expressos em quilowatt-hora por tonelada cana (kWh TC⁻¹).

	Entrenó	Nó
6	34,69	48,72
7	34,56	51,67
8	43,73	53,46
9	43,04	54,35
10	47,81	56,74
11	61,55	58,99

Tabela 31A. Produção de etanol celulósico obtido com a biomassa excedente, segundo a parte do colmo, ao longo da safra 2010/2011, à partir de uma tonelada de cana. Valores expressos em litros de etanol por tonelada cana (L TC⁻¹).

	Entrenó	Nó
6	4,81	4,60
7	4,81	4,88
8	5,15	5,05
9	5,12	5,13
10	5,30	5,36
11	5,80	5,57

Tabela 32A. Potencial de produção de energia elétrica total (kWh TC^{-1}), quantidade de crédito de carbono ($\text{t CO}_2 \text{TC}^{-1}$), potencial de produção de energia elétrica excedente (kWh TC^{-1}), e potencial de produção de etanol celulósico (L TC^{-1}), obtido pela biomassa excedente dos cultivares estudados, no momento do corte, à partir de uma tonelada de cana.

	Energia Elétrica Total	Crédito Carbono	Energia Elétrica Excedente	Etanol Celulósico
SP81-3250	217,39	0,11	123,91	11,71
RB867515	221,72	0,11	126,38	11,94
RB72454	210,42	0,11	119,94	11,33

kWh – quilowatt-hora. t CO_2 – tonelada de dióxido de carbono. L – litros. TC^{-1} – tonelada cana.

Tabela 33A. Resultado obtido ao final do estudo em relação as causas de variação analisadas em cada capítulo.

		Capítulos							
		2	3	3 e 4	5 a 7	8		8	8
		POL e ART (%cana)	Produção o açúcar (kg/t) e de etanol (L/t)	Fósforo Inorgânico (mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{L}$)	Polissacarídeos ($\mu\text{g g/SS}$)	PPO (0,001 Δ $\text{A}_{425}/\text{mln}$)	POD (0,001 Δ $\text{A}_{470}/\text{mln}$)	Produção o bagaço (kg), energia (kWh), etanol (L) e crédito de carbono (t CO_2) expresso para a tonelada a parte	Produção o bagaço (kg), energia (kWh), etanol (L) e crédito de carbono (t CO_2) expresso para a tonelada a cana
Causa de Variação									
Cultivares	RB867515	BX	BX	BX	ELV	INT	INT	nv	ELV
	SP81-3250	ELV	ELV	ELV	BX	BX	INT	nv	ELV
	RB72454	INT	INT	BX	ELV	BX	BX	nv	BX
	CTC 9	nv	nv	nv	BX	nv	nv	nv	nv
	CTC 15	nv	nv	nv	ELV	nv	nv	nv	nv
	CTC 16	nv	nv	nv	ELV	nv	nv	nv	nv
	IACSP95-5000	nv	nv	nv	nv	ELV	BX	nv	nv
IACSP93-3046	nv	nv	nv	nv	BX	BX	nv	nv	
Partes	NÓ	BX	BX	BX	ELV	ELV	INT	ELV	BX
	ENÓ	ELV	ELV	ELV	BX	BX	INT	BX	maior
	INTEGRAL	nv	nv	nv	nv	INT	ELV		
Comportamento ao longo da safra		CRS	CRS	CRS	CRS	nv	nv	CRS	CRS
Terço	TS	nv	nv	nv	nv	ELV	INT	nv	nv
	TM	nv	nv	nv	nv	INT	INT	nv	nv
	TI	nv	nv	nv	nv	INT	INT	nv	nv
Casca	COM	nv	nv	nv	nv	ELV	BX	nv	nv
	SEM	nv	nv	nv	nv	BX	ELV	nv	nv

BX – Baixo. INT - intermediário. ELV - elevado. CRS – crescente. nv - não avaliado.

APÊNDICE B
(material ilustrativo suplementar)



Figura 1A. Vista aérea do experimento.



Figura 2A. Parcelas experimentais



Figura 3A. Coleta do colmo de cana.



Figura 4A. Colmos com palha e ponteiro.



Figura 5A. Colmos despontados, despalhados, enfeixados e etiquetados.



Figura 6A. Colmos transportados ao laboratório.



Figura 7A. Colmo de cana sendo separado em nó e entrenó



Figura 8A. Serra elétrica portátil Skil 4003.



Figura 9A. Entrenó e Nó do colmo de cana



Figura 10A. Entrenó.



Figura 11A. Nó



Figura 12A. Nós encaminhados ao desintegrador.



Figura 13A. Desintegrador de cana Codistil (Dedini) D-2500-II.



Figura 14A. Pesagem de 500 gramas do material desintegrado.



Figura 15A. Prensa Hidráulica Codistil (Dedini) PH 45-II.



Figura 16A. Material desintegrado encaminhado para extração do caldo.



Figura 17A. Extração do caldo de cana



Figura 18A. Filtragem do caldo.



Figura 19A. Titulação dos açúcares redutores.



Figura 20A. Preparo das amostras, análise de P_2O_5 .



Figura 21A. Balão volumétrico pronto para leitura no espectrofotômetro (Análise de P_2O_5).



Figura 22A. Preparo das amostras para análise de polissacarídeos.



Figura 23A. Espectrofotômetro utilizado nas análises

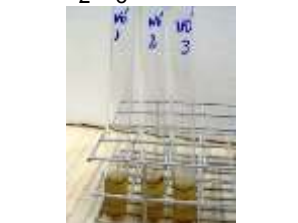


Figura 24A. Análise da atividade da polifenoloxidase do caldo extraído do nó.



Figura 25A. Análise da atividade da peroxidase. À esquerda caldo do nó e a direita do entrenó.



Figura 26A. Terço superior do colmo.



Figura 27A. Terço inferior do colmo.



Figura 28A. Colmos de cana descascados.



Figura 29A. Caldo extraído do terço inferior com casca.



Figura 30A. Caldo extraído do terço médio do colmo.



Figura 31A. Caldo extraído do terço médio do colmo (terço inteiro).



Figura 32A. Atividade da peroxidase. À esquerda caldo do nó e a direita do entrenó.



Figura 33A. Bolo úmido



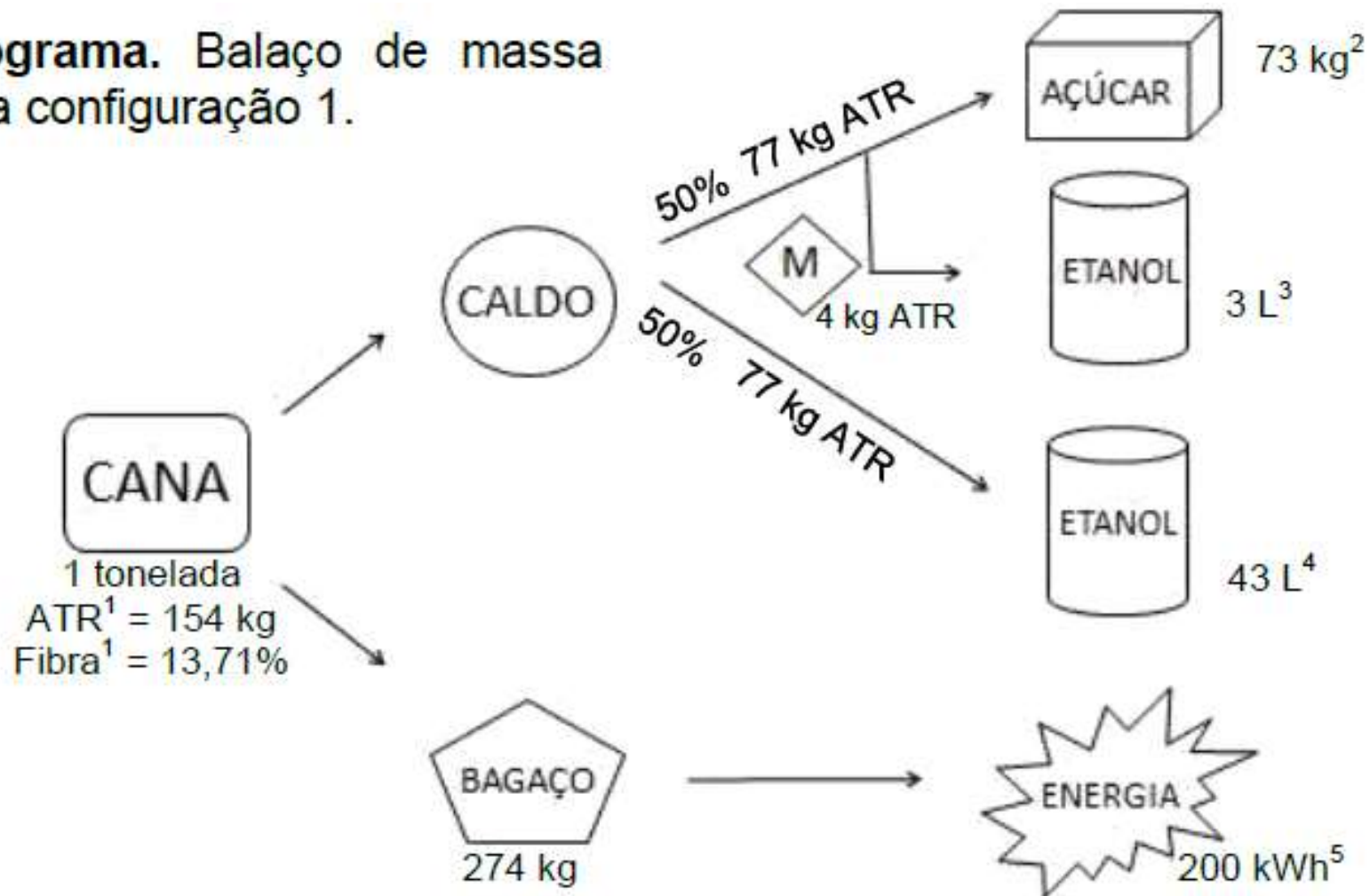
Figura 34A. Pesagem Bolo úmido.



Figura 35A. Aparelho digital para leitura do Brix.

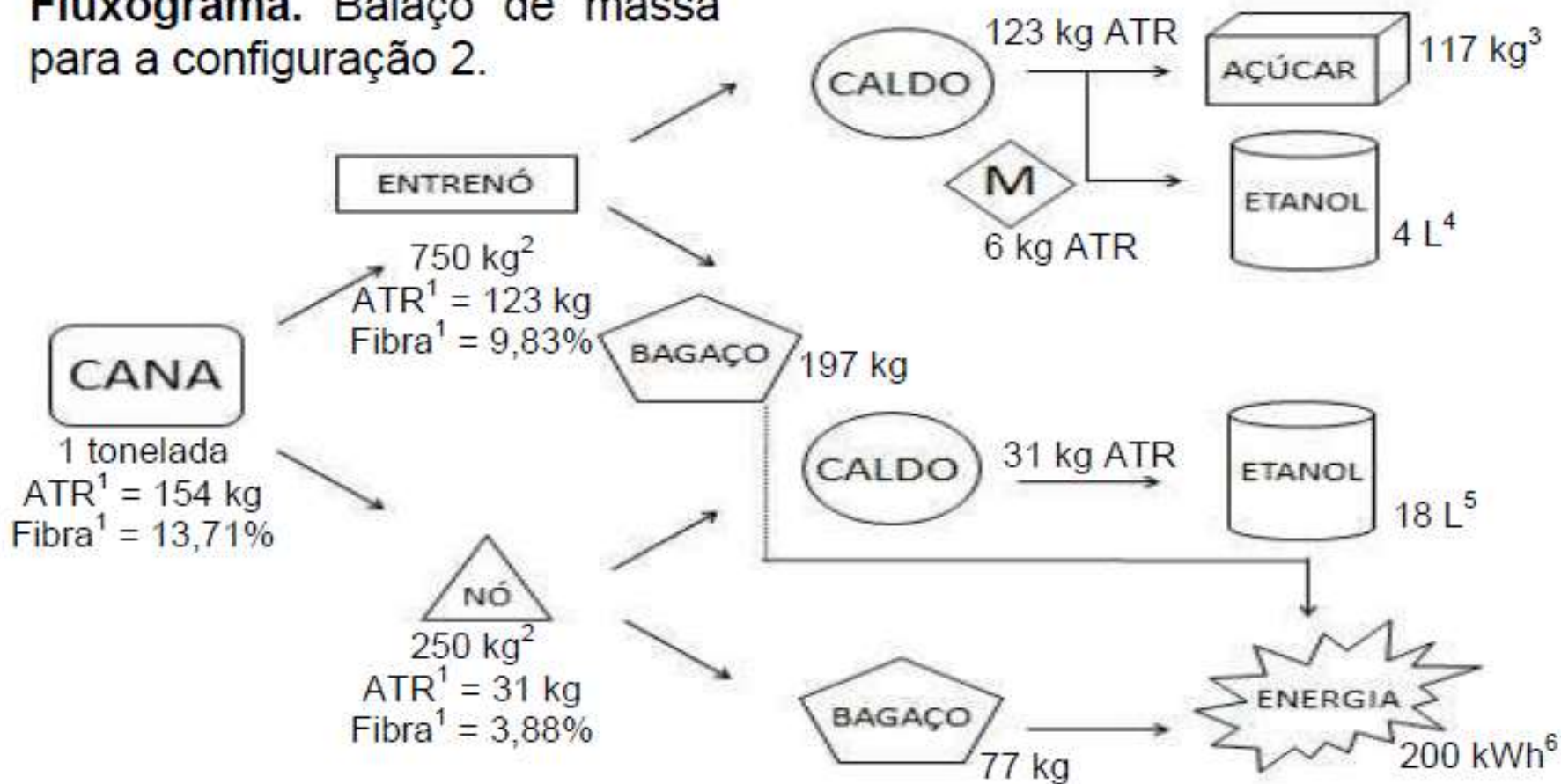
APÊNDICE C
(material suplementar-Fluxograma)

Fluxograma. Balaço de massa para a configuração 1.



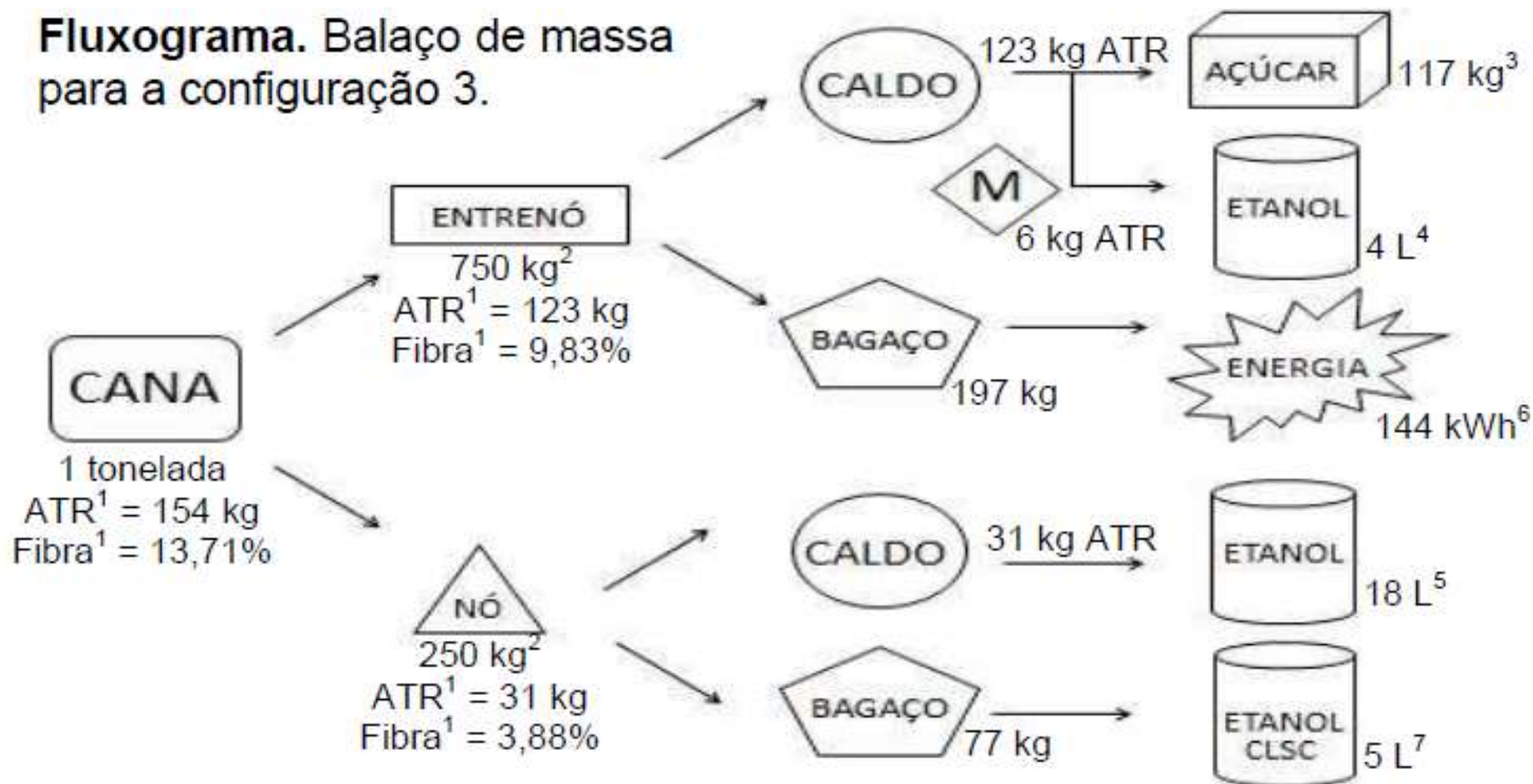
1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana e considerando bagaço com 50% de umidade. 2 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg açúcar equivale à 1,0495 kg ATR (CONSECANA-SP, 2006). 3 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 4 – Considerando que 1 kg de ATR produz 0,56654 litro de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 5 – Considerando que 1 kg bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). M - melação

Fluxograma. Balaço de massa para a configuração 2.



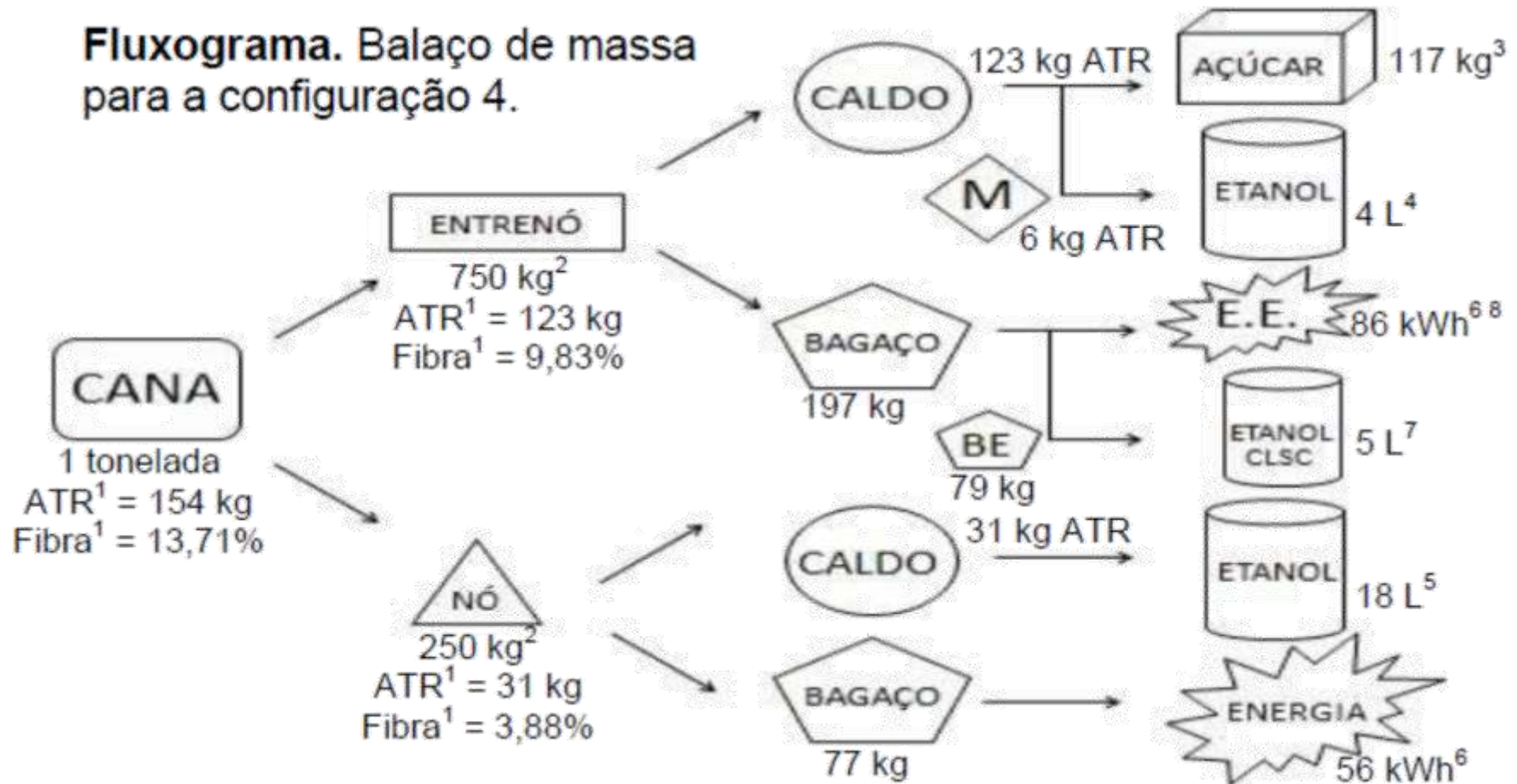
1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana e considerando o bagaço com 50% de umidade. Valores expressos em relação à uma tonelada de cana. 2 – considerando que o entrenó representa, em média, 75% e o nó 25% do colmo de cana (LUCCHESI, 1995). 3 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg açúcar equivale à 1,0495 kg ATR (CONSECANA-SP, 2006). 4 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 5 – Considerando que 1 t de ATR produz 0,56654 litros de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 6 – Considerando que 1 t bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). M – melação.

Fluxograma. Balaço de massa para a configuração 3.



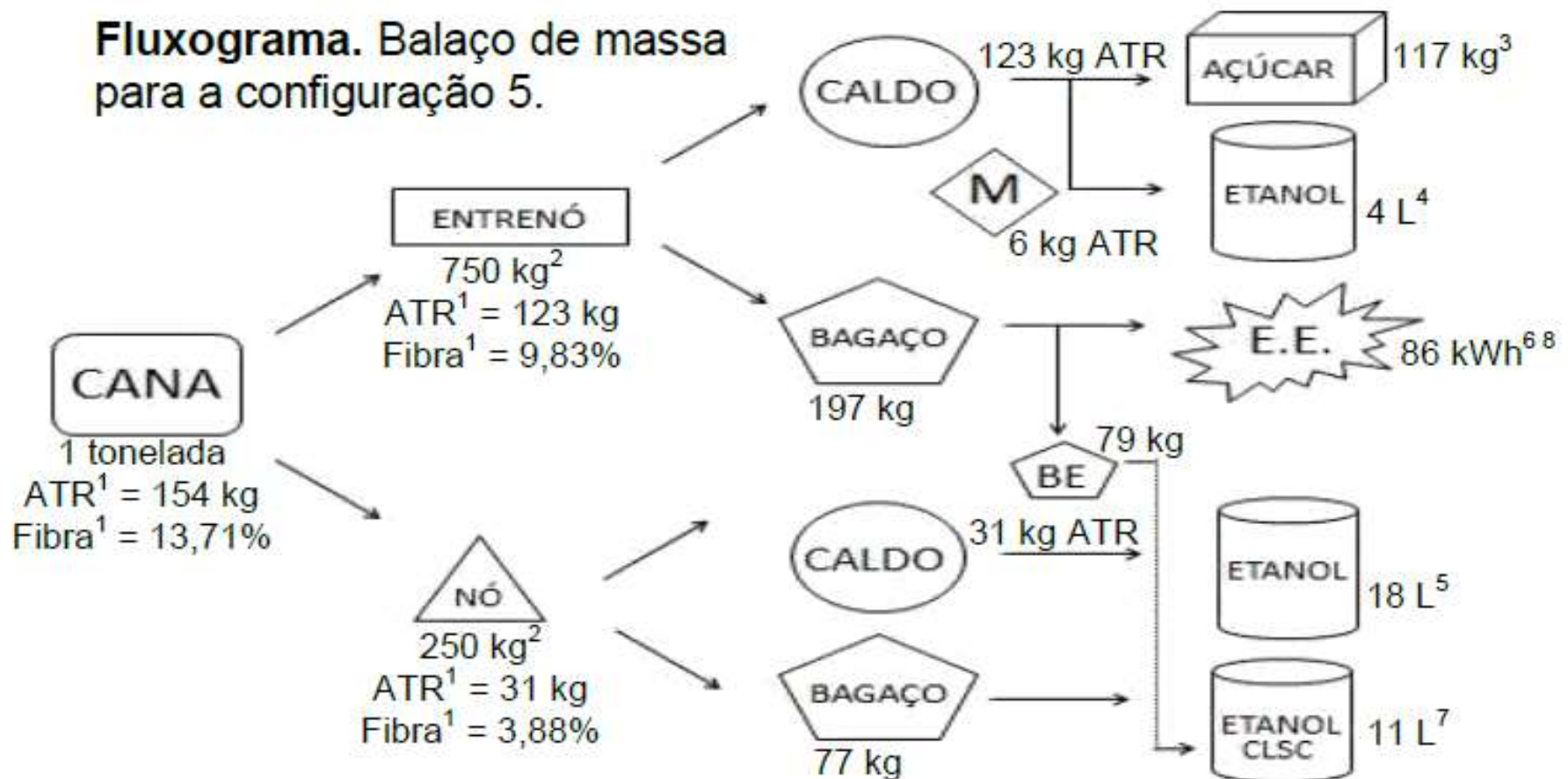
1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana e considerando o bagaço com 50% de umidade. Valores expressos em relação a uma tonelada de cana. 2 – considerando que o entrenó representa, em média, 75% e o nó 25% do colmo de cana (LUCCHESI, 1995). 3 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg açúcar equivale à 1,0495 kg ATR (CONSECANA-SP, 2006). 4 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 5 – Considerando que 1 t de ATR produz 0,56654 litros de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 6 – Considerando que 1 t bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). 7 – Considerando que 1 tonelada de bagaço produz 69,1 litros de etanol (CGEE, 2009). M – melação.

Fluxograma. Balaço de massa para a configuração 4.



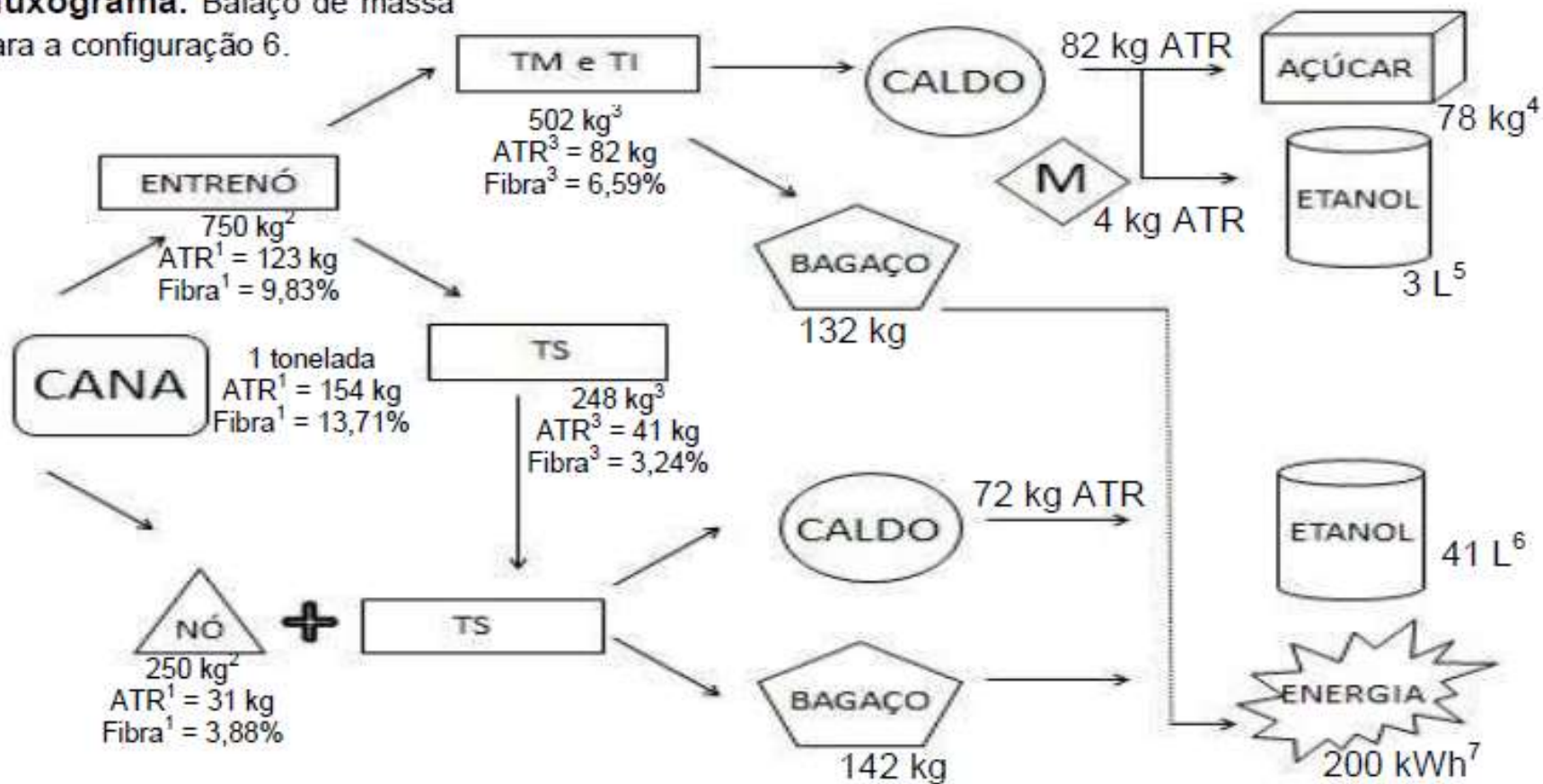
1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana e considerando o bagaço com 50% de umidade. Valores expressos em relação à uma tonelada de cana. 2 – considerando que o entrenó representa, em média, 75% e o nó 25% do colmo de cana (LUCCHESI, 1995). 3 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg açúcar equivale à 1,0495 kg ATR (CONSECANA-SP, 2006). 4 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 5 – Considerando que 1 t de ATR produz 0,56654 litros de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 6 – Considerando que 1 t bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). 7 – Considerando que 1 tonelada bagaço produz 69,1 litros de etanol (CGEE, 2009). 8 – considerando que uma usina necessita de 43% da energia produzida pela queima de todo bagaço presente em 1 tonelada de cana, de acordo com o desempenho médio de geração elétrica das unidades sucroenergéticas do Estado de São Paulo (CONAB 2011). M – melaço. E.E. – energia elétrica utilizada para sustentar a demanda energética da usina. BE – bagaço excedente. CLSC – celulósico.

Fluxograma. Balaço de massa para a configuração 5.



1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana e considerando o bagaço com 50% de umidade. Valores expressos em relação à uma tonelada de cana. 2 – considerando que o entrenó representa, em média, 75% e o nó 25% do colmo de cana (LUCCHESI, 1995). 3 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg açúcar equivale à 1,0495 kg ATR (CONSECANA-SP, 2006). 4 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 5 – Considerando que 1 t de ATR produz 0,56654 litros de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 6 – Considerando que 1 t bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). 7 – Considerando que 1 tonelada bagaço produz 69,1 litros de etanol (CGEE, 2009). 8 – considerando que uma usina necessita de 43% da energia produzida pela queima de todo bagaço presente em 1 tonelada de cana, de acordo com o desempenho médio de geração elétrica das unidades sucroenergéticas do Estado de São Paulo (CONAB 2011). M – melaço. E.E. – energia elétrica utilizada para sustentar a demanda energética da usina. BE – bagaço excedente. CLSC – celulósico.

Fluxograma. Balança de massa para a configuração 6.



1 – Valor do ATR e de fibra calculados por meio dos resultados obtidos de POL e ART (Tabelas 5A e 6A do Apêndice A, página 110) e Bagaço (Tabela 25A do Apêndice A, página 115), todos aos 10 meses de idade da cana. Valores expressos em relação à uma tonelada de cana. 2 – considerando que o entrenó representa, em média, 75% e o nó 25% do colmo de cana (LUCCHESI, 1995). 3 – considerando que cada terço representa 0,333% do colmo. Valores expressos em relação à uma tonelada cana. 4 – considerando açúcar especial com 99,7° Z e 0,04 % de umidade, sendo que 1 kg de açúcar equivale à 1,0495 kg de ATR (CONSECANA-SP, 2006). 5 – Considerando que a massa específica do etanol absoluto é igual à 0,78932. E, que o rendimento em peso de fermentação alcoólica é igual a 51,11%. 6 – Considerando que 1 kg de ATR produz 0,56654 litros de etanol anidro (CONSECANA-SP, 2006). 7 – Considerando que 1 tonelada bagaço produz $7,31 \times 10^{-4}$ GWh de energia (ZYLBERSZTAJN e COELHO, 1992). M – melao. TS – terço superior. TM – terço médio. TI – terço inferior.

Referencias

CGEE - **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, Brasil. 536 p,2009.

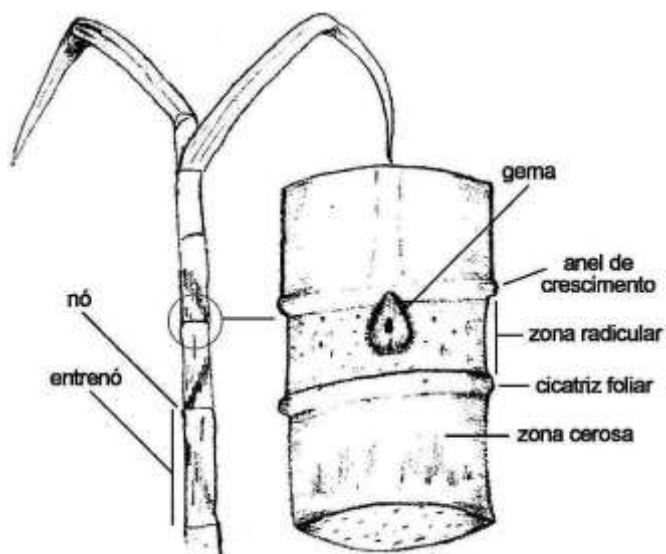
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**. Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Informações do Agronegócio, Brasília, Brasil. 157p, 2011.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Consecana, Piracicaba, Brasil. 112p, 2006.

LUCCHESI AA. **Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. PCLQ/USP, Piracicaba, Brasil. 50p, 1995.

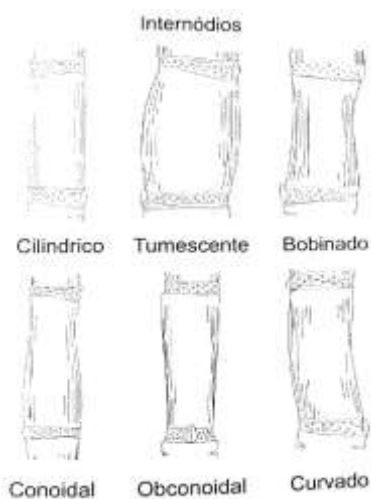
ZYLBERSZTAJN D, COELHO ST. Potencial de geração de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool brasileira, através de gaseificação da cana e emprego de turbinas a gás. **Revista Brasileira de Energia** 1: 01-13, 1992

ANEXOS



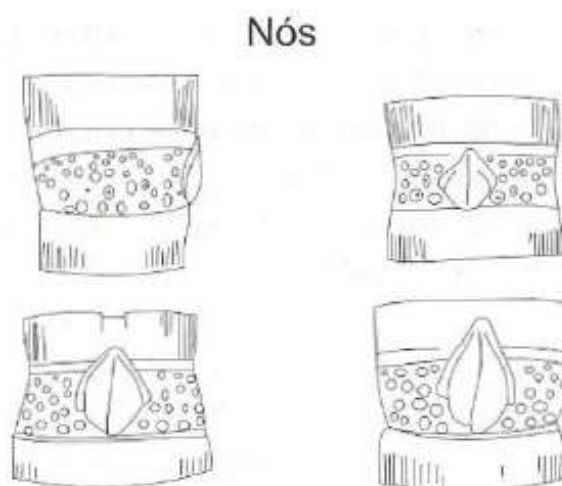
ANEXO 1: Estruturas morfológicas do colmo de cana

Fonte: MOZAMBANI et al. (2006).



ANEXO 2: Exemplos de entrenós

Fonte: ARTSHWAGER e BRANDES (1958).



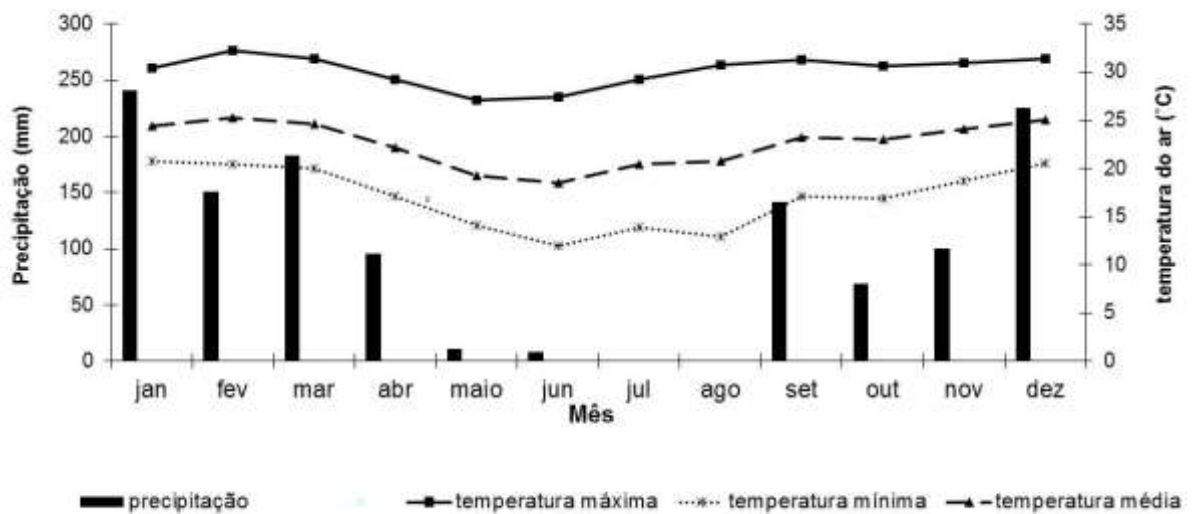
ANEXO 3: Nós do colmo de cana.

Fonte: ARTSHWAGER e BRANDES (1958).

Referencias:

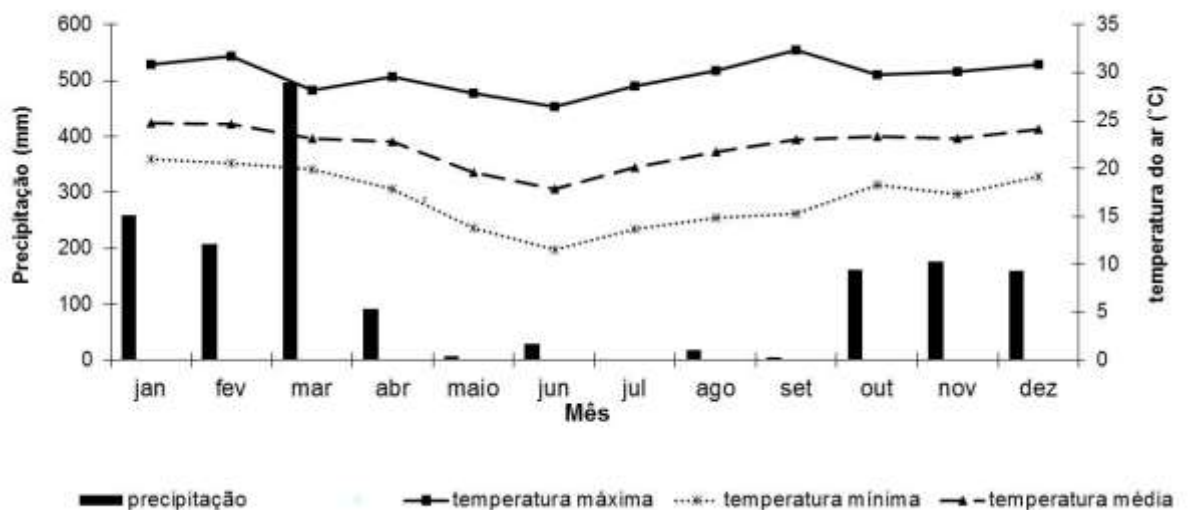
MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. Cap. 1, p.11-16.

ARTSHWAGER, E; BRANDES, E. W. **Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.): origin, classification, characteristics, and descriptions of representative clones**. Washington: USDA, 1958. 307p. (Agriculture Handbook, 122)



ANEXO 4. - Dados agroclimatológicos no ano de 2010.

FONTE: Departamento de Ciências Exatas – Estação Agroclimatológica – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.



ANEXO 5. - Dados agroclimatológicos no ano de 2011.

FONTE: Departamento de Ciências Exatas – Estação Agroclimatológica – FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP.

ANEXO 6. Balanço hídrico climatológico no ano de 2010, Jaboticabal,SP. (CAD=100 mm).

Mes	ETP	P	ARM	ETR	DEF	EXC
	----- mm -----					
janeiro	125	241	100	125	0	115
fevereiro	121	151	100	121	0	30
março	120	183	100	120	0	63
abril	85	95	100	85	0	11
maio	59	11	53	44	15	0
junho	48	8	36	26	23	0
julho	64	0	19	17	47	0
agosto	69	0	13	13	56	0
setembro	93	142	60	93	0	0
outubro	99	69	44	85	14	0
novembro	113	100	39	106	8	0
dezembro	134	225	100	134	0	30
ANO	1130	1225	-	969	163	249

ETP: evapotranspiração potencial, estimada pelo método de Thornthwaite; P: precipitação média mensal; ARM: armazenamento de água no solo; ETR: evapotranspiração real; DEF: deficiência; EXC: excedente.

Fonte: estação agroclimatológica FCAV/UNESP.

ANEXO 7. Balanço hídrico climatológico no ano de 2011, Jaboticabal,SP. (CAD=100 mm)

Mes	ETP	P	ARM	ETR	DEF	EXC
	----- mm -----					
janeiro	129	260	100	129	0	131
fevereiro	113	208	100	113	0	95
março	102	496	100	102	0	394
abril	90	92	100	90	0	2
maio	60	7	59	48	12	0
junho	44	30	51	38	7	0
julho	62	0	27	23	38	0
agosto	77	18	15	30	47	0
setembro	91	5	6	14	77	0
outubro	102	162	66	102	0	0
novembro	102	177	100	102	0	41
dezembro	121	160	100	121	0	39
ANO	1093	1615	-	912	181	663

ETP: evapotranspiração potencial, estimada pelo método de Thornthwaite; P: precipitação média mensal; ARM: armazenamento de água no solo; ETR: evapotranspiração real; DEF: deficiência; EXC: excedente.

Fonte: estação agroclimatológica FCAV/UNESP.

ANEXO 8: Características descritivas do cultivar SP81-3250 (COOPERSUCAR, 1995).

Touceira:

- Crescimento: Levemente decumbente.
- Perfilhamento: Intenso.
- Despalha: Média.

Colmos:

- Cor: Verde-arroxeadado quando exposto ao sol, e verde-amarelada quando sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor verde-amarelada, largura média, e média saliência.
- Zona Radicular: Cor roxa-amarelada, sem enraizamento aéreo.
- Gema: Tamanho médio, oval, com pouca a média saliência, não ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume denso.
- Folhas: Curvadas, largura limbo média, poucos pêlos e serrilhamento bordos.
- Aurículas: Distribuição simétrica lanceolada unilateral e média.
- Bainha: Com presença de pêlos (joçal) na região dorsal, e em regular quantidade.
- Palmito: Média a alta presença de cera, cor verde-amarelada, tamanho médio.

Produtividade Agrícola: Alta.

Reação às Doenças: Resistente à amarelecimento, ferrugem, mosaico e broca dos colmos; suscetível à escaldadura e carvão.

Outras características: Floresce, isoporiza pouco, alto teor de sacarose.

ANEXO 9: Características descritivas do cultivar RB72454 (SALIBE et al., 2008).**Touceira:**

- Crescimento: Ereto.
- Perfilhamento: Intenso.
- Despalha: Média.

Colmos:

- Cor: Verde claro quando exposto ao sol e sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor alaranjada, largura média.
- Zona Radicular: Cor verde-amarelado, largura média.
- Gema: Pequenas, oval, não ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume regular, tonalidade escura
- Folhas: Eretas, largura do limbo média, sem pêlos e com serrilhamento médio.
- Aurículas: Presente de um só lado.
- Bainha: Ausência de pêlos (joçal).
- Palmito: Apresenta pouca cera, tamanho médio e com seção transversal oval.

Produtividade Agrícola: Alta.**Período de Colheita:** Final da safra.

Reação às Doenças: Resistente à escaudadura e ferrugem; e intermediária ao carvão, mosaico e falsas estrias vermelhas; e suscetível à estrias vermelhas.

Outras características: Apresenta teor de fibra médio, florescimento ocasionalmente e teor de sacarose alto.

ANEXO 10: Características descritivas do cultivar RB867515 (SALIBE et al., 2008).

Touceira:

- Crescimento: Ereto.
- Perfilhamento: Médio.
- Despalha: Fácil.

Colmos:

- Cor: Roxo intenso quando exposto ao sol, e verde arroxeado quando sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor alaranjada, largura média.
- Zona Radicular: Cor verde-amarelado, largura média.
- Gema: Pequenas, oval, não ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume regular, tonalidade escura
- Folhas: Eretas, largura do limbo média, sem pêlos e com serrilhamento médio.
- Aurículas: Presente de um só lado.
- Bainha: Pouca presença de pêlos (joçal).
- Palmito: Apresenta pouca cera, tamanho médio e com seção transversal oval.

Produtividade Agrícola: Alta.

Período de Colheita: Final da safra.

Reação às Doenças: Resistente à escaldadura, carvão, mosaico e ferrugem; e intermediária à falsas estrias vermelhas e à estrias vermelhas.

Outras características: Apresenta teor de fibra médio, PUI longo, florescimento acima da média e teor de sacarose alto.

ANEXO 11: Características descritivas do cultivar CTC 9 (CTC, 2006).**Touceira:**

- Crescimento: Levemente decumbente.
- Perfilhamento: Médio.
- Despalha: Média.

Colmos:

- Cor: Amarelo-esverdeado quando exposto ao sol, e também sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor amarelo-esverdeado, largura média, e pouca saliência.
- Zona Radicular: Cor roxa, largura média a estreita, sem enraizamento aéreo.
- Gema: Médias, ovais, com média saliência, sempre ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume regular, tonalidade intermediária.
- Folhas: Arqueadas, largura do limbo média, com poucos pêlos (joçal) e com serrilhamento fraco.
- Aurículas: Assimétricas.
- Bainha: Tem poucos pêlos (joçal) em posição dorsal.
- Palmito: Com fraca presença de cera, cor verde-arroxeadas, tamanho médio e com seção transversal oval.

Produtividade Agrícola:

Período de Colheita: Início de safra.

Reação às Doenças: Resistente ao amarelecimento, ferrugem e carvão; e intermediária à escaldadura e broca de cana; e suscetível mosaico.

Outras características: Alto teor de sacarose, é precoce, apresenta fibra média, pouco florescimento e pouca isoporização.

FONTE: CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. **Segunda Geração de Variedades CTC.** Piracicaba, 2006. 14p. (Boletim Técnico; Edição Especial, 1).

ANEXO 12: Características descritivas do cultivar CTC 15 (CTC, 2007).**Touceira:**

- Crescimento: Levemente decumbente.
- Perfilamento: Médio a alto.
- Despalha: Média.

Colmos:

- Cor: Roxo-esverdeado quando exposto ao sol, e amarelo-esverdeado sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor amarelo-esverdeado, largura média, e sem enraizamento aéreo.
- Zona Radicular:
- Gema: Médias, pontagonais, média saliência, não ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume regular, tonalidade intermediária.
- Folhas: Pontas curvas, largura limbo média, poucos pêlos e serrilhamento médio.
- Aurículas: Assimétricas.
- Bainha: Tem poucos pêlos (joçal) em posição dorsal.
- Palmito: Com fraca presença de cera, cor arroxeadada e seção transversal oval.

Produtividade Agrícola: Altíssima

Período de Colheita: A partir do meio da safra.

Reação às Doenças: Resistente a ferrugem, escaldadura, carvão e amarelecimento; e intermediária ao mosaico e broca de cana; e suscetível mosaico.

Outras características: Tolerância à seca, longevidade das soqueiras, alto teor de sacarose, apresenta alto teor fibra, médio florescimento e pouca isoporização.

FONTE: CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. **Terceira Geração de Variedades CTC**. Piracicaba, 2007. 19p. (Boletim Técnico; 2).

ANEXO 13: Características descritivas do cultivar CTC 16 (CTC, 2008).**Touceira:**

- Crescimento: Ereto.
- Perfilhamento: Médio a alto.
- Despalha: Fácil.

Colmos:

- Cor: Roxo-esverdeado quando exposto ao sol, e verde-amarelado sob a palha.
- Comprimento: Curto-médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor verde-amarelado, largura média, e pouca saliência.
- Zona Radicular: Cor amarelo-esverdeada, largura média sem enraizamento aéreo.
- Gema: Pequenas, triangulares, média saliência, ocasionalmente ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume regular e denso, tonalidade escura.
- Folhas: Pontas curvas, largura limbo estreito-média, poucos pêlos e serrilhamento fraco-médio.
- Aurículas: Assimétricas.
- Bainha: Tem pêlos (joçal) em posição dorsal.
- Palmito: regular presença de cera, tamanho médio e seção transversal circular.

Produtividade Agrícola: Alta.

Período de Colheita: A maior parte da safra.

Reação às Doenças: Resistente a ferrugem, escaldadura, carvão e amarelecimento; e intermediária ao mosaico e broca de cana.

Outras características: Alto teor de sacarose, longevidade e excelente brotação das soqueiras, apresenta alto teor fibra, pouco florescimento e rara isoporização.

ANEXO 14: Características descritivas do cultivar IACSP93-3046 (LANDELL et al., 2005).

Touceira:

- Crescimento: Ereto.
- Perfilhamento: Intenso.
- Despalha: Fácil.

Colmos:

- Cor: Roxa quando exposto ao sol, e roxa-amarelada sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio a grosso.
- Anel de Crescimento: Cor verde-amarelada, largura média, e média saliência.
- Zona Radicular: Cor roxa, sem enraizamento aéreo.
- Gema: Retangular, com saliência média, ocasionalmente ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume alto, tonalidade escura.
- Folhas: Curvadas, largura do limbo largas, sem pêlos e serrilhamento médio.
- Aurículas: Simétricas do tipo transição.
- Bainha: Média presença de pêlos (joçal) região dorsal.
- Palmito: Apresenta pouca cera, cor verde-arroxeadada, tamanho curto.

Produtividade Agrícola: Alta.

Período de Colheita: Do começo para o meio da safra.

Reação às Doenças: Resistente à escaldadura, amarelecimento, ferrugem, carvão e mosaico.

Outras características: Grande estabilidade de TCH nos diversos ambientes de produção, e P.U.I.

FONTE: LANDELL, M.G.A. et al. **Variedades de Cana-de-Açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 15ª Liberação do Programa Cana IAC (1959 – 2005)**. Boletim Técnico IAC, Campinas, n.197, 2005.

ANEXO 15: Características descritivas do cultivar IACSP95-5000 (LANDELL, 2007).

Touceira:

- Crescimento: Ereto.
- Perfilhamento: Intenso.
- Despalha: Fácil.

Colmos:

- Cor: Amarelo-verde quando exposto ao sol ou sob a palha.
- Comprimento: Médio.
- Diâmetro: Médio.
- Anel de Crescimento: Cor amarelo-esverdeada, largura média, e média saliência.
- Zona Radicular: Cor amarelo-verde, sem enraizamento aéreo.
- Gema: Rombóide, com média saliência, ocasionalmente ultrapassa o anel de crescimento.

Copa Foliar:

- Copa Foliar: Volume alto, tonalidade intermediária.
- Folhas: Curvadas, largura do limbo média, sem pêlos e com serrilhamento fraco.
- Aurículas: Distribuição simétrica do tipo deltóide.
- Bainha: Sem presença de pêlos (joçal) na região dorsal.
- Palmito: Fraca presença de cera, cor verde, tamanho longo.

Produtividade Agrícola: Alta.

Período de Colheita: Do meio para o final da safra.

Reação às Doenças: Resistente à escaldadura, amarelecimento, ferrugem, carvão e ao mosaico.