

FERNANDO ALMEIDA SANTOS

ANÁLISE DE TRILHA DOS PRINCIPAIS CONSTITUINTES
ORGÂNICOS E INORGÂNICOS SOBRE A COR DO CALDO EM
CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

FERNANDO ALMEIDA SANTOS

ANÁLISE DE TRILHA DOS PRINCIPAIS CONSTITUINTES ORGÂNICOS
E INORGÂNICOS SOBRE A COR DO CALDO EM CUTIVARES DE
CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 DE OUTUBRO DE 2008.

Prof. Luiz Alexandre Peternelli
(Co-orientador)

Prof. Sergio Antonio Fernandes

Prof. José Eustáquio S. Carneiro

Prof. Paulo Henrique A. Silva

Prof. Márcio Henrique Pereira Barbosa
(Orientador)

DEDICO.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível. Aos meus pais Antônio Borborema e Delcy Almeida; pela confiança, compreensão e apoio. Aos meus irmãos Fredson Charles e Fred Adson; pela amizade e confiança. A toda minha família em especial tia Maria Eni e tia Suely; por sempre ter acreditado em mim. Em especial, a minha maravilhosa filha Maria Fernanda; minha fonte de motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por minha vida, pela proteção em todos os momentos, pela sabedoria e por mais essa vitória.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) por intermédio do Departamento de Fitotecnia e do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade deste treinamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e a Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), pelo incentivo financeiro.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio de sempre e pela contribuição sólida na educação da minha filha Maria Fernanda.

À minha amada filha Maria Fernanda, pelas alegrias, incentivos, carinho, compreensão e por ser uma filha tão maravilhosa. TE AMO!!!

Aos meus familiares pelo apoio, em especial as tias Maria Eni, Suely, Ivone e Julia, pelo apoio, amizade e carinho.

Aos meus amigos de Janaúba Arnaldo, Renato, Gildemar, Gildelan e Gerônimo, por serem mais que amigos.

Aos grandes amigos conquistados em Viçosa Carlinhos (Dep. Solos), Ricardo Natalino, Zé Luiz e Eduardo (Dep. Química), Lucas, Larissa e Fabiano (Dep. Bioquímica), ao casal Valdir e Adriana, Aroldo, Marcelão e todos do Departamento de Fitotecnia. Em especial Angélica Patarroyo (melhor amiga), Kamilla Alessandra, Paula Acácia, Flavinho, seu Chico juntamente com toda sua família.

Ao meu grande amigo-irmão Izaías Fernandes pelo companheirismo, amizade e incentivo. Fica a certeza que voltaremos a nos falar.

Aos amigos do CECA – Centro Especializado em Cana-de-Açúcar, em especial Luis Cláudio, Marquinhos, Geraldo e Tônico.

Ao meu orientador Márcio Henrique Pereira Barbosa, pelo respeito, confiança, pelos ensinamentos, profissionalismo, por ter acreditado em mim e por ter me dando oportunidade de arriscar em busca de um melhor, muito obrigado!

Aos professores José Humberto de Queiroz (Dep. Bioquímica), Luiz Alexandre Peternelli (Dep. Estatística), Sergio Antonio Fernandes (Dep. Química), Paulo Henrique (Dep. Tecnologia de Alimentos) e Alúzio Borém, (Dep. Fitotecnia), pela amizade, apoio ensinamentos e parcerias.

Ao professor Celso Caldas de Alagoas e ao pesquisador Felipe Lopes, pela enorme contribuição e apoio.

E todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para execução do presente trabalho, os mais sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

FERNANDO ALMEIDA SANTOS, filho de Antônio Borborema Santos e Delcy Almeida de Souza, nasceu em 01 de maio de 1981, na cidade de Janaúba – MG.

Graduado em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), em agosto de 2006.

Em outubro de 2006 iniciou no Programa de Pós-Graduação pelo Departamento de Fitotecnia, em nível de mestrado, concentrando suas atividades na área de “Melhoramento Genético e Biotecnologia”, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo à defesa em outubro de 2008.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Produção de Açúcar	5
2.2. Cor ICUMSA	8
Figura 3. Composição química da cana-de-açúcar.	10
2.3. Qualidade da Matéria-Prima	10
2.4. Parâmetros Tecnológicos	12
2.5. Elementos Minerais	13
2.6. Compostos Fenólicos e Ácido Aconítico.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Detalhes Experimentais e Características Avaliadas.....	16
3.2. Análises Tecnológicas da Cana-de-Açúcar	18
3.2.1. Cálculo do coeficiente “C”	18
3.2.2. Determinação do brix na cana-de-açúcar – brix % cana	18
3.2.3. Determinação da fibra na cana-de-açúcar - F	18
3.2.4. Determinação da pol no caldo extraído – pol % caldo.....	19
3.2.4.1. Determinação da pol na cana-de-açúcar – pol % cana	19
3.2.5. Determinação da pureza	19
3.2.6. Determinação dos açúcares redutores no caldo extraído – AR % caldo.....	19

3.2.6.1. Determinação dos açúcares redutores na Cana-de-açúcar – AR % cana	20
3.2.7. Determinação dos açúcares redutores totais no caldo extraído – ART % caldo.....	20
3.2.7.1. Determinação dos açúcares redutores totais na cana-de-açúcar – ART % cana	20
3.3. Compostos Inorgânicos	20
3.4. Cor ICUMSA do Caldo.....	21
3.5. Compostos fenólicos	21
3.6. Análise Estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Análises Univariadas Para Colheita em Abril	24
4.2. Análises Univariadas Para Colheita em Outubro.....	28
4.3. Análise de Trilha.....	29
5. CONCLUSÕES.....	35
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	36

RESUMO

SANTOS, Fernando Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro, de 2008. **Análise de Trilha dos Principais Constituintes Orgânicos e Inorgânicos sobre a Cor do Caldo em Cultivares de Cana-de-Açúcar.** Orientador: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Co-orientadores: José Humberto de Queiroz e Luiz Alexandre Peternelli.

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo, com produção estimada para safra 2008 de mais de trinta milhões de toneladas. Uma das exigências para a exportação do açúcar é a sua coloração, que deve estar em conformidade com a Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar-ICUMSA. A cor ICUMSA (açúcar) também pode ser aplicada ao caldo da cana-de-açúcar. Quanto menos intensa for a cor do caldo mais claro será o açúcar. À medida que esta cor aumenta o açúcar vai adquirindo coloração mais escura, tornando-se inadequado para exportação. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito dos compostos orgânicos e inorgânicos sobre a cor do caldo em cultivares de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em área experimental do departamento de Fitotecnia em Viçosa. As avaliações ocorreram em cana-soca, nos meses de abril e outubro de 2007. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com oito cultivares (RB72454, RB867515, RB835486, RB855156, SP80-1816, SP79-1011, RB855536 e RB92579) e cinco repetições. Dez plantas por parcela foram amostradas para realização das análises. A extração do caldo foi feita por meio de prensa hidráulica. As análises tecnológicas (BRIX, POL,

pH, PUREZA, AR, ART e FIBRA) foram realizadas conforme método CONSECANA-SP. Para análise dos compostos inorgânicos (Cu, Al, Mg, Ca, K e P), foi realizada digestão nítrico-perclórica e a leitura feita no espectrofotômetro de plasma. A extração do ácido aconítico e compostos fenólicos foi feita com metanol/água (70:30) e hexano e quantificados por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência – CLAE. Para determinação da cor ICUMSA foi utilizado o método de espectrofotometria. Os resultados mostraram que as variáveis estudadas diferiram no seu grau de influência direta sobre a cor do caldo. Cobre e compostos fenólicos foram os caracteres que melhor explicam a cor do caldo de cana. Contudo, as demais características devem ser levadas em consideração, devido à elevada correlação, sugerindo assim, aplicar índice de seleção.

ABSTRACT

SANTOS, Fernando Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2008. **Pathway analysis of the main organic and inorganic constituents affecting the color of the juice in sugarcane cultivars.** Adviser: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Co-adviser: José Humberto de Queiroz and Luiz Alexandre Peternelli.

Brazil is the main producer and exporter of sugar in the world. For 2008, its production is estimated to reach more than thirty million tons. One requirement for exportation of the sugar is its coloration, that must be in accordance with the International Commission for Uniform Methods in Sugar Analysis - ICUMSA. The color ICUMSA (sugar) can also be applied to the juice of the sugarcane. As less intense is the color of the juice, the clearest will be the sugar. As this color becomes more intensive, the sugar acquires darker coloration, becoming inadequate to exportation. This study was carried out to determine the effect of both organic and inorganic compounds on the color of the juice in cultivars of sugarcane. The trial was conducted in the experimental area pertaining to the Department of Plant Sciences, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. The evaluations were accomplished in ratoon, on April and October 2007. The randomized experimental design was used, as being eight cultivars (RB72454, RB867515, RB835486, RB855156, SP80-1816, SP79-1011, RB855536 and RB92579) and five replicates. Ten plants in each plot were sampled for the accomplishment of the analyses. The juice was extracted by hydraulic press. The technological analyses (BRIX, POL, pH, PURITY, AR,

ART and FIBER) were performed according to the method CONSECANAS-SP. For analysis of the inorganic compounds (Cu, Al, Mg, Ca, K and P), the perchloric-nitric digestion was accomplished and the reading was performed in the spectrophotometer plasma. The extraction of the aconitic acid and phenolic compounds were accomplished with methanol/water (70:30) and hexane, as well as quantified by High Efficiency Liquid Chromatography - CLAE. For determination of the color by ICUMSA, the spectrophotometry method was used. The results showed the variables under study to differ in their degree of direct influence on the color of the juice. Copper and phenolic compounds were the characters providing the better explanation for the color of the sugarcane juice. However, the other characteristics must be taken into account due to high correlation, therefore suggesting the application of the selection index.

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro do Brasil passa por um de seus melhores momentos, recebendo novos investidores e projetos que apontam para horizontes otimistas. Com a participação do capital estrangeiro o setor registra aumento expressivo nos últimos anos e deverá se manter forte a partir de agora, com o amadurecimento das unidades produtoras de açúcar e álcool.

A produção mundial de cana-de-açúcar totaliza quase 1,4 bilhões de toneladas, sendo o Brasil líder mundial. Segundo levantamento da CONAB, (2008) a produção brasileira de cana-de-açúcar para este ano é de aproximadamente 570 milhões de toneladas e deve dobrar até 2020, elevando a produção anual para um bilhão de toneladas. Embora, a produção para esta safra seja mais acentuada para o álcool, o açúcar é o principal responsável pelas exportações do setor. Para a safra 2008/09 está previsto uma produção inédita de açúcar, de mais de 33 milhões de toneladas, sendo que, 25 milhões serão destinados ao mercado externo (CONAB, 2008; ÚNICA, 2008).

Um dos indicadores utilizados na avaliação da qualidade do açúcar para exportação é a cor. Diante disso, foi criado um órgão internacional responsável pela uniformização dos métodos analíticos do açúcar – ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis). Quanto mais intensa a cor ICUMSA, mais claro, ou mais branco, é o açúcar (METHOD, 1994). Assim, a presença de compostos coloridos ou precursores de cor no açúcar pode desqualificá-lo, pela falta de homogeneidade e pureza dos grãos, sendo este,

problemas relacionados com a dificuldade na cristalização (CLARKE *et al.*, 1985) citado por LEITE (2000).

De acordo com CLARKE & LEGENDRE (1999) a cor do caldo de cana e do açúcar tem sua origem em vários compostos, como: flavonóides, compostos fenólicos, pigmentos e aqueles que reagem com os açúcares redutores, são os que mais afetam a cor do caldo. Deste modo, o conhecimento desses compostos é imprescindível na qualidade do açúcar. Vários pesquisadores observaram que a cor do caldo de cana varia com a variedade e maturação da cana.

O estudo dos caracteres precursores de cor através dos coeficientes de correlação entre caracteres é muito importante na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos. Ele permite conhecer as modificações que ocorrem em um determinado caráter em função da seleção praticada em outros correlacionados a ele (CRUZ *et al.*, 2004; RAMALHO *et al.*, 1993). No entanto, a interpretação direta da correlação pode resultar em equívocos na estratégia de seleção, pois uma alta correlação entre duas variáveis pode ser resultado do(s) efeito(s) de outra(s) sobre elas. A correlação é apenas uma medida de associação.

Neste contexto, a análise de trilha ou “Path analysis”, desenvolvida por WRIGHT (1921 e 1923) e pormenorizada por LI (1975), permite entender as causas envolvidas nas associações entre caracteres e decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal – como a cor do caldo de cana e as variáveis explicativas – BRIX, POL, AR, ART, Fibra, pH, Pureza, Compostos Inorgânicos, Compostos fenólicos e Ácido Aconítico. Para SCHUSTER (1996), citado por CARVALHO *et al.* (2001) a análise de trilha reside basicamente na formulação do relacionamento de causa-efeito entre as variáveis.

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi determinar através da análise de trilha o efeito dos principais constituintes orgânicos e inorgânicos sobre a cor do caldo em cultivares de cana-de-açúcar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma monocotiledônea, pertencente à família Poaceae, gênero *Saccharum*. Todas as cultivares de cana-de-açúcar cultivadas - seja para a produção de açúcar, álcool, aguardente ou como forrageira - são híbridos, provenientes do cruzamento de diferentes espécies de cana (ANDRADE, 2002).

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar começou a ser realmente explorada em meados do século XV por Martins Afonso de Souza na capitania de São Vicente, mas foi a partir do século XVI que a cultura proporcionou grandes ganhos econômicos e sociais ao país, principalmente na produção de açúcar (JOSINO *et al.*, 2005).

Na década de 1970, o governo brasileiro criou o maior programa de produção e uso de biocombustíveis já estabelecido no mundo: o “Programa Nacional do Álcool – Proálcool”. Este programa estimulava os empresários do setor a implantar destilarias autônomas e a melhorar e/ou criar destilarias anexas às usinas por meio de empréstimos subsidiados e garantia de venda, com objetivo de diminuir a dependência brasileira do petróleo. Contudo, em 1985, a baixa dos preços internacionais do petróleo inviabilizou o Proálcool, que só seria viável com o preço do barril de petróleo acima de US\$ 40,00. O Proálcool entrou em desaceleração e posteriormente em crise, ocasionando uma drástica redução dos investimentos públicos no programa e uma instabilidade entre oferta e demanda de álcool combustível (SANTOS & OMETTO, 2008; PAULILLO *et al.*, 2007; FILHO, 2003).

Atualmente, o Brasil passou a ser destaque no cenário internacional devido à preocupação mundial com a segurança energética, ambiental e social, levando os produtores de cana, açúcar e álcool a expandir cada vez mais sua produção. Devido a esta expansão canavieira, atualmente o país é o maior produtor mundial, com uma área plantada de aproximadamente 7,8 milhões de hectares e com uma expectativa de safra de 570 milhões de toneladas de cana, superior em 13% à safra anterior 2006/07, segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2008). O setor sucroalcooleiro é responsável por movimentar mais de 41 bilhões de reais por ano, o que corresponde a aproximadamente 3,65% do PIB nacional. O setor gera 4 milhões de empregos diretos e indiretos, existindo ainda cerca de 72 mil agricultores que fornecem matéria-prima para as usinas e destilarias (UDOP, 2006).

A cada ano cresce significativamente o número de unidades produtoras de açúcar e álcool. De acordo com MAPA, (2008), existem no Brasil 398 unidades produtoras, sendo 131 unidades produtoras de álcool, 15 de açúcar e 252 mistas, distribuídas principalmente nas regiões centro-sul e nordeste do país (Figura 1). Observa-se que as indústrias produtoras apresentam pelo menos três características diferenciadas em relação a outros países. A primeira característica é que a maior parte das indústrias produz em larga escala a cana-de-açúcar que processa. Isto graças à enorme dimensão territorial do país, à grande disponibilidade de terras férteis e aptas para o seu cultivo. A segunda característica está relacionada com os produtos comerciais que são fabricados, destacando-se o açúcar e o álcool e outros produtos como cachaça, rapadura, açúcar mascavo, bem como a co-geração de energia elétrica por algumas indústrias de São Paulo. E como última característica de destaque, a distribuição geográfica das indústrias no território nacional, onde a diversidade de regimes pluviométricos possibilita a instalação das indústrias num amplo espaço territorial e praticamente mantém a produção ao longo de todo o ano (MAPA, 2008; CONAB, 2008).



Figura 1. Principais regiões produtoras de açúcar e álcool no Brasil.

2.1. Produção de Açúcar

O setor sucroalcooleiro representa uma grande importância na conjuntura econômica do país, entre os quais o açúcar é o que tem maior representatividade. Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar proveniente da cana, com uma safra 2007/2008 estimada em mais de 30 milhões de toneladas e com uma previsão de exportação de pouco mais de 25 milhões (MAPA, 2008; CONAB, 2008). Segundo a Organização Internacional do Açúcar – (OIA, 2007), o mundo deve ter uma produção inédita de açúcar, com 169 milhões de toneladas, 4 milhões a mais que a safra anterior de 2006/07.

O açúcar produzido no Brasil é o mais competitivo e apresenta excelentes perspectivas para o mercado mundial, destinando-se, principalmente, a adoçar bebidas e alimentos, conforme fluxograma apresentado na Figura 2 (CTC, 2007). O açúcar é obtido por meio do

tratamento industrial do caldo da cana, pela sua clarificação, evaporação e beneficiamento de méis cristalizáveis, sendo produzidos diferentes tipos de açúcar, quais sejam: cristal, demerara, refinado e refinado amorfo.

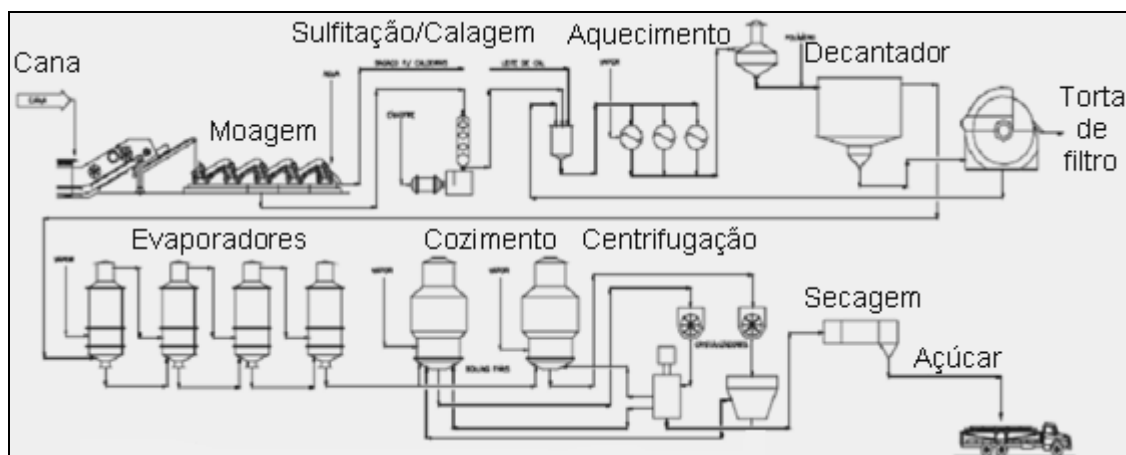


Figura 2. Fluxograma do processo da fabricação de açúcar. Fonte: CTC.

No Brasil, o transporte da cana até a usina, é feito, predominantemente, por caminhões (PEREIRA, 2006). Chegando à usina, a cana é transferida para uma mesa alimentadora para ser lavada, visando à retirada de impurezas vegetais, terra, areia, etc. Depois de lavada, a cana passa sucessivas vezes pelos ternos da moenda, onde será extraído o caldo. Para aumentar a eficiência de extração, adiciona-se água quente ao bagaço, permitindo a extração efetiva da sacarose, obtendo o chamado caldo misto (LEME JR & BORGES, 1965).

A etapa seguinte de purificação do caldo se inicia com sua sulfitação e calagem. A sulfitação (dióxido de enxofre) é amplamente usada na fabricação de açúcar. Consiste na absorção do dióxido de enxofre pelo caldo, baixando o pH para 4,0 – 4,5, inibindo a formação de cor do açúcar pela oxidação causada pela reação de escurecimento entre compostos precursores da cor (LEITE, 2000; CLARKE & LEGENDRE, 1996). A calagem tem como objetivo elevar o pH do caldo para 6,8 -7,2. O ajustamento do pH assegura uma remoção satisfatória dos compostos indesejáveis no caldo e fornece uma condição adequada para a recuperação do açúcar, ou seja, há uma boa floculação da matéria em suspensão, decantação rápida e fluxo de caldo limpo para as próximas etapas da fabricação.

Em seguida, o caldo é aquecido a uma temperatura de 105°C por mais ou menos duas horas, com a finalidade de eliminar microrganismos, acelerar e facilitar a coagulação e floculação dos colóides, não-açúcares protéicos, e remover os gases, aumentando a eficiência no processo químico da decantação.

O clarificador ou decantador é um equipamento que possui vários compartimentos, com finalidade de remover as impurezas dos tratamentos anteriores e aumentar a superfície de decantação (PAYNE, 1989). O caldo decantado é retirado da parte superior do decantador e transferido para os evaporadores. Os resíduos sedimentados também conhecidos como “torta de filtro” constituem o lodo que é retirado do decantador pela parte inferior e enviado para os filtros, objetivando recuperar o açúcar nele contido. O material retido no filtro – a torta de filtro - é utilizado como adubo orgânico na lavoura.

A etapa de evaporação tem por finalidade concentrar o caldo clarificado até cerca de 65° Brix, eliminando aproximadamente 75% da água nele contida. O caldo concentrado ou xarope, que é uma mistura de açúcares em solução, obtido pela reação de hidrólise da sacarose, é transferido para uma outra etapa de concentração quando ocorrerá a formação dos cristais de açúcar (RODRIGUES *et al.*, 2000).

Há dois tipos de cristalização: cozimento e cristalização por resfriamento. O cozimento se dá pela evaporação da água contida no xarope em uma mistura de cristais envolvidos em mel, chamados de massa cozida. A cristalização por resfriamento visa a recuperar parte da sacarose contida no mel, pelo resfriamento lento com auxílio de água ou ar. De acordo com STUPIELLO (2000) alguns produtores de açúcar não conseguiram cristalizar a sacarose, devido à presença do ácido aconítico, formando compostos de cálcio que ficariam aderidos nos cristais de sacarose. A massa cozida resfriada segue para a centrifugação fazendo com que o mel atravesse as perfurações da centrifuga, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de sacarose. O mel retorna para os cozedores para que todo o açúcar seja recuperado. A partir deste ponto, o mel passa a ser denominado de melaço – composto principalmente por frutose e glicose, açúcares redutores, não cristalizáveis - sendo enviado para a fabricação de álcool nas destilarias anexas ou vendido para indústrias de gêneros alimentícios, principalmente de sucos e refrigerantes. O açúcar, cristais de sacarose, é levado para um secador a uma

temperatura de 35° - 40°C e umidade na faixa de 0,03% a 0,04% e posteriormente ensacado, pesado e armazenado (COPERSUCAR, 2001; EID *et al.*, 1998; PAYNE, 1989).

Está cada vez mais evidenciado que as indústrias de gêneros alimentícios estão exigindo que o açúcar apresente padrões de qualidade físico-químicos e microbiológicos adequados às exigências de seus mercados, principalmente para o mercado externo. Para tanto, é necessário o conhecimento referente à produção de matéria-prima, ao seu processamento e à obtenção de produtos com qualidade. Logo, se faz necessária uma ação conjunta dos setores agrícola e industrial (MUTTON & MUTTON, 2005).

A quantidade e o tipo de impurezas presentes na cana-de-açúcar têm influência sobre diversos parâmetros da composição do caldo, tais como Brix, Pol, açúcares redutores, compostos orgânicos e inorgânicos, compostos fenólicos e outros compostos que influem na qualidade final da cor do açúcar (SIMIONI *et al.*, 2006).

2.2. Cor ICUMSA

A demanda de açúcar branco de alta qualidade cresceu em todo o mundo, principalmente para atender às indústrias alimentícias e de bebidas. Neste contexto, o Brasil, um dos grandes produtores e exportador de açúcar do mundo, entrou na disputa do mercado de açúcar branco, para atender ao mercado interno e externo. Para isso, obrigou as indústrias a buscar tecnologias para serem incorporadas ao processo produtivo (STUPIELLO, 1997).

A maioria dos laboratórios adotou métodos analíticos recomendados para identificar a qualidade dos cristais. Dentre esses métodos analíticos, o método estabelecido pela ICUMSA – International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, é o mais aceito e utilizado pelas unidades produtoras de açúcar, definindo a qualidade do açúcar para sua comercialização (STUPIELLO, 1997; CALDAS, 2005).

Um dos parâmetros empregados na avaliação da qualidade e comercialização do açúcar para exportação é a medida da sua cor. Quanto mais baixa a unidade ICUMSA (U.I), mais claro, ou mais branco, é o açúcar. À medida que o índice de cor ICUMSA aumenta, o açúcar vai adquirindo uma

coloração mais escura (SIMIONI *et al.*, 2006; LEITE, 2000; METHOD, 1994; CLARKE *et al.*, 1985). É importante ressaltar que a não conformidade com os parâmetros estabelecidos pela ICUMSA não apresenta riscos para a saúde, mas pode influenciar na tomada de decisão na hora da comercialização.

O conhecimento dos compostos precursores de cor é de fundamental importância, pois é o primeiro passo para melhoria da qualidade final da cor do açúcar. Se o mecanismo da formação da cor pudesse ser mais bem explicado, seria possível interromper o mecanismo para preservar a sacarose, ou de outro modo, reagir com os intermediários para evitar a cor (CLARKE & ROBERTS, 1975). E também pode se aplicar o melhoramento genético, por meio de cruzamentos entre cultivares de cana-de-açúcar de diferentes composições químicas, com o objetivo de ter uma variedade que apresente características químicas desejáveis relacionadas à cor do caldo.

A cor do caldo de cana-de-açúcar tem sua origem em vários compostos, como: compostos fenólicos, antocianinas, flavonóides, melanoidinas, melaninas e produtos de degradação alcalina da frutose (FERNANDES *et al.*, 1999). No caldo, o desenvolvimento da cor se deve à presença de compostos orgânicos e inorgânicos que fazem parte da composição da cana e estão presentes em seus colmos e cascas (Figura 3). A cor está ainda relacionada com a maturação, variedade e tipo de solo (GODSHALL *et al.*, 1988). De acordo com PAYNE (1989), os compostos coloridos resultam da reação entre aminoácidos e açúcares redutores, da decomposição dos açúcares redutores e de muitas reações do tipo condensação.

Experimento realizado na Usina Costa Pinto, com diferentes cultivares, idades e épocas de colheitas, mostrou aumento significativo dos compostos precursores de cor, principalmente os fenólicos, coincidindo com a maturação da cana-de-açúcar (SIMIONI *et al.*, 2006).

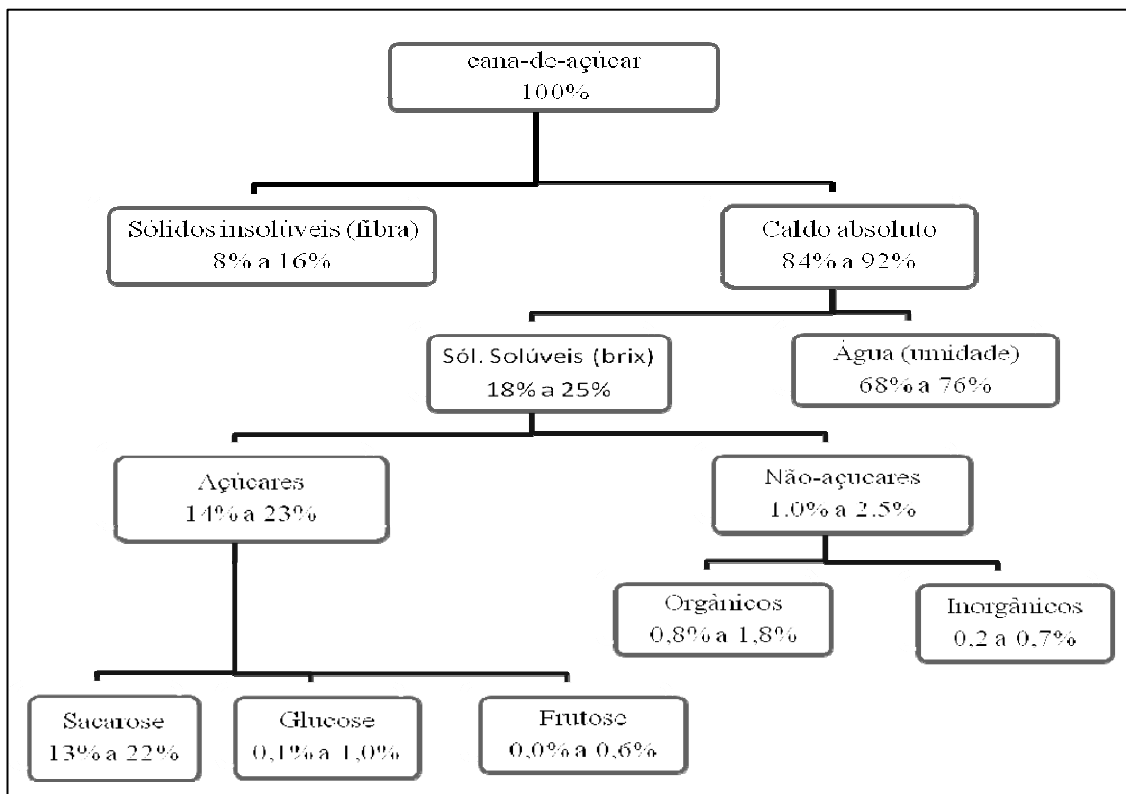


Figura 3. Composição química da cana-de-açúcar.

2.3. Qualidade da Matéria-Prima

Nos últimos anos, as pesquisas sobre qualidade da matéria-prima têm demonstrado a importância dos fatores intrínsecos e extrínsecos e a necessidade de mensurar os indicadores da qualidade da cana-de-açúcar e seu impacto na indústria canavieira. Dentre os fatores intrínsecos, existem aqueles relacionados com a composição da cana (teores de sacarose, açúcares redutores, fibras, compostos fenólicos, amido, cor do caldo, ácido aconítico e minerais). Os fatores extrínsecos são aqueles relacionados com materiais estranhos ao colmo (terra, pedra, restos de cultura, plantas invasoras) ou compostos produzidos por microorganismos devido à sua ação sobre os açúcares do colmo (AMORIM, 2003).

Considerando-se que a qualidade da matéria-prima é definida como o conjunto de características que deve apresentar as exigências da indústria no processamento, verifica-se que há uma variação natural destes parâmetros, que deve ser compatível com o processo. Neste contexto, quanto melhor e mais adequadas forem às condições de cultivo, melhor poderá ser a qualidade

da matéria-prima, com maior acúmulo de sacarose e conseqüentemente maior rentabilidade nos produtos finais da indústria sucroalcooleira.

Atualmente, o setor sucroalcooleiro passa por transformações no que diz respeito ao sistema de colheita da cana-de-açúcar. A queima do canavial é prática comum no Brasil. O principal objetivo de se queimar a cana é a limpeza parcial do canavial a fim de facilitar a operação de corte manual ou mecânico, o que traz conseqüências na velocidade e economia da colheita (SEGATO *et al.*, 2006; FURLANI *et al.*, 1996). Mas segundo RIPOLI & RIPOLI (2004), a queima do canavial afeta a qualidade da matéria-prima, como: perdas de sacarose por exsudação e aumento de matéria estranha (terra) que fica aderida ao colmo, resultando em desgastes, embuchamentos, entupimentos, incrustações, enfim, reduzindo a vida útil dos equipamentos e também prejudicando a fermentação, a fabricação de açúcar e influenciando na sua cor (IDEA, 2001).

Outro sistema de colheita é a colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima (cana crua) que está cada vez mais presente nos sistemas de produção no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2006). A colheita mecanizada pode interferir muito na qualidade da matéria-prima a ser processada na indústria. Para FERNANDES *et al.* (1977), a adoção dessa modalidade de colheita de cana-de-açúcar sem queima introduz certos inconvenientes nas indústrias, tais como: aumento dos índices de impurezas vegetais compostas por palhas, folhas verdes, pontas, raízes, rizomas, panículas, além de ervas daninhas presentes na carga, que implicam em maiores teores de amido, compostos fenólicos, ácido aconítico e outros compostos, tendo como conseqüência, a redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem.

A cor é intensificada quanto mais verde ou deteriorada for a cana e quanto maior a quantidade introduzida de impurezas vegetais no processo de extração (PAYNE, 1989). Assim, a presença de impurezas coloridas no açúcar pode ser um impedimento no processo de cristalização, devido à falta de homogeneidade e pureza dos grãos, implicando rendimento e qualidade mais baixos, além do aumento dos custos de refinamento e dificuldade de comercialização (CLARKE *et al.*, 1985).

2.4. Parâmetros Tecnológicos

A agroindústria canaveira tem como principal objetivo maximizar a produtividade e reduzir custos, associado à melhoria da qualidade da matéria-prima e dos produtos finais. Para isso, é necessário que as áreas agrícola e industrial trabalhem juntas para ter um maior “rendimento industrial” (FERNANDES, 2003).

Os parâmetros tecnológicos determinados nos laboratórios de usinas e destilarias são: brix, fibra e POL. As metodologias de análise e cálculos estão descritas em FERNANDES (2003).

As análises dos parâmetros tecnológicos podem ser classificados de acordo com o sistema de extração do caldo: moenda de laboratório, digestor a frio e prensa hidráulica (FERNANDES, 2003). À exceção da fibra % cana, todos os constituintes são determinados no caldo. Por meio de cálculos, os dados são transformados em porcentagem de cana, através da adição de um coeficiente “C” na fórmula. No presente trabalho, foi utilizado o método da prensa hidráulica, conforme demonstrado em material e métodos. De acordo com AMORIM (1999), citado por RIPOLI & RIPOLI (2004), existem indicadores que permitem avaliar a riqueza da cana em açúcares e o seu potencial de recuperação. A POL % cana é um dos principais parâmetros utilizados nas indústrias canaveiras, assim como a percentagem de fibra, pureza e açúcares redutores.

A POL % se refere à sacarose contida no caldo de cana. Quanto mais elevados os teores da POL, melhor, ou seja, a cana está mais madura. A cana imatura possui mais açúcares redutores e compostos precursores de cor e estes interferem na POL para menos, ocasionando uma coloração elevada da cor do caldo (RIPOLI & RIPOLI, 2004; LEITE, 2000; GODSHALL *et al.*, 1988).

Examinando a relação fibra/POL, PROCKNOR (2004) e CLARKE & LEGENDRE (1999) verificaram que a cana-de-açúcar não apresenta apenas a variação da POL quando amadurece, havendo variações também no teor de fibra. No centro-sul, nos meses de início de safra (abril e maio), os valores são maiores, na faixa de 1,0 e enquanto nos meses em que ocorre a maturação (agosto a outubro), a relação fibra/POL vai caindo progressivamente, atingindo valores na faixa de 0,75 a 0,80.

A pureza é o indicador mais importante do estágio de maturação da cana-de-açúcar, indicando a percentagem de sacarose (POL) contida nos sólidos solúveis (BRIX). Quanto mais madura a cana, maior será a pureza, pois terá maior acúmulo de sacarose. Com a deterioração e envelhecimento da cana, a pureza tende a diminuir ocasionando um aumento na cor do açúcar. Quando a cana colhida se deteriora, os níveis de açúcar invertido aumentam. Esses açúcares invertidos vão se decompondo e formam ácidos orgânicos e moléculas de compostos coloridos (CLARKE & LEGENDRE, 1999). A pureza sendo alta é prenúncio de facilidade de fabricação, e melhor qualidade de açúcar e de altos rendimentos industriais. Isto pela baixa quantidade de não-sacaroses como componentes normais do caldo, aminoácidos, ácidos orgânicos, amido, açúcares redutores, além de outros compostos formadores de cor (STUPIELLO, 2000).

Os açúcares redutores da cana (AR) afetam diretamente a pureza, o que vai refletir na recuperação do açúcar pela fábrica e participam de reações que aumentam a cor do açúcar depreciando sua qualidade (RIPOLI & RIPOLI, 2004; FERNANDES, 2003; LEITE, 2000; PAYNE, 1989;).

Durante o processo de produção de açúcar, há formação de caramelos provenientes de reações de degradação e condensação da glicose e frutose – açúcares redutores, catalisadas por ácido ou base (ARAÚJO, 2007; SHORE *et al.*, 1984). Em meio ácido ocorre a inversão da sacarose em glicose e frutose, seguida por uma série de reações de desidratação formando compostos coloridos (RIFFER, 1988).

2.5. Elementos Minerais

Os nutrientes são essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, mas também participam de inúmeras reações intermediárias dentro das diferentes rotas metabólicas da planta, até a produção final do açúcar (FILHO *et al.*, 1994). A composição mineral da cana-de-açúcar é importante para fabricação do açúcar, uma vez que a concentração destes elementos pode variar ao longo da safra (RIPOLI & RIPOLI, 2004). Observado por vários pesquisadores, o estado nutricional da cana-de-açúcar tem influência direta na taxa fotossintética e no metabolismo da sacarose, tendo,

como consequência, efeitos na produtividade, longevidade e lucratividade do canavial (MEINZER & ZHU, 1998).

Os resíduos minerais remanescentes, ou teor de cinzas, como também são conhecidos, são substâncias presentes na composição do açúcar, provenientes do caldo de cana (CTC, 2001). O açúcar apresentando teores de cinzas acima do limite da legislação pode representar alteração das características sensoriais do produto, conferindo-lhe uma coloração mais escura e aspecto arenoso (INMETRO, 1999), estando ainda associado ao processo corrosivo que ocorre nas máquinas e tubulações.

No trabalho realizado pela Fermentec, em parceria com a Companhia Energética Santa Elisa, o fósforo e o alumínio na cana-de-açúcar puderam ser observados na decantação do caldo e na fermentação. O alumínio interfere na decantação, enquanto o fósforo auxilia (FERMENTEC, 2007).

Na fabricação do açúcar, o fósforo tem grande importância, pois teores acima de 300 ppm facilitam o processo de clarificação (RODRIGUES, 1995). Também foi observado por RODRIGUES (1995) que o potássio tem ação na translocação de sacarose, seja no transporte via floema ou no transporte célula a célula da sacarose em direção ao floema, ou deste no sentido de armazenamento. O excesso desse elemento não é desejável para produção de açúcar, pois como é o maior constituinte das cinzas, está em altas concentrações no caldo, dificultando a cristalização, reduzindo o rendimento industrial.

Observações feitas por STUPIELLO (2006) em áreas fertirrigadas constataram um menor teor de sacarose nos colmos com doses elevadas do teor de fósforo e de cinzas no caldo.

2.6. Compostos Fenólicos e Ácido Aconítico

Alguns compostos coloridos e mesmo precursores de cor oriundos da própria planta têm importância fundamental nos problemas de processamento e na qualidade dos produtos, influenciando e afetando a cor do açúcar, já que podem permanecer nos cristais, aumentando os custos de refinamento (STUPIELLO, 2002; JIMENEZ & SAMANIEGO, 1981).

Os compostos fenólicos possuem em comum um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxila. São altamente reativos e se oxidam com facilidade,

conferindo uma coloração escura ao açúcar. No processo de fabricação do açúcar, os pigmentos e corantes, como os compostos fenólicos e flavonóides que representam cerca de 2/3 da cor do caldo de cana, podem se oxidar com os polissacarídeos, conferindo cor indesejável ao produto final (açúcar) (CLARKE *et al.*, 1984; GOODACRE & COOMBS, 1978).

De acordo com STUPIELLO (2002) e SIMIONI *et al.* (2006), tem sido observados nas usinas que a matéria-prima que mostra maior teor de compostos fenólicos, acaba levando mais compostos precursores de cor no processo de fabricação do açúcar.

O aporte destes compostos na cor é marcante na moagem ou desintegração de cana-de-açúcar imatura, pela liberação de compostos fenólicos presentes em maior concentração nas gemas, cascas de colmos e palmito, com obtenção de um caldo mais escuro (LEITE, 2000).

Estudos realizados pela Fermentec em 30 amostras de açúcar de 11 usinas revelaram que quanto maior a concentração de fenólicos, maior a cor ICUMSA. Ainda de acordo com a Fermentec, os teores de compostos fenólicos aumentam com a idade da planta, principalmente no intervalo de 13 a 15 meses e entre cultivares (RIPOLLI & RIPOLLI, 2004). GODSHALL & LEGENDRE (1998) também observaram que os compostos fenólicos aumentam conforme a maturação da cana, havendo diferenças entre cultivares.

O ácido orgânico encontrado em maior quantidade na cana-de-açúcar é o ácido aconítico. Ele resulta do metabolismo da própria planta a partir do ácido cítrico. Assim como os compostos fenólicos, suas concentrações podem oscilar de acordo com a variedade e o estágio de maturação (RIPOLLI & RIPOLLI, 2004). Quanto mais altas as concentrações de ácido aconítico no caldo, pior será para clarificação devido à competição com o ácido fosfórico pelo cálcio (STUPIELLO, 2001). Concentrações elevadas de ácido aconítico aumentam os problemas de incrustação, em boa parte porque haverá necessidade de usar mais cal na decantação. Em áreas fertirrigadas, STUPIELLO (2006) constatou um menor teor de sacarose nos colmos com doses elevadas do teor de ácido aconítico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Detalhes Experimentais e Características Avaliadas

O experimento foi conduzido na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa, Minas Gerais. O plantio das mudas foi realizado em março de 2005 com o primeiro corte da cana-planta em maio de 2006. As avaliações ocorreram em cana-soca nos meses de abril e outubro de 2007.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com oito cultivares de cana-de-açúcar, cinco repetições e dez plantas por parcela. Os tratamentos foram constituídos pelas cultivares: RB72454, RB867515, RB835486, RB855156, SP80-1816, SP79-1011, RB855536 e RB92579. Estas cultivares são altamente produtivas e amplamente cultivadas no território nacional.

Em cada época de avaliação, foram identificadas e coletadas aleatoriamente dez plantas por parcela, durante cinco dias consecutivos. Após a coleta, a cana foi separada em colmo, ponteiro, folhas verdes e secas, conforme demonstrado na Figura 4. Em seguida, as amostras foram levadas para o Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar - CECA, da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Oratórios, Minas Gerais, com latitude 20°25'S; longitude 42°48'W e altitude 494 m. Para cada cultivar os colmos coletados foram triturados em uma trituradeira modelo EN-6500 e homogeneizados. Em seguida, foram retirados 500 g de amostra, prensados numa prensa hidráulica por um minuto a 250 kgf/cm², extraíndo-se o

caldo. Após a extração do caldo, a amostra (bolo úmido) foi retirada da prensa hidráulica e pesada numa balança de precisão. Posteriormente, a amostra (bolo úmido) foi levada para secar a 105°C em estufa, até peso constante, obtendo-se assim o peso seco da amostra. O caldo obtido foi peneirado para a retirada do bagacilho e outros sólidos em suspensão (MANUAL DE CONTROLE QUÍMICO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR - CTC, 2001). Logo depois o caldo foi acondicionado em frascos de plástico e congelado em freezer na temperatura de -20 (\pm 2°C). Nas análises químicas foram feitas as seguintes avaliações: sólidos solúveis totais (brix), sacarose aparente (pol), sacarose contida nos sólidos solúveis (pureza), açúcares redutores (AR), açúcares redutores totais (ART), compostos inorgânicos (Cu, Al, Mg, Ca, K e P), compostos fenólicos e ácido aconítico, conforme o (MANUAL DE CONTROLE QUÍMICO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR - CTC, 2001)

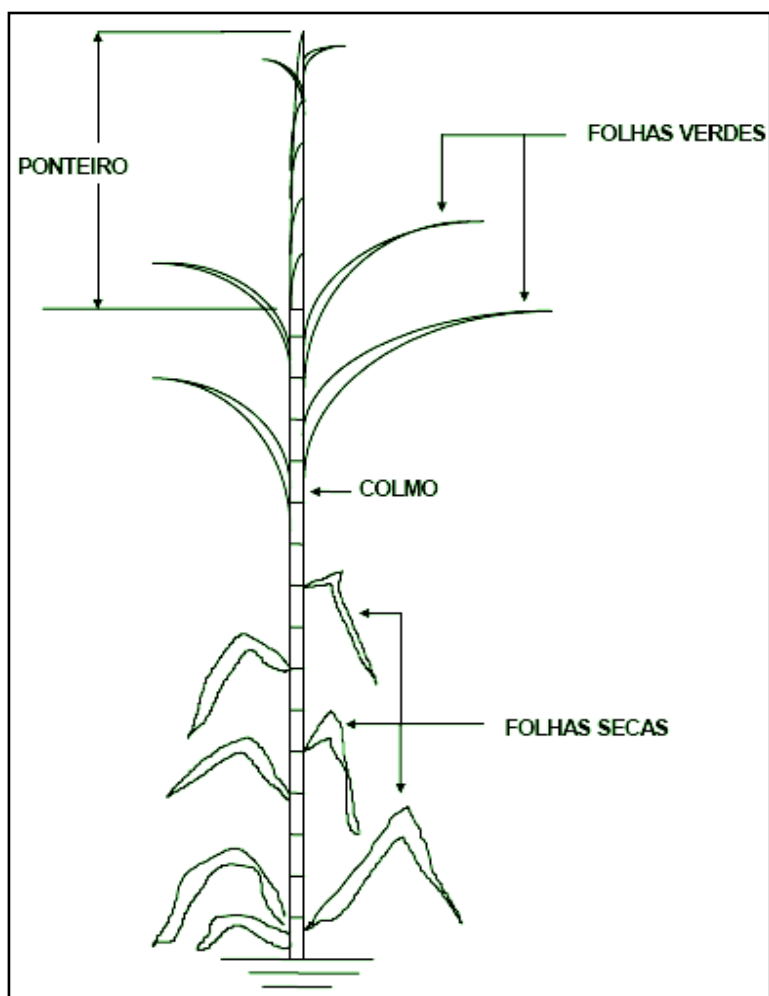


Figura 4. Diferentes partes constituintes da cana-de-açúcar: colmo, ponteiro, folhas verdes e secas.

3.2. Análises Tecnológicas da Cana-de-Açúcar

As análises foram feitas na Usina Jatiboca (Urucânia – MG), conforme descrito no COPERSUCAR, (2001).

3.2.1. Cálculo do coeficiente “C”

O coeficiente “C” representa a transformação do caldo extraído em todo o caldo absoluto, ou seja, é a extração de todo caldo proveniente da prensa hidráulica.

$$C = (1,0313 - 0,00575 \times \text{FIBRA})$$

3.2.2. Determinação do brix na cana-de-açúcar – brix % cana

A determinação do brix refratométrico é o parâmetro mais utilizado nas indústrias de açúcar e álcool. Este mede o índice de refração das soluções dissolvidas em uma solução açucarada fornecendo sua massa em porcentagem. A leitura foi realizada em refratômetro ótico com correção para 20°C. Cerca de 50 mL do caldo foram filtrados em algodão para a realização da leitura. Com auxílio de um bastão plástico, foram colocadas gotas do caldo filtrado sobre o prisma do refratômetro e em seguida feita leitura do brix. Para a determinação do brix na cana, foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Brix \% cana} = \text{Brix do caldo} \times (1 - 0,01) \times C$$

3.2.3. Determinação da fibra na cana-de-açúcar - F

A fibra é matéria seca, sendo insolúvel na água contida na cana-de-açúcar. Foi determinada em função do brix do caldo extraído da prensa hidráulica, peso de bagaço úmido (PBU) e peso de bagaço seco (PBS), conforme FERNANDES (2003). Este tipo de fibra no Brasil também é conhecido como fibra “tanimoto”.

$$F = (0,08 \times \text{PBU}) + 0,876$$

3.2.4. Determinação da pol no caldo extraído – pol % caldo

A pol é a porcentagem em massa de sacarose contida em uma solução açucarada de peso normal, determinada pela capacidade que os açúcares têm de desviar a luz polarizada em uma única direção, sendo determinada por métodos sacarimétricos (polarímetros ou sacarímetros).

$$\text{Pol \% caldo} = (1,0078 \times \text{leit. sacar.} + 0,0444) \times (0,2607 - 0,009882 \times \text{Brix})$$

3.2.4.1. Determinação da pol na cana-de-açúcar – pol % cana

A pol na cana é obtida em função da pol no caldo extraído multiplicado pela fibra e pelo coeficiente “C” que transforma a pol no caldo extraído em pol % cana.

$$\text{Pol \% cana} = \text{Pol no caldo} \times (1 - 0,01 \times \text{FIBRA}) \times C$$

3.2.5. Determinação da pureza

A pureza é a porcentagem de sacarose (pol) contida nos sólidos solúveis (brix), sendo o principal indicador de maturação da cana-de-açúcar. Foi obtida pela fórmula:

$$\text{PUREZA} = (\text{Pol \% cana}) / (\text{Brix \% cana}) \times 100$$

3.2.6. Determinação dos açúcares redutores no caldo extraído – AR % caldo

Os açúcares redutores são açúcares encontrados na cana, principalmente glicose e frutose, que têm a propriedade de reduzir o óxido de cobre do estado cúprico a cuproso. Eles são os principais precursores da cor mais escura do açúcar no processo industrial. O cálculo dos açúcares redutores no caldo foi feito pela fórmula:

$$\text{AR \% caldo} = (3,641 - 0,0343 \times \text{PUREZA})$$

3.2.6.1. Determinação dos açúcares redutores na Cana-de-açúcar – AR % cana

$$\text{AR \% cana} = \text{AR no caldo} \times (1 - 0,01 \times \text{FIBRA}) \times C$$

3.2.7. Determinação dos açúcares redutores totais no caldo extraído – ART % caldo

Os açúcares redutores totais também chamados de açúcares totais representam todos os açúcares contidos na cana na forma redutora ou de açúcar invertido. Foram determinados pela seguinte equação:

$$\text{ART \% caldo} = (\text{Pol no caldo} / 0,95) + \text{AR no caldo}$$

3.2.7.1. Determinação dos açúcares redutores totais na cana-de-açúcar – ART % cana

$$\text{ART \% cana} = \text{ART do caldo} \times (1 - 0,01 \times \text{FIBRA}) \times C$$

3.3. Compostos Inorgânicos

As análises dos compostos inorgânicos (Cu, Al, Mg, Ca, K e P) encontrados no caldo de cana foram feitas no Laboratório de Espectrofotometria Atômica – Departamento de Solos – UFV, pela digestão nítrico-perclórica. Realizou-se a digestão em bloco digestor com uma massa de 0,5g de caldo, por meio da adição de 1mL de ácido nítrico p.a 65% que foi misturado na noite anterior à digestão, com uma pré-digestão de ± 12 h, tempo suficiente para que o caldo seja completamente digerido. A seguir, foram adicionados mais 3 mL de ácido nítrico e iniciou-se a digestão com a elevação gradual da temperatura até $\pm 95^\circ\text{C}$. A amostra foi digerida até à metade em relação ao volume inicial e em seguida adicionaram-se 2mL de ácido perclórico p.a 70%, aumentando a temperatura gradativamente até + ou $- 150^\circ\text{C}$, até o clareamento das amostras no tubo digestor. A seguir, as amostras foram retiradas do bloco, resfriadas em temperatura ambiente, com extrato digerido (cerca de 2 mL) completando o volume com água destilada para 25 mL. Na

seqüência, foi realizada a leitura no espectrofotômetro de plasma. Visando anular o efeito da variação espacial da temperatura dentro do bloco digestor, os tubos de digestão contendo as amostras foram distribuídos ao acaso.

3.4. Cor ICUMSA do Caldo

Para determinação da cor ICUMSA (Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar) do caldo, foi utilizado o método de espectrofotometria. O método recomendado pela ICUMSA, citado por CALDAS (2005), consiste na comparação da transmitância ou absorbância de uma solução açucarada (caldo de cana) com a transmitância ou absorbância da água destilada. No Laboratório de Metabolismo e Fermentações do Departamento de Bioquímica – UFV, as amostras de caldo foram diluídas a 1,0° Brix refratométrico e filtradas a vácuo em membrana. Ajustou-se o pH destas amostras para 7,00 + ou - 0,05, utilizando as soluções de ácido clorídrico 0,05 mol/L ou hidróxido de sódio 0,05 mol/L. As determinações das leituras da transmitância no espectrofotômetro foram com comprimento de onda de 420 nm em cubeta de 10 mm utilizando água destilada como branco. Para o cálculo dos valores em Unidades ICUMSA (U.I.), foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Cor(U.I.) = \frac{-\log T}{b \times c} \times 1000$$

em que:

- log T = Logaritmo negativo da transmitância;

b = Comprimento interno da cubeta (cm); e

c = Concentração de sacarose em função do Brix a 20°C (g/mL).

3.5. Compostos fenólicos

No Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais do Departamento de Química – UFV foram feitas às determinações dos compostos fenólicos nas amostras de caldo de cana. A 30 gramas de amostra, adicionaram-se 150 mL de hexano, deixando-se agitar por 12 horas no agitador mecânico. Após este período, a mistura foi filtrada e posteriormente extraída em funil de extração com 2 alíquotas de 150 mL de uma mistura de metanol / água (70:30). A fase

aquosa foi coletada e extraída com 150 mL de hexano. Novamente a fase aquosa foi recolhida e concentrada em evaporador rotatório (rotavapor) a 70°C, reduzindo o volume de 5 mL e diluída com água deionizada, sendo filtrada em filtro Millipore, com 0,45 µm e 13 mm de diâmetro. Em seguida, foram injetadas 20 µL da amostra em um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência – CLAE, bomba Shimadzu, modelo LC – 6AD, detector de UV – VIS, coluna RP – 18 (fase reversa), solvente isocrático metanol : água (40:60), pressão 170 – 190 Kgf e fluxo 0,6 mL/min. A mesma metodologia citada acima foi utilizada para analisar o ácido aconítico. Utilizou-se como padrão os ácidos: gálico, catequina, clorogênico, vanílico, vanillin, coumárico, benzóico e o ácido aconítico.

3.6. Análise Estatística

Realizou-se inicialmente, análise de variância dos dados e as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Em seguida obteve a matriz de correlação das variáveis estudadas. Realizou-se também o diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlação fenotípicas das variáveis explicativas (Brix, POL, Pureza, AR, ART, Fibra, Compostos Inorgânicos, Composto Fenólicos e Ácido Aconítico) sobre a variável principal (cor do caldo), de acordo com critérios estabelecidos por MONTGOMERY & PECK (1981), resultando em multicolinearidade severa. Na ocorrência de multicolinearidade severa entre as variáveis explicativas sobre a variável principal, adotou-se a eliminação das variáveis do modelo de regressão que estão provocando maiores problemas: pH, Al e K.

Neste contexto, realizou-se desdobramento das correlações que não apresentaram multicolinearidade severa em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha desenvolvida por WRIGHT (1921), citado por CRUZ *et al.* (2004). Um esquema de diagrama causal mostrando o inter-relacionamento das variáveis analisadas é apresentado na Figura 1. Nesses diagramas, a seta unidirecional indica efeito direto (coeficiente de trilha) de cada variável explicativa, enquanto a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis explicativas, cuja magnitude é quantificada pela correlação fenotípica.

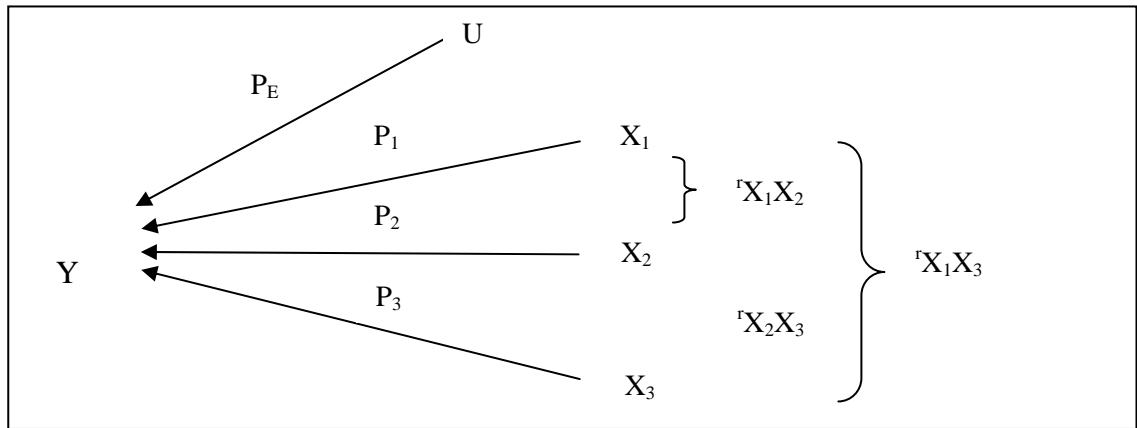


Figura 5. Diagrama ilustrativo das relações de causa e efeito das variáveis explicativas (X_1 , X_2 e X_3) e residual (U) sobre a variável principal (Y).

A diagnose da multicolinearidade, e todas as outras análises desse trabalho foram efetuadas pelo programa computacional GENES (CRUZ, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não avaliou-se a produção de matéria seca e os demais componentes da produção, dado que as cultivares utilizadas neste trabalho tem sido amplamente cultivadas em usinas e destilarias, e portanto já possuem manejo definido.

Na seqüência estão sendo discutidas às análises univariadas para duas épocas de corte, abril e outubro. E, posteriormente, as análises de trilha que visa avaliar o efeito da análise tecnológica, compostos fenólicos e ácidos aconítico sobre a cor do caldo. Os resumos das análises de variância univariadas estão apresentados nos anexos. Os caracteres avaliados nas duas épocas de corte para oito cultivares foram: 1) Análise tecnológica: BRIX, POL, Fibra, AR, ART, pH e Pureza; 2) Cor do caldo; 3) Minerais: Cu, Al, Mg, Ca, K e P. Não realizou-se análise de variância para compostos fenólicos e ácido aconítico devido a falta de repetição.

4.1. Análises Univariadas Para Colheita em Abril

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre cultivares para os caracteres pH, cor do caldo, cobre e alumínio (Anexo).

Na Tabela 1 são apresentadas as médias dos caracteres que diferiram estatisticamente entre as cultivares. Apesar de serem significativas as diferenças entre as médias, estas apresentaram pequena variação, quando observadas entre as cultivares. A cultivar RB855156 se destacou apresentando

maiores valores para o teor de sólidos solúveis (BRIX), sacarose aparente (POL), Fibra, açúcares redutores totais (ART) e Pureza, indicando estar em um estágio de maturação mais avançado comparativamente às demais cultivares. Esta variedade é considerada de maturação precoce em relação às demais, fato este confirmado por estes resultados. Por outro lado, a variedade RB92579 apresentou menores valores nos parâmetros avaliados, sendo uma variedade de maturação mais tardia, corroborando com o manejo sugerido para a mesma.

Tabela 1. Valores em porcentagens, do teor de sólidos solúveis totais (BRIX), sacarose (POL), fibra, açúcares redutores (AR), açúcares redutores totais (ART), pureza, cobre (Cu), magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) para oito cultivares de cana-de-açúcar avaliadas em abril de 2007

Variedade	BRIX	POL	FIBRA	AR	ART	Pureza
	----- % -----					
RB72454	14,96 bc	12,60 bc	13,40ab	0,91ab	11,55 b	84,16ab
RB867515	15,73abc	13,34ab	12,99ab	0,86ab	12,26ab	84,85ab
RB835486	15,72abc	13,61ab	12,64 b	0,72ab	12,36ab	86,57ab
RB855156	16,76a	14,88a	13,72a	0,51 b	12,94a	88,81a
SP80-1816	16,08ab	14,17ab	13,43ab	0,58 b	12,57ab	88,04a
SP79-1011	15,84abc	13,55ab	13,35ab	0,79ab	12,21ab	85,57ab
RB855536	15,82abc	13,91ab	12,65 b	0,58 b	12,55ab	88,09a
RB92579	14,26 c	11,54 c	11,51 c	1,23a	11,49 b	80,96 b
Média	15,64	13,45	12,96	0,77	12,24	85,88
C.V %	5,19	6,02	3,89	37,96	5,19	3,91

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A média geral da porcentagem de sólidos solúveis (BRIX) está abaixo do nível adequado do estágio de maturação da cana-de-açúcar. Segundo COPERSUCAR (2001), consideram como adequado valores maiores ou iguais a 18^o BRIX, embora isto não seja regra para todas as cultivares.

Para os valores médios do caráter POL (14,88 a 11,54%), somente a variedade RB855156 apresentou valor acima do que é estabelecido pela COPERSUCAR (2001) (pelo menos 14,4%). MELLO *et al.* (2006) observou que as cultivares RB835486, SP79-1011 e RB855536 apresentaram maiores valores da POL, 17,28, 15,57 e 16,42, respectivamente no mês de abril e menor valor para a RB72454 (13,68%). A única variedade que mostrou

comportamento ímpar foi a RB92579 que obteve o menor valor da POL no mês de abril. Em trabalhos realizados por MAULE & MAZZA (2001) verificou-se que a variedade SP79-1011 foi que apresentou menor valor da POL (11,76%) no mês de maio em relação ao mês de agosto e outubro e maior valor para a variedade RB835019 (14,54%).

A média geral para os teores de Fibra (12,96%), está dentro da faixa (8 – 16%) preconizada por BERNARDES & CÂMARA, (2001). Valores entre 11 e 16% podem ser considerados adequados para o processamento industrial, segundo MEADE, (1963), citado por JUNIOR *et al.* (2008). No presente trabalho observou-se que as cultivares RB855156, SP80-1816 e SP79-1011 apresentaram maior estágio de maturação em relação as demais cultivares, pois de acordo com LEME FILHO, (2003) à medida que a cana se torna mais madura, ou seja, maior valor da POL, BRIX e Pureza, aumenta-se o teor de Fibra. Isto pode ser explicado pelo fato de que na região centro-sul do país a maturação é induzida por baixa temperatura e estresse hídrico promovendo desidratação da cana-de-açúcar, atingindo teores de umidade em torno de 67% de setembro a outubro. Contudo, para os açúcares redutores (AR) a variedade RB92579 apresentou maior valor de AR. Esse valor foi 37% a mais em relação à média das demais cultivares e menores valores para os teores de POL e Fibra, indicando que esta variedade é mais rica em glicose e frutose, fazendo com que esta variedade seja caracterizada de ciclo tardio. Durante o processo de maturação da cana, à medida que o teor de sacarose se eleva o AR decresce, podendo chegar a valores de 0,2% (FERNANDES, 2003).

Os valores dos açúcares redutores totais (ART) oscilaram de 11,49 a 12,94%, sendo estes, inferiores aos obtidos por JUNIOR *et al.* (2008). O conhecimento do teor do ART é importante para avaliação da eficiência de fabricação do açúcar e do álcool. Através da diferença das perdas de açúcares que ocorrem no processo, cujo o total é dado pela diferença entre o ART da cana-de-açúcar e o total de ART do produto final (CALDAS, 2005; FERNANDES, 2003).

O processo de maturação da cana consiste no acúmulo de sacarose que ocorre simultaneamente com uma redução do teor de AR e aumento da Pureza (LEME FILHO, 2005). No presente trabalho o teor de Pureza oscilou de 80,96 a 88,81%, o que difere dos teores obtidos por JUNIOR *et al.* (2008), que situaram-se entre 93,96 e 94,45%, indicando que a cana, no momento do corte,

apresentava mais do que o valor mínimo de pureza necessário para a sua industrialização, que é de 80% no início e de 85 % no transcorrer da safra (MARQUES *et al.*, 2001; COPERSUCAR, 2001).

É importante salientar que análises de nutrientes no caldo em diferentes cultivares de cana-de-açúcar são escassos na literatura. Na Tabela 2 estão representados os teores médios dos elementos minerais que diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre as diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril.

Tabela 2. Valores expressos em mg/L para o cobre (Cu), magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) em oito cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril de 2007

Variedade	Cu	Mg	Ca	K	P
	----- mg/L -----				
RB72454	1,13a	250,99ab	99,19 bcd	841,64ab	168,08ab
RB867515	1,12ab	229,76ab	127,41ab	934,42a	98,63 bcd
RB835486	0,94ab	191,37 b	83,78 cd	934,40a	76,95 cd
RB855156	1,09ab	288,83a	104,94abc	915,20a	104,93abcd
SP80-1816	1,00ab	223,48ab	138,53ab	1014,41a	156,79abc
SP79-1011	0,99ab	179,82 b	140,99a	1062,46a	112,26abcd
RB855536	0,97ab	236,62ab	113,06abc	947,27a	181,12a
RB92579	0,90b	225,51ab	63,92 d	620,88 b	49,34 d
Média	1,02	228,30	108,98	908,83	118,51
C.V %	10,29	18,33	18,19	15,48	33,06

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O teor médio do Cu (1,02 mg/L) apresentou-se de acordo com a amplitude de variação 1 a 5 mg/L encontrado por KORNDORFER (2008). Entre as cultivares avaliadas diferiram-se estatisticamente somente a RB72454 (1,13 mg/L) e RB92579 (0,90 mg/L).

Para o Mg, o teor médio encontrado (228,30 mg/L) está abaixo do valor encontrado (383 mg/L) por KORNDORFER (2008), sendo a variedade RB855156 apresentando maior teor de Mg, diferindo estatisticamente apenas das cultivares RB835486 e SP79-1011 (Tabela 2).

Nas condições do presente trabalho o teor médio de Ca encontrado foi 108,98 mg/L, sendo que as cultivares RB867515, RB855156, SP8018-16, SP79-1011 e RB85536 que apresentaram maiores teores.

No caso do K, o teor médio encontrado (908,83 mg/L) está próximo dos observados por KORNDORFER (2008) no caldo (992 mg/L). Segundo RODRIGUES, (1995), o excesso de K no caldo não é desejável para a fabricação do açúcar, pois dificulta a cristalização, reduzindo o rendimento industrial de açúcar. No presente trabalho as cultivares não apresentaram diferença significativa, exceto a variedade RB92579.

O teor de P apresentou valores variando de 49,34 a 181,12 mg/L, ocorrendo diferenças significativas entre as cultivares. KORNDORFER (2008), verificou-se que a faixa ideal do teor de P no caldo para produção de álcool é entre 200 e 300 mg/L. Para produção de açúcar os teores de P acima de 300 mg/L facilitam a clarificação do caldo (FERNANDES, 2003; RODRIGUES, 1995). Observa-se na Tabela 2 que nenhuma das cultivares estudadas apresentou índice desejável do teor de P para fabricação do álcool e do açúcar.

4.2. Análises Univariadas Para Colheita em Outubro

A análise de variância realizada em outubro mostrou que houve diferença significativa entre as médias das cultivares apenas para os teores de magnésio, cálcio e potássio (Tabela 3).

O teor médio de Mg (117,43 mg/L) foi abaixo do limite mínimo adequado para produção de álcool (200 mg/L) e inferior aos observados por KORNDORFER, (2008) no caldo de cana (383 mg/L). Verifica-se que as cultivares RB855156 e SP79-1011 são diferentes estatisticamente (Tabela 3).

O teor médio de Ca avaliado no mês de outubro foi (28%) inferior em relação ao mês de abril. As cultivares RB72454, RB835486, RB855156 e RB92579 foram as que apresentaram menores teores de Cálcio.

Para o K, o teor médio encontrado (274,05 mg/L) é inferior ao limite de K adequados no caldo de cana (700 a 1300) para produção de álcool (KORNDORFER, 2008). Há relatos da influência do K, no transporte de sacarose na cana-de-açúcar. A sua deficiência afeta diretamente o transporte da sacarose no floema, conseqüentemente causando menor acúmulo de sacarose na cana (RODRIGUES, 1995).

Tabela 3. Valores em mg/L, dos teores de magnésio (Mg), cálcio (Ca) e potássio (K), em oito cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril de 2007

Variedade	Mg	Ca	K
	----- mg/L -----		
RB72454	122,12abc	65,44ab	329,28ab
RB867515	127,91abc	85,23a	347,76a
RB835486	106,40abc	67,78ab	174,72ab
RB855156	153,43a	71,87ab	230,16ab
SP80-1816	122,09abc	88,42a	253,68ab
SP79-1011	77,44 c	99,53a	304,08ab
RB855536	134,85ab	81,66a	319,20ab
RB92579	95,20 bc	44,42 b	233,52ab
Média	117,43	75,54	274,05
C. V %	22,01	30,92	28,20

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.3. Análise de Trilha

De acordo com FALCONER (1981) e CRUZ & REGAZZI, (1994) a correlação entre caracteres que pode ser diretamente medida é a fenotípica, tendo essas correlações causas genéticas e ambientais. Na Tabela 4 são apresentadas às correlações fenotípicas entre os caracteres avaliados.

Embora as variáveis explicativas apresentem alta correlação sobre a cor do caldo de cana e não diferindo estatisticamente entre os caracteres, exceto para os caracteres cálcio, compostos fenólicos e ácidos aconítico, estas não podem ser selecionadas somente na sua magnitude de correlação, pois, segundo CRUZ & REGAZZI, (1994) podem, resultar em equívocos na estratégia de seleção, uma vez que a correlação elevada pode ser resultado do efeito, sobre estes, de um terceiro ou de um grupo de caracteres. Isto demonstra a inconveniência de utilizar apenas as correlações para entender as inter-relações dos caracteres avaliados.

Observa-se que a alta correlação dos caracteres Brix, Pol, Fibra, ART e Pureza com a cor do caldo, podem ser explicados pelo fato de um caráter ser derivado do outro, ficando estas correlações superestimadas e certamente não poderão ser utilizadas conjuntamente na análise de trilha.

Tabela 4. Coeficiente de correlação entre quatorze caracteres, avaliados no caldo de cana-de-açúcar

Caracteres	BRIX	POL%	Fibra	AR	ART	pH	Pureza	Cu	Al	Mg	Ca	K	Compostos fenólicos	Ácido Aconítico
Cor ICUMSA	-0,84**	-0,83**	-0,73**	0,67**	-0,83**	-0,82**	-0,67**	0,86**	0,80**	0,73**	0,54*	0,83**	0,58*	0,51*
BRIX		0,99**	0,89**	-0,85**	0,98**	0,88**	0,84**	-0,94**	-0,90**	-0,85**	-0,46	-0,85**	-0,54*	-0,56*
POL%			0,88**	-0,90**	0,98**	0,86**	0,90**	-0,91**	-0,87**	-0,81**	-0,44	-0,80**	-0,58*	-0,56*
Fibra				-0,77**	0,79**	0,83**	0,75**	-0,81**	-0,88**	-0,69**	-0,34	-0,73**	-0,53*	-0,57*
AR					-0,87**	-0,67**	-1,00**	0,68**	0,68**	0,56*	0,25	0,52*	0,65**	0,51*
ART						0,84**	0,87**	-0,91**	-0,83**	-0,83**	-0,46	-0,82**	-0,55*	-0,52*
pH							0,66**	-0,94**	-0,78**	-0,88**	-0,70**	-0,91**	-0,51*	-0,53*
Pureza								-0,67**	-0,66**	-0,56*	-0,25	-0,52*	-0,65**	-0,50*
Cu									0,86**	0,92**	0,64**	0,96**	0,51*	0,53*
Al										0,77**	0,32	0,78**	0,47	0,55*
Mg											0,52*	0,83**	0,42	0,45
Ca												0,77**	0,27	0,41
K													0,43	0,50*
Compostos fenólicos														0,65**

** , * : Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t.

O estudo de correlação não indica a importância relativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas e, assim, não é possível constatar se a correlação foi estabelecida por verdadeiras relações de causa e efeito (CARVALHO, *et al.*, 1999). Neste contexto, foi realizada uma análise de trilha a fim de entender as relações de causa e efeito entre os caracteres e decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal. Este método foi inicialmente proposto em plantas por DEWEY e LU (1959) e diversos outros pesquisadores têm relatado sua utilização (CARVALHO *et al.*, 2001). Em cana-de-açúcar há dificuldade de serem encontrados trabalhos com este método para estas variáveis avaliadas.

A estimativa dos coeficientes de trilha foi adversamente afetada pelos efeitos de multicolinearidade entre os caracteres estudados. A multicolinearidade ocorre quando as variáveis explicativas, ou suas combinações lineares, são correlacionadas, fazendo com que os coeficientes de trilha apresentem valores elevados, tornando-os pouco confiáveis (CARVALHO, 1995; MATSUO, 1986).

Para contornar os efeitos adversos da multicolinearidade, realizou-se a eliminação de variáveis do modelo de regressão que estão provocando maiores problemas. Diante do exposto, realizou-se análise de trilha com um grupo menor de variáveis (Tabela 5).

Na interpretação de uma análise de trilha deve-se levar em consideração alguns pontos essenciais, conforme indicado por SINGH & CHANDHARY, (1979), citado por VENCOVSKY *et al.* (1992). Se o coeficiente de correlação entre a variável explicativa e a variável principal for igual ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente. No presente trabalho, a situação que mais se aproxima à exposta é a variável cobre, pois sua correlação com a cor do caldo é elevada (0,86) e o efeito direto (1,10) é elevado e de mesmo sinal. Esta é, portanto a característica principal que evidencia cor, ou seja, quanto maior o teor de cobre, mais elevada será a cor do caldo. Observa-se também que o cobre é o que apresenta maior influência indireta sobre as demais variáveis explicativas. Para efeito de seleção, é importante identificar, dentre os caracteres de alta correlação com a variável principal, aqueles de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (CRUZ *et al.*, 2004).

Tabela 5. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes: açúcares redutores (AR), cobre, magnésio, cálcio, compostos fenólicos e ácido aconítico sobre a cor do caldo de cana-de-açúcar

Caracteres		Estimativa
AR	Efeito direto sobre a cor do caldo	0,0396
	Efeito indireto cobre	0,7476
	Efeito indireto magnésio	-0,2001
	Efeito indireto cálcio	-0,0050
	Efeito indireto compostos fenólicos	0,1123
	Efeito indireto ácido aconítico	-0,0209
	Total	0,6730
Cobre	Efeito direto sobre a cor do caldo	1,1041
	Efeito indireto AR	0,0265
	Efeito indireto magnésio	-0,3274
	Efeito indireto cálcio	-0,0130
	Efeito indireto compostos fenólicos	0,0875
	Efeito indireto ácido aconítico	-0,0215
	Total	0,8561
Magnésio	Efeito direto sobre a cor do caldo	-0,3543
	Efeito indireto AR	0,0221
	Efeito indireto cobre	1,0202
	Efeito indireto cálcio	-0,0105
	Efeito indireto compostos fenólicos	0,7283
	Efeito indireto ácido aconítico	-0,0184
	Total	0,7319
Cálcio	Efeito direto sobre a cor do caldo	-0,0203
	Efeito indireto AR	0,0096
	Efeito indireto cobre	0,7078
	Efeito indireto magnésio	-0,1827
	Efeito indireto compostos fenólicos	0,0461
	Efeito indireto ácido aconítico	-0,0165
	Total	0,5439
Compostos fenólicos	Efeito direto sobre a cor do caldo	0,1715
	Efeito indireto AR	0,0256
	Efeito indireto cobre	0,5630
	Efeito indireto magnésio	-0,1503
	Efeito indireto cálcio	-0,0054
	Efeito indireto ácido aconítico	-0,0264
	Total	0,5779
Ácido Aconítico	Efeito direto sobre a cor do caldo	-0,0406
	Efeito indireto AR	0,0201
	Efeito indireto cobre	0,5849
	Efeito indireto magnésio	-0,1602
	Efeito indireto cálcio	-0,0082
	Efeito indireto compostos fenólicos	0,1114
	Total	0,5073
P_{ε}		0,46
R^2		0,78

P_{ε} : efeito da variável residual; R^2 : coeficiente de determinação.

Estudos envolvendo linhagens de feijão e produtividade verificou-se que o número de folhas por planta e o peso total da palhada são as principais variáveis explicativas sobre a produção de grãos, pois apresentaram maiores correlações e com efeito direto positivo (CRUZ *et al.*, 2004). SANTOS (1984) citado por VENCOVSKY *et al.* (1992) observou-se que o número de vargens por planta é o principal determinante que explica o rendimento de grãos do feijoeiro, pois sua correlação foi razoável e o efeito direto elevado e de mesmo sinal.

Embora as variáveis explicativas AR e compostos fenólicos tenham apresentado baixo efeito direto e baixa correlação, porém mesmo sinal, em relação ao cobre, indica que estas variáveis podem proporcionar ganhos satisfatórios sobre a variável principal. Neste caso, de acordo com CRUZ *et al.* (2004) a melhor estratégia de seleção deverá ser a seleção simultânea de caracteres, com ênfase também nos caracteres cujos efeitos indiretos são significativos.

Apesar dos açúcares redutores (AR) não ser o principal determinante que explique a variável principal – cor do caldo, este, está diretamente relacionado com a cor. De acordo com CALDAS (2005), FERNANDES (2003) e CLARKE & LEGENDRE (1999), quanto maior o teor de açúcares redutores (AR) mais elevado será a cor, pois os açúcares redutores são produtos precursores de cor, isto é, participam de reações que escurecem o açúcar. ARAÚJO (2007) observou que os açúcares redutores, provenientes da própria composição do caldo, sofrem diversas reações que produzem substâncias escuras que tem influência direta na cor e qualidade do açúcar como produto final. BALCH & BROEG (1948), citado por BOVI *et al.* (2001) são da opinião que as impurezas da cana não têm nenhum efeito operacional pronunciado sobre o processo de clarificação, mas diminuem a qualidade do caldo aumentando a cor. ZARPELON (1988) salienta ser conhecido o fato que os açúcares redutores do caldo elevam a cor do açúcar.

Os compostos fenólicos, apesar de ter apresentado moderada correlação (0,58) com a cor do caldo, mas com efeito direto (0,17) inferior somente ao caráter cobre em sua magnitude (Tabela 5). É um dos principais responsáveis pelo escurecimento da cor do caldo de cana. CLARKE *et al.* (1984) relata que os compostos fenólicos e flavonóides são considerados como aqueles que mais afetam a cor do caldo de cana, tendo sido responsáveis por

60-75% da cor no açúcar. Estudos realizados por BUCHELI *et al.* (1994) citado por OLIVEIRA *et al.* (2007) com diferentes cultivares de cana-de-açúcar mostraram grande variação da atividade da polifenoloxidase, na presença de compostos fenólicos bem como no desenvolvimento da cor do caldo de cana. Algumas cultivares mostraram reduzido escurecimento enzimático como resultado de baixos níveis de substâncias fenólicas e de enzimas. O caldo de cana extraído da variedade SP81-3250, utilizada no estudo, apresentou pequena tendência ao escurecimento após a extração, mesmo na bebida in natura.

Para os caracteres magnésio, cálcio e ácido aconítico não há relação de causa e efeito, pois, estes apresentaram correlação positiva e efeito direto negativo, sendo esta correlação explicada pelos efeitos indiretos (Tabela 5). Neste caso, os fatores causais indiretos devem ser considerados simultaneamente, no processo de seleção (VENCOVSKY *et al.*, 1992). Estudos envolvendo produção de grãos em linhagens de feijão verificaram que a área foliar e número de vagens/planta não são as causas determinantes das variações sobre o caráter de interesse, pois os efeitos diretos e as correlações possuem sinal trocado (CRUZ *et al.*, 2004). Trabalhando com os componentes de rendimentos de grãos de 28 genótipos de feijoeiro, SANTOS (1984) através de análise de causa e efeito, observou que o caráter peso de 100 sementes não é o principal componente de rendimento do feijoeiro, pois apresentou correlação negativa e efeito direto positivo. A mesma situação foi observada por CARVALHO *et al.* (1999) que constatou no seu trabalho com a cultura do pimentão, que o caractere botânico altura da primeira bifurcação não é a principal característica que explica a produção total de frutos, pois os sinais de correlação e do efeito direto são distintos.

Diante dos resultados apresentados nas condições do presente trabalho, sugere que as variáveis explicativas não devem ser totalmente descartadas devido ao baixo efeito direto sobre a variável principal, pois o índice de seleção poderá proporcionar bons resultados, uma vez que, este índice constitui um caráter adicional formado pela combinação de vários caracteres, possibilitando ganhos favoráveis e simultâneos em várias características (CRUZ & REGAZZI, 1994).

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que o presente trabalho foi conduzido, pode-se concluir que:

- Os compostos orgânico e inorgânico que melhor explicam a cor do caldo de cana são os compostos fenólicos e o cobre (Cu), respectivamente;
- Contudo, os demais caracteres devem ser levados em consideração devido a elevada correlação existente e baixa magnitude do efeito direto, evidenciando a necessidade de utilização de índices de seleção.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar, safra 2008, primeiro levantamento, abril/2008, Companhia Nacional de Abastecimento. - Brasília: CONAB, 2008.

AÇÚCAR(2001). Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/produtos/acucar.htm>. Acesso em: 23 de agosto de 2008.

AMORIM, H.V.O que é qualidade de matéria-prima? In: REUNIÃO AGRÍCOLA DA FERMENTEC 8., 2003, São Pedro. Resumos... Piracicaba: Fermentec, 2003. p. 5-6.

AMORIM, H.V.; OLIVEIRA, A.J. (1982). Infecção na fermentação: como evitá-la. Álcool e Açúcar, ano 2 n.5, p.12-18.

ANDRADE, L.A.B. Cultivo de cana-de-açúcar para produção de cachaça. Viçosa, CPT, 2002. 136p.

ARAÚJO, F.A.D. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. Revista: Ciências & Tecnologia, julho-dezembro, n.1, 2007. 6p.

ARAÚJO, F.A.D. Clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação In: Seminário regional sobre cana-de-açúcar, 10. Olinda, 2006. Anais eletrônicos... Olinda: STAB, 2006.

BERNARDES, M.S.; CÂMARA, G.M.S. Cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, Dep. Produção Vegetal, 2001. 20p.

BOVI, R.; SERRA, G.E. Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmo e a clarificação do caldo de cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, v.58, n.3, p.457-463, jul./set. 2001.

Brasil. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2010. 2ª edição revisada. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. 2006. 110 p.

CAIERÃO, E.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.; LORENCETTI, C.; MARCHIORO, V.S.; AZEVEDO, R. Análise de trilha da variável rendimento de grãos em genótipos de aveia. In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisas de Aveia, 19, Porto Alegre, RS, 1999. Resumos. Porto Alegre:UFRGS, p.27-31, 1999.

CALDAS, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Álcool no Estado de Alagoas, 1998. 422 p.

CALDAS, C. Teoria básicas das análises sucroalcooleiras. Maceió: Central Analítica, 2005. 172p. il.

CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.34, n.4, p.603-613, abr. 1999.

CARVALHO, L.C.C. Perspectivas para o setor sucroalcooleiro. In: Simposio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, 2., 2005. Piracicaba. Anais. ESALQ, 9 a 10 junho, 2005. CD-ROM.

CARVALHO, S.P. de. Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade. Viçosa, MG: UFV, 1995. 163 p. Tese de Doutorado.

CLARKE, M.A.; LEGENDRE, B.L. Sugarcane quality: impact on sugar yield and quality factors. *The South African Technologist Ass.*, Durban, 1996, Proceedings, n. 70, p. 16-19, 1996.

CLARKE, M.A.; ROBERTS, E.J. Colorant formation under refining conditions. *Technical Session of Cane Sugar Refinery Research*, p. 106-115, 1975.

CLARKE, M. A. The future of raw sugar quality. *Sugar y Azucar*, v. 80, n. 32-50, 1985.

CLARKE, M. A.; BLANCO, R. S.; GODSHALL, M. A.; TO, T.B.T. Color components in sugar refinery process. Sugar Industry Technologist Annual Meeting, 44. Saint John, Proceedings. Martinez, 1985, p. 53-88.

CLARKE, M. A.; BLANCO, R. S.; GODSHALL, M. An. Color tests and onther indicators of raw sugar refining characterisriscs. In: Proceedings of the sugar processing research conference. New Orleans, p. 284-302, October 1984.

CLARKE, M. A.; LEGENDRE, B. R. Qualidade da cana-de-açúcar: Impactos no rendimento do açúcar e fatores da qualidade. STAB – julho-agosto, v. 17, n.6, p. 36-40, 1999.

CONAB. Disponível em: www.conab.gov.br/ .Acesso em: agosto. 2008.

COPERSUCAR. Centro de Tecnologia de Cana (CTC). Cana-de-Açúcar e Álcool – A energia que vem do sol. Julho, 1989.

COPERSUCAR. Centro de Tecnologia de Cana (CTC). Manual de controle químico da fabricação de açúcar. Piracicaba, 261p, 2001.

CRUZ, C.D. Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 1997. 442p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. V. 1, 3.ed, Viçosa: UFV, 2004. 480p. il.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2003. 584p. il.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 1994. 390p.

EID. F.; PINTO. S.P.; CHAN. K. Mudanças tecnológicas na indústria sucroalcooleira: Avanços e Retrocessos?. Recitec, Recife, v.2, p.36-47, 1998.

FALCONER, D.S. e MACKAY, T.F.C. Introduction to quantitative genetics. 1996.

FALCONER, D.S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa: UFV, 1981. 279p.

FERNANDES, A.C. Atualidades. STAB – julho-agosto, v. 17, n. 6, p. 34-35, 1999.

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar. 2. ed. Piracicaba, STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 240p. 2003.

FERNANDES, A.C.; OLIVEIRA, E.R.; QUEIROZ, L. Sugarcane trash measurements in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., 1977, São Paulo. Proceedings... São Paulo: International Society of Sugar Cane Technologists, 1978. v.2, p.1963-73.

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTOR, A. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp* L.) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. R. Bras. Zootec., v.32, n.4, p.977-985, 2003.

FERNANDES, E.S.L.; COELHO, S.T. (Org.). Perspectivas do álcool combustível no Brasil. São Paulo: USP, 1996. 166 p.

FERRARI, S.E. BORZANI, W. (1984). Influência do desponte da cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, na fermentação alcoólica do caldo. Anais do III Congresso Nacional STAB, V Convenção da ACTALAC. São Paulo, p.436- 442.

FILHO, H.P.M. 120 anos de produção mundial de açúcar: comentários sobre séries estatísticas tradicionais (1820-1940). Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, UFRJ, 2003.

FOK HON-JUN. (1995) White sugar quality improvement in China. Int. Sugar Jnl. 97(1158): 272-274.

FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; ROSS, W.M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. J. Plant. Nut., v. 7, n.7, p. 1113-26, 1984.

FURLANI, V.L.N.; RIPOLLI, C.T.; VILLANOVA, A.N.; Colheita mecânica: perdas de matéria-prima em canaviais com e sem queima. STAB, v. 14, n. 6, p. 19-24, 1996.

GODSHALL, A.M.; LEGENDRE, L.B. Phenolic content of maturing sugar cane. *International Sugar Journal*, v. 90, n. 1069, p. 16-19, 1988.

GODSHALL, M.A.; LEGENDRE, B.L. Effect of harvest system on cane juice quality. In: CONFERENCE ON SUGAR PROCESSING RESEARCH, 2000, Porto. Proceedings... New Orleans: Sugar Processing Research Institute, 2000. p. 222-236.

GODSHALL, M. A. Conference on sugar refining research, 1996., RECENT PROGRESS IN SUGAR COLORANTS. New Orleans. p. 2-38, April 1996.

GOMES, J.F.F. Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

GOODACRE, B.C.; COOMBS, J. Formation of colour in cane juice by enzyme-catalysed reaction. Part II. *International Sugar Journal*, v. 80, p. 323-326, 1978.

ICUMSA GS7-23 (1994), The Determination of Sucrose, Glucose and Fructose in Cane Molasses by HPLC, Methods Book, Colney, Publication Department, 1994.

IDEA – Indicadores de desenvolvimento da agroindústria canavieira de 1997 a 2001. *Tec. Agrícola, News*, p. 66-71, 2001.

Industriais n.2. Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello".

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. Novas cultivares RB para a região centro-sul do Brasil. [S.l.]: Ministério da Indústria e Comércio, 1988. 21p. Jaboticabal, FUNEP, p.9-21, 1992.

JIMENEZ, P.O.; SAMANIEGO, R.L. Enzymic browning in cane juice. *Crystallizer*, v.4, p. 10-11, 1981.

JOSINO, A. S., COUTINHO, M. D. H.; PESSOA, H.L.F. Características de Cultivo e da Nutrição. *Revista: Conceitos – Julho 2004 / Julho 2005*, 133-141p. 2005.

JUNIOR, C.; MARQUES, M.; JUNIOR, L.C.T. Efeito residual de quatro aplicações anuais de logo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola Jaboticabal, V.28, N.1, 196-203p. 2008.

KORNDORFER, G.H.O potássio e a qualidade da cana-de-açúcar. Informações Agronômicas, Piracicaba, v.49, p.1-3, 1990.

LANE, J.H., EYNON, L.(1934). Detemintion of reducing sugars by Fehling solution with methylene blue indicator. London: Norman Rodger, 8p.

LEGENDRE, B.L.; CLARK, M.A. Developments in sugarcane agriculture that affect processing. In: CONFERENCE ON SUGAR PROCESSING RESEARCH, 1998, Savannah. Proceedings... New Orlaeans: Sugar Processing Research Institute, 1998. p. 160-175.

LEITE, R.A. Compostos fenólicos de colmo, bainha, folha e palmito de cana-de-açúcar. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2000. 135p. Dissertação de Mestrado.

LEME FILHO, J.R.A. Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativas dos teores de fibra e de açúcares redutores em cana-de-açúcar. Piracicaba, SP: ESALQ, 2005. 151 p. Dissertação de Mestrado.

LEME, JR.; BORGES, J.M. Açúcar de cana, Imprensa Universitária, Viçosa, 114-115p. 1965.

LI, C.C. Path analysis – a primer. Boxwood: Pacific Grove, 1975. 346p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L.C. Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MATSUO, T. O uso da regressão de cumeeira em experimentos agrônômicos. Piracicaba: USP-ESALQ, 1986. 89p.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e época de colheita. Scientia Agrícola, V.58, N.2, 295-301 p. abril-junho. 2001.

MEINZER, F. C. AND ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C₄ CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in Saccharum

(sugarcane) species. *Journal of Experimental Botany*, v. 49, n. 324, p. 1227-1234, July, 1998.

MELLO, S.Q.S.; FRANÇA, A.F.S.; LIMA, M.L.M. Parâmetros do valor nutritivo de nove cultivares de cana-de-açúcar cultivada sob irrigação. *Ciências Animal Brasileira*, V.7, N.4, 373-380 p. out-dez. 2006.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. *Química Nova*, V.31, N.3, 556-561p. 2008.

METHOD G.S.2/3-9 (1994)., The Determination of White Sugar Solution Colour – Official., International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA)., 1994.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIEMNTO - MAPA. Plano Nacional de Agroenergia, Secretaria de produção de cana-de-açúcar e agroenergia outubro/2008.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504p.

MUTTON, M.J.R. Qualidade Agroindustrial da cana-de-açúcar, perdas e seus reflexos econômicos. In: VIII SEMINARIO SOBRE INOVAÇÃO TECNOLOGICAS STAB, 8., Ribeirão Preto.

MUTTON, M.J.R. & MUTTON, M.A. (2005). Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola. *STAB*, v. 23, n. 4, p.42-46.

MUTTON, M.J.R. (1998). Avaliação da fermentação etanólica do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) tratadas com maturadores químicos. Tese de Livre Docência. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Brasil.

MUTTON, M.J.R., MUTTON, M.A., CASAGRANDE, A.A. (1995). Rendimento da fermentação etanólica em fase líquida e semi-sólida em colmos de cana-de-açúcar com e sem desponte. *STAB*, v.13, n.16, p.48-53.

NEVES, M.F.; WAACK, R.S. & MARINO, M.K. – Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar: Caracterização das Transações entre Empresas de Insumos, Produtores e Usinas - Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Poços de Caldas, M.G., 12 a 15 de agosto de 1998 .

OLIVEIRA, A.C.G.; SPOTO, M.H.F.; GALLO, C.P.S. Efeito do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. Ciências de Tecnologia de Alimentos de Campinas, V.27, 863-873p.; out-dez. 2007.

PAULILLO, L.F.; VIAN, C.E.F.; MELLO, F.T. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? RER, Rio de Janeiro, V.45, N.03, 531-565p., jul-set. 2007.

PAYNE, J.H. Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo, Nobel: STAB, p. 245,1989.

PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

PRASAD, M., JAIN, P.K., NIGAM, G.D. (1989). Effect of iron on sugar crystals during storage. Int. Sugar Jnl. 91(1091): 222-226.

PROCKNOR, C. Soluções de fábrica. STAB, Piracicaba, V.23, n.1, p.36, set./out., 2004.

REZENDE SOBRINHO, E.A. (2000). Comportamento de cultivares de cana-de-açúcar em latosolo roxo, na região de Ribeirão Preto-SP. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Brasil.

RIFFER, R. The nature of colorants in sugarcane and cane sugar manufacture. Chemistry and processing of sugar beet and sugarcane. In: Clarke, M.A.; Godshall, M.A. (Eds), Elsevier Science Publishers, New York, Cap. 13, p.186-207, 1988.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e transporte. Piracicaba:T.C.C. Ripoli, 2004. *Saccharum*, n. 17, p. 43-46.

RODRIGUES, J.D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu, SP: UEP, 1995. 101 p. Tese de Doutorado.

RODRIGUES, J.D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu, SP: UEP, 1995. 101 p. Tese de Doutorado.

SANTOS, L.O.M.; OMETTO, A.R. Ganhos potenciais de cogeração e de créditos de carbono através da palha da cana: uma perspectiva para a indústria sucroalcooleira. Alcoolbrás – n.113, 64-70p. 2008.

SCHUSTER, I. Correlações, coeficientes de trilha, composição de gluteninas e qualidade do trigo para panificação. Viçosa: UFV, 1996. 98p.

SHORE, M.; BROUGHTON, N.W.; DUTTON, J.V.; SISSONS, A. Factors affecting white sugar colour. Sugar Technology Reviews, v.12, p.1-99, 1984.

SILVA JUNIOR, S. F; SILVA, G. M. DE A. (1980). The values of sugarcane from the total energy standpoint. Congress of the International Society of Sugarcane Technologists, 17, Manila. Proceedings. Makati, Print-Inn v. 1, p. 288-295.

SIMIONI, K.R.; SILVA, L.F.L.F.; BARBOSA, V.; RE, F.E.; BERNARDINO, C.D.; LOPES, M.L.; AMORIM, H.V. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. STAB, Piracicaba, V.24, n.3, p.36-39, jan./fev., 2006.

SMITH, P.; GREGORY, P.E. (1971) Analytical Techniques for Colour Studies. Proc. 14° ISSCT, 1415-1433.

SPRI, Color components in sugar refinery processes. Technical Report N° 19, july, 1985, 14 p.

STOKES, J. L. (1971) Influence of temperature on the growth and metabolism of yeast. In: ROSE, A. H. & HARRISON, J. S. The Yeast. New York: Academic Press, v.2, p.119- 134.

STUPIELLO, J.P. Cor do açúcar branco de alta qualidade. STAB, Piracicaba, V.16, n. 1, p.20, set./out., 1997.

STUPIELLO, J.P. Efeito dos não açúcares. STAB, Piracicaba, V.20, n. 3, p.10, jan./fev., 2002.

STUPIELLO, J.P. Relação açúcares redutores/cinzas. STAB, Piracicaba, V.19, n. 2, p.10, nov./dez., 2000.

STUPIELLO, J.P. Sarkarana: Importante polissacarídeo. STAB, Piracicaba, V.20, n. 1, p.14, set./out., 2001.

STUPIELLO, J.P.; PEXE, C.A.; MONTEIRO, H.; SILVA, L.H. Efeitos da aplicação de vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. Brasil Açúcareiro, Rio de Janeiro, v.90, n.3, p.41-50, 1977.

TANIMOTO, T. (1964). The press method of cane analysis. Haw. Plant. Rec. v 57, p. 133- 150, 1964.

UDOP. Disponível em: www.udop.com.br. Acesso em: set. 2008.

UNICA. Disponível em: www.unica.com.br/. Acesso em: set. 2008.

UNICA. Disponível em: www.unica.com.br/estatística. Acesso em: nov. 2008.

VEIGA FILHO, A. O dilema da “escolha de sofia” nas exportações de açúcar pelo Brasil. Informações Econômicas, São Paulo, v.30, n.9, p.53-59, set. 2000.

VEIGA FILHO, A.A. Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Informações Econômicas, São Paulo, v.24, n.10, p.44-59, out.1994.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WRIGTH, S. Correlation and causation. J. Agric Res, Washington, v.20, p.557-585. 1921.

WRIGTH, S. The theory of path coefficients – a replay to Nilles’ criticism. Genetics, Austin, v.8, p.239-255. 1923.

YOKOYA, F. (1995). Fabricação da aguardente da cana - Série fermentações.

ZARPELON, F. Processamento industrial de cana não despontada: experiência da Usina Estér. STAB, v.6, n.6, p.37-42, 1988.

ANEXOS

Tabela 1. Resumo das análises de variância dos valores em porcentagens, dos teores de sólidos solúveis totais (BRIX), sacarose aparente (POL), fibra, açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART) em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril de 2007

Fonte de variação	GI	BRIX	POL	FIBRA	AR	ART
		----- Quadrado médio -----				
Blocos	4	0,5959	0,1004	0,4572	0,0760	0,1563
Cultivar	7	2,8033	5,1576	2,4633	0,2772	1,2415
Resíduo	28	0,6700	0,7367	0,2254	0,0886	0,4399
Total	39					
Média		15,6495	13,4545	12,9637	0,7775	12,2462
C.V %		5,2306	6,3797	3,6628	38,2839	5,4163
Máximo		17,42	15,43	14,89	1,68	13,55
Mínimo		11,61	9,65	11,29	0,10	9,64

** , * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 2. Resumo das análises de variância dos valores de pH, pureza e cor do caldo em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril de 2007

Fonte de variação	GI	pH	Pureza	Cor ICUMSA
		----- Quadrado médio -----		
Blocos	4	0,0023	10,1762	97,5325
Cultivar	7	0,0042	33,4688	22,7467
Resíduo	28	0,0076	11,4444	20,8702
Total	39			
Média		5,1262	85,8865	51,225
C.V %		1,7113	3,9388	8,9182
Máximo		5,40	93,59	60,206
Mínimo		4,95	76,04	37,830

** , * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3. Resumo das análises de variância dos teores de cobre (Cu), alumínio (Al), magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de abril de 2007

Fonte de variação	GI	Cu	Al	Mg	Ca	K	P
		-----Quadrado médio-----					
Blocos	4	0,2097	2,2472	678,0282	647,2814	4265,6	401,2887
Cultivar	7	0,0370	4,1862	5711,1640	3594,243	89307,428	10695,2835
Resíduo	28	0,0110	1,9515	1750,6465	393,0018	19801,142	1535,8164
Total	39						
Média		1,0207	5,2232	228,2992	108,9815	908,8	118,5182
C.V %		10,2898	26,7455	18,3271	18,1904	15,4837	33,0662
Máximo		1,68	9,66	332,51	182,14	1.184,00	238,89
Mínimo		0,80	3,38	117,14	49,90	448,00	33,03

**, * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4. Resumo das análises de variância dos valores em porcentagens, dos teores de sólidos solúveis totais (BRIX), sacarose aparente (POL), fibra, açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART) em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de outubro de 2007

Fonte de variação	GI	BRIX	POL	FIBRA	AR	ART
		----- Quadrado médio -----				
Blocos	4	3,8465	1,1107	1,6327	0,1943	1,7649
Cultivar	7	0,4688	0,8462	1,7293	0,0531	0,7530
Resíduo	28	1,6281	0,8239	1,4532	0,7222	1,0150
Total	39					
Média		19,0145	17,0092	14,932	0,473	14,191
C.V %		6,7105	5,3365	8,0732	61,4966	7,0994
Máximo		20,65	18,08	16,85	1,28	16,08
Mínimo		13,13	12,41	11,38	0,02	10,18

**, * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos valores em porcentagens, do pH, pureza e cor do caldo em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de outubro de 2007

Fonte de variação	GI	pH	Pureza	Cor ICUMSA
		----- Quadrado médio -----		
Blocos	4	0,0052	26,6477	60,0555
Cultivar	7	0,0162	7,7747	54,4685
Resíduo	28	0,0148	10,2434	38,7450
Total	39			
Média		5,3807	89,5962	41,220
C.V %		2,2620	3,5721	15,1008
Máximo		5,60	94,57	58,700
Mínimo		4,95	79,31	21,000

** , * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 6. Resumo da análise de variância dos valores em porcentagens, dos teores de cobre (Cu), alumínio (Al), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e potássio (K) em diferentes cultivares de cana-de-açúcar no mês de outubro de 2007

Fonte de variação	GI	Cu	Al	Mg	Ca	K
		----- Quadrado médio -----				
Blocos	4	0,0018	20,9973	609,8719	43,1239	15624,63
Cultivar	7	0,0063	9,9471	2834,6759	1440,7210	18053,028
Resíduo	28	0,0026	7,7615	676,2189	293,6137	5974,038
Total	39					
Média		0,0515	0,9600	117,4347	75,5482	274,05
C.V %		100,6288	290,2037	22,1437	22,6810	28,2035
Máximo		0,26	19,06	226,61	134,57	462,00
Mínimo		0,00	0,00	63,85	40,50	0,00

** , * Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 7. Diagnóstico de multicolinearidade da matriz de correlação envolvendo os caracteres açúcares redutores (AR), cobre (Cu), alumínio (Al), magnésio (Mg), cálcio (Ca), compostos fenólicos e ácido aconítico

Ordem	Autovalor	Valor Singular	Índice de Condição	VIF _k
1	3,7022	1,9241	1,0000	2,9862
2	0,9852	0,9925	1,9384	14,4857
3	0,6518	0,8073	2,3831	8,2547
4	0,3475	0,5895	3,2637	2,2787
5	0,2693	0,5189	3,7073	2,2834
6	0,0437	0,2091	9,1982	1,9730

Determinante: 0,009740.

Número de condição: 84,6072 (multicolinearidade fraca).

Número de condição (NC) = Multicolinearidade.

NC < 100 = Fraca (Não constitui problema sério).

100 < NC < 1000 = Moderada a forte.

> 1000 = Severa.