

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

**PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO MIX DE
SORGO SACARINO E CANA-DE-AÇÚCAR EM PROCESSO
DE MATURAÇÃO**

Silvia Cristina Marques Parra Gomes
Bióloga

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO MIX DE
SORGO SACARINO E CANA-DE-AÇÚCAR EM PROCESSO
DE MATURAÇÃO**

Silvia Cristina Marques Parra Gomes

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Coorientador: Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton

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

Parra Gomes, Silvia Cristina Marques
G633p Produção de etanol utilizando mix de sorgo sacarino e cana-de-açúcar
em processo de maturação / Silvia Cristina Marques Parra Gomes. – –
Jaboticabal, 2014
xii, 51p.; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton
Coorientador: Miguel Angelo Mutton
Banca examinadora: Raúl Andres Martinez Uribe, Leonardo Lucas
Madaleno.
Bibliografia

1. Fermentação alcoólica. 2. *Saccharomyces cerevisiae*. 3.
qualidade da matéria-prima. 4. *Sorghum bicolor*. 5. *Saccharum spp*. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 663.14:633.17:633.61

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
FORNECIDO PELA SEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Silvia Cristina Marques Parra Gomes – nasceu aos 12 de fevereiro de 1978, na cidade de Pirangi, estado de São Paulo, reside atualmente em Vista Alegre do Alto, SP. Ingressou no curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas em Fevereiro de 2008 na Instituição Municipal de Ensino Superior de Catanduva IMES-Catanduva, recebendo o título de Bióloga em Dezembro de 2010. Docente contratada no Estado de São Paulo durante o ano de 2011 a 2012 e 2014. Em Março de 2012 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária em nível de Mestrado da FCAV – UNESP; passou a integrar os grupos de pesquisa “Processos Biotecnológicos Aplicados á Agroindústria” e “Fisiologia e Manejo Sustentável da Cana-de-açúcar”, obtendo o título de Mestre em Julho de 2014.

Aos meus pais

André Marques Parra (in memoriam) e Maria Carmem Quíizadas Parra, exemplo de luta e busca pelos objetivos, é o incentivo constante pelos meus ideais e metas.

Aos meus irmãos

Milton, Nelson e Roberto que tanto lutam para continuar com o árduo trabalho na agricultura. Ao meu irmão Valter (in memoriam) que ainda em vida, muito acreditava no êxito de meus estudos.

As minhas irmãs

Maria Izabel, Rita, Carmen e Lucia que são para mim exemplos de vida, mães e amigas dedicadas que fazem parte do meu viver.

Aos meus sobrinhos (as) que trazem consigo muita alegria, irradiando cada dia de nosso viver, vocês são lindos (as).

Ao meu esposo

Luís Henrique Gomes, pela paz oriunda de seu companheirismo, confiança, dedicação, apoio, carinho, amor, amizade e força sempre!!! Eu Te Amo!!! Obrigada por acreditar em mim. Em especial a sua mãe Valdecí Ravazzi Gomes, obrigada pela amizade, carinho...

Dedico

Todos sonham

Poucos acreditam

E quase ninguém corre atrás

“Renato Russo”

*A mente que se abre a uma nova idéia
jamaís volta a seu tamanho original.*

“Albert Einstein”

AGRADECIMENTOS

A essa força superior “Deus”, que faz com que a vida seja tão magnífica. Ao anjo São Miguel, Santa Rita de Cássia por guiarem meu viver.

À Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton, pela oportunidade, ensinamentos, carinho e amizade em momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton, pelos ensinamentos e atenção para com todos no laboratório.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) e aos professores do curso de pós-graduação em Microbiologia Agropecuária pelo ensinamento profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Membros da banca examinadora Prof. Dr. Raúl Andres Martinez Uribe e Prof. Dr. Leonardo Lucas Madaleno pelas correções e críticas à dissertação.

À minha mãe Maria Carmem, meu irmão Roberto e a toda família, pelo incentivo.

Ao meu esposo Luis Henrique pela confiança.

À Michele Pinelli, pela amizade e longas conversas, sempre otimista.

Aos meus amigos Doutorandos Osania, Lidiane, Juliana Roviero, Marcel, Gustavo, Juliana Stracieri;

Aos Mestres Igor Masson, Fernanda Ferrari e Bruno Moraes;

As Mestrandas Nayara Abrão, Aline Ferreira, Rita Vieira;

Aos Graduandos Vitor, Nayara Silvano, Franciele, Lisamaria, Priscila, Cristhyane, Larissa, Jorge e Marcelo, por toda a ajuda no experimento, amizade e momentos alegres que compartilhamos.

Ao “mestre” Sérgio Nobokuni pela amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Tecnologia.

A todos que direta ou indiretamente participaram desse trabalho. Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cenário da Produção de Etanol	3
2.2 Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Etanol	4
2.2.1 Cana-de-açúcar	5
2.2.2 Sorgo Sacarino	10
2.3 Fermentação Alcoólica	15
2.3.1 Fatores que Afetam o Processo Fermentativo	17
2.3.2 Fatores Essenciais para o Processo Fermentativo	18
2.3.3 Biologia do Micro-organismo Fermentador	20
2.3.4 Metabólitos da Levedura	20
2.3.4.1 Glicerol	20
2.3.4.2 Ácidos Totais	21
2.3.4.3 Etanol e CO_2	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Condições Experimentais	24
3.2 Sorgo Sacarino e Cana-de-açúcar	25
3.3 Obtenção do Caldo e Preparo do Mosto	25
3.4 Avaliação das Características Tecnológicas do Caldo e Mosto	27
3.5 Delineamento Experimental	27
3.6 Levedura	27
3.7 Processo Fermentativo e Avaliações Microbiológicas das Leveduras	28
3.8 Eficiência Fermentativa	28
3.9 Análise Estatística	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Qualidade Tecnológica do Caldo	30
4.2 Caracterização do Mosto	34
4.3 Processo Fermentativo	36
4.3.1 Caracterização do Vinho Delevurado e Eficiência Fermentativa	37

5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS	42

PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO MIX DE SORGO SACARINO E CANA-DE-AÇÚCAR EM PROCESSO DE MATURAÇÃO

RESUMO – O sorgo sacarino é uma planta C₄, com alta capacidade fotossintética, rico em açúcares fermentescíveis que pode complementar a safra da cana-de-açúcar para etanol, utilizando a mesma estrutura agroindustrial. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da fermentação etanólica de mostos preparados a partir de cana-de-açúcar variedade (RB855453) de 1º, 2º e 4º corte e ou sorgo sacarino cultivar (CVSW80007) colhidos no início de outono em 17/04/2012, em Jaboticabal, SP. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 10 tratamentos e 3 repetições do processo fermentativo. Avaliaram-se as características químico-tecnológicas do caldo extraído e do mosto (Brix, pH, açúcares redutores, açúcares redutores totais, acidez total, amido e compostos fenólicos) e do vinho (acidez total, glicerol, açúcares redutores residuais totais e teor alcoólico). Quantificaram-se ainda os parâmetros microbiológicos (viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos) da levedura estirpe Pedra – 2 (PE-2) no início e final da fermentação. A qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar de 1º corte comparada ao sorgo sacarino é superior, considerando o ART, kg/t de colmo e Acidez Total. O mosto composto pela mistura de cana e sorgo apresentou redução de 29% de compostos fenólicos em relação ao caldo. A fermentação do mosto de sorgo resultou em maior quantidade de células e brotos vivos no início da fermentação em comparação as canas. O teor alcoólico foi superior para cana de 1º e 2º cortes, e para a mistura de 40% SS + 60% cana de 1º C.

Palavras-chave: fermentação alcoólica, *Saccharomyces cerevisiae*, qualidade da matéria-prima, *Sorghum bicolor*, *Saccharum spp*

ETHANOL PRODUCTION USING A SWEET SORGHUM AND SUGARCANE BLEND IN THE RIPENING PROCESS

ABSTRACT – The sweet sorghum is a C₄ plant. It has a high photosynthetic capacity as well is rich in fermentable sugar content, being able to complement the ethanol production in the sugarcane season using the same agroindustry structure. This work aim was evaluate the ethanolic fermentation performance of musts prepared from the RB855453 sugarcane variety at 1st, 2nd, and 4th cut or the CVSW80007 sweet sorghum cultivar harvested early autumn, April 17th 2014 in Jaboticabal, SP. It was used the completely randomized experimental design with 10 treatments and 3 replications of the fermentative process. The evaluated characteristics were the extracted juice, must (Brix, pH, reducer sugars, total reducer sugars, total acidity, starch, and phenolic compounds), and wine (total acidity, glycerol, total residual reducer sugars, and ethanol content). It was quantified yet the microbiological parameters (cellular viability, budding index and viability) of Pedra-2 (PE-2) yeast strain at the beginning and end of the fermentation. The 1st cut raw material quality, when compared to the sweet sorghum is superior, considering the TSA kg/ton of stalk and Total Acidity. The must of the sugarcane-sorghum mixture presented a reduction of 29% in the phenolic compounds when compared to the juice. The sweet sorghum fermentation resulted in a higher quality of alive cells and buds in early fermentation when compared to the sugarcane plants. The ethanol content was superior to the 1st and 2nd cut sugarcane and to the 40% SS + 60% 1st cut sugarcane mixture.

Keywords: ethanol fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, raw material quality, *Sorghum bicolor*, *Saccharum spp*

LISTA DE ABREVIATURAS

Al_2O_3	Óxido de Alumínio
AR	Açúcares Redutores (glicose e fructose)
ARRT	Açúcares Redutores Residuais Totais (sobra de açúcar da fermentação)
ART	Açúcares redutores totais (glicose e frutose da sacarose)
ATP	Trifosfato de Adenosina
ATR	Açúcar teórico recuperável
Brix	Sólidos solúveis (em solução açucarada)
1C	Cana de 1º corte
2C	Cana de 2º corte
4C	Cana de 4º corte
°C	Grau Celsius
C_4	Plantas com alta taxa de fotossíntese devido à molécula com quatro carbonos (oxaloacetato)
CaO	Óxido de cálcio
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (6 °Bé)	Hidróxido de cálcio (concentração em Baumé – °Bé)
CAT-1	Estirpe de levedura selecionada na Usina Catanduva
CO_2	Dióxido de carbon
Fe_2O_3	Óxido ferroso
g L^{-1}	Gramas por litro
g ha^{-1}	Gramas por hectare
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
Kg ha^{-1}	Kilogramas por hectare
K_2O	Óxido de potássio
L ha^{-1}	Litro por hectare
mg Kg^{-1}	Miligramas por kilograma
mg L^{-1}	Miligramas por litro
mL ha^{-1}	Mililitro por hectare
MgO	Óxido de magnésio
N	Nitrogênio
Na_2O	Óxido de sódio
NADH	Nicotinamida Adenina Dinocleotídeo
O_2	Oxigênio
PE-2	Estirpe de levedura selecionada na Usina Pedra
ppm	Partes por milhão
pH	Potencial hidrogeniônico
P_2O_5	Pentóxido de fósforo
PO^{3-}	Fosfito
POL	Sacarose aparente em solução açucarada (polarímetro)
PUI	Período útil de industrialização
SS	Sorgo sacarino
$\text{T}_1, \text{T}_2, \dots$	Tratamento 1, Tratamento 2, ...
μm	Micrograma

1 INTRODUÇÃO

A demanda por etanol no Brasil aumenta a cada ano, impulsionado pela crescente comercialização de veículos com motores flex-fuel e, pelo elevado índice na mistura com a gasolina (20–25%) a fim de aumentar a octanagem deste combustível derivado do petróleo. O etanol reduz efetivamente a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, uma vez que é produzido a partir de fonte renovável de energia, considerado mais limpo em comparação aos combustíveis fósseis.

Embora a produção deste bicomcombustível tenha aumentado nos últimos anos, esta não será suficiente para suprir toda demanda estimada até 2020, que será o dobro da produção atual. Considerando que todo este etanol seja produzido a partir de cana-de-açúcar, seria necessário dobrar a produtividade por área ou a área plantada atualmente. Tendo em vista tais fatos, a utilização de matéria-prima complementar à cana é realidade neste contexto, sendo o sorgo sacarino uma alternativa viável à safra da cana-de-açúcar.

O sorgo sacarino é planta de metabolismo C_4 , com elevada eficiência fotossintética (DALVI et al., 2012), podendo ser adaptado a diferentes climas (temperados e tropicais) e, habilidade para crescer em áreas marginais. É uma cultura semelhante à cana-de-açúcar, com armazenamento do açúcar nos colmos e seu bagaço pode ser utilizado para produção de energia na indústria, para a alimentação animal, adubação orgânica, fabricação de papel, produção de etanol de segunda geração através da conversão bioquímica da celulose presente no bagaço.

Por ter seu ciclo vegetativo entre 120 a 130 dias (SOUZA et al., 2005), pode ser cultivado no período de entressafra da cana-de-açúcar, empregando a mesma estrutura agroindustrial, assim, sua inserção no processo produtivo ocorreria no início de safra. Neste período a oferta de cana madura é pequena, portanto, inicialmente processar-se-ia 100% sorgo e à medida que a cana-de-açúcar atingisse melhor maturação, seria processada juntamente ao sorgo, aumentando a proporção até atingir a totalidade de cana.

Não há informações disponíveis na literatura que abordem o comportamento tecnológico e fermentativo de sorgo e de cana, isoladamente ou em misturas, considerando-se a safra de início de outono. Neste sentido, a presente pesquisa objetivou avaliar algumas características tecnológicas (Brix, pH, açúcares redutores,

açúcares redutores totais, acidez total, amido e compostos fenólicos) do caldo de sorgo sacarino e do caldo de cana de diferentes estádios de maturação colhidos no início de outono, além de avaliar o desempenho da fermentação e os reflexos sobre a produção de etanol, comparando-se caldo de sorgo, cana e a mistura gradual destes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cenário da Produção de Etanol

O setor sucroenergético responde por 18% da matriz de energia brasileira, a produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2014/15 é estimada em 671,69 milhões de toneladas, com aumento de 2,0% em relação à safra 2013/14, significando 12,87 milhões de toneladas a mais a safra anterior (CONAB, 2014).

Entretanto, devido ao longo período de estiagem observado no final de 2013 e primeiro semestre de 2014, estima-se moagem de 580 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, redução de 16,94 milhões de toneladas em relação ao processado na safra 2013/2014, que somou 596,94 milhões de toneladas (UNICA, 2014).

A produção de etanol total para a safra 2014/15 esta estimada em 28,37 bilhões de litros, um incremento de 412,19 milhões de litros ou 1,47% em relação aos 27,96 bilhões de litros da safra 2013/14 configurando praticamente uma manutenção dos mesmos números da safra anterior (CONAB, 2014).

Os biocombustíveis têm grande potencial em reduzir a emissão de gases poluentes de forma sustentável (POMPELLI et al., 2011). Estes são ecologicamente favoráveis, pois liberam 50% a menos de material particulado e, 98% a menos de enxofre, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (DEMIRBAS, 2009).

A produção de etanol a partir de cana-de-açúcar apresenta vantagens econômicas e ambientais em relação aos resultantes de outras matérias-primas. A eficiência energética produtiva a partir da cana é positiva, ou seja, a cada 9,3 unidades de energia renovável, utiliza-se uma unidade de energia fóssil. Já o derivado de milho produz apenas 1,4 e a beterraba, 2,0. As usinas brasileiras possuem auto-suficiência energética, ao utilizarem produtos do próprio processo para geração de bioenergia, além, de apresentar maior produtividade de litros de etanol por ha^{-1} , com produção de 6,5 mil L ha^{-1} , em contrapartida o milho produz 4,2 mil L ha^{-1} e a beterraba 5,5 mil L ha^{-1} (GNC, 2014).

O setor sucroenergético, junto com instituições de ensino e pesquisa, busca alternativas em biomassa rica em açúcares, que venham a complementar a safra da cana-de-açúcar, uma opção no setor seria utilizar o sorgo sacarino.

Segundo Durães (2011) o sorgo sacarino tem ganhado destaque devido a rapidez do ciclo de produção (três a quatro meses), total mecanização da cultura (plantio por sementes, tratos culturais e colheita), alto teor de açúcares fermentescíveis, biomassa verde (60 a 80 t ha⁻¹), e rendimentos de etanol (3.000 a 6.000 L ha⁻¹). Embora o teor de sacarose do caldo de sorgo seja inferior ao caldo de cana, o processo industrial para a obtenção de etanol é similar (CUNHA; SEVERO FILHO, 2010).

Outro fator de destaque desta matéria-prima esta na capacidade de contribuir para o aumento da competitividade do etanol brasileiro, sendo o sorgo sacarino um complemento à cana-de-açúcar, cultivado em áreas de reforma de canaviais ou em áreas consideradas marginais e de riscos climáticos para a cultura (EMYGDIO, et al., 2011).

2.2 Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Etanol

Há várias matérias-primas que podem ser utilizadas na produção de etanol, estas variam na composição química e podem ser substratos solúveis e insolúveis. A sacarose é um material solúvel, constituindo um dissacarídeo proveniente da cana-de-açúcar, beterraba, sorgo sacarino, etc., (PEREIRA JR.; COUTO; SANTA ANNA, 2008). Os dissacarídeos em especial a sacarose é o componente mais importante da cana e do melaço, estes fermentam após hidrólise, chamada inversão. Esta se realiza por ação da invertase, enzima produzida pela levedura e liberada ao meio (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

A sacarose, açúcar não redutor, formada por monossacarídeos D-glicose e D-frutose são unidas por ligação glicosídica através dos carbonos anoméricos. Este pode ser hidrolisado extracelularmente pela invertase (β -D-fructosidase) liberada pela levedura, obtendo-se mistura equimolar de glicose e frutose, ou pode ser transportada diretamente para o citoplasma e, hidrolisada pela invertase intracelular (VITOLO, 2004).

Entre os substratos insolúveis (amilácea) destacam-se os polissacarídeos (amido) presentes no milho, sorgo, mandioca e batata doce. Estas matérias-primas necessitam de enzimas que realizam a liquefação e sacarificação para ser transformados em glicose e posteriormente fermentados. O processo de liquefação e

sacarificação é realizado através de enzimas hidrolíticas, utilizando-se as enzimas alfa-amilase na liquefação e glucosidase na sacarificação (BARCELOS, 2012). Lembrando que a levedura produz a invertase que hidrolisam as matérias-primas açucaradas, os materiais amiláceos necessitam da aplicação de enzimas hidrolíticas.

Outros materiais insolúveis como os lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina), obtidos a partir da fibra dos vegetais, também necessitam de tratamento físico e químico, transformando-os em glicose. O etanol obtido deste processo é chamado de etanol de segunda geração (PEREIRA JR.; COUTO; SANTA ANNA, 2008).

Este pode ser produzido a partir de materiais da agroindústria (bagaço e palha de cana, sorgo, palha de milho, trigo, cevada, casca de arroz, etc.), coníferas e folhosas, materiais de celulose (papel de jornal e escritório), biomassa herbácea (feno, gramíneas) e podas municipais (BARCELOS, 2012; SANTOS et al., 2012).

2.2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta tropical de metabolismo C_4 , em temperaturas elevadas (30 – 40°C) possuem maior desempenho fotossintético, porque necessitam de concentrações menores de CO_2 (TAIZ; ZEIGER, 2004) devido aos mecanismos da planta em armazenar CO_2 . Este permite às plantas C_4 , fechar parcialmente os estômatos reduzindo a transpiração quando submetidas a elevadas concentrações de CO_2 (MARIN; NASSIF, 2013), assim evitam a perda de água pela evaporação, crescem mais rápido e produzem mais biomassa por unidade de área da folha (LEHNINGER, 1986).

Conforme classificação taxonômica, a cana-de-açúcar pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Cyperales sendo uma representante da família Poaceae. As demais denominações da chave taxonômica, como, gênero e espécie *Saccharum spp* (várias espécies) é a mais plantada por apresentar menor quantidade de fibras e maior teor de sacarose, sendo que as atuais cultivares são híbridos (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália. As regiões brasileiras de maior cultivo são: Centro-Oeste, Sul e Nordeste,

com ocupação de 2,2% das terras cultiváveis (SANTINI; PINTO; QUEIROZ, 2011). A região com maior produção da cultura é a Centro-Sul, representando 88,2% (UNICA, 2013). Toda esta produção de cana faz com que o Brasil seja o maior produtor de açúcar e etanol a partir desta matéria-prima.

Para o Brasil se manter como o maior produtor de açúcar e etanol, a matéria-prima, requer parâmetros de qualidade que são imprescindíveis para garantir um produto final de qualidade e em grande quantidade. Conforme Albuquerque et al. (2012), a qualidade final dos produtos está relacionada à composição da matéria-prima, tais como, os teores de açúcares, fibra e os não açúcares. A maior presença de não açúcares como compostos fenólicos, dextrana, amido, ácidos orgânicos, proteínas, cera e compostos inorgânicos, afeta a qualidade do açúcar produzido assim como a quantidade de etanol devido a influencia destes elementos na fisiologia da levedura em fermentação.

A cana-de-açúcar é constituída por 8 -14% de parte insolúvel (fibra composta por celulose, hemicelulose, lignina e pectina) e 86-92% de parte solúvel (caldo). O caldo é subdividido em 75-82% de água e 18-25% são sólidos solúveis (Brix). Estes são compostos por 15-24% de açúcares (14-24% de sacarose, 0,2-1% de glicose e frutose) e por não açúcares. Estes apresentam de 1-2,5% de compostos orgânicos (proteína, fenólicos, amido, cera, lipídios, aminoácidos, taninos, ácidos, etc.) e de 0,8-1,8% de inorgânicos (K_2O , PO_4^{3-} , MgO , CaO , Na_2O , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , etc.) (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008; WALFORD, 1996).

A concentração de sólidos solúveis (sacarose, glicose, frutose e outros) na cana-de-açúcar madura são de maiores percentagens, seguido pelo teor de ART açúcares redutores totais (glicose e frutose da sacarose) e, a POL (sacarose aparente). Portanto é de fundamental importância aguardar a cana atingir a maturação determinada pelos menores teores de AR e ácidos, e por maiores teores de Brix e ART, para se obter melhores rendimentos industriais.

A cana-de-açúcar deve ser colhida em período útil de industrialização (PUI), ou seja, madura. A cana imatura possui maior concentração de açúcares redutores e estes interferem na POL para menos. Devido à atividade ótica destes açúcares (glicose e frutose), polissacarídeos e algumas proteínas, são recomendáveis que a cana para ser processada apresente valores inferiores a 0,8% de açúcares redutores e valores de POL acima de 14% (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Os principais indicadores da qualidade da cana-de-açúcar estão relatados no Quadro 1. Dois aspectos são fundamentais ao avaliar a qualidade da matéria-prima, o primeiro é a riqueza de açúcares presentes nos colmos, o segundo é o potencial de recuperação desses açúcares pela indústria assim como a qualidade do produto final.

A pureza da cana é determinada através da relação (POL/Brix) x 100, sendo recomendáveis valores acima de 85%, desta maneira, quanto maior a pureza da cana, melhor será a quantidade do açúcar. Porém, este não é o único indicador, o ART indica a quantidade total de açúcar presente na cana (sacarose, glicose e frutose), recomendam-se valores acima de 15% (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Outro fator importante é a porcentagem de fibra, lembrando que canas muito ricas em açúcares e com poucas fibras, estão mais sujeitas a danos físicos (acamamento e quebra com o vento) favorecendo ao ataque de pragas e micro-organismos. Entretanto, quanto mais alta a porcentagem de fibra, menor será a eficiência de extração da moenda, o ideal é uma porcentagem de fibra entre 11 a 13% (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Quadro 1 - Indicadores da qualidade da cana-de-açúcar e valores recomendados.

Indicadores	Valores Recomendados
POL	>14
Pureza (POL/Brix)	>85%
ART (sacarose, glicose, frutose)	>15% (maior possível)
AR (glicose, frutose)	<0,8%
Fibra	11 a 13%
Terra na cana (minerais)	< 5 Kg/t cana
Contaminação da cana	< $5,0 \times 10^5$ bastonetes/mL no caldo
Teor de álcool no caldo da cana	< 0,6% ou < 0,4%Brix
Acidez Sulfúrica	< 0,80
Dextrana	< 500ppm/Brix
Amido da cana	< 500ppm/Brix
Broca-de-cana	< 1,0%
Índice de Honig-Bogstra	>0,25
Palhiço na cana	< 5%
Ácido Aconítico	< 1500ppm/Brix

Fonte: Ripoli e Ripoli (2009).

O tempo entre a colheita do canavial e a extração do caldo é outro fator que interferem na qualidade da matéria-prima. Quanto menor for este tempo, menor será a incidência de atividades microbianas, considerando a temperatura ambiente, umidade do ar, quantidade de terra na cana, entre outros. Para avaliar a qualidade da cana-de-açúcar fazem-se análises, correlacionando o aumento da contaminação

microbiana, redução da pureza, aumento dos redutores, dextrana, acidez e teor alcoólico no caldo de cana (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Outra molécula presente na cana é o amido que é um polímero de glicose encontrado na maioria das plantas na forma de grânulos de amilose (polímero linear com ligações α , 1-4) e amilopectina (polímero ramificado com ligações α , 1-6) (DENARDIN; SILVA, 2009), este também influi na qualidade do açúcar, pois aumentam a viscosidade do caldo, diminuindo a filtração e cristalização (ALVES, 2012). Segundo Figueira, Carvalho e Sat, (2011) concentrações de amido acima de 400 ppm podem resultar na produção de açúcar com teores de amido acima de 150 ppm (baseado em Brix).

O amido é sintetizado nas folhas, sendo formado nos plastídios, serve como carboidrato de reserva temporário, durante o dia fica acumulado nos cloroplastos, sendo fonte para a síntese de sacarose citosólica durante a noite e transportada para órgãos de armazenamento, tais como sementes, frutas, tubérculos, raízes (DENARDIN; SILVA, 2009) e na cana-de-açúcar nos colmos, podendo ser convertido em açúcares por ação de enzimas.

A quantidade de amido presente difere em relação ao tipo de plantas, as variedades de uma espécie e, o grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; DENARDIN; SILVA, 2009). Conforme Ripoli e Ripoli (2009) valores abaixo de 500 ppm são encontrados em canas maduras com menor percentagem de fibras e palhas. Porém, para produção de etanol seria interessante utilizar enzimas, principalmente em canas com altos índices de amido, para transformar o amido em açúcares fermentescíveis.

Outro fator que afeta a qualidade da matéria-prima são as pragas e doenças da cana, que prejudicam a produtividade em colmos e afeta a qualidade da matéria-prima e consequentemente os produtos finais (açúcar e etanol) em qualidade e quantidade. O ataque da broca da cana (*Diatraea saccharalis*) está associado a um conjunto de micro-organismos que deterioram a cana, diminuem a sacarose e aumentam os redutores, são indesejáveis índices de infestação de broca da cana maior que 1,0% (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

A cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*) é outra praga que também afeta quali-quantitativamente a cana. Segundo Raveli et al. (2011) índices elevados de cigarrinha-das-raízes causam danos a matéria-prima, reduzindo o teor de sacarose, ocasionando aumento de acidez total e compostos fenólicos do caldo,

prejudicando o processo fermentativo devido a redução da viabilidade celular no início e final do processo.

Algumas moléculas como composto fenólicos, amido e ácido aconítico têm aumentado no caldo devido ao acréscimo do palhiço de cana em virtude da colheita mecanizada, prejudicando a qualidade do produto final. O ácido aconítico é principal ácido orgânico encontrado na cana, este pode ultrapassar 3.000 mg Kg^{-1} em colmos (concentração menor) e pontas de canas (concentração maior) irrigadas com vinhaça, devido a relação entre o teor de potássio no solo e maior concentração de ácido aconítico (RIPOLI; RIPOLI, 2009). A cana quando colhida em condições ideais de maturação normalmente apresenta menor concentração de fenóis e ácidos orgânicos.

A maturação da cana-de-açúcar em região Centro-Sul do Brasil ocorre naturalmente a partir de abril-maio, período em que ocorre diminuição da temperatura e precipitação, restringindo o desenvolvimento da planta. Nestas condições, a planta permanece em repouso fisiológico, restringindo seu crescimento e intensificando o acúmulo de sacarose nos colmos (LEITE, et al., 2009).

Silva, Jeronimo e Dal' Col Lúcio, (2008) trabalhando com a variedade de cana IAC86-2480 e RB72454, colhidas em maio, julho e setembro, observaram maiores valores de açúcar teórico recuperável (ATR) e maior produtividade de cana em colheita realizada em setembro, devido às condições ambientais (temperaturas baixas e ausência de precipitação), que antecederam a colheita em setembro.

O processo de maturação além das condições ambientais, também é influenciado pela cultura da cana-de-açúcar empregada. Em função da época em que apresente as melhores qualidades tecnológicas para processamento industrial, podem ser classificadas como de maturação precoce, média ou tardia, aptas para serem colhidas representativamente em início, meio ou final de safra. A RB855453 é caracterizada como material de elevada produtividade de colmos, elevado teor de sacarose e precocidade de maturação, PUI curto, ideal para colheita em maio-julho (UFSCAR, 2008).

Outro fator que interfere na maturação é a idade/ciclo da planta, em função de época de plantio/corte e sua colheita. Quanto menor a idade da cultura e ou planta mais jovem, em uma mesma condição ambiental, maior vigor a planta apresenta para crescimento vegetativo em detrimento ao acúmulo de açúcares (maturação) (MAMET; GALMEY, 1999; CARDOSO; SENTELHAS, 2013).

2.2.2 Sorgo Sacarino

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é Poaceae originária da África, conhecido mundialmente como cultura promissora de energia de biomassa (ALVINO, et al., 2012). Na Itália e regiões do sul da União Européia o sorgo desempenha papel estratégico como cultura de bioenergia (JANSSEN et al., 2010).

É uma planta de metabolismo C_4 com elevada eficiência fotossintética, podendo ser adaptado a diferentes climas (temperados e tropicais) (DALVI et al., 2012) possui habilidade para crescer em áreas marginais (VASILAKOGLU et al., 2011). Apresenta elevada produção de biomassa vegetal, açúcares fermentescíveis no caldo (EGGLESTON et al., 2013), amido nos grãos e celulose nos colmos que podem ser convertidos em açúcares, após tratamento enzimático antecedendo o processo fermentativo (MUSSATTO et al., 2010).

O sorgo sacarino caracteriza-se pelo elevado rendimento de biomassa e, grande quantidade de açúcares fermentescíveis (ALBUQUERQUE et al., 2012), apresenta elevada adaptação a diferentes ambientes, com grande potencial para converter o CO_2 atmosférico em açúcares (PIN et al., 2012).

O bagaço dessa matéria-prima pode ser utilizado para produção de energia na indústria, para a alimentação animal, adubação orgânica, fabricação de papel (WANG et al., 2012), produção de etanol de segunda geração através da conversão bioquímica (LI et al., 2010). Diferentemente da cana-de-açúcar, seu ciclo vegetativo é curto, aproximadamente de 120 a 130 dias (SOUZA et al., 2005), podendo ser cultivado sob diversas condições agro-climáticas com menor exigência de fertilizantes, água e nitrogênio (REDDY et al., 2005).

Utilizado como matéria-prima para produção de biocombustíveis, o sorgo sacarino é cultivado na Zâmbia, com variedades de alto rendimento e ótimos cenários de produção (CHAGWIZA; FRASER, 2012). Os rendimentos de produção na Itália são de 55-70 t ha⁻¹ de colmos, 6-8 t ha⁻¹ de açúcares fermentescíveis (AMADUCCI; MONTI; VENTURI, 2004) e, a produção de grãos fonte para a cadeia alimentar chega de 5 a 8 t ha⁻¹ (GRASSI, 2007), além da utilização do bagaço para gerar eletricidade e calor, a vinhaça pode gerar biogás através de digestão anaeróbia e, este pode ser convertido em eletricidade e calor (PIN et al., 2012).

O sorgo é planta de clima quente, apresenta características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca, com genótipos adaptados a diferentes climas, inclusive às temperadas (frias) com estação estival quente. A temperatura ótima varia entre 16°C e 38°C conforme a cultivar, temperaturas noturnas 5°C acima do valor reduzem em até 33% a produtividade, pois a respiração noturna aumenta 14% a cada elevação de 1 grau centígrados (LANDAU; SANS, 2013). A precipitação anual ideal se situa entre 375 e 625 mm ou sob irrigação suplementar (RIBAS, 2009). Com sistema radicular mais desenvolvido que o milho, o sorgo tolera períodos mais longos de veranico e plantios em safrinha (EMBRAPA, 2012).

Segundo Landau e Sans (2013), a produtividade de genótipos de sorgo está relacionada com vários fatores, tais como: interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica e, de translocação de produtos fotossintéticos para os grãos e, capacidade de dreno que dependem de condições do ambiente e características de cada genótipo.

No Brasil, há mais de 12.000 ha cultivados com sorgo sacarino e testes com híbrido comercial, com expectativa de produtividade entre 60 e 80 t ha⁻¹, 12% de teor de açúcar, 11 a 15% de fibra, além do aproveitamento dos grãos. Em contrapartida a cana-de-açúcar tem produtividade média de 90 t ha⁻¹, 13 a 14% de açúcares e, 12% de fibras (BARCELOS, 2012).

A produção média de híbridos de sorgo sacarino, safra 2010, no estado de São Paulo, foi de 85 t ha⁻¹ de biomassa, 30 t ha⁻¹ de bagaço, 45 t ha⁻¹ de caldo, 5 t ha⁻¹ de folhas e palhas de 4 a 5 t ha⁻¹ de grãos (KLINK, 2010). Conforme relatado pela Usina Cerradinho Catanduva, SP, safra 2011, cultivou-se 1,2 mil ha de sorgo sacarino, produzindo 1,4 milhão de litros de etanol (DIRETO DA USINA, 2012).

O sorgo sacarino apresenta ciclo rápido (três a quatro meses), sistema de cultivo mecanizável (plantio por sementes, colheita mecânica), no período de entressafra da cana, colmos com açúcares diretamente fermentáveis, produção entre 40 a 60 t ha⁻¹ (EMBRAPA, 2012).

O sorgo sacarino apresenta potencial para complementar a safra da cana-de-açúcar, podendo ser cultivado em áreas de declive, onde não se permite o cultivo de cana devido ao plantio e colheita mecanizada, como também em áreas de reforma de canaviais. Conforme Freita (2013) o processamento do sorgo pode ser realizado na mesma planta industrial utilizada com a cana-de-açúcar, com pequenas adequações.

As cultivares do sorgo sacarino apresentam período útil de industrialização (PUI) ao redor de 30 dias (SCHAFFERT; PARRELLA, 2012), assim, sua inserção no processo produtivo ocorreria entre 15/03 e 15/04. Neste período, a oferta de cana madura é pequena, portanto, inicialmente processar-se-ia 100% sorgo e à medida que a cana-de-açúcar atingisse melhor maturação, seria processada com o sorgo, aumentando sua proporção até atingir a totalidade.

O Quadro 2 apresenta algumas características agronômicas e a produção entre o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar principal matéria-prima utilizada no Brasil para produção de etanol.

Quadro 2. Características agronômicas e produtivas entre as culturas de sorgo sacarino e cana-de-açúcar para a produção de etanol.

Parâmetros	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar
Tipo de plantio	Propagação por sementes	Propagação vegetativa
Tempo de ampliação de escala	Propagação por semente menor	Propagação vegetativa – maior
Áreas marginais	Cultivo em áreas marginais	Limitada em áreas marginais
Ciclo de crescimento (meses)	3 - 4,5	9 -18
Água utilizada (L de água/Kg de biomassa seca)	300	600
Produção de etanol (mil L ha ⁻¹ /mês*)	0,75 a 0,9	0,58 a 0,62
Produção de biomassa (t ha ⁻¹)	60	80 a 85
Custo (R\$/ha)	2.700	4.000

*3 a 4 meses de ciclo vegetativo do sorgo e 12 meses de ciclo vegetativo da cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de Barcelos, 2012; Freita, 2013.

A composição química e tecnológica do caldo de sorgo sacarino (Quadro 3) apresenta semelhança ao caldo da cana-de-açúcar. Embora a concentração de sacarose seja inferior no sorgo, este apresenta valores de frutose e glicose maiores do que a cana. Portanto, tem-se uma concentração semelhante de açúcares totais entre os caldos das matérias-primas (BARCELOS, 2012).

Segundo Channappagoudar et al. (2007) os açúcares redutores em sorgo ocorrem em ampla faixa de variação conforme o genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta. Os açúcares redutores são utilizados em várias reações metabólicas e também como fonte de energia. Quando próximo ao estágio da maturação fisiológica do sorgo há pequena queda nos teores destas moléculas.

Quadro 3. Comparação química tecnológica entre as culturas de sorgo sacarino e cana-de-açúcar para a produção de etanol.

Parâmetros	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar
Sólidos Solúveis (Brix)	15 - 19	18 – 25
Pureza	60 - 75	80 – 90
Fibra (%)	12 - 20	10 – 15
Sacarose (%)	8 - 13	14 – 22
AR (%)	1 – 3	0,5 – 1
Glicose (%)	0,5 - 2	0,2 – 1
Frutose (%)	0,5 – 1,5	0 – 0,5
ART (%)	12 - 17	15 – 24
Amido (%)	até 0,5	0,001 – 0,05
Água	84	75 – 88

Fonte: Adaptado de Barcelos, 2012 e Pacheco 2012.

Em contrapartida a concentração de Brix aumenta quando o sorgo passa da fase da floração para o amadurecimento. Entretanto, colheita tardia leva à redução do Brix e o conteúdo sacarose e, aumentam os teores de amido (ZEGADALIZARAZU; MONTI, 2012). Masson 2013, comparando sorgo sacarino genótipo CVSW80007 e cana-de-açúcar variedade RB966928, relata valores de Brix superiores para o caldo de cana com 21,2% e 19,2% para o sorgo. Em contrapartida os valores de AR foram superiores para o sorgo, na ordem de 3,3% e 0,8% para cana.

As quantidades de açúcares fermentescíveis presentes no caldo de sorgo sacarino podem aumentar, através da adição de enzimas, que convertem o amido em glicose, aumentando os rendimentos da produção de etanol. A quantidade de amido no sorgo sacarino é superior a da cana-de-açúcar. Segundo Barcelos (2012), a adição de enzimas ao caldo de sorgo resultou em aumento de 40% na concentração de glicose. Quando se fermentou hidrolisado enzimático dos grãos de sorgo foi obtido valores de concentração de etanol da ordem de 87,4 g L⁻¹.

Considerando os polissacarídeos produzidos pela planta, o amido contribui para o aumento da viscosidade do caldo, reduzindo a recuperação de açúcar na fábrica (COSTA, 2013). Porém, para produção de etanol esta molécula presente no caldo pode ser transformada em açúcares fermentescíveis, aumentando o rendimento fermentativo, com maior produção de etanol.

O amido é molécula característica do sorgo, encontra-se armazenado principalmente na panícula, nos grãos. Sua concentração na planta esta relacionada com o estágio de desenvolvimento e genótipo da planta, quanto maior o nível de maturação, maior a quantidade desta molécula (GUIYING et al., 2000). A quantidade de amido no caldo podem variar de 300 a 9900 ppm, com maior variação dos

valores na faixa de 2000 ppm (NAN; BEST; CARVALHO NETO, 1994). Masson (2013) obteve valores de amido da ordem de 745,8 ppm no caldo de sorgo.

Geralmente, o caldo de sorgo sacarino se apresenta de qualidade inferior quando colhido em estágio avançado de maturação, principalmente porque há aumento de amido no caldo, e redução de caldo, pois a planta só completa seu ciclo entrando em senescência. O período ideal para a colheita do sorgo em termos quantitativos e qualitativos para a maximizar o rendimento, é no estágio pastoso (leitoso) dos grãos (ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012).

Quanto à concentração de acidez total presente no sorgo sacarino, esta varia entre 1,57 a 1,76 g L⁻¹ H₂SO₄ conforme o genótipo. Na cana-de-açúcar com Brix ao redor de 21, esses valores são inferiores apresentando 0,99 g L⁻¹ H₂SO₄ (FREITA, 2013). Masson (2013) obteve valor de 1,7 g L⁻¹ H₂SO₄ para o genótipo CVSW80007, semelhantemente ao relatado por Bisio e Bulanti (2012), que apresentam teores de 1,69 g L⁻¹ H₂SO₄ para caldo de sorgo M81.

Os compostos fenólicos, que são produtos secundários do metabolismo das plantas também estão presentes no sorgo sacarino. Os principais fenóis encontrados compreendem os derivados do ácido hidrobenzóico e ácido hidrocínâmico e os flavonóides, que englobam as antocianinas e os taninos. Estes participam do mecanismo de defesa da planta contra pragas, fitopatógenos ou qualquer injúria (QUEIROZ et al., 2012).

As concentrações de compostos fenólicos apresentadas para o sorgo podem atingir 6% (60 g L⁻¹) dependendo da variedade considerada. Deve-se destacar que os teores estão relacionados às condições ambientais em que se encontra a planta (DICKO et al., 2006). Ripoli e Ripoli (2009) recomendam valores inferiores a 500ppm para compostos fenólicos, como padrão de qualidade.

Masson (2013), estudando genótipo de sorgo sacarino CVSW80007, apresenta teor de compostos fenólicos da ordem de 1615,11 ppm, valor esse 62% superior a cana. Davila-Gomez, et al. (2011), relata valores médios de 200 mg L⁻¹ desta molécula para sorgo genótipo Rio, M81E e Della, colhidos no México no mês de junho. Estes são próximos aos relatados por Manea et al. (2010) com valores variando de 100 – 650 mg L⁻¹, para os genótipos LC99, Prut, 11100 e 11061.

Freita (2013), estudando os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 verificou elevados teores de compostos fenólicos aos 118 d.a.s. (1449,12 ug ml⁻¹), ocorrendo aos 135 d.a.s. redução destes teores e, aos 160 d.a.s., nova elevação

dos teores ($1028,14 \text{ ug ml}^{-1}$). Segundo a autora este comportamento pode estar relacionado à reação fisiológica da planta devido às condições ambientais, tais como: baixa precipitação com armazenamento de água no solo baixo (alto déficit hídrico), juntamente às temperaturas médias mais elevadas. Sob estas condições, o sorgo sacarino pode sintetizar parte dos fotossintatos para a produção dos compostos fenólicos.

As condições ambientais também interferem na concentração de açúcares e no período ideal para a colheita do sorgo sacarino. A maturação do sorgo sacarino pode ser avaliada através do Brix, sendo as medições iniciados após a antese (floração) e continuam em torno de 30, quando ocorrem os máximos valores, reduzindo a seguir. O PUI para máxima extração de açúcares, a um nível econômico, dependem do genótipo de sorgo sacarino, sendo que normalmente varia de 20 a 40 dias (ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012). Este período reduzido, se comparado com o da cana-de-açúcar, constitui um problema de gestão do sorgo sacarino para o setor agrônomo e industrial, uma vez que exige tomada de decisões rápidas e precisas.

2.3 Fermentação Alcoólica

A fermentação destinada à produção de etanol, é o processo através do qual as leveduras transformam o açúcar do mosto em etanol, CO_2 e compostos secundários (RAVANELI et al., 2006).

A fermentação ocorre no citoplasma da levedura, através de processo anaeróbio, catalisado por enzimas, com a transformação dos açúcares. Este processo tem por objetivo produzir energia, que é empregada na realização das atividades fisiológicas da levedura, crescimento e reprodução, no qual o etanol é um produto desse processo (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

As leveduras são micro-organismos que na presença de O_2 (aerobiose) respiram, sendo que a cada molécula de glicose produzem 38 moléculas de ATP e, em anaerobiose ocorre à fermentação alcoólica, na qual uma molécula de glicose origina duas de ATP (AMORIM, 2005).

A respiração e a fermentação em células de leveduras são determinadas pela disponibilidade de glicose e oxigênio. Assim, a *Saccharomyces cerevisiae*, quando em presença de glicose, sob condições aeróbias, metabolizam o açúcar através de processo metabólico do tipo respiro-fermentativo, conhecido como efeito Crabtree ou repressão catabólica, na qual o meio se encontra com a concentração de glicose acima do valor recomendado (CARVALHO; ROSSI; SILVA, 2007).

O efeito Crabtree ocorre através do efeito repressivo da glicose sobre as atividades de enzimas respiratórias, assim o piruvato não oxidado pelo ciclo de Krebs é reduzido a etanol pelo processo fermentativo. Há outro efeito conhecido como Pasteur que relaciona o oxigênio com a cinética do catabolismo do açúcar, no qual, em condições anaeróbias, a glicólise aconteça mais rápido do que em condições aeróbias. Este último ocorre quando as concentrações de glicose forem baixas ou concentrações de nutrientes limitantes (CARVALHO; ROSSI; SILVA, 2007).

Nogueira e Venturine Filho (2005) relatam que a diferença entre o efeito Pasteur e o Crabtree é no primeiro a tendência da levedura respirar em meios anaeróbios, enquanto o Crabtree, a levedura irá fermentar mesmo na presença de oxigênio. Portanto a concentração de glicose e frutose em quantidade ideal para a fermentação reprime parte da respiração da levedura. Ou seja, a respiração apenas é possível na presença de oxigênio e baixa concentração de açúcar.

Além da concentração de sólidos solúveis (Brix), há outros fatores do meio, tais como pH e temperatura, que também interferem nos produtos a serem consumidos e metabolizados pela levedura. Estima-se que do total do açúcar metabolizado pela levedura 5% sejam desviados para gerar produtos secundários, como glicerol, ácidos orgânicos (succínico, acético, pirúvico e outros), alcoóis superiores, acetaldeídos, acetoína e, a maior parte é convertida em etanol e CO₂ através da fermentação. A conversão do açúcar em biomassa, CO₂ e H₂O, ocorre através da respiração. (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Os substratos metabolizados pela levedura podem ser exógenos, como dissacarídeos (sacarose), monossacarídeos (glicose e frutose) e polissacarídeos (lignocelulose, entre outros) que são oferecidos à levedura e, podem ser endógenos, constituintes da levedura (glicogênio e trealose). Na ausência de substrato, a levedura consome a própria reserva de nutrientes (AMORIM, 2005).

2.3.1 Fatores que Afetam o Processo Fermentativo

Durante o processo fermentativo a levedura metaboliza glicose, produz energia (ATP) e libera para o meio etanol, gás carbônico e outros compostos em menor quantidade, tais como glicerol, ácidos orgânicos, álcoois, aldeídos, entre outros. Entretanto, há diversos fatores que interferem na rota metabólica realizada por este micro-organismo, favorecendo a produção em maior quantidade de compostos indesejáveis para a indústria alcooleira. Entre os fatores, podemos considerar os físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana) (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Considerando-se o efeito da temperatura sobre a levedura, admite-se que esta possui temperatura ótima entre 28 e 32°C, sendo que valores inferiores retardam o processo de fermentação e, superiores evaporam o álcool e favorecem a contaminações (AMORIM, 2005).

Quanto à pressão osmótica, concentrações de açúcares acima de 16 Brix podem aumentar os níveis de glicose no meio levando a saturação. O pH ideal deve ser menor que 6, pois quanto mais neutro for o meio mais favorável para bactérias. Além disso, as leveduras são micro-organismos acidófilos e necessitam de substrato entre 4 e 5, que é considerado a faixa ótima para ação da enzima invertase (sacarase) e, este ambiente agirá como bactericida inibindo o crescimento de algumas bactérias (MUNIZ, 2002).

Muller et al. (2007), relatam o uso de dois métodos de fermentação, em shaker e o air lift utilizado na produção de micro-organismo em grande escala sem limitação de oxigênio com força de cisalhamento baixo, o que preserva os frágeis tecidos micelianos.

A fermentação em batelada em shaker, em nível de laboratório, ocorre em frascos contendo o mosto, estes são agitados em equipamento (shaker), controlando-se a oxigenação. O air lift é um biorreator que promove a ligação entre o líquido do topo e da base do equipamento, com adição de gás, mantendo a turbulência e autocirculação, com alta transferência de oxigênio. Este tipo de processo permite a aeração para maior formação de biomassa celular durante o

processo fermentativo (MULLER et al., 2007).

Os fenóis também são considerados inibidores da fermentação, conforme Ravaneli et al. (2011) o aumento da concentração destes compostos diminuem a viabilidade e o brotamento de leveduras, com menor rendimento na produção de etanol.

Os compostos fenólicos acarretam redução do teor de sacarose da planta, pois este é utilizado para a síntese de fenóis (SILVA et al., 2005), como forma de defesa da planta contra o ataque de insetos e qualquer injúria sofrida pela planta. Estas em resposta ao ataque de insetos e patógenos desdobram os açúcares produzindo compostos fenólicos, lignina e, polissacarídeos com o objetivo de protegê-las do ataque (MUTTON, 2003).

No sorgo sacarino a concentração de compostos fenólicos esta relacionado a mecanismos de defesa da planta, que produz esses compostos para prevenir ao ataque de micro-organismos e pássaros. Segundo Dicko et al. (2006), a quantidade destas biomoléculas produzidas pela planta é resultado de condições ambientais e características genéticas. Conforme Ribeiro, Henn e Silva (2010), um destes compostos fenólicos é o tanino, que é antinutricional para os monogástricos como as aves por exemplo.

2.3.2 Fatores Essenciais para o Processo Fermentativo

O processo fermentativo necessita de nutrientes, estes influenciam na multiplicação, no crescimento da levedura e na eficiência da fermentação. Parte dos nutrientes encontra-se disponíveis no próprio caldo extraído, porém dependendo da qualidade da matéria-prima estes estão presentes em maior ou menor concentração.

Entre os nutrientes essenciais para as leveduras estão os macro nutrientes tais como o nitrogênio, fósforo e potássio e, os micronutrientes, enxofre, magnésio, ferro, zinco, cobre, zinco, etc. (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001). Quando ocorre deficiência destes nutrientes no mosto, é realizada a complementação. A concentração dos principais nutrientes para uma fermentação alcoólica de qualidade encontra-se no Quadro 4.

Quadro 4. Concentração de nutrientes presentes no mosto para fermentação alcoólica adequada.

Nutrientes	Concentração mg L ⁻¹	Nutrientes	Concentração mg L ⁻¹
NH ₄ ⁺	50-150	Co ⁺⁺	3,5
P	62-560	Zn ⁺⁺	0,5-10
K ⁺	700-800	Cu ⁺⁺	7
Ca ⁺⁺	120	Mn ⁺⁺	10-80
Mg ⁺⁺	70-200	Fe ⁺⁺	0,2
SO ₄	7-280		
Na ⁺	200		

Fonte: Lima, Basso e Amorim (2001)

Uma grande variedade de substratos pode ser utilizada pela levedura. Estes devem apresentar valores de pH entre 3,5 a 6,0 e temperaturas de 28 a 35 °C que são considerados ideal para o seu crescimento e desenvolvimento. Quando em temperaturas elevadas (40 °C), as leveduras apresentam taxa inicial da produção de etanol maior, porém ao decorrer do processo fermentativo, esta é reduzida devido à inibição causada pelo próprio etanol à levedura (KOSARIC, 2001).

Outro fator essencial para desenvolvimento da levedura e boa fermentação do mosto é a concentração adequada de açúcares do meio. Esta não deve ser elevada, pois, substratos com teores elevados de açúcares, mesmo com disponibilidade de oxigênio, reprimem a respiração das leveduras que tendem a fermentar pela inibição da síntese de enzimas respiratórias e inatividade das mitocôndrias, o chamado Efeito Crabtree (STUPIELLO & HORII (1981).

Portanto o mosto deve ser preparado com a concentração de açúcar conforme a composição da matéria-prima, o tipo de levedura a utilizar e com o processo de condução da fermentação (STUPIELLO & HORII, 1981). Ressaltando que elevadas concentrações de açúcares favorecem a teores alcoólicos maiores, estes comprometem a viabilidade de células vivas, ocasionando em fermentações incompletas, com maior formação de ácidos e glicerol.

Todos estes parâmetros anteriormente expostos juntamente com o preparo da matéria-prima, desde a colheita, preparo do mosto até o processo fermentativo devem ser bem trabalhados para que se tenham excelente viabilidade celular da levedura, com rendimentos alcoólicos elevados, com ausência de contaminantes durante o processo fermentativo.

Segundo Amorim (2005), a ausência de contaminantes durante o processo fermentativo, se deve ao tratamento ácido (pH 4,5) do clarificado, embora este se

mostre estressante para a levedura, esse parâmetro reduz a multiplicação das bactérias contaminantes. Além dos demais parâmetros operacionais, como, temperatura, acidez total, concentração de açúcares e disponibilidade de nutrientes podem afetar o desempenho das leveduras.

2.3.3 Biologia do Micro-organismo Fermentador

As leveduras são organismos eucariotos esféricas, elípticas ou cilíndricas, variando em suas dimensões. O tipo de reprodução mais comum é a gemação ou brotamento, mas também podem se reproduzir por esporulação ou fissão (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

A *Saccharomyces cerevisiae* são aeróbios facultativos, pois tem a capacidade de realizar suas funções metabólicas em condições aeróbicas quanto em anaerobiose (SANTOS; GUSMÃO; GOUVEIA, 2010). O produto final vai depender da concentração de açúcares disponível no meio (mosto). Em meios com concentrações menores que 6 Brix, esta vai transformar o pouco de açúcar disponível para seu próprio uso e, assim transformá-lo em biomassa, CO₂ e H₂O (aerobiose). Quando no meio houver maior concentração de açúcar, 16 Brix, a levedura vai transformar açúcar em etanol e CO₂ (fermentação).

As estirpes PE-2 e CAT-1 representam 70% das linhagens de levedura do mercado brasileiro para produção de etanol. A levedura PE-2 foi introduzida pela primeira vez em 1995/1996 em 24 destilarias, mostrando elevada capacidade e permanência no processo fermentativo. Desde então, passou a ser utilizada como estirpe de referência industrial, comparada com o fermento biológico utilizado na indústria de alimentos (DELLA-BIANCA, et al., 2013).

2.3.4 Metabólitos da Levedura

2.3.4.1 Glicerol

O glicerol é produto secundário da fermentação, produzido pela levedura na mesma via de síntese do etanol, como um desvio, competindo pela utilização do

poder redutor o NADH (Nicotinamida Adenina Dinocleotídeo), sendo a sua produção proporcionalmente inversa a produção de etanol (AMORIM, 2005).

Um fator relacionado à maior produção de glicerol é alta concentração de açúcar, realizado em apenas uma alimentação, no qual a levedura não consegue metabolizar todo açúcar, gerando estresse osmótico. Assim, como consequência ocorre aumento na produção de glicerol e, redução do rendimento fermentativo (INGLEDEW, 1999). Este autor relatou que a formação de glicerol é comum até concentrações de 10 g L^{-1} (1%) no processo para produção de etanol.

Considerando-se a fermentação de mosto de sorgo sacarino, Meireles (2013), apresentou resultados estatisticamente semelhantes para teores de glicerol de três genótipos, CV568, BRS511, e BRS509, com teores médios de 0,72, 0,73 e 0,79 mg kg^{-1} , em fermentação utilizando-se a levedura PE-2 em colmo limpo e integral com diferença significativa de 0,7 e 0,79 mg kg^{-1} . Barcelos (2012) obteve produção de 0,73% de glicerol a partir de fermentação de grãos de sorgo sacarino com a utilização de enzimas.

2.3.4.2 Ácidos Totais

A determinação da quantidade de ácidos totais presentes no caldo extraído, mosto e vinho, fornecem informações sobre a qualidade do mesmo, podendo indicar a presença de micro-organismos responsáveis pelos processos de deterioração. Recomenda-se que a cana a ser processada, deve apresentar uma Acidez Total menor ou igual a $0,80 \text{ g L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Para o fermentado (vinho) há um acréscimo na acidez titulável, porem não deve haver grande diferença entre a final e inicial, a acidez final não deve ser maior que o dobro da inicial (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

O principal ácido orgânico formado durante a fermentação pela levedura é o succínico, considerado antibiótico natural no processo fermentativo. Este é produzido a partir do piruvato e atividade residual de enzimas. Sua produção esta relacionada à produção de glicerol, quando um aumenta o outro também e, a velocidade de sua formação pode ser maior que o etanol, sendo que, 60% da produção ocorrem na primeira hora da fermentação (AMORIM, 2005).

Quando há infecção acética, ácido acético, geralmente aparece a mosca do vinagre (*Drosófilas*) em proporção a contaminação (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001). Segundo Amorim (2005), a mosca *Drosophila melanogaster*, é hospedeira de bactérias do ácido acético.

A presença de ácido láctico na fermentação ocorre devido a contaminação pela bactéria *Lactobacillus fermentum*, ocasionando menor rendimento do processo, pois parte do açúcar é desviado para a produção do ácido, além de provocar a floculação da levedura (AMORIM, 2005).

Quanto maior a concentração de ácidos totais presentes no caldo extraído, maior será a necessidade de aplicação de cal para alcançar o pH 7, utilizado na produção do açúcar. Sendo que os ácidos não removidos pelo processo de clarificação adentram no processo industrial em todas as fases de produção, aumentando as incrustações nas tubulações (MADALENO, 2010).

2.3.4.3 Etanol e CO_2

A produção de etanol que ocorre no interior da célula da levedura, envolvendo uma sequência de reações com ação catalítica de 15 enzimas. Este processo transformativo é denominado glicólise anaeróbia (do grego *glykys* = doce, e *lysis* = quebra), no qual cada molécula de glicose é decomposta pelas enzimas, estas liberam duas moléculas de piruvato, que são convertidas em etanol e gás carbônico (Figuras 1A e 1B). Parte da energia produzida é utilizada pela levedura para a produção de compostos como o ATP e o NADH, para suprir suas necessidades fisiológicas (RESENDE; CASTRO; PINHEIRO, 2010).

A molécula de sacarose precisa ser hidrolisada em glicose e frutose no meio externo, por enzimas (invertases) secretadas pela própria levedura. Para atravessar a membrana da levedura, esta apresenta mecanismos de transporte de açúcares para dentro da célula (Figura 1A). Por vez, essas também não atravessam a membrana celular com facilidade e, requerem a ação de proteínas transportadoras de hexoses (HXT), as permeases, através de processo de transporte sem gasto de energia, chamado difusão facilitada (ZASTROW; STAMBUK, 2000; RESENDE; CASTRO; PINHEIRO, 2010).

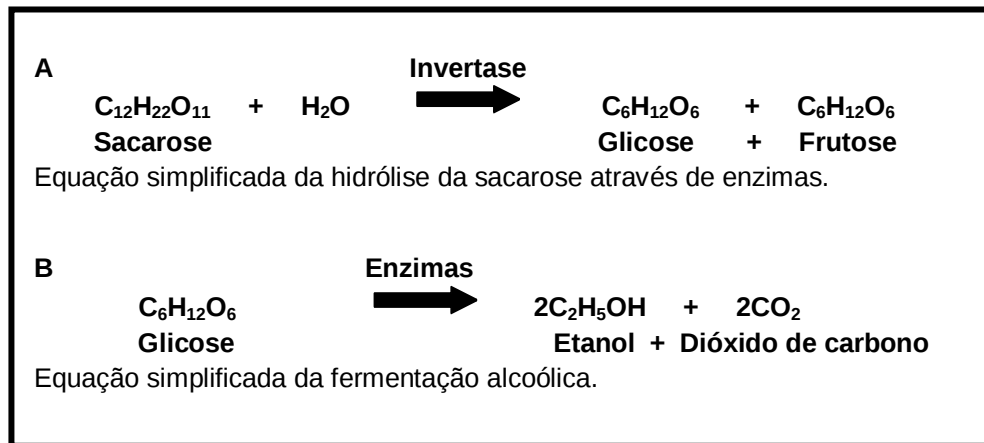


Figura 1. Equação simplificada da produção de etanol.

O etanol e o dióxido de carbono são liberados da célula por difusão simples, estes por serem moléculas pequenas e interagirem com a membrana lipídica, atravessam-na livremente (ZASTROW; STAMBUK, 2000).

O processo consiste na oxidação anaeróbica parcial da glicose, através da via glicolítica, na qual a glicose é convertida em duas moléculas de piruvato por meio de reações catalisadas por enzimas. As moléculas de piruvato são descarboxiladas através da enzima piruvato descarboxilase, formando duas moléculas de acetaldeído e duas moléculas de gás carbônico, na sequência as moléculas de acetaldeído são reduzidas a duas moléculas de etanol (CARDOSO, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições Experimentais

A instalação do experimento foi na área experimental do departamento de Produção Vegetal da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, na safra 2011/2012.

O plantio do genótipo CVSW80007 de sorgo sacarino (SS) foi realizado manualmente em 14/12/2011, com espaçamento combinado de 90 x 70 cm entre as linhas, em área total de 1000 m². O desbaste foi realizado após 15 dias, mantendo-se 10 plantas m⁻¹, resultando num estande final de 100.000 plantas ha⁻¹. A adubação de plantio foi feita com N+P₂O₅+K₂O respectivamente 20+100+100 kg ha⁻¹ e, na adubação de cobertura após 30 dias da semeadura aplicou-se 40+10+40 kg ha⁻¹ de N+P₂O₅+K₂O.

As capinas das plantas daninhas foram manuais e a irrigação foi realizada por aspersão quando houve baixa precipitação. O controle das pragas de solos foi realizado com aplicação, no sulco de plantio, de Tiametoxan+Lambda-Cialotrina na dosagem de 20+15 g ha⁻¹. O controle da lagarta de cartucho foi realizado aos 30 e 45 dias após a semeadura, através da pulverização da parte aérea com Tiametoxan+Lambda-Cialotrina na dosagem 20 + 15 g ha⁻¹. A colheita foi realizada no dia 17/04/2012, através do corte dos colmos e eliminação das lâminas folhares e das panículas.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB855453, no estágio de desenvolvimento de: a) primeiro corte (12 meses de idade - 1C) plantio de ano e meio; b) segundo corte (09 meses de idade - 2C) e, c) quarto corte (09 meses de idade - 4C), cultivada em propriedades agrícolas localizada no município de Jaboticabal-SP. A colheita foi realizada em 17/04/2012 através de corte manual, eliminando-se as folhas verdes e secas e, despontando-se na altura do “ponto de quebra”.

As canas de 2C e 4C foram colhidas com 9 meses de idade, ainda imaturas, devido a pouca oferta de cana-de-açúcar madura disponível na colheita de início de outono (no Hemisfério Sul o outono ocorre de 20/03 a 20/06). Quando colhida imatura, a cana não apresenta a mesma concentração de Brix e ART da cana madura, pois esta ainda se encontra em processo de maturação, com elevado índice

de AR e ácidos que podem afetar o processo fermentativo ocasionando baixa eficiência fermentativa.

3.2 Sorgo Sacarino e Cana-de-açúcar

O genótipo de sorgo sacarino utilizado no experimento foi o CVSW80007, reconhecido por ser híbrido de alta produtividade de biomassa, com ampla adaptabilidade de ambientes de produção, alto teor de açúcares e resistente as principais doenças. Proporciona excelente relação custo/benefício (CANAVIALIS, 2014).

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB855453, com as seguintes características morfológicas: colmos eretos, de raro tombamento, medianamente empalhados, de diâmetro médio a grosso, com cor verde amarelado, levemente arroxeados. Esta é a variedade precoce mais plantada e cultivada no Centro-Sul, apresenta freqüente florescimento, médio chochamento, curto período útil de industrialização, alta exigência em ambientes e, alto teor de sacarose. Possui resistência as doenças, carvão, escaldadura, ferrugem, mosaico e falsa estria vermelha (RIDESA, 2014).

3.3 Obtenção do Caldo e Preparo do Mosto

Os colmos de sorgo sacarino foram colhidos no dia 17/04/2012 aos 125 dias após semeadura, sendo retiradas as folhas e panículas. Os colmos de cana-de-açúcar foram colhidos na mesma data, juntamente com os colmos de sorgo, estes foram encaminhados ao laboratório para a extração do caldo.

Os tratamentos foram constituídos conforme o Quadro 5 sem repetição na fase de extração do caldo e preparo do mosto, realizada a partir da massa dos colmos de sorgo sacarino T₁, seguido das canas T₈, T₉, T₁₀ e, a partir destes calculou a proporção sorgo e cana das misturas, foram no total 10 tratamentos.

Primeiramente realizou-se a pesagem de cinco colmos de sorgo sacarino (sem palha e panícula) e das canas-de-açúcar 1C, 2C e 4C (despontados e sem palha), com massa de 4,4, 9,1; 8 e 4,1kg respectivamente. O caldo extraído do sorgo

e das canas-de-açúcar apresentou massa de 1,3, 4,4; 4,2 e 2kg. O bagaço das matérias-primas apresentou massa de 2,5, 3,7, 2,8 e 1,8kg respectivamente.

Para a obtenção das proporções das misturas de cana com sorgo sacarino, calculou-se a quantidade de colmos em massa nas diferentes proporções estabelecidas que fosse o suficiente para obter 1,5kg de caldo que foi o necessário para o experimento.

Quadro 5. Descrição dos tratamentos realizados. Jaboticabal–SP. Safra 2011/2012.

Tratamento	Descrição
T ₁	Sorgo Sacarino (SS)
T ₂	70% (SS) + 30% cana (1C)
T ₃	70% (SS) + 30% cana (2C)
T ₄	70% (SS) + 30% cana (4C)
T ₅	40% (SS) + 60% cana (1C)
T ₆	40% (SS) + 60% cana (2C)
T ₇	40% (SS) + 60% cana (4C)
T ₈	T ₈ cana (1C)
T ₉	T ₉ cana (2C)
T ₁₀	T ₁₀ cana (4C)

A extração do caldo foi realizada em moenda com eficiência de extração de 50 a 60 %, no Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Álcool. Após a extração do caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar realizou-se a retirada dos bagacilhos por filtração. A seguir, os caldos das duas matérias-primas (sorgo e cana), isoladamente ou em misturas, foram submetidos aos processos de clarificação e decantação para remoção das impurezas. Primeiramente ajustou-se o pH do caldo para 6 com Ca(OH)₂ (6 °Bé). A seguir procedeu-se o aquecimento até ebulição, transferindo-se para sistema de decantação em provetas de 1 L, adicionando-se polímero (Mafloc) na concentração de 2mg L⁻¹, permanecendo por 20 minutos no decantador aquecido. Após, filtrou-se o caldo em papel de filtro de 14 µm, para separação de impurezas sedimentadas, resultando no caldo clarificado. Na sequência, o Brix foi ajustado para 16 (nos tratamentos que apresentaram valores superiores), o pH foi ajustado para 4,5 ± 0,3 com H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ e temperatura para 32°C, resultando no mosto.

3.4 Avaliação das Características Tecnológicas do Caldo e Mosto

A partir do caldo extraído e, posteriormente, no mosto (exceção AR) realizaram-se as análises químico-tecnológicas:

- a) Brix (Sólidos Solúveis) por refratometria, segundo Scheneider (1979);
- b) pH em peagmetro digital com correção de temperatura (20 °C);
- c) Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Redutores Totais (ART) dosados pelo método volumétrico de Lane e Eynon (1934);
- d) Acidez Total e Amido por Método CTC, (2005);
- e) Compostos Fenólicos Totais, segundo Folin e Ciocalteu (1927).

3.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, utilizando-se os mostos das matérias-primas, cana-de-açúcar e sorgo sacarino, assim como a mistura destas, em 3 repetições na fase de fermentação do mosto, um total de 30 fermentações.

3.6 Levedura

Foi utilizada a estirpe de levedura PE-2, que se apresenta como excelente fermentadora, mostrando-se persistente nos processos fermentativos realizados no Estado de São Paulo. Apresenta como características, alta resistência a mudança de pH e longas paradas na fermentação e ao processo de reciclo. Além de baixa formação de espuma, alta capacidade de implantação e predominância com elevado rendimento fermentativo (LNF, 2013).

3.7 Processo Fermentativo e Avaliações Microbiológicas das Leveduras

Preparado o mosto, realizou-se a inoculação de 125 mL com 10 mL da levedura Pedra 2 (PE-2) em concentração de 30 g L^{-1} , com viabilidade celular do pé-de-cuba e de brotos da ordem de 84% e 86%, respectivamente, sendo os frascos mantidos em estufa B.O.D. durante toda a fermentação. Após 30 minutos, realizou-se nova alimentação com 125 mL de mosto (início para avaliação microbiológica), todo o processo foi mantido a $32^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. O processo fermentativo foi realizado em 3 repetições.

A fermentação foi conduzida através do processo batelada, com recuperação do fermento por centrifugação. O processo fermentativo foi monitorado aferindo-se a redução do Brix, com auxílio de densímetro, a cada 4 horas, sendo considerada encerrada quando o substrato apresentava valores menores ou iguais a 1 °Brix ou estabilizava-se por um período de 30 minutos.

Os parâmetros microbiológicos avaliados da levedura em fermentação foram: viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos, determinadas no início e final do processo, realizada através de Câmara de Neubauer (LEE; ROBINSON; WONG, 1981), que foram calculados através das seguintes fórmulas:

- a) Viabilidade Celular % = $\frac{\text{células vivas} \times 100}{\text{células vivas} + \text{mortas}}$
- b) Índice de Brotamentos % = $\frac{\text{brotos vivos} \times 100}{\text{células vivas} + \text{mortas}}$
- c) Viabilidade de Brotos % = $\frac{\text{brotos vivos} \times 100}{\text{brotos vivos} + \text{mortos}}$

O vinho deleiturado foi obtido a partir da separação da levedura, por centrifugação a 1650g, 25°C , durante 5 minutos em centrífuga HIMAC CR 21G. A seguir quantificou-se a acidez total, o glicerol (COPERSUCAR, 2001), os açúcares redutores residuais totais (ARRT) (LANE; EYNON, 1934), o teor alcoólico com auxílio de ebulliômetro e o pH (leitura direta em medidor digital com correção de temperatura para 20°C).

3.8 Eficiência Fermentativa

O Rendimento teórico foi calculado considerando-se que 1g de ART produz 0,6475 mL de etanol (reação estequiométrica). O rendimento prático (L ha^{-1}),

considerando-se o teor alcoólico do vinho e, eficiência fermentativa (%) segundo Fernandes, (2000).

3.9 Análise Estatística

Os resultados obtidos para caldos extraídos e mostos não foram submetidos a análise estatística em virtude de constituírem-se na matéria-prima empregada para o processamento e, portanto, sem de repetições. Os resultados obtidos para as análises microbiológicas e do vinho foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de Tukey 5% através do programa ASSISTAT versão 7.6 beta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade Tecnológica do Caldo

A caracterização dos caldos extraídos para os tratamentos efetuados estão apresentados nas Figuras 2A, B e C. Verificou-se que maiores valores de Brix e ART foram obtidos para o caldo de cana de 1º corte (1C) seguido pelo sorgo sacarino (SS), cana de 2º corte (2C) e 4º corte (4C). Estes resultados indicam que na época das avaliações, 17/04/12, a variedade RB855453 de 1C (Figura 2A) apresentava características tecnológicas mais adequadas para industrialização enquanto as canas de 2C e 4C estavam mais imaturas, considerando-se as recomendações de Ripoli e Ripoli (2009) e Santos et al. (2012).

Quanto ao parâmetro AR e a cana-de-açúcar como matéria-prima, tem-se que apenas a cana 2C apresentou-se apta ao processamento industrial, ou seja, com valor igual ou inferior a 0,8%, considerado ideal para o processamento (AMORIM, 2005). A cana de 1C, embora apresentasse elevada qualidade tecnológica do caldo (Brix e ART), observou-se que no momento do corte estava imatura considerando AR. Neste contexto, poderia permanecer por mais tempo no campo, pois ainda apresentaria elevada concentração de Brix e ART.

Para o sorgo sacarino, observou-se que este estava apto a ser colhido com teores de ART superiores a 12,5%, valor este considerado como mínimo para que o sorgo sacarino seja processado (SCHAFFERT; PARRELLA, 2012). Os valores obtidos para Brix e ART do caldo extraído foram superiores aos considerados por Ribeiro Filho et al. (2008) e Brix superior ao obtido por Kumar et al. (2011).

Da análise dos valores obtidos verifica-se que o sorgo sacarino apresentou teores de açúcares redutores (AR) maiores que os quantificados para as canas C1, C2 e C4, com teores de 1,2; 1,08; 0,47 e 1,14% respectivamente. Teixeira et al. (1999), relataram valores entre 2,62 e 11,24 % de AR em sorgo sacarino BR 505.

Os resultados evidenciaram que o caldo de sorgo além de apresentar similaridade tecnológica com o caldo da cana-de-açúcar, apresentou características tecnológicas melhores do que as canas 2C e 4C (Figuras 2B e 2C) em relação ao parâmetro Brix e ART. Quando se adicionou à cana de 1C ao sorgo sacarino (SS)

(Figura 2A), verificou-se uma tendência de redução da qualidade tecnológica dos caldos obtidos, especialmente para o Brix e ART, com incrementos de AR.

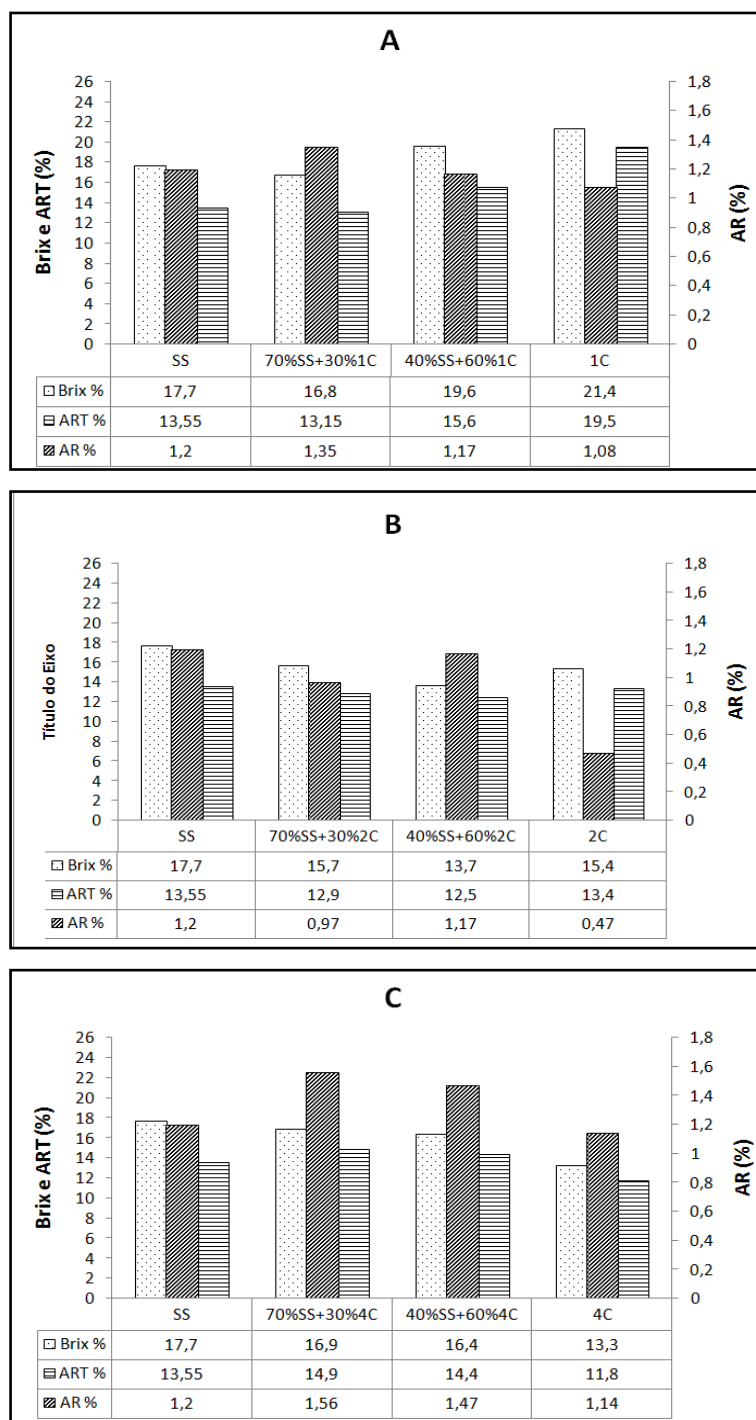


Figura 2. Representação gráfica para sólidos solúveis (Brix), açúcares redutores totais (ART) e açúcares redutores (AR) para os tratamentos avaliados. Jaboticabal-SP. Safra 2012/2013.

A mistura do sorgo com a cana de 2C (Figura 2B), não apresentou diferenças para Brix e ART, porém quando o sorgo foi adicionado à cana de 4C, observou-se melhoria da qualidade tecnológica dos caldos (Figura 2C). Estes resultados

permitem inferir que com a safra ocorrendo no início do outono, uma eventual mistura das matérias-primas pode trazer incrementos para a unidade agroindustrial, permitindo flexibilizar a colheita com cana-de-açúcar ou sorgo sacarino.

Os resultados das análises químico-tecnológicas estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que o pH apresentado pelo sorgo sacarino foi superior ao relatado por Masson, (2013) de 4,8. Ribeiro Filho et al. (2008) caracterizando o caldo de sorgo relatou valores de pH superiores aos obtidos nesta pesquisa, sendo 5,31 para colmo limpo. Nos caldos das canas RB855453, o pH variou entre 5,42 a 5,14, respectivamente nas canas 1C a 4C. Freitas, (2013) também relatou valores de pH para caldo de cana variedade RB966928, superiores aos obtidos para sorgo sacarino.

Nas misturas entre as matérias-primas o pH se apresentou na faixa de 5,04 a 5,19, sendo os maiores valores para misturas com maior quantidade de cana, provavelmente pelo fato desta matéria-prima já apresentar maior valor de pH. Entretanto estes estão dentro dos teores indicados ao processamento industrial (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Conforme Amorim, (2005), pH entre 4,5 a 6,5 favorecem o crescimento e desenvolvimento das leveduras.

A acidez total presente no caldo é um dos indicativos do estágio de maturação da cana-de-açúcar, sendo que valores menores que $0,8 \text{ g L}^{-1}$ de H_2SO_4 representam teores ideais para a cana ser processada (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Desse modo, apenas a cana 1C estaria apta para ser colhida, com acidez total de $0,74 \text{ g L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ (Tabela 1). Considerando os resultados obtidos para o sorgo, verificou-se que a acidez total foi maior que na cana 1C e, foi menor do que as relatadas por Freitas (2013), Masson (2013), e Bisio e Bulanti (2012), que observaram valores de 1,5, 1,7 e $1,69 \text{ g L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ respectivamente. Avaliando-se as misturas entre as matérias-primas, observou-se que os tratamentos com maior quantidade de sorgo sacarino resultou em aumento dos teores de acidez total, fato esperado devido aos maiores valores apresentado nesta matéria-prima.

Considerando a concentração de compostos fenólicos totais nos caldos extraídos destas matérias-primas (Tabela 1), observou-se que o sorgo apresentou teores mais elevados, da ordem de 517 mg L^{-1} . Tais valores foram superiores aos determinados por Davila-Gomez et al. (2011), que trabalhando com sorgo no México, determinaram teores máximos de 200 mg L^{-1} . Contudo, Dicko et al. (2006) relataram que algumas variedades de sorgo podem apresentar até 6% (60 g L^{-1})

destas biomoléculas em sua constituição. A cana-de-açúcar 1C e 2C apresentaram valores de compostos fenólicos totais cerca de 30% inferiores aos do sorgo. A cana 4C, que estava mais imatura que as demais apresentou teores apenas 10% inferiores aos do sorgo.

Tabela 1. Valores médios obtidos para as análises de pH, acidez total, compostos fenólicos e amido do caldo extraído para os tratamentos avaliados. Safra 2012/2013. Jaboticabal-SP.

Tratamento	Caldo Extraído			
	pH	Acidez Total (g L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Comp. Fenól. (mg L ⁻¹)	Amido (mg L ⁻¹)
T ₁ SS	4,94	1,19	517	2183,89
T ₂ 70% SS+30% cana 1C	5,04	0,98	350	1604,66
T ₃ 70% SS+30% cana 2C	5,05	1,25	469	1225,91
T ₄ 70% SS+30% cana 4C	5,05	1,29	478	917,50
T ₅ 40% SS+60% cana 1C	5,19	0,98	345	1280,84
T ₆ 40% SS+60% cana 2C	5,12	1,23	304	783,54
T ₇ 40% SS+60% cana 4C	5,08	1,25	448	373,94
T ₈ 100% cana 1C	5,42	0,74	349	286,24
T ₉ 100% cana 2C	5,38	0,98	346	629,34
T ₁₀ 100% cana 4C	5,14	1,25	475	248,65

A mistura do sorgo à cana, principalmente de 1C e 2C resultou na redução dos teores de fenóis do caldo em aproximadamente 29% (Tabela 1). Estas biomoléculas são prejudiciais à fermentação, porque conforme Davila-Gomez et al. (2011) formam complexos com as proteínas, proteases e glicosidases, necessárias para a hidrólise da sacarose. Segundo Ravanelli et al. (2011), valores de fenóis entre 400 e 500 mg L⁻¹ provocam a redução da quantidade de células vivas e de brotos (células filhas). Neste contexto verifica-se que a mistura de 40% SS + 60% cana 1C e 2C possibilitou a redução dos valores dos compostos fenólicos, observando-se que a cana 1C e 2C continha menor concentração destas moléculas.

A concentração de amido foi maior no caldo de sorgo sacarino da ordem de 2183,9 mg L⁻¹. À medida que aumentou a porcentagem de cana-de-açúcar nas misturas entre as matérias-primas, o teor desta molécula diminuiu consideravelmente. Observou-se que os tratamentos constituídos somente por

cana continham menor concentração desta molécula da ordem de 286,24, 629,34 e 248,65 mg L⁻¹, 1C, 2C e 4C respectivamente. Freitas (2013) estudando três genótipos de sorgo sacarino obteve valores de amido, variando entre 346,75 a 496,86 mg L⁻¹. Masson (2013) comparando sorgo sacarino e cana-de-açúcar, relata valores da ordem de 745,81 ppm e 123,83 ppm respectivamente.

Esta maior concentração de amido no caldo de sorgo sacarino já era esperado, pois segundo Guiying et al. (2000), o amido é uma molécula característica do sorgo. A concentração desta na planta esta relacionada com o estágio de desenvolvimento e genótipo, quanto maior o nível de maturação, maior sua concentração na planta. Nan, Best e Carvalho Neto, (1994), relatam que a concentração de amido no caldo podem variar de 300 a 9900 ppm, com maior variação na faixa de 2000 ppm.

4.2 Caracterização do Mosto

Analisando-se a quantidade de ART dos mostos obtidos do processamento das diferentes matérias-primas, observou-se que a cana de 1C apresentou os maiores teores (14,8%) seguida do sorgo sacarino (13,1%) (Tabela 2). Quando se realizou processamento adicionando-se sorgo concomitante a cana de 1C e 2C, houve decréscimo da quantidade de ART. Entretanto, a adição de SS com a cana de 4C resultou em acréscimo destas moléculas, uma vez que a concentração de ART do sorgo foi maior que a cana 4C, sendo assim o sorgo propiciou melhor qualidade para as misturas com a cana 4C.

Deve-se ressaltar que apenas os tratamentos SS e cana 1C, assim como as misturas realizadas entre estes (T₂ e T₅), tiveram o Brix próximo a 16%, pois os demais tratamentos apresentavam valores inferiores a este índice, devido às condições da matéria-prima.

Considerando os teores de ácidos totais, verificaram-se valores mais elevados para os mostos de sorgo em relação aos de canas 1C, 2C e 4C, fato já esperado, devido ao sorgo sacarino ter apresentado mais ácidos no caldo extraído em relação às canas-de-açúcar. Desta maneira quando se misturou estas matérias-primas, observou-se aumento da acidez proporcional a quantidade de sorgo adicionado, semelhantemente ao relatado por Freitas (2013) e Masson (2013).

Tabela 2. Valores médios obtidos para as análises de pH, Brix, ART, acidez total, compostos fenólicos e amido do mosto para os tratamentos avaliados. Safra 2012/2013. Jaboticabal-SP.

Tratamento	Mosto					
	pH	Brix	ART (%)	Acidez Total (g L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Comp. Fenól. (mg L ⁻¹)	Amido (mg L ⁻¹)
T ₁ SS	4,51	16,4	13,1	2,04	333	1925,63
T ₂ 70% SS+30% cana 1C	4,55	16,0	11,9	1,35	202	662,10
T ₃ 70% SS+30% cana 2C	4,52	15,7	11,6	1,88	231	750,77
T ₄ 70% SS+30% cana 4C	4,48	15,5	12,0	1,90	241	480,91
T ₅ 40% SS+60% cana 1C	4,56	16,0	13,0	1,35	214	689,09
T ₆ 40% SS+60% cana 2C	4,52	14,5	11,6	1,84	180	265,03
T ₇ 40% SS+60% cana 4C	4,54	15,4	13,0	1,59	150	323,50
T ₈ 100% cana 1C	4,52	16,0	14,8	0,80	201	254,43
T ₉ 100% cana 2C	4,52	14,3	12,6	1,29	230	267,93
T ₁₀ 100% cana 4C	4,50	12,1	11,1	1,29	210	244,80

A quantidade de compostos fenólicos foram superiores no mosto de sorgo sacarino, ressaltando que o caldo de sorgo já continha maiores teores desta molécula em comparação a cana 1C a 4C. Conforme recomendação de Amorim, (2005), todos os mostos estavam dentro dos padrões, que considera teores inferiores a 500ppm destas biomoléculas. Verificou-se que o processo de clarificação removeu 45% dos fenóis presente no caldo em comparação ao mosto.

Quanto a concentração de amido no mosto (Tabela 2), observa-se decréscimo desta molécula em todos os tratamentos. Masson (2013) também apresenta decréscimo desta molécula no mosto, da ordem de 690,4 ppm para o sorgo e 66,99 para a cana-de-açúcar. A utilização de enzimas hidrolíticas no processo de clarificação é recomendável, uma vez que esta hidrolisa o amido em dextrinas e polímeros menores promovendo a liquefação e, proporcionando maior aproveitamento do amido no processo. Neste trabalho não foram utilizadas enzimas.

Barcelos (2012) trabalhando com sorgo relata teores de açúcares redutores da ordem de 74,3 g L⁻¹ ao final do processo de liquefação (60 minutos), após 30 minutos de hidrólise com glucoamilase (sacarificação), a concentração de açúcares redutores atingiu 250 g L⁻¹ ao final do processo de hidrólise.

4.3 Processo Fermentativo

Durante o processo fermentativo, acompanhou-se o desenvolvimento da levedura nos diferentes mostos, determinando-se a viabilidade celular, brotamento e viabilidade de brotos no início e final da fermentação (Tabela 3). De modo geral, observou-se que a fermentação do sorgo resultou em maior viabilidade de células no início do processo. Quando se realizou a mistura entre estas matérias-primas, verificou-se o incremento da quantidade de células vivas em comparação com os tratamentos em que se utilizou somente cana. As canas estavam imaturas, apresentaram alto teor de ácidos e AR.

Tabela 3. Resultados da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5% de probabilidade) para viabilidade celular, brotamento e viabilidade de brotos da levedura PE-2 no início e final do processo fermentativo de cana-de-açúcar, sorgo sacarino e as misturas entre elas. Jaboticabal-SP. Safra 2012/2013.

Tratamento	Viabilidade de Células (%)		Brotamento (%)		Viabilidade de Brotos (%)	
	Início	Final	Início	Final	Início	Final
T ₁ SS	88,89A	81,4B	4,5CD	6,2BC	85AB	75B
T ₂ 70% SS + 30% cana 1C	78,2ABC	94,9A	8,3ABC	3,8C	100A	100A
T ₃ 70% SS + 30% cana 2C	73,4BC	91,7AB	10,1AB	7,1ABC	88,8AB	100A
T ₄ 70% SS + 30% cana 4C	86,7A	93,4AB	7,3ABCD	4,4BC	100A	100A
T ₅ 40% SS + 60% cana 1C	82,9AB	83,1AB	4,5CD	6,1BC	77,7AB	100A
T ₆ 40% SS + 60% cana 2C	86,2A	85,6AB	11,1A	6,6BC	92,1AB	100A
T ₇ 40% SS + 60% cana 4C	83,9AB	89,3AB	6,3BCD	10,8A	89,6AB	100A
T ₈ 100% cana 1C	67,9C	90,1AB	6,4BCD	4,6BC	66,6B	80,9B
T ₉ 100% cana 2C	66,9C	82,7B	3,3D	7,8ABC	65,0B	90AB
T ₁₀ 100% cana 4C	67,0C	91,4AB	5,6CD	8,3AB	64,3B	100A
Teste F	13,7**	3,9 **	7,7**	6,8**	5,9**	9,4**
DMS	11,7	12,0	4,5	4,0	28,24	15,3
CV	5,21	4,71	22,98	20,96	11,77	5,60

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$). Letras iguais comparam valores na coluna.

Ao final do processo fermentativo, observou-se decréscimo deste parâmetro apenas para o tratamento T₁ (SS), sendo que os demais houve acréscimo ou manutenção da quantidade de células vivas. Freita (2013) também relatou redução de células vivas ao final do processo fermentativo, principalmente para o genótipo de sorgo CVSW80007, com a levedura PE-2. Porém, os resultados deste trabalho não

corroboram com Masson (2013), que observou redução da viabilidade celular na fermentação do mosto de cana RB966928 do início ao final do processo e, para o mosto de sorgo CVSW80007 houve acréscimo de células do início ao final da fermentação, com a levedura PE-2.

Segundo Mutton, (1998), a redução de células vivas ao final do processo fermentativo, pode estar relacionada ao termino dos açúcares, a redução dos nutrientes e aos metabólitos produzidos, ou concentração elevada de etanol. Neste trabalho, pode estar relacionado à baixa concentração de nutrientes e, talvez maior quantidade de fenóis e ácidos presentes no sorgo, pois, observou-se que o sorgo foi o que apresentou maior concentração de ARRT e, menor quantidade de glicerol.

Quando se avaliou os índices de brotamento das células verificou-se que no início do processo a mistura de cana com sorgo sacarino resultou em maiores valores, sendo que ao final deste, a cana 2C e 4C isoladamente ou em mistura com 40% e 60% de SS foram as que apresentaram os maiores índices de brotamento.

A viabilidade dos brotos no início e final do processo fermentativo apresentou valores superiores a 60% o que caracteriza boas condições de desenvolvimento das leveduras nos tratamentos realizados. Contudo, deve-se destacar que houve queda da quantidade de brotos vivos, do início para o final do processo, quando se realizou apenas processamento de sorgo sacarino, fato decorrente, provavelmente, da maior quantidade de compostos fenólicos (RAVANELI et al., 2011) e ácidos orgânicos (CAMOLEZ; MUTTON, 2005) presentes nesta matéria-prima, os quais são inibidores da levedura em fermentação. Porém, a mistura de sorgo com cana resultou em acréscimo significativo deste parâmetro entre os tempos amostrados.

4.3.1 Caracterização do Vinho Delevurado e Eficiência Fermentativa

As avaliações realizadas no vinho delevurado estão apresentadas na Tabela 4. Verificou-se que o Sorgo Sacarino, a cana 1C, e suas misturas (T₂ e T₅) foram os tratamentos em que se verificaram maiores teores de ARRT. Nos demais, os valores obtidos foram significativamente menores, indicando melhor aproveitamento dos açúcares pela levedura fermentadora.

Laopaiboon et al. (2007) e Ratnavathi et al. (2010) avaliando a fermentação de mosto de sorgo, também encontrou valores elevados para o ARRT no vinho,

sendo que estes somente foram reduzidos a 1% após 40 horas de fermentação, fato inviável para as condições de operação das unidades industriais brasileiras, uma vez que estas realizam ciclos de 8 a 12 horas de processamento. Freita (2013), trabalhando com fermentação de sorgo sacarino em tempo máximo de 16 horas, verificou valores similares (2,15%) aos obtidos neste ensaio.

Tabela 4. Resultados da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5% de probabilidade) para o vinho obtido dos tratamentos avaliados. Jaboticabal-SP. Safra 2012/2013.

Tratamento	ARRT (%)	Glicerol (%)	Acidez Total (g L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Teor Alcoólico (%)
T ₁ SS	2,91A	0,39B	3,16A	7,0BC
T ₂ 70% SS + 30% cana 1C	1,60B	0,59AB	2,12BC	7,1BC
T ₃ 70% SS + 30% cana 2C	0,13C	0,65AB	2,67AB	7,0BC
T ₄ 70% SS + 30% cana 4C	0,40C	0,66AB	2,71AB	6,8C
T ₅ 40% SS + 60% cana 1C	2,68A	0,88A	2,74AB	7,1ABC
T ₆ 40% SS + 60% cana 2C	0,07C	0,60AB	2,39BC	6,9BC
T ₇ 40% SS + 60% cana 4C	0,26C	0,65AB	2,38BC	6,8C
T ₈ 100% cana 1C	2,60A	0,75AB	1,75C	7,6A
T ₉ 100% cana 2C	0,05C	0,69AB	2,41ABC	7,3AB
T ₁₀ 100% cana 4C	0,08C	0,54AB	2,08BC	6,9BC
Teste F	209,91**	1,85ns	6,92**	6,91**
DMS	0,43	0,47	0,76	0,42
CV	13,62	25,53	10,82	2,06

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

Posteriormente, quantificaram-se os teores de glicerol (Tabela 4). Observou-se que as canas nos 3 diferentes cortes, apresentaram resultados similares. Em contrapartida, a fermentação do sorgo resultou em menor produção (0,39%) desta biomolécula, valores estes, diferentes aos encontrados por Meireles (2013) da ordem de 0,72 a 0,79 mg kg⁻¹. Este comportamento também foi verificado por Masson (2013), que observou que a fermentação de mosto de sorgo resultou em menor produção de glicerol em comparação ao mosto de cana.

Considerando-se a acidez total no vinho ao final do processo fermentativo, observou-se que nos tratamentos em que os mostos inicialmente já apresentavam elevada acidez, como o sorgo, cana 2C e 4C, também foram os que apresentaram valores mais elevados. Os valores obtidos são similares aos determinados por Masson (2013), que obteve concentrações de 2,90 e 2,06 g L⁻¹ de H₂SO₄ para o sorgo sacarino (CVSW80007) e para a cana-de-açúcar (RB966928) respectivamente. Com relação à acidez total dos vinhos referentes a mistura entre

as matérias-primas, verificou-se valores similares ou ligeiramente inferiores aos do sorgo, cana 2C e 4C. Deve-se destacar ainda, que a fermentação de mosto da cana 1C resultou em menores teores de ácidos no vinho.

Avaliando-se os teores alcoólicos das diferentes matérias-primas (Tabela 4), observou-se que a cana 1C, 2C e a mistura de 40% SS + 60% cana 1C apresentaram maiores valores. Para o sorgo assim como a mistura deste com a cana de 1C e 2C em maior proporção de sorgo resultou em valores médios de 7%. A cana 4C e misturas com o sorgo sacarino foram os que apresentaram os menores teores alcoólicos do vinho. Este fato já era esperado, uma vez que a quantidade de açúcares foi menor na cana de maior número de cortes.

Considerando-se que para a colheita de início de outono as variedades de cana, mesmo as precoces, estão em condição de maturação incompleta, e que o sorgo sacarino apresenta qualidade tecnológica similar nesta época, a utilização deste isoladamente ou em misturas com a cana pode ser uma alternativa viável objetivando elevadas produtividades industriais. Principalmente por poder antecipar a safra com o sorgo, assim estas canas que ainda encontram-se imaturas em início de safra poderiam permanecer por mais tempo no campo, até atingir o PUI.

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados obtidos entre as matérias-primas para eficiência fermentativa. A maior eficiência foi observada para mosto de cana de 4C da ordem de 97,6% e, a menor para mosto de 1C (80,8%). Este fato pode estar relacionado com a maior sobra de açúcares (ARRT) no vinho, da ordem de 2,6%, em comparação com as canas 4C e 2C com ARRT de 0,08 e 0,05% respectivamente.

No setor industrial, obtém-se eficiência fermentativa da ordem de 90 a 92% do rendimento estequiométrico, em processo realizado de modo adequado, havendo o consumo de açúcar para formação de biomassa celular e subprodutos (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

O sorgo sacarino apresentou eficiência fermentativa de 87,7%, valor este acima do observado por Masson (2013) da ordem de 85,14% para o genótipo CVSW80007. Davila-Gomez et al. (2011) relatam eficiência fermentativa variando de 79,99 a 89,75%, em fermentação de mosto de cinco genótipos de sorgo sacarino. Quando se misturou as matérias-primas cana de 1C com SS, houve incremento na eficiência fermentativa principalmente no T₂ 70% SS + 30% cana de 1C (93,9%) em

comparação com a 1C. Ratnavathi et al. (2010) obtiveram valores de eficiência fermentativa da ordem de 86,5 a 94,7% para sorgo sacarino.

Tabela 5. Valores médios obtidos para Eficiência Fermentativa dos tratamentos avaliados. Safra 2012/2013. Jaboticabal-SP.

Tratamento	Eficiência fermentativa %
T ₁ SS	87,7
T ₂ 70% SS + 30% cana 1C	93,9
T ₃ 70% SS + 30% cana 2C	95,0
T ₄ 70% SS + 30% cana 4C	89,2
T ₅ 40% SS + 60% cana 1C	85,9
T ₆ 40% SS + 60% cana 2C	93,6
T ₇ 40% SS + 60% cana 4C	82,3
T ₈ 100% cana 1C	80,8
T ₉ 100% cana 2C	87,2
T ₁₀ 100% cana 4C	97,6

Quanto ao tempo de fermentação, observou-se que a cana de 1C permaneceu mais tempo em processo (23 horas), com índices elevados de ARRT. Esta matéria-prima, embora apresentou características tecnológicas (Brix e ART) superior as demais canas, por estar imatura apresentava elevados índices de AR o que de certa forma pode interferir na fisiologia da planta e na formação de moléculas ou nutrientes que possam interferir no processo fermentativo. A cana de 4C, embora apresentou teor de AR e acidez elevado, esta continha concentração de açúcares inferior as demais canas (12 Brix) o que pode ter favorecido a menor inibição da levedura e maior eficiência fermentativa em menor tempo de fermentação (16 horas) e menor ARRT.

O sorgo sacarino também apresentou tempo de fermentação semelhante à cana de 4C (16 horas), porém, a concentração de ARRT foi elevada, com menor teor de glicerol. Quanto à eficiência fermentativa, o sorgo apresentou porcentagem equivalente à cana de 2C.

5 CONCLUSÕES

Para colheita de início outono pode-se concluir:

- Quanto maior o número de corte e ou menor idade da cana-de-açúcar, menor é a qualidade da matéria-prima;
- O sorgo sacarino apresenta características tecnológicas similares à cana-de-açúcar imatura, podendo ser utilizado neste período;
- As misturas entre cana de 1º Corte e sorgo sacarino resultam em mostos de melhor qualidade e maior teor alcoólico do vinho.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. da C.; GUIMARÃES, A. de S.; OLIVEIRA, R. M. de.; SILVA, K. M. de J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.1, p.69-85, 2012.

ALVES, F. V. **Interferencia do amido e da dextrana nas análises tecnológicas do caldo de cana-de-açúcar**. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012.

ALVINO, F. C. G.; WANDERLEY, J. A. C.; BRITO, M. E. B.; BARRETO, C. F.; FERNANDES, P. D.; LEITE, D. T. Rendimento de fitomassa do sorgo sacarino sob sistemas de captação de água “in situ” **Revista Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.2, p.54-59, 2012.

AMADUCCI, S., MONTI, A., VENTURI, G. “Non structural carbohydrates and fibrecomponents in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques” **Industrial Crops and Products**, v.20, n.1: p.111-118, 2004.

AMORIM, H. V. de. **Fermentação alcoólica, ciência e tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, p.448, 2005.

BARCELOS, C. A. **Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção de bioetanol**. 2012. 334f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2012.

BISIO, W.; BULANTI, L. SORGO DULCE Industrialización. In: **Workshop internacional Agroindustrial sobre sorgo sacarino**. Piracicaba. 2012.

CAMOLEZ, M. A.; MUTTON, M. J. R. Influência de microrganismos contaminantes sobre o processo fermentativo. **Tecnologia Pesquisa, STAB**, v.23, n.5, 2005.

CARDOSO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cutters and crop age. **Scientia Agrícola**, v.70, n.6, p.449-456, 2013.

CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana**. 2. ed. Lavras (MG), UFLA, p.444, 2006.

CARVALHO, G. B. M. de; ROSSI, A. A.; SILVA, J. B. de A. e. Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 2º parte – A fermentação. **Revista Analytica**, ed. 26, p.46-54, 2007.

CANAVIALIS. Híbrido de sorgo sacarino. In: <www.canavialis.com.br/produtos/sorgo-sacarino/hibridos-sorgo-sacarino.aspx> Acessado em: 18 de jul. 2014.

CHAGWIZA, C.; FRASER, G. Economic evaluation of sweet sorghum in biofuel production as a multi-purpose crop: The case of Zambia. **Bioenergy for sustainable development in Africa**, part.1, p.56-60, 2012.

CHANNAPPAGOUDAR, B. B.; BIRADAR N. R.; PATIL, J. B.; HIREMATH S. M. Assessment of sweet sorghum genotypes for cane yield, juice characters and sugar levels. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Bangalore, v.20, n.2, p.294, 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, safra 2014/2015** - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, v.1, n.1, p.1-20, 2014.

COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001. 1 CD-Rom.

COSTA, G. H. G. **Emprego do extrato de moringa (*Moringa oleífera* Lamarck) na clarificação do caldo de cana para produção de açúcar**. 2013. 115f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013.

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

CUNHA, S. P. da; SEVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75, 2010.

DALVI, U. S.; CHAVAN, U. D.; SHINDE, • M. S.; GADAKH, S. R. Effect of Staggered Planting on Stalk Yield, Sugar Content and Ethanol Yield of Sweet Sorghum for Increasing Harvest Window. **Sugar Tech**.v.14, n.2, p.144–147, 2012.

DAVILA-GOMEZ, F. J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; ROONEYB, W. L.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Industrial Crops and Products**.v.33, p.611–616, 2011.

DELLA-BIANCA, B. E.; BASSO, T. O.; STAMBUK, B. U.; BASSO, L. C.; GOMBERT, A. K. What do we know about the yeast strains from the Brazilian fuel ethanol industry? **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.97, p. 979-991, 2013.

DEMIRBAS, A. Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs. **Green energy and technology**. Springer, Londres. p. 87 – 101, 2009.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, 2009.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VORAGEN, A. G. J.; VAN BERKEL, W. J. H. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. **Biotechnology and Molecular Biology Review**, Victoria Island, v.1, p.21-38, 2006.

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

DIRETO DA USINA. Sorgo Sacarino pode aumentar a produção de etanol no país. **Direto da Usina**. 17 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.diretodausina.com.br/conteudo/sorgo-sacarino-pode-aumentar-producao-de-etanol-no-pais-112203>>. Acesso em: 05 fev. 2013.

DURÃES, F. O. M. Sorgo Sacarino: tecnologia agrônoma e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, ano 2, n.3, p.2-3, 2011.

EGGLESTON, G.; COLE, M.; ANDRZEJEWSKI, B. New Commercially Viable Processing Technologies for the Production of Sugar Feedstocks from Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) for Manufacture of Biofuels and Bioproducts. **Sugar Tech**, v.15, n.3, p.232–249. 2013.

ELIASSEN, A.C. **Starch in food - Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, p.605, 2004.

EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. André May [et al.]. -- Sete Lagoas, MG. p.28, 2011. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 117) Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/scholar?hl=en&q=EMBRAPA>>. Acesso em: 29 de mai. de 2012.

EMYGDIO, B. M.; AFONSO, A. P. S.; OLIVEIRA, A. C. B. de; PARRELLA, R.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas /– Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2011.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP, 2000, 193p.

FIGUEIRA, J. A.; CARVALHO, P. H.; SAT, H. H. Sugarcane starch: quantitative determination and characterization. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.31, n.3, p.806-815, 2011.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The journal of biological chemistry**, Bethesda, v.73, n.2, p.627-50, 1927.

FREITA, L. A. **Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino**. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2013.

GNC. Gestão no Campo. **Cana de Açúcar - Alta tecnologia e aspectos sustentáveis**. Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/alta-tecnologia-e-aspectos-sustentaveis>>. Acesso em: 02/01/2014.

GRASSI, G. "Biomass power generation". **Proceeding of the Seminar on Renewables 2020: Towards 20%**. Lisbon, 2007.

GUIYING, L., WEIBIN, G. HICKS, A. CHAPMAN, K. R. Training manual for sweet shorgum. regional office for asia and the pacific; **Chinese Academic Sciences**, Beijing, 134p, 2000.

INGLEDEW, W. M. **Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer, in the alcohol textbook**. 3rd ed. UK: Nottingham University Press; 1999.

JANSSEN, R.; RUTZ, D.; BRACONNIER, S.; REDDY, B.; RAO, S.; SCHAFFERT, R.; PARELLA, R.; ZACCHARIAS, A.; RETTENMAIER, N.; REINHARDT, G.; MONTI, A.; AMADUCCI, S.; MAROCCO, A.; SNIJMAN, W.; TERBLANCHE, H.; ZAVALA-GARCIA, F. **Sweet Sorghum – An alternative Energy Crop Proceedings of 18th European Biomass Conference and Exhibition**, 3-7 May, Lyon, France: 200-206. 2010.

KLINK, U. **Melhoramento genético do sorgo para a produção de etanol**. Pelotas - RS, 2010. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2010/simposio_agroenergia/palestras/11_quarta/Manha/Urubatan%20Klink>. Acesso em: 09 jan. 2012.

KOSARIC, N. Biosurfactants for Soil Bioremediation. **Food Technology and Biotechnology**. Zagreb, v.39, n.4, p.295–304, 2001.

KUMAR, C. G. F. A.; RAO, P. S.; REDDY, B. V.; RATHORE, A.; RAO, R. N.; KHALID S.; KUMAR, A. A.; KAMAL, A. Characterization of improved sweet sorghum genotypes for biochemical parameters, sugar yield and its attributes at different phenological stages. **Sugar Technology**, Amsterdam, v.12, p.322-328, 2011.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Clima. In: RODRIGUES, J. A.S. (Ed.). Cultivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**, 6. ed. Sete Lagoas, 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27070/1/Clima.pdf>>. Acesso em: 19 de mai. de 2013.

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

LAOPAIBOON, L.; THANONKEO, P.; JAISIL, P.; LAOPAIBOON, P. Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae*. **World J Microbiol Biotechnol**, v.23, p.1497–1501, march 2007.

LEE, S. S.; ROBINSON, F. M.; WONG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology Bioengineering Symposium**, n.11 (1981).

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica**. Tradução: W. R. Lodi e A. A. Simões. São Paulo. Ed. Sarvier, 1986.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. DE A.; VENTURINI FILHO, W. G. Maturadores e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar Variedade RB855453 em início de safra. **Revista Bragantia**, v.68, n.3, p.781-787, 2009.

LNF. Latino Americana. Leveduras selecionadas. 2013. Disponível em: <<http://www.lnf.com.br/leveduras.html>>. Acesso em: 01 jun. 2013.

LI, B.; BALAN, V.; YUAN, Y.; DALE, B.E. Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. **Bioresource Technology**, v.101, p.1285–1292, 2010.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. In: LIMA, U. A. (Coord.). **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos**. São Paulo: Edgar Blücher, v.3, p.1-43, 2001.

MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 2010. 93f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

MAMET, L. D.; GALWEY, W. W. Relationship between stalk elongation and earliness of ripening in sugarcane. **Experimental Agriculture**, v.35; n.03, p.283-291, 1999.

MANEA, V.; TĂNASE, A.; CASARICA, A.; ALBULESCU, R.; RADULESCO, G.; CÂMPEANU, G.; ISRAEL-ROMING, F.; STOIAN, G. Study of the chemical composition of sweet sorghum stalks depleted in carbohydrates with applications in obtaining bioethanol. **Analele Științifice ale Universității Alexandru Ioan Cuza**, Secțiunea Genetică și Biologie Moleculară. TOM XI, 2010.

MARIN, F.; NASSIF, D. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.232-239, 2013.

MASSON, I. dos S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. 2013. 49f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2013.

MEIRELES, M. B. **Parâmetros químico- tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino e reflexos na produção de etanol**. 2013. 48f. Trabalho (Graduação), Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Ano de conclusão do curso. 2013.

MULLER, J. L.; PROTTI, K. L.; MACHADO, M. da S.; LACERDA, L. L. V. de.; BRESOLIN, T. M. B.; PODLECH, P. S. Comparação do crescimento de *Saccharomyces boulardii* em fermentador por batelada tipo air lift e shaker. **Ciência Tecnologia de Alimento**, Campinas, 27(4): p.688-693, 2007.

MUNIZ, J. B. N. F. **Influência da ação de campos magnéticos estáticos, não homogêneos, na fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae***. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Biofísica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; GUIMARÃES, P. M. R.; SILVA, J. P. A.; CARNEIRO, L. M.; ROBERTO, I. C.; VICENTE, A.; DOMINGUES, L.; TEIXEIRA, J. A. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. **Biotechnology Advances**, v.28, p.817–830, 2010.

MUTTON, M. J. R. Reflexos da qualidade da matéria-prima no processo industrial. II **Simpósio Internacional da STAB – Perdas de açúcares: do campo ao produto final**. Águas de São Pedro, 2003 (cd room).

MUTTON, M. J. R. **Avaliação da fermentação etanólica do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) tratada com maturadores químicos**. 1998. 178 f Tese (Livre-Docência), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Ethanol production from sweet sorghum**. In: Integrated energy systems in China – The cold Northeastern region experience. FAO, Roma, 1994. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T4470E/T4470E00.htm>>. Acesso em: 14 Jun. 2013.

NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. **Aguardente de Cana**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, SP, p.70, 2005.

PACHECO, T. Índices tecnológicos industriais para produção de etanol de sorgo sacarino.seminário temático agroindustrial de produção de sorgo sacarino para bioetanol. **Embrapa Agroenergia**, 2012.

PEREIRA JR, N.; COUTO, M. A. P. G.; SANTA ANNA, L. M. M. Biomass of lignocellulosic composition for fuel ethanol production and the context of biorefinery. **Series on Biotechnology**. Biblioteca Nacional: Rio de Janeiro, v. 2, 2008.

PIN, M.; PICCO, D.; VECCHIET, A.; MACCHIA, E. Sweet sorghum to produce in Italysustainable ethanol, electricity and heat in decentralised small-medium biorefinery. CETA, **Centre for Theoretical and Applied Ecology. Green Engineering**. Via Licinio 44, Gorizia, Italy, 2011. Disponível em: <<http://www.greeneng.it/pdf/T4.3E.pdf>> Acesso em: 02 de jun. de 2012.

POMPELLI, M. F.; OROZCO, A. de J. J.; OLIVIERA, M. T. de.; RODRIGUES, B. R. M.; BARBOSA, M. O.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, A. F. M. de; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. de. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomia Colombiana**, v.29, n.2, p.361-371, 2011.

QUEIROZ, V. A. V.; MORAES, É. A.; SCHAFFERT, R. E.; MOREIRA, A. V.; RIBEIRO, S.; MACHADO, R.; MARTINO, H. S. D. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*sorghum bicolor* (L.) moench], para alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180-195, 2012.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY K., B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.

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

RAVANELI, G. C.; MADALENO, L. L.; PRESOTTI, L. E.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug infestation in sugarcane affects ethanolic fermentation. **Scientia Agricola**, v.63, p.543-546, 2006.

REDDY, B. V.; RAMESH, S.; REDDY, P. S.; RAMAIAH, B.; SALIMATH, M.; KACHAPUR, R. Sweet sorghum- a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. **Sorghum Millets Newsletter**. Patancheru, v.46, p.79-86, 2005.

RESENDE, D. R.; CASTRO, R. A. de; PINHEIRO, P. C. O Saber Popular nas Aulas de Química: Relato de Experiência Envolvendo a Produção do Vinho de Laranja e sua Interpretação no Ensino Médio. **Química nova na escola**. v.32, n.3, 2010.

RIBAS, P. M. Plantio: a implantação da cultura. In: RODRIGUES, J.A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. Sistemas de produção. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_5ed/plantio-plantio.htm>. Acesso em: 30 de mai. de 2012.

RIBEIRO, A. M. L.; HENN, J. D.; SILVA, G, L. Alimentos alternativos para suínos em crescimento e terminação. **Acta Scientiae Veterinariae**. v.38, p.61-71, 2010.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORÊNCIO, I. M.; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P.; FLORENTINO, E. R.; SILVA, F. L. H. da. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16. 2008.

RIDESIA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. **Variedades de Cana-de-açúcar RB**. 2008. Disponível em: <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/dow/VariedadesRB_2008.pdf>. Acesso em jun. 2014.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba, p.333, 2009.

SANTINI, G. A.; PINTO, L. de B.; QUEIROZ, T. R. Cana-de-açúcar como base da matriz energética nacional. **Revista de Política Agrícola**, ano xx, p.89, n.1, 2011.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, Viçosa, v.35, n.5, p.1004-1010, 2012.

SANTOS, J. R. A. dos; GUSMÃO, N. B. de; GOUVEIA, E. R. Seleção de linhagem industrial de *Saccharomyces cerevisiae* com potencial desempenho para a produção de etanol em condições adversas de temperatura e de agitação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.75-80, 2010.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. **Planejamento Industrial**. In: MAY, A. (ed.) Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de sorgo sacarino para bioethanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa milho e sorgo, p.85-92, 2012.

SCHENEIDER, F. **Sugar analysis methods**. Peterborough: ICUMSA, p.256, 1979.

SILVA, R. J. N.; GUIMARÃES, E. R.; GARCIA, J. F.; BOTELHO, P. S. M.; FERRO, M. I. T.; MUTTON, M. A., MUTTON, M. J. R. Infestation of froghopper nymphs change de amounts of total phenolics in sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.6., p.543-546, 2005.

SILVA, M. DE A.; JERONIMO, E. M.; DAL'COL LÚCIO, A. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.979-986, 2008.

SOUZA, C. C. de; DANTAS, J. P.; SILVA, S. de M.; SOUZA, V. C, de; ALMEIDA, F. A. de; SILVA, L. E. da. Produtividade do sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.512-517, 2005.

STUPIELLO, J.P.; HORII, J. Condução da fermentação alcoólica. **Saccharum**, v. 17, p.43-46, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. Ed, Porto Alegre: Editora Artmed, p.719, 2004.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; NICOLELLA, G. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino¹. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1601-1606, 1999.

UFSCar. Variedade RB de cana-de-açúcar. São Carlos, RMGCA/RIDES/DB/CCA/UFSCar, 2008. 30p.

UNICA. União da Indústria da Cana-de-Açúcar. Acompanhamento de safra. 2014. **Estiagem e quebra na produtividade agrícola reduzem oferta de cana para a safra 2014/2015 na região Centro-Sul do País**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 04 de jun. 2014.

UNICA. União da Indústria da Cana-de-Açúcar. Departamento de Economia e Estatística. 2013. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2011/2012** Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem>>. Acesso em: 18 de mai. 2013.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSIS, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crops Research**, v.120, p.38–46, 2011.

VITOLO, M. Invertase. In: SAID, S., PIETRO, R.C.L.R., Eds. **Enzimas como agentes tecnológicos**. Ribeirão Preto, SP, Legis Summa, p.412, 2004.

WALFORD, S. N. Composition of cane juice. Proceedings of the South African. **Sugar Technologists Association**, Durban, v.70, p.265-266, 1996.

WANG, W; ZHUANG, X.; YUAN, Z.; YU, Q.; QI, W.; WANG, Q.; TAN, X. High consistency enzymatic saccharification of sweet sorghum bagasse pretreated with liquid hot water. **Bioresource Technology**, v.108, p.252–257, 2012.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, v.40, p. 1–12, 2012.

ZASTROW, C. R.; STAMBUK, B. U. Transporte e fermentação de açúcares por leveduras da indústria cervejeira. **Revista Univille**, v.5, n.1, p.39-44, 2000.