

Determinação da inversão de sacarose em caldo de cana-de-açúcar submetido a tratamento por irradiação micro-ondas para produção de açúcar

Determining the inversion of sucrose broth cane sugar subjected to microwave treatment irradiation for sugar

Cássia Cristina Silva⁽¹⁾; Lídia Ferreira Assunção⁽²⁾
José Waldir Sousa Filho⁽³⁾

⁽¹⁾Estudante de Pós-Graduação/Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica; Universidade Federal do Triângulo Mineiro; Uberaba, Minas Gerais. E-mail: cassia.cristina@outlook.com

⁽²⁾Estudante de Graduação; Universidade de Uberaba; Uberaba, Minas Gerais. E-mail: lidia_fassuncao@hotmail.com

⁽³⁾Professor/ Engenharia Química; Universidade de Uberaba; Uberaba, Minas Gerais. E-mail: josewaldir.engenharia@gmail.com

RESUMO: As inovações tecnológicas empregadas no setor sucroalcooleiro reduzem custo energético e de produção, sendo possível simplificar o processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar a partir do uso da tecnologia micro-ondas. Dessa forma, é possível analisar o grau da inversão da sacarose e quantificar os açúcares redutores contidos no caldo de cana-de-açúcar quando o mesmo é submetido à irradiação micro-ondas. Este método de irradiação foi aplicado com uma potência de 600 W e um tempo de exposição 2 minutos. O tratamento não se mostrou eficiente para a produção de açúcar, tendo em vista, que houve um grau de inversão de 0,14. Apesar deste método se mostrar eficaz para a esterilização do caldo de cana-de-açúcar, ele também promove a inversão de sacarose com a porcentagem de açúcares redutores aumentando de 2,39% para 2,59% em relação ao caldo *in natura*. O valor de °Brix analisado durante o processo variou de 22,92 para 26,575 após o tratamento. Sendo assim, o tratamento se torna inviável para o processo de produção de açúcar, já que essa inversão é prejudicial ao processo de cristalização.

Palavras-chave: Esterilização, Açúcares redutores, Inovação tecnológica.

ABSTRACT: *Technological innovations employed in the sugar-alcohol sector can reduce energy cost and production, simplifying the process of clarification of cane sugar juice from microwave technology. That way, is possible to analyze the degree of inversion of sucrose and quantify the reducing sugars contained in the broth, using optimum operating conditions for the treatment of the broth by microwave irradiation. This method of irradiation was applied with 600W power and exposure time 2 minutes. The treatment was not efficient for the production of sugar, since there was a degree of inversion of 0.14. Although this method is effective for the sterilization of the broth of sugar cane, it also promotes the inversion of sucrose with the percentage of reducing sugars increase of 2.39% to 2.59% in relation to the fresh broth. The value of °Brix ranged from 22.92 to 26.575 in the broth after treatment. Therefore, treatment is not feasible for the sugar production process, since this reversal is detrimental to the crystallization process.*

Keywords: *Sterilization, Reducing Sugars, Technological innovation.*

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar está entre uma das principais culturas do mundo. Esta cultura é responsável pela produção de açúcar, etanol e energia elétrica. Cerca de 80% da produção do planeta se concentra em dez países, sendo os principais o Brasil, a Índia, China, México e Tailândia (LOPES, 1981). Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2008, o

Brasil e a Índia correspondiam juntos por mais da metade da produção mundial de cana.

Na produção de açúcar (sacarose), está envolvida uma série de operações unitárias, com o intuito de desenvolver um processo com grande capacidade de extração de sacarose e o processamento máximo de cana-de-açúcar ou beterraba branca. Para um melhor controle das perdas de sacarose no processo, causados por parâmetros químicos e físicos, é necessário avaliar todas as etapas do processo, como:

concentração do açúcar, temperatura, pH, concentração de açúcares invertidos, entre outros (MACEDO, 2005).

O entendimento e controle da inversão de sacarose que ocorre durante o processo de produção do açúcar é de grande importância. Métodos como o uso de micro-ondas e a radiação ultravioleta na produção do açúcar são exemplos de inovação tecnológica. (MACEDO, 2005).

REVISÃO TEÓRICA

Como falado, anteriormente, na produção de açúcar (sacarose), estão envolvidas várias operações unitárias, com o intuito de desenvolver um processo com grande capacidade de extração de sacarose e o processamento máximo de cana-de-açúcar ou beterraba branca (MACEDO, 2005).

Dentre as etapas da produção do açúcar está o tratamento do caldo. Esse tratamento permite a modificação e o controle do pH durante o processo. Nesta etapa da produção de açúcar, são utilizados tratamentos como a sulfitação, no qual o caldo misto resultante da moagem é aquecido de 50 a 70° C e bombeado para o sulfitor para ser tratado com SO₂. O gás sulfuroso age no caldo como purificador, neutralizador, decolorador (decantação) e preservativo (GROFF, 2010). Esse método consiste em promover contato entre o caldo e o gás dióxido de enxofre (SO₂), que auxilia na redução do pH, diminuindo a viscosidade e formando complexos com açúcares redutores, possibilitando a preservação do caldo contra alguns microrganismos e prevenindo o amarelamento do açúcar. (MENEGUETTI; MEZARROBA; GROFF, 2010). O dióxido de enxofre tem propriedade redutora (com potencial de oxidação E° = 0,93V) transformando os sais férricos (coloridos) e em ferrosos (incolores). Além disso, a sulfitação tem ação fluidificante sobre o caldo, pois a redução do pH decorrente de seu uso proporciona a precipitação de certos colóides, diminuindo a sua viscosidade. Isso por sua vez acelera a decantação, diminui o tempo de cozimento, proporciona uma concentração mais rápida do caldo nos evaporadores e melhora a cristalização para produção de açúcar (GROFF, 2010).

O caldo depois de sulfitado é encaminhado para o tanque de calagem, recebendo leite de cal, até pH 7,0 – 7,4 (GROFF, 2010). É imperiosa a adição da cal, com maior exatidão possível, pois se a quantidade adicionada for insuficiente o caldo permanecerá ácido, e, conseqüentemente, será turvo, mesmo depois de decantado, correndo ainda o perigo da perda de açúcar por inversão. Se a quantidade de cal adicionada for excessiva haverá a decomposição de açúcares redutores, com a formação de produtos escuros, que dificultam a decantação, a filtração e a

cristalização, como também escurecem e depreciam o açúcar fabricado (DOHERTY, 2011).

O próximo tratamento é a fosfatação, com uso de anidrido carbônico (CO₂) a fosfatação auxilia, quando necessário, na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo (ANDRADE; CASTRO, 2006). Em seguida vem o método de Carbonatação, uso de anidrido carbônico (CO₂). Nesse processo acontece a precipitação de carbonato de cálcio, que englobará as matérias-primas corantes e as gomas, tornando um complemento da clarificação (ANDRADE; CASTRO, 2006).

A evaporação do caldo acontece para que a concentração do caldo fique com teor de sólidos solúveis entre 60 e 70 °Brix. A quantidade de água que deverá ser removida do caldo na evaporação é aproximadamente 70 – 80% do peso da cana (ANDRADE; CASTRO, 2006).

O xarope resultante dos evaporadores passa então para os cozedores. O cozimento tem como principal objetivo produzir a maior porcentagem de cristais possíveis e tentar produzir um açúcar com uma uniformidade no tamanho desejado dos cristais

A cristalização do açúcar só se completa nos cristalizadores, e antes de serem descarregados, os cristais crescem em tamanho e volume da massa cozida (ANDRADE; CASTRO, 2006). Os cristalizadores têm modelos basicamente iguais. Após o término da cristalização a massa cozida passa por uma centrifugação (ALCARDE, 2007). O objetivo dessa centrifugação será basicamente a separação do melaço que envolve os cristais já processados de açúcar. Sob a força centrífuga imposta sobre eles, o melaço é retirado através das perfurações e dirige-se à caixa dos méis, onde voltará para o processo (PAYNE, 1989).

Quando o caldo não é tratado corretamente, as conseqüências se dão na forma de incrustações na etapa de evaporação e na formação de cristais de sacarose com deformações e impurezas. Outro fator que prejudica a evaporação e cristalização do açúcar é a quantidade de açúcares redutores contida no caldo, para isso é importante conhecer o processo que leva ao aumento desses açúcares conhecido como inversão de sacarose.

O estudo da inversão de sacarose tem por objetivo a determinação da velocidade de reação que se caracteriza pela hidrólise do dissacarídeo sacarose em dois monossacarídeos glicose e frutose, também conhecidos como açúcares redutores. Essa reação pode se dar por diferentes métodos, sendo o primeiro deles a determinação da concentração obtida através da polarimetria pelo qual se observam as mudanças na rotação específica da solução do açúcar (OTICICA; BRAS; CORREIA, 1975).

Com o auxílio de uma enzima chamada frutofuranase, ocorre a hidrólise da sacarose liberando uma glicose e uma frutose. Assim, a sacarose antes conhecida como o açúcar não

reductor passa a reductor, isso faz com que as propriedades do açúcar na forma redutora se modifiquem das do açúcar na forma não redutora o que fará com que o cuidado na utilização destes açúcares nos alimentos seja em função dessas propriedades (BIRCH, 1976).

Os açúcares redutores influenciaram diretamente no processamento do caldo de cana-de-açúcar e causam interferência ligada aos efeitos indesejáveis dos produtos de sua decomposição, podendo formar compostos altamente coloridos, complexos de condensação coloidal, e substâncias melassigênicas (ácido aspártico) além de modificar a morfologia final dos cristais de sacarose (HAMERSKI; AQUINO; NDIAYE, 2010).

Os fatores que influenciam diretamente na reação são: temperatura, tempo de residência da solução no processo e o pH. Em meio ácido, por exemplo, a inversão ocorre em uma faixa baixa de pH e pode ser ainda favorecido em temperaturas altas, tempos prolongados de exposição e concentração reduzida de sacarose na solução. Já em um meio alcalino, a hidrólise da sacarose submetida a altas temperaturas pode acarretar o desenvolvimento de acetona, gliceraldeídos, ácido láctico, ácido acético, ácido fórmico e dióxido de carbono entre outras substâncias. Normalmente, os ácidos mais usados são: hidrocloreto, fosfórico, cítrico, málico e acético (MELO, 1982).

A velocidade da reação depende também do estado de agregação, da concentração dos reagentes e do tamanho deles, além da pressão e do uso de catalisadores. Fatores especiais ligados a essa velocidade são a incidência de luz ultravioleta, raio X, nêutrons ou micro-ondas (ZURITA, 2008).

Na reação de inversão da sacarose que tem um efeito dextrorrotatório (desviando a luz polarizada para a direita, numa ordem de $+65,5^\circ$), após sofrer uma hidrólise originará, uma glicose, que também é dextrorrotatória na ordem de $+52,5^\circ$ e uma frutose, que por sua vez é levorrotatória, ou seja, seu desvio é para a esquerda, numa da ordem de -92° . Logo, a somatória se torna negativa, então é normal dizer que o açúcar inverteu seu ângulo de rotação, essa inversão pode ser quantificada com o auxílio do polarímetro (equipamento capaz de tornar precisa a medida do ângulo de rotação das substâncias). Com esse equipamento torna-se possível verificar se a inversão do açúcar realmente acontece (GROFF, 2010).

Já em termos químicos e considerando que essa reação ocorra de forma natural (sem presença de catalizador externo), têm-se que em altas concentrações de água e os íons de hidrogênio atuando como catalisadores na reação, a inversão se daria com uma maior facilidade. De uma maneira simplificada, se a sacarose for colocada em solução aquosa, será hidrolisada (processo conhecido como inversão),

a molécula será rompida em glicose e frutose. Todo monossacarídeo atua como açúcar redutor, que através da solução de Fehling, precipitam o óxido cúprico, tornando possível quantificar o real acontecimento da inversão (LOPES, 1981).

Micro-ondas

Em 1864 foi proposta por James Clerk Maxwell a existência de ondas eletromagnéticas, mas só em 1888 Heinrich Hertz ao construir um dispositivo capaz de produzir ondas de rádio demonstrando a existência de ondas eletromagnéticas (NUNES, 2009). Jones et al. (2001) afirma que a partir grande desenvolvimento tecnológico em meio a segunda guerra mundial foi possível o uso de micro-ondas para aplicações de aquecimento, já que tinha potência para fornecer rápida energia para aquecer os materiais.

As micro-ondas sobressaem no processamento de matérias, já que penetra na matéria depositando energia, calor que podem ser transferidos por todo o volume do material. Isso acontece por interações moleculares com o campo magnético (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013). Por isso, a irradiação por micro-ondas se difere dos tratamentos térmicos convencionais. Neste o calor latente penetra nas amostras por meio de transferência de calor e na energia eletromagnética das micro-ondas é possível gerar calor penetrando profundamente nas amostras (DONG-LIANG et al., 2008).

Uma das vantagens do aquecimento por micro-ondas se comparado com os métodos térmicos convencionais é principalmente por haver perdas de energia na amostra (JONES et al., 2001). Pode-se também salientar o não contato com a fonte de calor, transferência de energia e não de calor, a seletividade do material a ser aquecido, aquecimento de grandes volumes, rápido iniciar e cancelar o aquecimento, aquecimento do interior da amostra e alto nível de segurança e automação na operação (MENÉNDEZ, 2009). Além das vantagens apresentadas existe também o uso industrial de aquecimento por micro-ondas de em virtude da grande redução do tempo de reações químicas se comparada com o aquecimento convencional (ESKICIOGLU et al., 2007).

Material e Métodos

O caldo de cana-de-açúcar utilizado foi obtido comercialmente na cidade de Uberaba – MG, proveniente da safra de 2014. O caldo foi filtrado em algodão hidrófilo e depositado em balões de 2 litros previamente esterilizados e envolvidos em papel laminado.

As metodologias empregadas para as análises do °Brix (sólidos solúveis) e de açúcares redutores no caldo de cana-de-açúcar estão de

acordo com o manual da Consecana (2012), e foram baseadas nos métodos recomendados pela ICUMSA – *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*. Para análise do °Brix foi utilizado um refratômetro portátil da marca *Instrutherm* e para análise de açúcares redutores foi utilizado o método titulométrico.

Os teste foram realizados em 4 repetições, tanto para a determinação de Açúcares Redutores no caldo *in natura*, quanto no caldo após o tratamento com micro-ondas.

Para determinar o grau de inversão que poderia ser provocado no caldo pela exposição às micro-ondas, optou-se por repetir os testes em 4 amostras de 50mL do caldo *in natura* com tratamento em micro-ondas nas condições ótimas (600W e 2 minutos de exposição). O equipamento utilizado na pesquisa consistia em um forno micro-ondas caseiro convencional, marca CONTINENTAL, modelo AW 42, 42 Litros e sua potência varia de 0 a 1400 W.

Procedimento experimental

Em todos os testes laboratoriais foram realizadas comparações das análises físico-químicas do caldo *in natura* com o caldo obtido depois do tratamento com o método de irradiação por micro-ondas.

Para contabilizar os sólidos solúveis foi feita a leitura no aparelho refratômetro, que representa o índice de refração encontrado em uma solução de sacarose e corresponde à medida do teor de sacarose.

A determinação de açúcares redutores no caldo foi feita através da titulação oxido-redução. As diluições sugeridas para essa análise estão descritas no manual segundo a Consecana (2012) como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Diluição de amostras

Caldo (mL)	EDTA (mL)	Fator de diluição (f)
10	2	10
20	4	5
25	5	4
50	10	2

Fonte: Adaptado do manual Consecana, 2012.

Para a primeira titulação, foi preparada uma solução de 100 mL, utilizando 10 mL do caldo *in natura* e 2 mL da solução de EDTA (4%). Essa solução foi titulada com volume de 10 mL da solução de Licor de Fehling. Foram utilizadas 4 amostras diluídas na mesma proporção e realizada média dos valores de volume gastos em cada titulação.

Assim que atingisse 15 mL da solução titulante, era observado a cor da solução. A mistura foi aquecida até a ebulição, se não ocorresse mudança de cor na solução, indicando que o licor de Fehling ainda não foi reduzido, adicionou mais solução titulante até que a cor

original desaparecesse tornando-se da cor vermelho tijolo. A viragem de cor indicou que reação teria se completado, determinando o volume (V) da titulação.

Após a primeira titulação, repetiram-se as mesmas operações. O volume adicionando de titulante foi o mesmo consumido na titulação anterior menos 1 mL (V - 1), aquecendo a mistura até a ebulição e cronometrando 2 minutos, em ebulição constante. Após essa etapa, adicionou de 3 a 4 gotas da solução de azul de metileno como indicador e aos poucos completou a titulação até a completa eliminação da cor azul. O tempo total estimado, desde o início da ebulição até o final da titulação foi de 3 minutos, no máximo.

Ao término de todas as titulações, foi possível determinar o volume gasto de cada amostra e o teor de açúcares redutores foi obtido através da seguinte equação:

$$AR = \frac{f \times t}{V \times me} \quad (1)$$

Onde:

f = fator de diluição

t = fator que considera a influência da sacarose na análise

V = volume gasto

me = massa específica do caldo

B = °Brix do caldo

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados das análises do °BRIX no caldo *in natura* e tratado

Foram determinados os valores de sólidos reais dissolvidos (°Brix) das amostras antes do tratamento por micro-ondas, como mostra a tabela 2.

Tabela 2: Média da variação do °Brix no caldo *in natura*.

Amostra	Tempo (min)	°Brix
Momento da filtragem	00:00	22,7
1	55:00	22,9
2	98:00	23,0
3	144:00	23,0
4	184:00	23,0
Média		22,92

De acordo com Consecana (2012), o valor de um °Brix inicial deve estar entre 9 e 23. Como mostrado na tabela 2, o valor médio de °Brix inicial está dentro das exigências. Houve pouca variação do °Brix entre os intervalos de tempo, isso indica que o caldo sofreu baixa reação enzimática.

A tabela seguir mostra os valores de sólidos reais dissolvidos (°Brix) das amostras após o tratamento.

Tabela 3: Média da variação do °Brix no caldo após o tratamento

Amostra	Tempo (min)	°Brix
1	00:00	27,5
2	50:00	26,8
3	93:00	25,5
4	140:00	26,5
Média		26,575

Conforme mostra a Tabela 3, os valores obtidos após o tratamento foram consideravelmente maiores. O efeito dielétrico que a irradiação micro-ondas provoca nas moléculas polares como a água faz com que estas sofram um aquecimento, ocasionando a evaporação. O °Brix, que é a razão entre a quantidade de açúcar e a massa da solução, conseqüentemente terá seu valor elevado pela evaporação da água, tendo assim a concentração do caldo (SOUSA FILHO, 2014).

Resultados de açúcares redutores do caldo *in natura*

A tabela a seguir demonstra os valores da média de volume gasto no momento da titulação das amostras antes do tratamento por micro-ondas.

Tabela 4: Média de volume das amostras do caldo *in natura*.

Amostra	Volume (mL)
1	19,5
2	19,00
3	19,00
4	19,00
Média	19,3

A equação 1 representa a quantificação da porcentagem de açúcares redutores estipulada pelo manual Consecana (2012) e pode ser aplicada já que os volumes gastos na titulação de cada amostra tiveram baixa variação.

O valor determinado antes do tratamento com micro-ondas de °Brix foi de 22,92. Foi considerado um fator de correção $t = 5$, o fator de diluição, f , é dado na Tabela 1. O volume gasto na titulação foi de 19,13 mL. A massa específica do caldo é calculada pela Equação 2:

$$\begin{aligned} me &= 0,00431 \times \text{°Brix} + 0,99367 & (2) \\ me &= 0,00431 \times 22,92 + 0,99367 \\ me &= 1,092 \end{aligned}$$

Aplicando os valores na equação 1, tem-se:

$$\begin{aligned} AR &= \frac{10 \times 5}{19,3 \times 1,092} \\ AR &= \frac{10 \times 5}{19,13 \times 1,092} \\ AR &= 2,39\% \end{aligned}$$

Resultados de açúcares redutores no caldo tratado por micro-ondas

As amostras foram expostas às micro-ondas e após 2 minutos de exposição foi feita novamente a titulação a fim de determinar os teores de açúcares redutores contidos no caldo. Neste método titulométrico, o licor de Fehling constituído por tartarato duplo de sódio e potássio e sulfato de cobre age na redução dos íons da solução, passando de íons cúpricos para íons cuprosos. (CONSECANA, 2012).

A Solução de EDTA serviu de agente sequestrante possíveis íons de cálcio e magnésio presentes no caldo, e ajuda para que esses compostos não interfiram na reação de oxirredução. Os resultados estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5: Média do volume gasto na titulação das amostras do caldo tratado.

Amostra	Volume (mL)
1	17,10
2	17,00
3	19,00
4	18,10
Média	17,80

Nesta análise também foi aplicada a fórmula de quantificação da porcentagem de açúcar redutor após o tratamento com micro-ondas estipulada pelo manual Consecana (2012). O valor utilizado de °Brix após o tratamento foi de 26,575. O volume gasto na titulação foi de 17,80 mL. Os valores fator de correção e de diluição utilizados foram os mesmos utilizados para calcular os açúcares redutores na amostra *in natura*. A massa específica do caldo foi calculada também pela Equação 2;

$$\begin{aligned} me &= 0,00431 \times \text{°Brix} + 0,99367 & (2) \\ me &= 0,00431 \times 26,575 + 0,99367 \\ me &= 1,108 \end{aligned}$$

Aplicando os valores na Equação 1, tem-se:

$$\begin{aligned} AR &= \frac{f \times t}{V \times me} \\ AR &= \frac{10 \times 5}{17,80 \times 1,108} \\ AR &= 2,53\% \end{aligned}$$

Resultado do grau de inversão de sacarose

Para a determinação do grau e inversão de sacarose após o tratamento com irradiação micro-ondas, basta subtrair o resultado de açúcares redutores do caldo tratado com o valor de açúcares redutores do caldo *in natura*, tendo assim como resultado a diferença em porcentagem do grau de inversão, para isso os valores serão empregados na seguinte equação:

$$I = AR_{\text{tratado}} - AR_{\text{in natura}} \quad (3)$$

Onde:

I = Grau de inversão da sacarose (%).

AR_{tratado} = Porcentagem de açúcares redutores no caldo tratado.

AR_{in natura} = Porcentagem de açúcares redutores no caldo *in natura*.

Aplicando todos os valores na Equação 3, obtém-se a seguinte porcentagem de inversão de sacarose:

$$I = 2,53 - 2,39$$

$$I = 0,14\%$$

O tratamento do caldo por irradiação micro-ondas não se mostrou eficiente para a produção de açúcar, pois, após o tratamento houve um grau de inversão de 0,14 e um aumento 0,14 % na porcentagem de açúcares redutores em relação ao caldo *in natura*. Houve variação significativa do °Brix. Em relação ao caldo *in natura* foi observado um aumento 3,655 °Brix após o tratamento.

O tratamento por irradiação micro-ondas se mostrou eficaz para esterilização do caldo de cana-de-açúcar. Pois, assim como Souza Filho (2014), verificou que a Potência de 600 W e tempo de 2 minutos se mostrou um método sem contaminação por fungos e por bactérias aeróbicas. Mas, o fato do tratamento inverter a sacarose o torna inviável para o processo de produção de açúcar, tendo em vista que a inversão é prejudicial ao processo de cristalização.

A inversão dos açúcares também foi encontrada e se mostrou semelhante nos resultados encontrados por Silva et al. (2003), que comparou diferentes métodos para determinação de açúcares em mel; Brighenti et al. (2011) para determinação da inversão utilizando ácido cítrico e suco de limão; Marques (2007) em estudo no uso de invertase imobilizada em resina e Zurita (2008), que investigou a inversão em um sistema de evaporação e determinou que o aumento da temperatura influencia na variação da inversão com a concentração.

CONCLUSÃO

No setor sucroalcooleiro uma das operações unitárias mais críticas do tratamento do caldo de cana-de-açúcar é a clarificação, pois, no método tradicional, o uso do dióxido de enxofre (SO₂) tem apresentado restrições. Novas tecnologias empregadas neste setor pode simplificar o processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar, como é o caso do tratamento por irradiação micro-ondas. Este método apresentou um grau de inversão de 0,14, expondo o caldo a uma potência de 600W e tempo de 2 minutos. Houve um aumento na porcentagem de açúcares redutores de 2,39% para 2,59% em relação ao caldo *in natura*.

Para a produção de açúcar este método é inviável, mas para a produção de etanol ele pode ser aplicado, já que o fato de ocorrer inversão da sacarose é irrelevante no processo fermentativo.

Com o emprego dessa inovação tecnológica, a indústria sucroalcooleira poderia automatizar ainda mais o processo de produção do etanol, reduzindo além do tempo de tratamento e fermentação, a utilização de insumos para esterilização do caldo.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A.R. **Processamento da cana-de-açúcar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2007, Brasília, DF.

ANDRADE, S.A.C.; CASTRO, S.B. **Engenharia e tecnologia açucareira**. Departamento de Engenharia Química CTG – UFPE. 2006, Pernambuco.

BIRCH, G.G. Structural relationships of sugar to taste. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.8, n.1, p.57-95. 1976.

BRIGHENTI, Deodoro Magno et al. Inversão de Sacarose utilizando ácido cítrico e suco de limão para preparo de dieta energética de Apis mellifera Linnaeus, 1758. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 2, p.297-304, mar. 2011. Mensal.

CHANDRASEKARAN, S.; RAMANATHAN, S.; BASAK, T.. Microwave food processing—A review. **Food Research International**, Chennai, p. 243-261. 21 fev. 2013.

CONSECANA. **Propriedades da Cana-de-Açúcar**. 2012. Disponível em: <www.consecana.com.br>. Acesso em: 25 set. 2014.

DOHERTY, W. O. S.. Improved Sugar Cane Juice Clarification by Understanding Calcium Oxide-Phosphate-Sucrose Systems. **Journal of Agricultural and Food LChemistry**, Brisbane, p. 1829-1836. 15 fev. 2011.

DONG-LIANG, L. et al. In situ hydrate dissociation using microwave heating: Preliminary study.

Energy Conversion and Management, Guangzhou, p. 2207-2213. 21 mar. 2008.

ESKICIOGLU, C. et al. Athermal microwave effects for enhancing digestibility of waste activated sludge. **Water Research**, Ottawa, p. 2457-2466. 23 abr. 2007.

GROFF, A. M. **Fatores de Produção Agropecuária**: Apostila, transparências e notas de aulas. Campo Mourão: PP, Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, 2010.

HAMERSKI, F.; AQUINO, A. D.; NDIAYE, P. M.. Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por carbonatação - ensaios preliminares. **Acta Scientiarum. Technology**, Curitiba, p. 337-341. 22 abr. 2010.

JONES, D. A. et al. Microwave heating applications in environmental engineering —a review. **Resources, Conservation and Recycling**, Nottingham, p. 75-90. 18 jun. 2001.

LOPES, C.H. **Influência da umidade atmosférica na umidade do açúcar**. Brasil Açucareiro, v.98, n.6, p.17-20. 1981.

MACEDO, I. C. **A Energia da Cana-de-açúcar**: Doze Estudos sobre a Agroindústria da Cana-de-açúcar no Brasil e a sua Sustentabilidade. In: Berlendis & Vertecchia. São Paulo: SP. Única. União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2005.

MELO, R.C. de. **Determinação de açúcar redutor em presença de sacarose**. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, v.99, n.3, p.26-31. 1982.

MARQUES, Líbia Diniz Santos. **Produção de açúcar invertido pelo uso de invertase imobilizada em resina**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

MENEGUETTI, C.C.; MEZARROBA, S.; GROFF, A.M.. Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema. **Fecilcam**, Campo Mourão, p. 1-9. 19 nov. 2010.

MENÉNDEZ, J.A.. Microwave heating processes involving carbon materials. **Fuel Processing Technology**, Oviedo, p. 1-8. 28 ago. 2009.

NUNES, D. L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus sativus* L. E.** utilização para a clarificação de soluções. 26 ago. 2009.

OITICICA, J.E.R.; BRAS, L. M. J.; CORREIA, M. M. **Manual de técnicas de laboratório e fabricação de açúcar de cana**. Coleção Canavieira, n. 18, Rio de Janeiro, 1975.

PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 1989.

SILVA, Roberto Nascimento et al. Comparação de métodos para a Determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 23, n. 3, p.337-341, set. 2003. Semestral.

SOUSA FILHO, José Waldir de. **Purificação do caldo de cana-de-açúcar por irradiação ultravioleta e micro-ondas para produção de açúcar e etanol**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2014.

ZURITA, Edwin José Castillo. **Avaliação da Inversão da Sacarose em um Sistema de Evaporação (Evaporador de Filme Descendente com Promotor de Película)**. 2008. 95 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-11082008-140625/pt-br.php>>. Acesso em: 09 set. 2014.