



**Universidade Federal da Paraíba**  
**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**  
**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS**



# **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

## **AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR LÍQUIDO INVERTIDO**

**Missilene Bastos da Silva**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erika  
Adriana de Santana Gomes**

**Junho de 2017**



**Universidade Federal da Paraíba**  
**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**  
**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS**



# **AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR LÍQUIDO INVERTIDO**

**Missilene Bastos da Silva**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a Graduação de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erika Adriana de Santana Gomes**

**Junho de 2017**

S586a Silva, Missilene Bastos da.  
Avaliação da produção de açúcar líquido invertido. [recurso eletrônico] / Missilene Bastos da Silva. -- 2017.  
42 p. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Erika Adriana de Santana Gomes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) – CTDR/UFPB.

1. Açúcar cristal. 2. Açúcar líquido. 3. Análises físico-químicas. I. Gomes, Erika Adriana de Santana Gomes II. Universidade Federal da Paraíba. III. Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional. IV. Título.

CDU: 612.396

**MISSILENE BASTOS DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR LÍQUIDO  
INVERTIDO**

TCC aprovado em 08/06/2017 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Erika Adriana de Santana Gomes. (UFPB - Orientadora)

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Solange Maria de Vasconcelos. (UFPB - Membro Interno)

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Joelma Moraes Ferreira. (UFPB - Membro interno)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus porque sem ele nada disso seria possível, à minha família por todo apoio e incentivo à minha mãe Marilza Bastos de Almeida e meu pai Gilmar Malheiros da Silva, aos meus amigos Thaíse Apolinário, Larissa Cavalcanti, Danúbia Bruna, Maíra Raely , Antônio Carlos, Idaiana Alencar, Gerlane Henrique, Sayonara Ferreira, Luana de Souza, Paulo Henrique, Larissa Nunes e aos demais colegas do curso que conheci e contribuíram direta e indiretamente na realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira Dr<sup>a</sup>. Solange Maria de Vasconcelos, Dr<sup>a</sup>. Joelma Moraes Ferreira, Dr Marcelo Teixeira Leite, Dr<sup>a</sup>. Danielle Christine Almeida Jaguaribe, Dr<sup>a</sup>. Márcia Helena Pontieri, Dr Pablo Nogueira Teles Moreira, Dr<sup>a</sup>. Liana Filgueira Albuquerque, Dr Fábio de Melo Resende e Dr Kelson Carvalho Lopes por contribuírem para a minha formação e em especial à Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Erika Adriana de Santana Gomes pela orientação neste trabalho.

À Prof.<sup>a</sup> Cristiani Grisi do Departamento de Tecnologia de Alimentos por fornecer as amostras de açúcar invertido para o presente estudo e aos técnicos de laboratório do CTDR especialmente Diego Batista que ajudou com algumas análises do açúcar líquido invertido .

## RESUMO

O uso do açúcar é essencial na indústria alimentícia. O Brasil é o maior produtor de açúcar no mundo tendo como matéria-prima predominante a cana-de-açúcar. Dentre os vários tipos de açúcares encontrados na forma comercial como cristal e refinado destacam-se os açúcares diferenciados por apresentarem vantagens de elevada solubilidade e difícil cristalização que contribui para a sua grande utilização em doces e bebidas gaseificadas. São eles os açúcares líquido e líquido invertido. Com a utilização do açúcar líquido as indústrias de refrigerantes dispensam a etapa de diluição do açúcar em água para inverter a sacarose e posteriormente adicionar ao refrigerante, diminuindo os custos de armazenamento e transporte e melhorando a logística da empresa. Por ser considerado um alimento o açúcar líquido invertido necessita de análises que determinem a qualidade do produto em relação as especificações exigidas. O presente trabalho teve como principal objetivo produzir açúcar líquido invertido através da acidificação, utilizando dois tipos de ácidos, açúcares refinados de marcas diferentes e açúcar cristal. Em seguida foram realizadas as análises físico-químicas, comparando-as com açúcar líquido invertido comercial e com um açúcar líquido invertido produzido com açúcar cristal, denominada de amostra padrão. Foram realizadas análises de: °Brix, pH, cor, turbidez, cinzas condutimétricas e Açúcares Redutores %(AR) em triplicata. Os resultados das análises físico-químicas obtidos mostraram que o açúcar líquido invertido produzido por acidificação com ácido cítrico e açúcar cristal obtiveram os valores dentro das especificações, mostrando o ácido cítrico como sendo mais eficaz quando utilizados açúcares refinados, tendo como vantagens diminuição de insumos utilizados na produção. Em relação aos ácidos utilizados o ácido cítrico proporcionou as amostras uma taxa de inversão maior que o ácido clorídrico bem como valores de cor mais baixa, além de ser mais indicado devido ao custo e mais apropriado para o uso em alimentos.

**Palavras-chave:** açúcar cristal, açúcar líquido, açúcar líquido invertido, análises físico-químicas.

## ABSTRACT

The use of sugar is essential in the food industry. Brazil is the largest producer of sugar in the world with the predominant feedstock sugar cane. Among the various types of sugars found in commercial form as Crystal and refined sugars are distinguished by presenting advantages of high solubility and difficult crystallization that contributes to your great use in candies and carbonated beverages. They are liquid and liquid invert sugars. With the use of liquid sugar-free soft drink industries step sugar dilution in water to reverse the sucrose and subsequently add the soda, reducing the costs of storage and transportation and improving the logistics of the company. As a food the invert sugar solution requires analyses that determine the quality of the product in respect of the required specifications. The present work had as main goal producing invert sugar solution by acidification, using two types of acids, refined sugars of different brands and crystal sugar. Then the physical-chemical analysis, comparing them with invert sugar solution and shopping with an inverted liquid sugar produced with crystal sugar, called standard sample. Analyses were conducted: °Brix, pH, color, turbidity, conductivity ash content does and reducing sugars% (air) in triplicate. The results of the physicochemical analyses obtained showed that the invert sugar solution produced by acidification with citric acid and crystal sugar obtained the values within specifications, showing the citric acid as being more effective when used sugars refined, having as advantages reduction of inputs used in production. In relation to acids used citric acid provided samples a reversal rate greater than the hydrochloric acid as well as lower color values, in addition to being more suitable due to cost and more suitable for use in foods.

**Keywords:** Crystal sugar, liquid sugar, inverted liquid sugar, physicochemistry analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrólise da sacarose.....	19
Figura 2 - Espectrofotômetro da marca EDUTEC.....	25
Figura 3 - Teor de cinzas das amostras de açúcares líquidos invertidos analisados.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados das análises de açúcares invertidos (Literatura).....	18
Tabela 2 -	Equipamentos e vidrarias utilizadas na produção e análises do açúcar líquido invertido.....	21
Tabela 3 -	Açúcares redutores (AR) pelo método (DNS) para os açúcares líquidos invertidos.....	28
Tabela 4 -	Açúcares redutores (AR)% dos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca A.....	29
Tabela 5 -	Açúcares redutores (AR)% dos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca B.....	29
Tabela 6 -	Volumes de ácidos utilizados e % de açúcares redutores no açúcar líquido invertido: comercial, amostra padrão e de laboratório, produzidos com o açúcar cristal e ácido cítrico.....	30
Tabela 7 -	Dados das cinzas Condutimétricas dos açúcares invertidos.....	31
Tabela 8 -	Dados das análises de açúcar invertido: comercial, amostra padrão e a da produzida em laboratório.....	33
Tabela 9 -	Amostras de açúcar invertido Marca A, utilizando o ácido clorídrico.....	34
Tabela10 -	Amostras de açúcar invertido Marca A, utilizando o ácido cítrico.....	35
Tabela11 -	Amostras de açúcar invertido Marca B, utilizando o ácido clorídrico.....	36
Tabela12 -	Amostras de açúcar invertido Marca B, utilizando o ácido cítrico.....	37

## SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivo Geral.....	14
1.2	Objetivos Específicos.....	14
2.0	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	Açúcar.....	15
2.2	Açúcar Líquido.....	15
2.3	Açúcar Líquido invertido.....	16
3.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1	Matéria-prima.....	20
3.2	Materiais e Equipamentos utilizados.....	20
3.3	Metodologias de inversão ácida do açúcar líquido invertido.....	21
3.3.1	<i>Produção de Açúcar Líquido Invertido, utilizando açúcar refinado.....</i>	<i>22</i>
3.3.2	<i>Produção de Açúcar Líquido Invertido, utilizando açúcar cristal.....</i>	<i>22</i>
3.3.3	<i>Determinação de açúcares redutores em (g/L) pelo método DNS (ácido 3,5 – dinitrosalicílico) nas amostras de açúcar líquido invertido.....</i>	<i>23</i>
3.3.4	<i>Determinação de açúcares redutores, utilizando o método Eynon-Lane.....</i>	<i>23</i>
3.3.5	<i>Análise de Cor ICUMSA.....</i>	<i>24</i>
3.3.6	<i>pH.....</i>	<i>26</i>
3.3.7	<i>Brix.....</i>	<i>26</i>
3.3.8	<i>Turbidez.....</i>	<i>26</i>
3.3.9	<i>Condutividade.....</i>	<i>26</i>
3.3.10	<i>Cinzas Condutimétricas.....</i>	<i>26</i>
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Determinação das concentrações de açúcares redutores (g/L) pelo método DNS (ácido 3,5 – dinitrosalicílico).....	28
4.2	Determinação de açúcares redutores, utilizando o método <i>Eynon-Lane</i> .....	29

4.3	Determinação de cinzas condutimétricas nos açúcares líquidos invertidos	30
4.4	Análises físico-químicas do açúcar invertido das amostras: comercial, padrão e a produzida em laboratório.....	32
4.5	Análises físico-químicas do açúcar líquido invertido produzido em laboratório a partir do açúcar refinado da Marca A.....	34
4.6	Análises físico-químicas do açúcar líquido invertido produzido em laboratório a partir do açúcar refinado da Marca B.....	36
5.0	CONCLUSÃO.....	39
6.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

## 1.0 INTRODUÇÃO

O presente trabalho produziu açúcar líquido invertido com o intuito de mostrar uma visão inovadora para a indústria sucroalcooleira a fim de estimular a diversificação da sua produção, pois este tipo de açúcar é altamente utilizado por indústrias alimentícias e existe uma escassez de produção pelas usinas da região Nordeste. Devido a isso busca-se também avaliar a eficiência e os custos da produção, utilizando-se diferentes tipos de ácidos.

Devido à necessidade de se obter produtos diferenciados com maior qualidade, empresas agroindustriais brasileiras principalmente as usinas sucroalcooleiras produtoras de açúcar estão buscando formas de aprimorar seus produtos a fim de agregar valor aos mesmos, atendendo as exigências do mercado adaptando-se às mudanças tecnológicas, investindo na produção de açúcar líquido e açúcar líquido invertido que são açúcares diferenciados no mercado (BIANCHINI & ASSUMPÇÃO, 2002).

O açúcar líquido invertido pode ser produzido a partir de três métodos distintos: inversão ácida, inversão enzimática e inversão catiônica (BIANCHINI & ASSUMPÇÃO, 2002).

Uma das técnicas mais comuns utilizadas para a obtenção do açúcar líquido invertido é a acidificação ou inversão ácida que pode ser homogênea e heterogênea. É um processo econômico e eficiente, porém o produto final é altamente colorido devido ao pH e a temperatura. A hidrólise heterogênea utiliza a resina catiônica e o meio ácido da resina promove perda de açúcar e degradação do mesmo, formando hidroximetil furfural. Já a hidrólise enzimática possui baixos teores de resíduos prejudiciais, porém sua utilização exige custos elevados (RODRIGUES, *et al.*; 2000).

Com a demanda cada vez mais alta, o açúcar invertido tornou-se um produto vantajoso com elevada solubilidade devido à presença da frutose e difícil poder de cristalização sendo amplamente empregado em indústrias de alimentos como doces e bebidas gaseificadas. Deve ser produzido a partir de uma solução refinada ou açúcar granulado e com controle da temperatura pois o aquecimento elevado favorece mudanças na cor do produto final (PODADERA, 2007).

Segundo Marquez (2007) a hidrólise enzimática ainda é pouco empregada na indústria devido ao custo elevado e utiliza principalmente a enzima invertase para a produção do açúcar invertido.

Para um açúcar invertido de qualidade a inversão da sacarose deve ser controlada observando fatores como a concentração dos reagentes e ácidos que serão utilizados, a temperatura e o tempo de reação, além disso a escolha do ácido é extremamente importante, pois há uma taxa de inversão diferente. Dentre os ácidos empregados o ácido clorídrico é o mais utilizado tendo poder de inversão de cem por cento (PODADERA, 2007).

Este trabalho aborda a avaliação físico-química do açúcar líquido invertido produzido em laboratório a partir de açúcares refinados e cristal, utilizando diferentes ácidos. Os açúcares líquidos invertidos produzidos são comparados ao produto comercial e um padrão produzido a partir de açúcar cristal o qual foi preparado e cedido pela Prof<sup>a</sup>. Cristiani Grisi do Departamento de Tecnologia de Alimentos do CTDR-UFPB, utilizando análises como: °Brix, pH, turbidez, cor, condutividade e açúcares redutores, a fim de determinar se a qualidade obtida atende as especificações exigidas como o grau de conversão, além de comparar os custos envolvidos de acordo com os ácidos empregados.

## **1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como principal objetivo produzir o açúcar líquido invertido através da acidificação, avaliar físico-quimicamente e comparar com o produto comercial.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Produzir o açúcar líquido invertido a partir de marcas de açúcares refinados e açúcares cristais comerciais;
- Avaliar o percentual de inversão, utilizando diferentes ácidos (ácido clorídrico e ácido cítrico);
- Analisar os açúcares produzidos quanto: cor ICUMSA (UI), °Brix, pH, turbidez, cinzas condutimétricas, Açúcares Redutores (%AR).
- Comparar os açúcares invertidos produzidos com o comercial e a amostra padrão, produzida utilizando açúcar cristal.

## **2.0 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Açúcar**

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar no mundo tendo a cana-de-açúcar como sua principal fonte de matéria-prima no território brasileiro. De modo geral, os açúcares são compostos orgânicos que apresentam em sua composição carbono, hidrogênio e oxigênio com a fórmula molecular descrita a seguir:  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . A sacarose é um dissacarídeo encontrada em diversos vegetais e frutas que ao sofrer uma reação de hidrólise tem sua molécula quebrada formando glicose e frutose que são monossacarídeos (FLORES, *et al.*,2011).

O açúcar começou a ser produzido no Brasil no século XVI em engenhos e tornou-se um produto de exportação na época, levando a criação do Instituto do Açúcar e Alcool-IAA que ficou responsável por controlar a produção de açúcar e álcool. Com a demanda maior, o setor açucareiro necessitava cada vez mais de modernização o que contribuiu para a substituição dos engenhos por usinas. No decorrer dos anos devido ao grande consumo de açúcar, as empresas se viram obrigadas a inovar como forma de se diferenciar dos seus concorrentes, investindo na qualidade de seus produtos e diversificação da produção (ALVES e BATALHA,1997).

### **2.2 Açúcar líquido**

O açúcar líquido é um adoçante natural constituído de sacarose sob a forma líquida, inodora e incolor obtida pela dissolução do açúcar sólido em água. É altamente utilizado em bebidas carbonatadas, passando por uma série de procedimentos após a dissolução. A solução resultante é clarificada, filtrada e esterilizada. Em seguida é armazenada por cerca de 48 horas em tanques de aço. Em geral, o açúcar líquido possui uma concentração de 66,7 a 67,3% de °Brix (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

Um dos primeiros registros na história sobre açúcar líquido se deu na época de Napoleão como um composto de glicose utilizado na manufatura industrial, sendo produzido em escala mundial a partir de 1927 devido à altas demandas do mesmo nas indústrias de alimentos e bebidas. As principais vantagens oferecidas pelo açúcar líquido são devido a facilidade no manuseio e dosagem, além de ocupar menos espaço no armazenamento. Porém, possui a desvantagem da facilidade quanto à contaminação microbiana (MARIGNETTI e MANTOVANI, 1979/80 *apud* PODADERA, 2007).

### **2.3 Açúcar líquido invertido**

O açúcar líquido invertido é um adoçante natural bastante aplicado nas indústrias alimentícias e de bebidas principalmente as gaseificadas, bem como alimentos que necessitem de açúcares que não interfiram na cor do produto. Teve sua produção iniciada por volta de 1951 na Irlanda em que o açúcar bruto da cana era fundido, filtrado e a inversão da sacarose ocorria com a adição de ácido clorídrico e no fim da reação adicionava-se hidróxido de sódio. Muitas empresas têm receio de utilizar o açúcar líquido invertido pois acreditam que devido ao fato dos refrigerantes possuírem natureza ácida vai ocorrer quebra da sacarose na etapa de engarrafamento e como consequência a quantidade de açúcar na bebida irá aumentar. Porém, as indústrias de laticínios não utilizam o açúcar líquido invertido pelo inconveniente de ocorrer uma reação de escurecimento bem como mudanças no ponto de congelamento do produto com a presença de açúcares redutores. Tem como principal concorrente o xarope de milho enriquecido com frutose (PODADERA, 2007).

O açúcar líquido recebe esse nome devido a inversão do poder óptico da solução após o processo da hidrólise pois a sacarose possui rotação positiva e o açúcar líquido invertido possui rotação negativa. Isto é verificado no polarímetro. A mistura das moléculas de glicose e frutose resultará no açúcar líquido invertido se a hidrólise for completa, ou seja, quando tiver proporções iguais dos dois açúcares (FLORES *et al.*, 2011).

As principais propriedades físico-químicas do açúcar líquido invertido são: doçura, higroscopicidade, alta solubilidade devido à presença de frutose, cor baixa que indica um produto com alta qualidade sendo um dos principais

parâmetros. A cor está relacionada com a temperatura e o tempo de aquecimento, pois com o aumento do tempo de aquecimento ocorre um aumento de cor. O pH deve ser mantido ácido para manter a cor desejada. A viscosidade do açúcar invertido é de extrema importância para a indústria, pois é através dela que são realizados cálculos de dimensionamento de bombas e equipamentos, controle de sua estocagem, controle de qualidade, especificação da temperatura de utilização. De acordo com esses fatores foram utilizadas diversas equações para determinar o comportamento do escoamento de alimentos líquidos como o modelo Newtoniano da viscosidade (GRATÃO; BERTO; SILVEIRA, Jr, 2004).

O açúcar líquido invertido pode ser obtido através de três métodos distintos: 1. Inversão ácida, 2. Inversão enzimática e 3. Inversão catiônica.

**1. Inversão Ácida:** Consiste em utilizar ácido em uma solução de sacarose sendo realizada em tanques de agitação à meio quente.

**2. Inversão enzimática:** Consiste em utilizar a enzima invertase encontrada em leveduras para promover a hidrólise da sacarose. O produto final dessa reação contém grande quantidade de sólidos em suspensão sendo necessário etapas complementares de filtração.

**3. Inversão catiônica:** Consiste em utilizar resinas catiônicas para inversão da sacarose. É um processo comum em que os sais presentes na calda do açúcar vão reagir com as resinas em uma coluna gerando acidez que irá provocar uma inversão parcial desse açúcar, e ao passar em outra coluna de resina catiônica a inversão se tornará completa (BIANCHINI; ASSUMPÇÃO, 2002).

Uma das técnicas mais comuns utilizadas para a obtenção do açúcar líquido invertido dentre as citadas anteriormente é a acidificação ou inversão ácida. No caso da hidrólise heterogênea utilizada por meio da resina catiônica ocorre perda de açúcar e degradação do mesmo formando o composto hidroximetil furfural (HMF) como consequência da cor no xarope (RODRIGUES *et al*, 2000).

Apesar de apresentar várias vantagens e ser o processo de obtenção do açúcar líquido invertido mais empregado na indústria, a hidrólise ácida possui os inconvenientes de gerar um produto final com grandes taxas de compostos coloridos e resíduos ácidos. Em virtude desses problemas a hidrólise

enzimática é indicada, embora apresente a dificuldade do custo elevado. A enzima utilizada para hidrólise da sacarose é a invertase ou  $\beta$ -D-frutofuranosidase, podendo ser encontrada em diversos micro-organismos como leveduras, fungos e bactérias. Para a produção industrial as leveduras são mais utilizadas (MARQUEZ, 2007).

As vantagens de se utilizar a hidrólise enzimática em relação à hidrólise ácida são diversas tais como resultar em produtos sem resíduos ou subprodutos indesejáveis como ácidos e hidroximetil furfural, não requerendo etapas de neutralização e os xaropes obtidos através desse processo são mais limpos e livres de produtos coloridos além de ser um método menos corrosivo para equipamentos (RAIMUNDO, 2003).

O açúcar líquido invertido é armazenado em tanques de aço, geralmente associados à bombas e tubulações o que facilita as chances de contaminação microbiana. A inversão da sacarose é controlada por fatores determinantes como: concentração dos reagentes e ácidos, controle da temperatura e o tempo de reação, pois a temperatura muito elevada ocasionará formação de cor. Deve-se acompanhar a proporcionalidade da velocidade de inversão com relação ao aumento de temperatura e redução do pH, pois produtos com acidez muito baixa e cor não são desejados (PODADERA, 2007).

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores padrões de algumas análises físico-químicas para os açúcares líquidos invertidos, segundo a literatura:

Tabela 1 - Dados das análises de açúcares invertidos (Literatura).

Referências	Análises físico-químicas					
	°Brix	d (g/mL)	pH	Cor ICUMSA (UI)	AR (%)	Cinzas (ppm)
GRATÃO <i>et al.</i> , 2004	76,0 a 78,0	-	4,5 a 5,5	150	59,68 - 89,88	-
BIANCHINI & ASSUMPÇÃO, 2002	76,0 a 78,0	-	-	-	-	-
RODRIGUES <i>et al.</i> , 2000	77,0	1,4	5,0	56	54,0	43

Fonte: O Autor, 2017.

Com relação aos ácidos utilizados para a produção do açúcar invertido sua escolha é de extrema importância, pois cada ácido possui eficiência diferente na taxa de inversão da sacarose: o ácido clorídrico apresenta poder de 100% de inversão, o ácido sulfúrico com 53,6% e o ácido fosfórico apenas 6,21%. Outro fator importante para a qualidade do açúcar invertido é o teor de cinzas que é decorrente do tipo de açúcar e água utilizados para a sua fabricação (PODADERA, 2007).

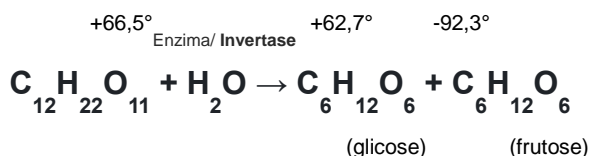
O % inversão é quantificado através da Equação (1) descrita em (RODRIGUES *et al.*; 2000):

$$\% \text{ Inversão} = \frac{AR}{(AR+1,05 \text{ Sacarose}) \times 100} \quad (1)$$

A sacarose é submetida à temperatura de 20 °C e possui solubilidade de 67,1% que estabelece a máxima concentração permitida para evitar a cristalização durante seu armazenamento e transporte. O teor de sólidos solúveis pode ser aumentado adicionando glicose e frutose à solução de sacarose sem ter um risco de cristalização, pois a frutose possui alta solubilidade. Com isso os açúcares líquidos podem ser fabricados com grandes taxas de sólidos o qual está relacionado ao tempo de vida do produto, pois quanto maior a concentração de sólidos dissolvidos o açúcar líquido invertido terá maior tempo de vida de prateleira (PODADERA, 2007).

A reação da inversão da sacarose através da hidrólise, representando os graus de polarização da solução de sacarose (dextrogira) e a solução invertida de glicose e frutose, predominantemente, levogira podem ser observados na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Hidrólise da sacarose



Fonte: Chemello, 2005.

### **3.0 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os experimentos de preparação e análises físico-químicas do açúcar líquido invertido foram realizados nos Laboratórios de Processos e Operações Unitárias e de Tecnologia Sucroalcooleira do Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira da UFPB.

As análises físico-químicas das amostras dos açúcares líquidos foram realizadas em triplicata, possibilitando avaliar variações entre os experimentos através dos cálculos do desvio padrão relativo entre eles. Em geral o custo do litro do ácido clorídrico 37 PA L é de \$24,00 (vinte e quatro reais) (HEXIS, 2017) e o quilo do ácido cítrico é de \$15,80 (quinze reais e oitenta centavos) (RICA NATA, 2017).

#### **3.1 Matéria-prima**

Os açúcares refinados e cristal utilizados como matéria-prima para a preparação do açúcar líquido invertido foram comprados em supermercado. Foram avaliadas duas marcas de açúcares refinados e uma de açúcar cristal, visando determinar qual delas fornecem as melhores especificações físico-químicas de (°Brix, pH, turbidez, condutividade, teor de inversão) para a preparação do açúcar líquido invertido.

Os açúcares líquidos invertidos utilizados como referência foram um comercial e um padrão produzido com açúcar cristal cedidos pela professora Cristiani Grisi do Departamento de Tecnologia de Alimentos do CTDR - UFPB, além dos dados obtidos na literatura (Tabela 1).

#### **3.2 Materiais e Equipamentos utilizados**

Os insumos utilizados para a realização dos experimentos e análises físico-químicas: Sacarose (açúcar refinado comercial e cristal), água destilada, ácido cítrico, ácido clorídrico, bicarbonato de sódio, Ácido 3,5 - dinitrosalicílico (DNS), hidróxido de sódio (solução 2,0 M), tartarato duplo de sódio e potássio, glicose.

Os equipamentos utilizados e as vidrarias estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Equipamentos e vidrarias utilizadas na produção e análises do açúcar líquido invertido.

<b>Equipamentos</b>	<b>Vidrarias</b>
Refratômetro digital (NOVA)	Béquer (250 e 600 mL)
Espectrofotômetro (Marca: EDUTEC Modelo: EEQ-9005);	Pipeta (5 e 10 mL)
Balança analítica (Marca: WANT, Modelo: TKS);	Proveta (50 mL)
Banho-maria (Marca: QUIMIS Modelo: 0218-2)	Tubos de ensaio
Termômetro	Balão volumétrico 250 mL ou 100 mL
Placa aquecedora (Marca: SOLAB Modelo:S292)	-
Redutec SOLAB	-
pHmetro (EVEN)	-
Turbidímetro portátil (Marca: HANNA, Modelo HI93703)	-
Condutivímetro (Marca: ANALYSER, Modelo: 7A04-HK)	-

Fonte: O Autor, 2017.

### **3.3 Metodologias de inversão ácida do açúcar líquido invertido**

Foram utilizadas duas metodologias de inversão ácida para a produção de açúcar líquido invertido e dois tipos de ácidos (ácido clorídrico e ácido cítrico), visando avaliar o percentual de inversão obtida de acordo com a temperatura da reação, tipo e concentração dos ácidos utilizados.

### **3.3.1 Produção de Açúcar Líquido Invertido, utilizando açúcar refinado**

O açúcar líquido invertido foi preparado, utilizando açúcar refinado, conforme a metodologia descrita por Flores, *et al.*, 2011.

#### **Procedimento:**

- Pesou-se 75,0 g de sacarose em balança analítica;
- Dissolveu-se a sacarose em 45,0 mL de água destilada em um béquer de 600 mL. A dissolução da sacarose foi realizada na placa aquecedora até a completa dissolução;
- Retirou-se uma amostra de 6 mL da solução e o restante foi dividido em duas partes iguais, à primeira parte adicionou-se 2,5 g de ácido cítrico e à segunda 0,5 mL de ácido clorídrico, concentrado;
- Agitou-se fortemente para rápida homogeneização;
- Aqueceu-se em estufa à 50°C por 50 minutos;
- Adicionou-se bicarbonato de sódio até pH = 3,5 - 4,0, homogeneizando;
- As análises físico-químicas foram realizadas em seguida.

### **3.3.2 Produção de Açúcar Líquido Invertido, utilizando açúcar cristal**

O açúcar líquido invertido foi preparado, utilizando açúcar cristal, conforme a metodologia descrita por Andrade, 2001.

#### **Procedimento:**

- Pesou-se 21,0 g de açúcar cristal;
- Dissolveu-se em 10,0 mL de água destilada;
- Pesou-se 0,02 g de ácido cítrico;
- Pesou-se 0,008 g de bicarbonato de sódio;
- Aqueceu-se a água até 90 °C, adicionou-se o açúcar e o ácido cítrico, agitando em seguida;

- Quando iniciou a fervura, desligou-se o aquecimento e cessou a agitação.
- Após 20 minutos de repouso, o xarope ainda quente, adicionou-se o bicarbonato de sódio sob agitação;
- Filtrou-se em tecido de algodão. O produto final foi estocado à temperatura ambiente em frasco fechado.

### ***3.3.3 Determinação de açúcares redutores em (g/L) pelo método DNS (ácido 3,5 – Dinitrosalicílico) nas amostras de açúcar líquido invertido***

#### **Procedimento:**

1. Pesou-se 1,0 g de açúcar líquido invertido e diluiu-se em 100 mL de água destilada em um balão volumétrico de 100 mL;
2. Após a diluição, coletou-se 1 mL da amostra e transferiu-se para um tubo de ensaio;
3. Adicionou-se 1 mL de ácido 3,5 - dinitrosalicílico (DNS) no tubo de ensaio;
4. Aqueceu-se em banho-maria à 100° C durante 15 minutos;
5. Após esse tempo resfriou-se em água fria durante 5 minutos;
6. Após resfriar completou-se com 8 mL de água destilada e homogeneizar;
7. Foi realizada a leitura da absorbância no espectrofotômetro.

### ***3.3.4 Determinação de açúcares redutores, utilizando o método Eynon-Lane***

Para quantificar o percentual de açúcares redutores (AR) foi utilizado o método *Eynon-Lane* o qual se baseia no princípio da titulação, utilizando reagentes colorimétricos através do seguinte procedimento.

### **Procedimento:**

1. Pesou-se 4,0 g da amostra de açúcar invertido, em balança analítica, em um béquer de 250 mL;
2. Adicionou-se 100 mL de água destilada;
3. Dissolveu-se a amostra em um balão de vidro e homogeneizou-se até completar a diluição;
4. Transferiu-se a amostra para um balão de 500 mL;
5. Aferiu-se uma bureta de 50 mL com a solução acima até a marca de aferição;
6. Preparou-se uma solução de *Fehling* com 3 gotas de azul de metileno, 5 mL de *Fehling A*, 5 mL de *Fehling B* e adicionou-se 25 mL de água destilada.
7. A solução foi colocada no condensador do redutec e esperou-se alguns minutos até a fervura;
8. Titulou-se a amostra da bureta, gotejando a solução açucarada na solução de *Fehling* até que esta mistura atinja uma coloração “tijolo”.

A determinação de açúcares redutores pelo método *Eynon-Lane* consiste em dividir 625 pelo volume gasto na titulação no momento da viragem de cor conforme a Equação (2) a seguir:

$$\% \text{ Inversão} = \frac{625}{\text{Volume gasto}} \quad (2)$$

### **3.3.5 Análise de Cor ICUMSA**

A cor do açúcar líquido invertido foi determinada através do método ICUMSA (Instituto Adolfo Lutz, 2005), utilizando um espectrofotômetro da marca EDUTEC modelo EEQ-900 (Figura 2), para a realização da análise.

Figura 2 - Espectrofotômetro da marca EDUTEC.



Fonte: O Autor, 2017.

**Procedimento:**

- A amostra foi transferida para a cubeta de quartzo;
- A água destilada foi adotada como referência;
- As leituras de absorvância foram realizadas no espectrofotômetro com o comprimento de onda de 420 nm, em triplicata;
- O cálculo foi realizado, utilizando a Equação (3):

$$cor\ ICUMSA = \frac{(1000xA)}{(BxC)} \quad (3)$$

Onde: A = absorvância da solução medida 420 nm

B = espessura da cubeta em cm (1,0 cm)

C = concentração do filtrado em g/ mL em função do °Brix

Obs:

$$C_{g/mL} = \frac{^{\circ}\text{Brix da solução (5}^{\circ}\text{Brix).densidade aparente(tabelada}\sim\text{1,017)}}{100} \quad (4)$$

A densidade aparente é a massa específica em g/mL encontrada a partir do °Brix da solução de acordo com a Tabela 4, p.699 (CALDAS, 2012).

### **3.3.6 pH**

O pH do açúcar líquido invertido foi medido em um pHmetro digital da marca EVEN modelo (PHS-3E).

### **3.3.7 Brix**

A determinação dos sólidos solúveis (°Brix) foi realizada em um refratômetro digital da marca NOVA.

### **3.3.8 Turbidez**

As análises de turbidez das amostras de açúcar líquido invertido foram medidas em um turbidímetro da marca HANNA modelo HI93703.

### **3.3.9 Condutividade**

A condutividade das amostras de açúcar líquido invertido foram medidas em um condutivímetro da marca ANALYSER modelo 7A04-HK.

### **3.3.10 Cinzas Condutimétricas**

Determinação da concentração de cinzas condutimétricas, expressa em percentagem pelo método do condutivímetro foi determinada, segundo (CALDAS, 2012).

Foram utilizadas as soluções: cloreto de potássio 0,1 mol/L, cloreto de potássio 0,001 mol/L para aferição do condutivímetro. Foi utilizado para determinação das cinzas condutimétricas uma solução de 0,240 % para 5 g /100 mL de açúcar líquido invertido e água deionizada, sendo realizada a 20 °C.

**Procedimento:**

1. Pesou-se 5,0 g de açúcar;
2. Transferiu-se quantitativamente com ajuda de água deionizada para um balão volumétrico de 100 mL. Completou-se o volume com água deionizada e agitou-se;
3. Realizou-se a leitura a 20 °C.

**Leitura de condutividade à 20 °C:**

Os cálculos para determinação das cinzas condutimétricas foram realizados a partir da Equação 5 a seguir:

$$cz(\% m/v) = (16,2 + 0,36 \cdot D) \cdot 10^4 \cdot C \cdot f \cdot K \quad (5)$$

Onde: D: Massa de amostra utilizada em grama por 100 mL

C: C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>

C<sub>1</sub>: Condutividade em μS / cm à 20 ° C da solução;

C<sub>2</sub>: Condutividade em μS / cm à 20 ° C da água destilada;

f: Fator de diluição da solução = 5/ S;

S: Peso da amostra em gramas;

K: Constante da célula de condutividade (cm<sup>-1</sup>);

Em seguida os valores obtidos foram elevados a 10<sup>6</sup> para a conversão em ppm.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Determinação das concentrações de açúcares redutores (g/L) pelo método DNS (ácido 3,5 – dinitrosalicílico)

A Tabela 3 a seguir ilustra os resultados obtidos das análises de açúcares redutores em g/L, através do método (DNS) para os açúcares líquidos invertidos, utilizando ácido clorídrico (HCl) e o ácido cítrico (A.C.).

Tabela 3 - Açúcares redutores pelo método (DNS) para os açúcares invertidos.

AMOSTRAS	Absorbância (540 nm)	y (concentração) eq. Reta (g/L)	Concentração AR
MARCA A HCl (1)	0,004	0,051627	5,16
MARCA A HCl (2)	0,003	0,050745	5,07
MARCA A HCl (3)	0,006	0,053391	5,34
MARCA A (A.C.) (1)	0,005	0,052509	5,25
MARCA A (A.C.) (2)	0,007	0,054273	5,43
MARCA A (A.C.) (3)	0,004	0,051627	5,16
MARCA B HCl (1)	0,003	0,050745	5,07
MARCA B HCl (2)	0,002	0,049864	4,99
MARCA B HCl (3)	0,002	0,049864	4,99
MARCA B (A.C.) (1)	0,005	0,052509	5,25
MARCA B (A.C.) (2)	0,003	0,050745	5,07
MARCA B (A.C.) (3)	0,004	0,051627	5,16
COMERCIAL	0,003	0,050745	5,07
Padrão (açúcar cristal)	0,003	0,050745	5,07
Laboratório (açúcar cristal)	0,007	0,054273	5,43

Fonte: O Autor, 2017.

As determinações de açúcares redutores (Tabela 3) foram realizadas a partir da equação da reta ilustrada na curva padrão de calibração (anexo). A concentração dos açúcares redutores foi quantificada através da multiplicação

da concentração representada na equação da reta, considerando o fator de diluição (1:100) de cada amostra de açúcar líquido invertido.

As amostras de açúcares líquidos invertidos A e B foram produzidas, utilizando açúcares refinados e a amostra padrão e a de laboratório ambas foram produzidas utilizando açúcares cristais. Todas as amostras utilizaram inversão ácida.

A amostra de açúcar invertido produzida em laboratório, utilizando açúcar cristal utilizou ácido cítrico e a mesma metodologia da amostra padrão.

#### 4.2 Determinação de açúcares redutores, utilizando o método *Eynon-Lane*.

As Tabelas 4, 5 e 6 mostram os resultados dos volumes gastos nas titulações realizadas na quantificação dos %AR, utilizando o método *Eynon-Lane*

Tabela 4 - Açúcares redutores (AR)% dos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca A.

Marca A	HCl		Ácido Cítrico	
	V (mL)	AR (%)	V (mL)	AR (%)
Ensaio 1	10,8	57,87	11,5	54,35
Ensaio 2	12,5	50,00	10,4	60,10
Ensaio 3	9,8	63,78	8,90	70,22
<b>Média</b>	<b>11,0</b>	<b>57,22</b>	<b>10,3</b>	<b>61,56</b>

Fonte: O Autor, 2017.

Tabela 5 - Açúcares redutores (AR)% dos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca B.

Marca B	HCl		Ácido Cítrico	
	V (mL)	AR (%)	V (mL)	AR (%)
Ensaio 1	8,5	73,53	8,4	74,40
Ensaio 2	9,7	64,43	9,5	65,79
Ensaio 3	10,5	59,52	10,2	61,27
<b>Média</b>	<b>9,6</b>	<b>65,83</b>	<b>9,4</b>	<b>67,15</b>

Fonte: O Autor, 2017.

Tabela 6 – Volumes de ácido utilizados e % de açúcares redutores no açúcar líquido invertido: comercial, amostra padrão e de laboratório, produzidos com o açúcar cristal e ácido cítrico.

AMOSTRAS	V (mL)	AR (%)
Comercial	11,9	52,5
Amostra padrão (açúcar cristal)	12,5	50,0
Laboratório (açúcar cristal)	7,6	82,2

Fonte: O Autor, 2017.

Avaliando as Tabelas 4, 5, e 6 associando a literatura (Tabela 1) podemos verificar que os açúcares comercial e a amostra padrão apresentaram %AR menores que os especificados (54,0 – 89,88%). Podemos também verificar a maior eficiência de conversão em %AR do ácido cítrico com relação ao ácido clorídrico nas marcas A e B onde obtivemos valores médios de otimização de conversão de 7,01 e 1,97%, respectivamente.

Quanto ao grau de conversão (%AR) na produção do açúcar líquido invertido o melhor valor obtido foi com a amostra produzida em laboratório, utilizando açúcar cristal e o menor volume de ácido cítrico. Ressaltando, que o ácido cítrico é o mais indicado para a produção de alimentos em geral, apresentando melhor rendimento na produção do açúcar líquido invertido, viabilizando a aplicação industrial dessa metodologia.

### **4.3 Determinação de cinzas condutimétricas nos açúcares líquidos invertidos**

A Tabela 7 ilustra os valores médios obtidos das análises de cinzas condutimétricas nos açúcares invertidos analisados em triplicata.

Tabela 7 – Dados das cinzas condutimétricas dos açúcares invertidos.

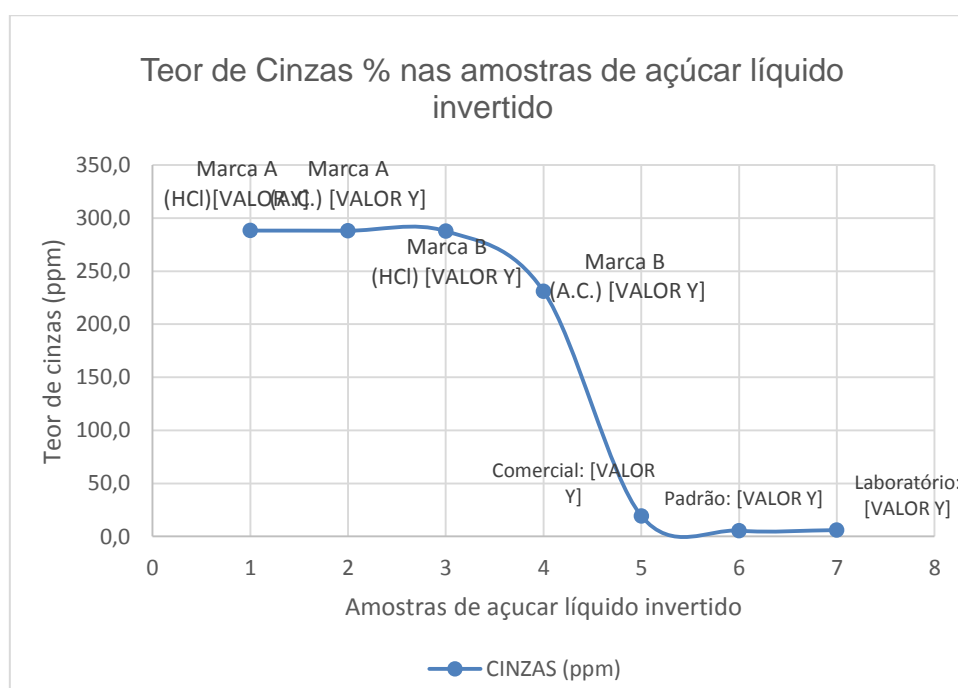
CINZAS (ppm)	D	C1	C2	C	f	K	p.p.m.
Média marca A HCl	5,0	1.634,50	32,92	1.601,58	1,0	1,0	288,28
D.P.R. marca A HCl	0,0	50,13	0,00	51,16	0,0	0,0	51,16
Média marca A (A.C.)	5,0	1.634,00	32,92	1.601,08	1,0	1,0	288,19
D. P. R. marca A (A.C.)	0,0	12,64	0,00	12,90	0,0	0,0	12,90
Média marca B HCl	5,0	1.631,50	32,92	1.598,58	1,0	1,0	287,74
D. P. R. marca B HCl	0,0	38,52	0,00	39,31	0,0	0,0	39,31
Média marca B (A.C.)	5,0	1.317,00	32,92	1284,23	1,0	1,0	231,16
D. P. R. marca B (A.C.)	0,0	37,48	0,00	38,42	0,0	0,0	38,41
COMERCIAL	5,0	140,60	32,92	107,68	1,0	1,0	19,38
Padrão (açúcar cristal)	5,0	63,09	32,92	30,17	1,0	1,0	5,43
Laboratório (açúcar cristal)	5,0	65,99	32,92	33,07	1,0	1,0	5,95

\*desvio padrão relativo

Fonte: O Autor, 2017.

A Figura 3 ilustra o teor de cinzas em ppm das amostras de açúcar líquido invertidos analisados.

Figura 3: Teor de cinzas das amostras de açúcares líquidos invertidos analisados.



Fonte: O Autor, 2017.

De acordo com a literatura os valores obtidos para as cinzas condutimétricas do açúcar líquido invertido é de 43 ppm (RODRIGUES et al, (2000). E segundo, Podadera (2007) as cinzas estão relacionadas com a qualidade da água, ou seja, quantidade de sais contidos na água utilizada para produção do açúcar líquido invertido. Portanto, avaliando a Tabela 7 apenas os açúcares: comercial, padrão e o de laboratório, produzidos com açúcar cristal estão dentro das especificações para o teor de cinzas condutimétricas, confirmando que o açúcar cristal é o mais propício à produção do açúcar líquido invertido, pois o açúcar refinado é adicionado de diversos insumos no processo de clarificação, os quais ficam retidos no produto final e são solubilizados no processo de produção do açúcar líquido invertido, sendo representados pela elevada condutividade obtida.

#### **4.4 Análises físico-químicas do açúcar invertido das amostras: comercial, padrão e a produzida em laboratório**

A Tabela 8 apresenta os valores das análises físico-químicas realizadas no açúcar invertido: comercial, amostra padrão e a da produzida em laboratório. As análises realizadas foram: cor ICUMSA, pH, °Brix, Turbidez, Condutividade, Cinzas Condutimétricas e teor de inversão da sacarose através dos métodos DNS e *Eynon-Lane*.

A determinação de açúcares redutores AR (%) pelo método *Eynon-Lane* através da curva de DNS representam valores diferentes, pois o método de *Eynon-Lane* se refere ao percentual de açúcares redutores obtidos e as leituras utilizando DNS medem a concentração de açúcares redutores em g/L.

Tabela 8 - Dados das análises de açúcar invertido: comercial, amostra padrão e a da produzida em laboratório.

Análises	Comercial	Padrão	Laboratório (açúcar cristal)
°Brix	71,80	77,60	78,30
pH	4,26	4,33	5,50
Turbidez (N.T.U)	0,43	0,01	0,03
Densidade (g/mL)	1,36	1,39	1,40
Concentração (g/mL)	0,97	1,08	1,09
Absorbância (420 nm)	0,13	0,08	0,02
Cor ICUMSA (UI)	130,29	74,07	13,76
AR (%)	52,5	50,00	82,20
AR (DNS)	5,07	5,07	5,43
Condutividade (mS)	306,7	84,00	326,50
Cinzas Condutimétricas (ppm)	19,38	5,43	5,95

Fonte: O Autor, 2017.

Analisando a Tabela 8 podemos observar que os valores obtidos nas análises físico-químicas de °Brix, pH, cor, cinzas e açúcares redutores AR (%) pelo método *Eynon-Lane* estão dentro das especificações exigidas, além de apresentar melhores resultados para essas análises em comparação com o açúcar líquido invertido comercial analisado. Comparando o açúcar líquido invertido padrão com o de laboratório podemos observar que a utilização do açúcar cristal na produção de açúcar líquido invertido, viabiliza a produção por proporcionar um °Brix dentro das especificações e reduzir os custos de produção com relação a utilização dos açúcares refinados, pois os açúcares refinados possuem o teor de °Brix menor em relação ao açúcar cristal.

A metodologia utilizada para a produção do açúcar invertido em laboratório foi a mesma da amostra padrão e podemos notar diferenças pouco significativas nos dois açúcares, as quais são decorrentes do tempo de armazenamento.

O açúcar líquido invertido padrão e de laboratório apresentaram °Brix de 77,6 e 78,3% estando dentro das especificações. Segundo Rodrigues *et al.*,

2000, a solubilidade do xarope é máxima com concentrações de sólidos solúveis de açúcar em água (°Brix) de 76,5 %, pois diminui riscos de contaminação microbiana e de cristalização.

Os valores de pH obtidos foram menores do que os descrito na literatura (4,5 – 5,5).

#### 4.5 Análises físico-químicas do açúcar líquido invertido produzido em laboratório a partir do açúcar refinado da Marca A

As Tabelas 9 e 10 apresentam os valores obtidos das análises físico-químicas realizadas nos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca A.

Tabela 9 - Amostras de açúcar invertido Marca A, utilizando o ácido clorídrico.

Açúcar Marca A	Ensaaios			Média (açúcar marca A)	Desvio padrão relativo (%)
	1	2	3		
°Brix	66,9	66,6	64,4	66,00	1,37
pH	3,96	3,56	5,35	4,29	0,94
Turbidez (N.T.U)	1,13	1,22	0,06	0,80	0,65
Densidade (g/mL)	1,3269	1,3251	1,3117	1,3201	0,01
Concentração (g/mL)	0,88	0,88	0,84	0,87	0,02
Absorbância (420 nm)	0,1910	0,1080	0,006	0,1020	0,09
Cor ICUMSA (UI)	217,05	122,73	7,14	115,64	90,91
AR (%)	57,87	50,00	63,78	57,22	6,91
AR (DNS)	5,16	5,07	5,34	5,19	0,14
Condutividade (mS)	1.404,0	839,2	1.467,00	1.236,70	27,95
Cinzas Condutimétricas	47,17	239,59	336,97	207,91	70,93

Fonte: O Autor, 2017.

Avaliando a Tabela 9 e comparando com os valores das análises físico-químicas encontradas na literatura todas as três amostras apresentaram °Brix abaixo das especificações. Em relação a análise de pH apenas a amostra 3

obteve um valor dentro das especificações (4,5 - 5,5). Onde valores de pH muito baixos inibem a contaminação microbológica, mas inviabilizam a utilização, pois alteram significativamente as características do produto final.

Na análise de cor as amostras apresentaram valores de acordo com as especificações (150UI) exceto a amostra 2, pois obteve um valor de 217,05 UI e a amostra 3 apresentou a cor mais baixa, beneficiando a sua aplicação em razão de não causar alterações no produto final, principalmente os produtos de coloração clara e transparentes.

Os valores das cinzas condutimétricas foram elevadas em todas as amostras e os açúcares redutores AR (%) pelo método *Eynon-Lane* foram de 57,87 e 63,78% nas amostras 1 e 3 sendo compatíveis com os valores encontrados na literatura para os açúcares líquidos invertido (Tabela 1) (RODRIGUES, *et al*, 2000; GRATÃO *et al*, 2004).

Tabela 10 - Amostras de açúcar invertido Marca A, utilizando o ácido cítrico.

Açúcar marca A	Ensaio			Média (açúcar marca A)	Desvio padrão relativo (%)
	1	2	3		
°Brix	72,0	64,8	63,0	66,6	4,76
pH	3,67	4,21	3,52	3,8	0,36
Turbidez (N.T.U)	0,01	0,13	0,15	0,10	0,08
Densidade (g/mL)	1,3587	1,3141	1,3032	1,3253	0,03
Concentração (g/mL)	0,97	0,85	0,82	0,88	0,009
Absorbância (420 nm)	0,023	0,040	0,026	0,030	0,009
Cor ICUMSA(UI)	23,71	47,06	31,71	34,16	34,74
AR (%)	54,35	60,10	70,22	61,56	8,03
AR (DNS)	5,25	5,43	5,16	5,28	0,14
Condutividade (mS)	1.151,0	1.235,0	1.264,0	1216,7	58,7
Cinzas Condutimétricas	261,91	41,41	314,47	205,93	70,35

Fonte: O Autor, 2017.

Avaliando a Tabela 10 e comparando com os valores das análises físico-químicas encontradas na literatura todas as três amostras apresentaram °Brix e

pH abaixo das especificações. Os valores obtidos para a cor foram baixos para as amostras analisadas, em razão da utilização do açúcar refinado na produção destes açúcares.

Em relação a taxa de inversão pelo método *Eynon-Lane* as amostras de açúcar da marca A apresentaram valores superiores a 50%, mostrando uma boa inversão da sacarose. Os valores das concentrações dos açúcares redutores obtidos, utilizando o DNS foram próximos aos encontrados para as análises anteriores (Tabelas 8 e 9), considerando que a literatura não apresenta esse tipo de análise para os açúcares líquidos invertidos. Comparando a taxa de inversão com os ácidos utilizados observou-se que o ácido cítrico obteve uma eficiência de 7,05% em relação ao ácido clorídrico nos açúcares invertidos na marca A.

#### 4.6 Análises físico-químicas do açúcar líquido invertido produzido em laboratório a partir do açúcar refinado da Marca B

As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados das análises físico-químicas realizadas nos açúcares invertidos produzidos a partir do açúcar refinado Marca B.

Tabela 11 - Amostras de açúcar invertido Marca B, utilizando ácido clorídrico.

Açúcar Marca B	Ensaio			Média (açúcar marca B)	Desvio padrão relativo (%)
	1	2	3		
°Brix	65,1	66	66,5	65,9	1,07
pH	3,94	2,95	3,66	3,52	14,51
Turbidez (N.T.U)	3,59	0,07	1,66	1,77	99,4
Densidade (g/mL)	1,3159	1,3214	1,3244	1,3206	0,32
Concentração (g/mL)	0,85	0,87	0,88	0,87	1,76
Absorbância (420 nm)	0,039	0,057	0,039	0,045	0,01
Cor ICUMSA (UI)	45,88	65,52	44,32	51,91	22,76
AR (%)	73,53	64,43	59,52	65,83	10,79
AR (DNS)	5,07	4,99	4,99	5,02	0,05
Condutividade (mS)	1.553	735,1	886,3	1.058,10	41,12
Cinzas Condutimétricas	175,69	194,95	380,53	250,39	45,17

Fonte: O Autor, 2017.

Analisando a Tabela 11 em comparação com os valores das análises físico-químicas encontrados na literatura podemos ver que todas as amostras tiveram °Brix, pH e cinzas fora das especificações, porém ambas as amostras apresentaram resultados satisfatórios de cor que foram relativamente baixas e dentro das especificações. Quanto a determinação de AR (%) pelo método *Eynon-Lane* os valores obtidos estão de acordo com a literatura, ou seja, acima de 55% e quanto ao método de determinação do %AR, utilizando o DNS os valores também estão de acordo com as análises anteriores (Tabelas 8, 9 e 10).

Tabela 12 - Amostras de açúcar invertido Marca B, utilizando o ácido cítrico.

Açúcar Marca B	Ensaio			Média (açúcar marca B)	Desvio padrão relativo (%)
	1	2	3		
°Brix	68,3	66,5	64,5	66,4	1,9
pH	4,72	4,17	3,96	4,28	0,39
Turbidez (N.T.U)	0,28	0,03	0,05	0,12	0,139
Densidade (g/mL)	1,3356	1,3244	1,3122	1,3241	0,012
Concentração (g/mL)	0,91	0,88	0,84	0,88	0,035
Absorbância (420 nm)	0,074	0,031	0,006	0,037	0,034
Cor ICUMSA (UI)	81,32	35,23	7,14	41,23	3,75
AR (%)	74,4	65,79	61,27	67,15	6,67
AR (DNS)	5,25	5,07	5,16	5,16	0,09
Condutividade (mS)	1.174	698,9	646,4	839,8	34,60
Cinzas Condutimétricas	61,75	293,95	168,37	174,69	66,53

Fonte: O Autor, 2017.

Analisando a Tabela 12 em comparação com os valores encontrados na literatura pode-se observar que todas as amostras apresentaram °Brix fora das especificações. A amostra 1 obteve pH dentro das especificações, embora as repetições não tenham atingido os valores da literatura, ficando também a média fora das especificações.

Na análise de cor todas as amostras mantiveram valores de acordo com a literatura, estando nas especificações exigidas. Os açúcares redutores %AR pelo método *Eynon-Lane* tiveram valores acima de 55 % de inversão e pelo método AR (DNS) os valores estão de acordo com os demais realizados.

Comparando as marcas de açúcares refinados e ácidos utilizados para a produção do açúcar líquido invertido, podemos concluir que o ácido cítrico tanto na Marca A quanto na Marca B apresentaram taxas de inversão AR (%) pelo método *Eynon-Lane* acima de 55 %, entretanto, a utilização do ácido cítrico em ambas mostrou-se mais eficaz do que o ácido clorídrico em relação as análises de cor que é um parâmetro determinante da qualidade do açúcar onde, quanto mais baixa a cor maior é a qualidade do produto.

Comparando a taxa de inversão com os ácidos utilizados observou-se que o ácido cítrico obteve uma eficiência maior de 1,96% em relação ao ácido clorídrico nos açúcares líquidos invertidos da marca B.

## 5.0 CONCLUSÃO

De acordo com as análises físico-químicas realizadas em laboratório verificou-se que o açúcar líquido invertido de maior qualidade foi o produzido a partir de açúcar cristal, pois apresentou valores de °Brix, pH, cor, cinzas, açúcares redutores AR (%) pelo método *Eynon-Lane* dentro das especificações exigidas, além da viabilidade econômica com relação ao uso dos açúcares refinados.

Os açúcares invertidos produzidos a partir de açúcares refinados tanto a Marca A quanto a Marca B apresentaram valores de °Brix e cinzas fora das especificações, porém a taxa de inversão pelo método *Eynon-Lane* de ambas as amostras tiveram valores acima de 55 %. Na literatura essa faixa de inversão é essencial para determinar se um açúcar líquido invertido pode ser comercializado.

Em relação aos ácidos utilizados o ácido cítrico proporcionou as amostras uma taxa de inversão maior que o ácido clorídrico bem como valores de cor mais baixas, além de ser mais indicado devido ao custo e por ser mais apropriado para o uso em alimentos.

O método para determinação de açúcares redutores, utilizando o DNS tornou-se um padrão de quantificação com uma faixa de (4,99 - 5,43 g/ L), pois não há referências na literatura para a quantificação de açúcares líquidos, sendo possível identificar a falha nas análises de realizadas pelo método de *Eynon-Lane* das amostras comercial e que utilizou açúcar cristal.

Para o açúcar líquido invertido ser comercializado deve-se realizar análises microbiológicas e de hidroximetil furfural além de análise sensorial para sabor e odor.

Por fim, em uma visão geral pode-se constatar que o objetivo inicial do presente estudo foi alcançado, produzindo um açúcar líquido invertido com parâmetros de qualidade dentro das normas vigentes.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. R.; BATALHA, M., O. Desenvolvimento e novas tendências do setor sucroalcooleiro. Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP,1997.

ANDRADE, A. R. D.; ANDRADE, L. T. Princípios da tecnologia industrial de frutas e hortaliças. João Pessoa, 2001.

BIANCHINI, V. K.; ASSUMPÇÃO, M., R.; A. Diferenciação de produtos na cadeia produtiva do açúcar: O Processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido; 2002; Curitiba-PR; XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

CALDAS, CELSO. Novo Manual para Laboratórios Sucroalcooleiros, 2012.

CHEMELLO, E. A química na cozinha apresenta: o açúcar. 2005. Disponível em <[http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2005nov\\_qnc\\_sugar.pdf](http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2005nov_qnc_sugar.pdf)>. Acesso em 3 de março de 2017.

FLORES, M.; PINHEIRO, T.; DINIZ, N; SILVA, M. Açúcar invertido e cristalização do açúcar. Relatório técnico. Engenharia de Alimentos - UESB 2011.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA Jr., V. Reologia do açúcar líquido invertido: Influência da temperatura na viscosidade. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2004.

HEXIS, 2017. Disponível em <<http://www.hexis.com.br/produto/acido-cloridrico-37-pa-acs-1l>>. Acesso em: 30/05/2017.

Instituto Adolfo Lutz (IAL) Métodos físico-químicos para análises de alimentos. Brasília: 4ª Edição, 1ª Edição digital , ANVISA , 2005.

MARQUEZ, L. D. S. Produção de açúcar invertido pelo uso de invertase imobilizada em resinas. Universidade Federal de Uberlândia - UFU 2007.

PODADERA, P. Estudo das propriedades do açúcar líquido invertido processado com radiação gama e feixe de elétrons. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares - IPEN Autarquia associada à Universidade de São Paulo - USP 2007.

RAIMUNDO, G. M.; Desenvolvimento do processo contínuo de produção de xaropes concentrados de açúcar invertido. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE 2003.

RICA NATA, 2017. Disponível em: <<https://www.ricanata.com.br/acido-citrico>>. Acesso em: 30/05/2017.

RODRIGUES, M. V. N.; RODRIGUES, R. A. F.; SERRA, G. E.; ANDRIETTA, S. R.; FRANCO, T. T.; Produção de xarope de açúcar invertido obtido por hidrólise heterogênea, através de planejamento experimental. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP SP 2000.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; ARAGÃO, F. A. S.; Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-Dinitrosalicílico:Histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza - CE, 2013.

## ANEXO

### **Preparação da curva de calibração, utilizando DNS (ácido 3,5 – dinitrosalicílico) para determinação dos açúcares redutores em amostras de açúcar líquido invertido**

A preparação do DNS (ácido 3,5 - dinitrosalicílico) foi realizada de acordo com a metodologia da Embrapa, 2013.

Para realizar as leituras de absorvância das soluções de glicose para construção da curva de calibração, seguir o procedimento abaixo:

1. Para preparar a solução mãe, pesar 1,0 g de glicose em um balão volumétrico de 1,0 L;
2. Após dissolução, aferir o volume com água destilada;
3. A partir da solução mãe 1,0 g/L preparar soluções com concentrações, variando de 0,1 g/L a 0,9 g/L de glicose conforme ilustrado na Tabela 3;
4. Transferir 1,0 mL de cada diluição da solução mãe para os tubos de ensaio;
5. Adicionar mesmo volume do reagente DNS a cada tubo (1,0mL);
6. Agitar e aquecer a mistura durante 15 minutos no banho-maria à 100° C;
7. A reação é interrompida imergindo os tubos em banho de água fria. Após resfriamento adicionar 8,0 mL de água destilada;
8. Após a homogeneização realizar a leitura da intensidade da cor em espectrofotômetro à 540 nm, contra uma amostra de calibração chamada de “branco “utilizada para zerar a absorvância no equipamento. Essa amostra de branco é preparada da mesma forma que a solução a ser analisada, apenas substituindo a adição da amostra por água destilada.

A Tabela 1 a seguir mostra os dados de absorvância e das diluições das soluções de glicose utilizadas para a construção da curva padrão de calibração para determinação de açúcares redutores, utilizando DNS, realizada em triplicata.

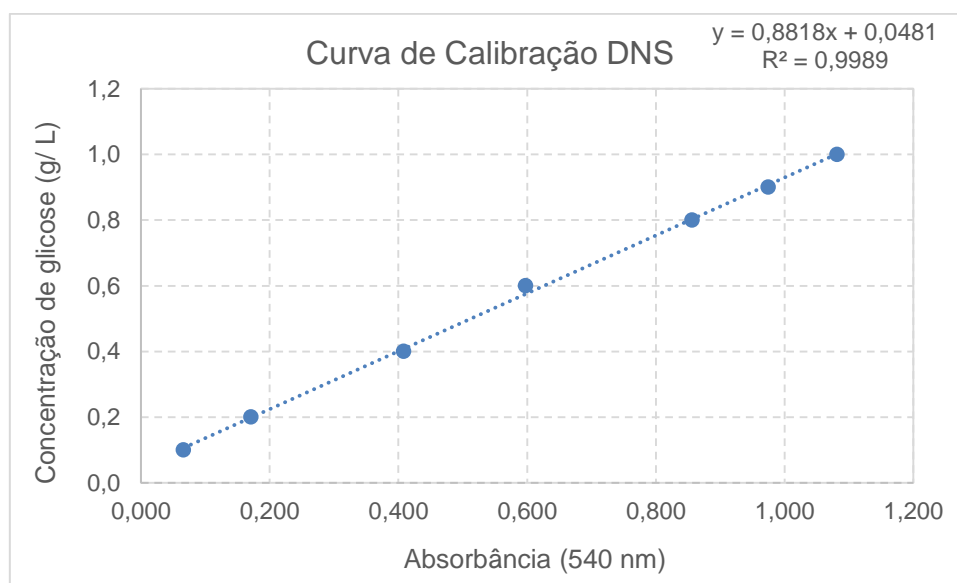
Tabela 1- Dados de absorvância das diluições das soluções de glicose para a construção da curva padrão de calibração, utilizando DNS.

CURVA 1		CURVA 2		CURVA 3		Curva Média		Desvio Padrão
Abs. (540 nm)	C (g/L)	Abs. (540 nm)	C (g/L)	Abs. (540 nm)	C (g/L)	Abs. (540 nm)	C (g/L)	
0,065	0,1	0,064	0,1	0,069	0,1	0,066	0,1	0,003
0,181	0,2	0,155	0,2	0,177	0,2	0,171	0,2	0,014
0,394	0,4	0,407	0,4	0,423	0,4	0,408	0,4	0,015
0,606	0,6	0,599	0,6	0,587	0,6	0,597	0,6	0,010
0,845	0,8	0,861	0,8	0,862	0,8	0,856	0,8	0,010
0,968	0,9	0,964	0,9	0,992	0,9	0,975	0,9	0,015
1,051	1,0	1,085	1,0	1,108	1,0	1,081	1,0	0,029

Fonte: O Autor, 2017.

A Figura 1 ilustra a curva de calibração construída utilizando soluções com diferentes concentrações de glicose para possibilitar a quantificação dos açúcares redutores presente nas amostras de açúcares líquidos invertidos produzidos e analisados.

Figura 1 - Curva de calibração padrão, utilizando DNS.



Fonte: O Autor, 2017.