

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**HIAGO NAGEL AMÉRICO**

**OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTESCÍVEIS A PARTIR DE MALTE DE  
ARROZ PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA SEM GLÚTEN.**

**CRICIÚMA**

**2017**

**HIAGO NAGEL AMÉRICO**

**OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTESCÍVEIS A PARTIR DE MALTE DE  
ARROZ PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA SEM GLÚTEN.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do Grau de Engenheiro Químico no curso de Engenharia Química da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Mosto Cervejeiro.

Orientador: Professor MSc. Emerson Colonetti

**CRICIÚMA**

**2017**

**HIAGO NAGEL AMÉRICO**

**OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTESCÍVEIS A PARTIR DE MALTE DE  
ARROZ PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA SEM GLÚTEN.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado  
pela Banca Examinadora para obtenção do  
Grau de Engenheiro Químico, no Curso de  
Engenharia Química da Universidade do  
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Criciúma, 28 de Junho de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. MSc. Emerson Colonetti – Bacharel em Química Tecnológica – (UNESC)  
Orientador

Prof. MSc. Antônio Cleber Gonçalves Júnior – Engenheiro de Alimentos – (UNESC)

Léo Victor Boing Vieira – Engenheiro Químico – (Cervejaria Santa Catarina)  
Supervisor de estágio

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela oportunidade de realizar esse sonho, sempre me acompanhar e jamais permitir que eu desistisse.

A todo o corpo docente da UNESC que me acompanhou e pode compartilhar comigo seus conhecimentos nessa jornada, toda a sua estrutura e ótimo ambiente de estudo que nos proporciona.

Todos os colaboradores do excelente laboratório de química da UNESC, por me auxiliarem nos procedimentos necessários.

Ao meu orientador, Emerson, que sempre foi muito solícito aos meus questionamentos e me oportunizou a realização deste trabalho sempre compartilhando seus conhecimentos e ideias.

Aos meus pais, Ézio, Ivone e minha madrastra Eliana, que sempre incentivaram e esperaram o melhor de mim por acreditar na minha capacidade de sempre seguir em frente e realizar meus sonhos.

Giulia, minha namorada, que sempre foi muito compreensiva nos momentos mais difíceis e que sempre encontrava algum jeito de me confortar e incentivar a superar as dificuldades com seu companheirismo de sempre.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, pelos momentos de superação e por permitir que eu fizesse parte de suas histórias e dessa jornada tão desafiadora.

A Saint Bier, ao Léo, que prontamente aceitaram a ideia e forneceram toda a estrutura e conhecimento necessário para a realização deste projeto.

**“Um pouco de ciência nos afasta de Deus.  
Muito, nos aproxima.”**

**Louis Pasteur.**

## RESUMO

Diante de um cenário restrito a produtos sem glúten que são produzidos e distribuídos no mercado e devido a alta e fácil produção de arroz no Brasil, o presente trabalho visa a produção de uma cerveja sem glúten a partir do malte de arroz. Recentemente o malte de arroz tem despertado o interesse da indústria cervejeira que busca alternativas mais viáveis financeiramente para o problema no setor de produtos destinados a celíacos, que são acometidos da dificuldade do organismo de metabolizar o glúten presente na cevada, trigo, centeio e seus derivados. O desenvolvimento de uma nova cerveja sem glúten obtido através da substituição total do malte base para a bebida foi desenvolvido seguindo as normas EBC (European Brewing Convention) e foi caracterizada através de ensaios físico-químicos para verificação do pH, cor, viscosidade cinemática, extrato primitivo, densidade, açúcares redutores e não redutores e obter a curva de sacarificação, bem como a otimização de uma rampa de temperatura para a mesma. Os resultados foram satisfatórios para um primeiro estudo em questão. Os estudos baseados nas normas EBC foram promissores, apesar de ser uma matéria-prima nova no mercado e ser necessário melhores estudos técnicos e científicos no tratamento e desenvolvimento do malte de arroz.

**Palavras-chave:** Malte de arroz. Sacarificação. Glúten. Gelatinização.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EBC	European Brewing Convention.
FAO	Food and Agricultural Organization

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 HISTÓRICO DA CERVEJA.....	11
3.2 CERVEJA NO BRASIL.....	12
<b>3.2.1 Legislação Brasileira.....</b>	<b>14</b>
3.3 CERVEJA SEM GLÚTEN.....	13
4 MATÉRIAS-PRIMAS.....	14
<b>4.1 ÁGUA CERVEJEIRA.....</b>	<b>14</b>
4.2 MALTE.....	15
<b>4.2.1 Malte de cevada.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.2 Malte de arroz.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.3 Adjuntos.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.4 Enzimas.....</b>	<b>18</b>
4.3 LÚPULO.....	19
4.4 LEVEDURA.....	20
5 PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	20
5.1 PRODUÇÃO DO MOSTO.....	21
<b>5.1.1 Moagem do malte.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.2 Mostura.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.3 Filtração do mosto.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.4 Fervura.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.5 Resfriamento e aeração do mosto.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.6 Fermentação.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.7 Maturação.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.8 Filtração da Cerveja.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1.9 Carbonatação.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1.10 Pasteurização.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1.11 Envaze.....</b>	<b>26</b>
6. METODOLOGIA.....	27

6.1 MATERIAIS.....	27
<b>6.1.1 Malte de arroz.....</b>	<b>27</b>
7 SACARIFICAÇÃO DO MALTE DE ARROZ.....	28
7.1 NORMAS EBC.....	28
<b>7.1.1 Preparação do mosto conforme EBC 4.5.1.....</b>	<b>28</b>
<b>7.1.2 Massa específica.....</b>	<b>31</b>
<b>7.1.3 Determinação da cor do mosto.....</b>	<b>31</b>
<b>7.1.4 Determinação da viscosidade.....</b>	<b>32</b>
<b>7.1.5 Determinação de sólido solúveis.....</b>	<b>32</b>
<b>7.1.6 Determinação do pH.....</b>	<b>32</b>
<b>7.1.7 Determinação da proteína do mosto.....</b>	<b>32</b>
<b>7.1.8 Açúcares redutores.....</b>	<b>33</b>
<b>7.1.9 Açúcares não redutores.....</b>	<b>33</b>
<b>7.1.10 Extrato do malte.....</b>	<b>34</b>
8 METODOLOGIA PARA PRODUÇÃO DA CERVEJA NA PLANTA PILOTO....	35
9 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
9.1 RESULTADOS DOS MOSTOS OBTIDOS CONFORME NORMA EBC.....	38
9.2 RESULTADOS DOS MOSTOS OBTIDOS CONFORME RAMPA OTIMIZADA.....	41
9.3 RESULTADOS EM PLANTA PILOTO.....	44
10 CONCLUSÃO.....	46
11 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	47
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a cerveja está entre as bebidas mais consumidas no mundo e devido a sua grande abrangência em todas as classes sociais, atinge também pessoas celíacas, cujo único tratamento consiste em uma dieta totalmente exclusiva de glúten. Essa proteína está presente no trigo e cevada, e posteriormente no malte, cereais estes amplamente presente na composição da cerveja e em outros produtos ingeríveis (MAYER et al., 2016)

Visto que o mercado atualmente ainda é restrito a distribuição de produtos destinados a celíacos, a cerveja também está fora dos produtos consumidos por celíacos. Uma alternativa a este problema pode ser sugerido através da substituição dos cereais base para a produção da cerveja por malte de arroz, isento de glúten. Outra razão é a possibilidade de produzir cerveja com matérias-primas alternativas nos países onde a cevada não é cultivada (MAYER et al., 2016).

Amplamente cultivado no sul do Brasil, o arroz está entre as principais atividades da agroindústria do país, o que pode ser base para um estudo do malte de arroz com grande potencial mercadológico e assim suprimindo a necessidade da indústria de produzir e distribuir produtos para consumidores celíacos (MAYER et al., 2016).

Para tanto, são necessárias algumas alterações no processo de produção, uma vez que o amido de arroz não se degrada facilmente em açúcares solúveis e em produtos de baixo peso molecular no mosto, que é uma condição necessária para a produção da cerveja. A temperatura de gelatinização do amido de arroz é maior que a temperatura de gelatinização do amido presente na cevada, compreendendo temperaturas entre 61 a 82°C para o arroz e 60 a 62°C para a cevada. Desta forma, uma rampa de temperatura para a mostura com malte de arroz deve ser diferente (BRIGGS et al., 2004).

Avaliar a possibilidade de produção de cerveja sem glúten a partir de malte de arroz e adaptar o processo é objeto de estudo no trabalho que será apresentado.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a possibilidade de produção de cerveja sem glúten a partir de malte de arroz.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a taxa de sacarificação do malte de arroz conforme norma EBC.
- Otimizar as temperaturas da rampa de sacarificação do malte de arroz.
- Caracterizar os mostos obtidos conforme normas EBC.
- Produzir uma cerveja utilizando malte de arroz em escala piloto.
- Avaliar as características de cerveja produzida.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 HISTÓRICO DA CERVEJA

A origem das primeiras bebidas alcoólicas é incerta, mas estima-se que o homem começou a utilizar fermentações em bebidas por volta de 8000 a.C. Foi desenvolvida paralelamente aos processos de fermentação de cereais e difundiu-se lado a lado com as culturas de milho, centeio e cevada nas antigas sociedades estáveis (AQUARONE et al., 2001).

A cerveja é uma bebida fermentada com uma história de mais de dez mil anos, cujo processo de elaboração tem sido cada vez mais regulado e melhor controlado permanecendo inalterado durante séculos (VENTURINI FILHO, 2010).

Há registros sobre a utilização da cerveja na antiguidade entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito. A bebida também foi produzida por gregos e romanos durante o apogeu dessas civilizações (AQUARONE et al., 2001).

O tempo foi passando e a produção da bebida passou a ser vigiada pela Igreja Romana. As abadias cristãs, como centros agrícolas de conhecimento e

ciência, refinaram os métodos de fabricação. Ainda naquele tempo pouco se sabia do papel do fermento no processo de fermentação (EMMEL, L. 2016).

Em meados da metade do século XIX, Louis Pasteur foi o primeiro a explicar como a levedura funciona. As cervejarias da época não sabiam explicar porque o processo de fazer cerveja nos meses quentes deixava esta azeda, enquanto que as fabricadas próximo dos Alpes resultava em uma melhora na estabilidade e no sabor. No verão, a temperatura auxiliava o crescimento das leveduras selvagens e de bactérias no mosto, fazendo a cerveja azedar (EMMEL, L. 2016).

Com a revolução industrial, o modo de produção e distribuição sofreu mudanças decisivas, estabelecendo-se fábricas cada vez maiores na Inglaterra, Alemanha e Império Austro-Húngaro (AQUARONE et al., 2001).

Os ingredientes básicos para a produção da maioria das cervejas são cevada maltada, água, lúpulo e levedura e atualmente seguem a lei Bavária de pureza (*Reinheitsgebot*) que tem quase quinhentos anos e restringe os cervejeiros a utilizarem apenas esses ingredientes nas cervejas produzidas na Alemanha (AQUARONE et al., 2001).

Com uma maior flexibilidade nas escolhas de diferentes matérias-primas, as cervejarias do mundo inteiro seguem sempre com o intuito de manter a tradição desta importante bebida. Dentre todas as bebidas, a cerveja produzida por fermentação do mosto preparado a partir de malte de cereais, principalmente a cevada tem sido alvo de diversas pesquisas propondo o desenvolvimento de novos processos e produtos capazes de suprir os mais variados gostos dos consumidores (VENTURINI FILHO, 2010).

### 3.2 CERVEJA NO BRASIL

No Brasil, o hábito do consumo de cerveja teve início no século XIX, sendo trazido por D. João VI durante a permanência da família real portuguesa em território brasileiro (AQUARONE et al., 2001).

Em 1888 foi fundado no Rio de Janeiro a “Manufatura de Cerveja Brahma Villiger e Cia”, e poucos anos depois na cidade de São Paulo, a Companhia Antártica Paulista. Após mais de cem anos, essas cervejarias ainda detém o domínio do mercado de cerveja no Brasil. Após a fusão destas, surgiu a Ambev, hoje a maior

cervejaria do Brasil. Em 2004, o anúncio da fusão com a cervejaria belga InterBrew resultou na criação da InterBev, que detém o título de maior cervejaria do mundo (AQUARONE et al., 2001).

Até o ano de 1999 o mercado brasileiro era disputado apenas por quatro grandes empresas, sendo elas a Brahma, Antartica, Kaiser e Schincariol. Hoje, em crescimento exponencial começam a se proliferar em várias regiões do Brasil micro-cervejarias que servem a bebida na forma de chope diretamente ao cliente, a exemplo dos principais consumidores no mundo na Europa (AQUARONE et al., 2001).

### **3.2.1 Legislação Brasileira**

No Brasil, o órgão responsável pelo registro, classificação, padronização, controle, inspeção e fiscalização da cerveja é o Ministério da Agricultura (AQUARONE et al., 2001).

A legislação brasileira (Decreto nº 6.871, de Junho de 2009) em vista ao disposto na Lei nº 8.918, de 14 de Julho de 1994 decreta no Art. 1º sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas (BRASIL, 2009).

Segundo a seção III, do Art. 36º deste decreto, define a cerveja como sendo a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo de malte de cevada e água potável, por ação de levedura, com adição de lúpulo (BRASIL, 2009).

Ainda de acordo com a legislação Brasileira, o malte de cevada e o lúpulo usados na elaboração da cerveja poderão ser substituídos por seus respectivos extratos. Parte do malte de cevada poderá ser substituída por cereais maltados ou não, e por carboidratos de origem vegetal transformado ou não. Os cereais a que se refere à legislação são a cevada, arroz, trigo, o centeio, o milho, a aveia e o sorgo, todos integrais, em flocos ou a sua parte amilácea (BRASIL, 2009).

Parte desses cereais poderá substituir o malte de cevada por adjuntos cervejeiros, cujo emprego não poderá ser superior a 45% em relação ao extrato primitivo que é a quantidade de substâncias do mosto que originam a cerveja (BRASIL, 2009).

### 3.3 CERVEJA SEM GLÚTEN

A recente procura por cervejas alternativas com características especiais ou até mesmo sem glúten motivou o interesse pela mudança da denominação do termo “cerveja”. Em referência a isso, a publicação da portaria nº 8, de 17 de janeiro de 2014, no anexo I, entende como cerveja sem glúten a bebida elaborada com cereais que não contenham glúten ou que seu teor seja abaixo de 10 ppm estabelecido pelo regulamento técnico específico (FARINI;BORGES, 2016).

## 4 MATÉRIAS-PRIMAS

A lei (*Reinheitsgebot*) de pureza alemã, publicada em 1516 em Bavária, estabelece que cerveja deve ser produzida exclusivamente com malte, lúpulo e água, sem qualquer aditivo. A levedura cervejeira não deve ser considerada matéria prima, uma vez que é utilizada apenas como agente de transformação bioquímica dos ingredientes usados através da fermentação (AQUARONE et al., 2001).

### 4.1 ÁGUA CERVEJEIRA

Muitas cervejas ficaram famosas no mundo principalmente pela aclamada água utilizada no processo. As cervejarias normalmente empregam a origem da sua água cervejeira como fator de qualidade imbatível das suas cervejas. Portanto, a água é, pela quantidade, a principal matéria-prima de um processo cervejeiro, pois aproximadamente 92 a 95% do peso da cerveja é constituído por água (VENTURINI FILHO, 2010).

Entretanto, a água não deve apenas satisfazer o requisito de água potável, mas deve apresentar características específicas para assegurar um pH desejável na mistura de malte e adjunto durante a mosturação, promover a extração dos princípios amargos e aromáticos do lúpulo, bem como uma boa coagulação de “trub” (material mucilaginoso) durante a fervura do mosto além de permitir uma fermentação asséptica e desenvolver cor, aroma e sabor característico do tipo de cerveja a ser produzida (AQUARONE et al., 2001).

Alguns requisitos básicos para obter água cervejeira de qualidade são:

- a) Ser potável, transparente, incolor, inodora e livre de qualquer sabor estranho. Se for água de superfície (rio, lago, etc.) pode necessitar de tratamento para reduzir ou eliminar material orgânico;
- b) Deve apresentar, na fonte, alcalinidade máxima de 50 ppm. Dentro desse limite de alcalinidade, pode-se trabalhar com água com pH na faixa de 4 e 9;
- c) Possuir concentração de cálcio na faixa de 50 ppm. O teor de cloreto, na forma de NaCl, varia em função da preferência de sabor. (AQUARONE et al., 2001).

Os grandes centros cervejeiros da Europa desenvolveram-se onde a água disponível era apropriada para a produção de tipos específicos de cerveja. Assim, cada região ficou caracterizada de acordo com o tipo de água utilizada em seu processo. A tabela 1 demonstra a composição mineral da água dos principais centros cervejeiros do mundo.

Tabela 1 – Composição da água dos principais centros cervejeiros (ppm).

	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Burton-on-Trent	54	24	352	16	820	320
Pilsen	32	8	7	5	6	37
Munique	10	19	80	1	6	333
Londres	24	4	90	18	58	123
Dublin	12	4	119	19	54	319
Dortmund	69	23	260	106	283	549

Fonte: HOUHG, 1985 apud AQUARONE, 2001.

## 4.2 MALTE

### 4.2.1 Malte de cevada

O termo malte define a matéria-prima resultante da germinação, sob condições determinadas e controladas, de qualquer cereal. Considerando seu poder diastático e econômico, qualquer cereal pode ser malteado (VENTURINI FILHO, 2010).

Os maltes a que se referem normalmente os cervejeiros são os tipos específicos de malte de cevada que são processados de forma a produzir uma

grande gama de açúcares fermentáveis. Estes incluem maltes Lager, Pale, Vienna, Munich, Torrado, Chocolate (PALMER, 2006).

O processo de transformação da cevada em malte consiste em colocar a semente em condições favoráveis a germinação, controlando a temperatura, umidade e aeração, interrompendo a germinação tão logo o grão tenha iniciado a criação de uma nova planta. Nessa fase, o amido presente no grão maltado apresenta-se em cadeias menores que a cevada, o que o torna menos duro e mais solúvel, possuindo enzimas no interior dos grãos que são fundamentais para o processo cervejeiro (VENTURINI FILHO, 2010).

A cevada é amplamente a mais utilizada no processo de malteação devido a ao seu alto teor de amido, ou em outras palavras, de extrato fermentável. A proteína presente encontra-se em quantidade e qualidade suficiente para a nutrição das leveduras durante a fermentação, como também para a formação de espuma no produto final. Por ainda se dizer, a cevada maltada confere a bebida, sabor, odor e corpo característico, normalmente agradável à cerveja (AQUARONE et al., 2001).

A tabela 2 apresenta a composição média do grão de cevada em comparação ao malte, ou seja, o grão de cevada após o tratamento da maltagem.

Tabela 2 – Composição do grão de cevada e do malte.

Características	Cevada	Malte
Massa do grão (mg)	32-36	29-33
Umidade (%)	10-14	4-6
Amido (%)	55-60	50-55
Açúcares (%)	0,5-1,0	8-10
Nitrogênio total (%)	1,8-2,3	1,8-2,3
Nitrogênio solúvel (% de N total)	10-12	35-50
Poder diastático, °Lintner	50-60	100-250
a-amilase, unidades de dextrina	traços	30-60
Atividade proteolítica	traços	15-30

Fonte: Cereda, 1985 apud. VENTURINI FILHO, 2010.

#### 4.2.2 Malte de arroz

Embora sejam recentes os estudos direcionados para o malte de arroz, a utilização do cereal é amplamente ligada à indústria como adjunto na sua forma natural, ou seja, sem passar pelo processo de malteação com o intuito de reduzir o custo do malte de cevada que é base para o processo de produção.

O malte de arroz é bastante versátil. Além de baixos níveis de glúten, pode ser utilizado para diminuir o corpo da cerveja na produção de cervejas leves.

Presente em 4,3% das cervejas *Pilsen* comercializadas no Brasil, o arroz é um dos adjuntos amiláceos mais utilizados na indústria cervejeira. O mesmo é introduzido na bebida na forma de flocos de arroz (REINOLD, 1997).

SOUZA et al., (2008) testaram o potencial enzimático do malte obtido a partir de arroz produzindo um mosto contendo malte de cevada, água, malte de arroz e adjunto na forma de farinha de arroz e outro contendo apenas malte de cevada e água e encontraram rendimentos de açúcares fermentescíveis equivalentes, apesar do baixo poder diastático.

#### **4.2.3 Adjuntos**

Considerados fontes não maltadas de açúcares fermentescíveis, os adjuntos podem ser definidos como carboidratos não maltados com composições apropriadas que suplementa o malte da cevada (VENTURINI FILHO, 2010).

Normalmente, os adjuntos são produtos do beneficiamento de cereais ou de outros vegetais ricos em carboidratos. Os cereais mais comumente utilizados na produção de adjunto cervejeiro são: milho, arroz, cevada, trigo e sorgo (AQUARONE et al., 2001).

Os adjuntos devem produzir açúcares fermentescíveis e dextrinas não fermentáveis, em proporções semelhantes às que se obtêm em um mosto feito exclusivamente com malte, e com o mínimo de incremento possível de proteínas solúveis (AQUARONE et al., 2001).

O excesso na quantidade de adjunto pode resultar em mostos nutricionalmente pobres para a fermentação alcoólica, de elevada viscosidade, proporcionando uma filtração lenta, podendo apresentar sabor de grãos, pouco corpo e com espuma de má qualidade (AQUARONE et al., 2001).

No Brasil, o nível de substituição do malte pelo adjunto pode chegar a 45%, conforme previsto na legislação. Não há regra geral, cada cervejaria define a

proporção do malte/adjunto dependendo do tipo de cerveja que produz (AQUARONE et al., 2001).

#### 4.2.4 Enzimas

Considerados biocatalisadores, as enzimas têm a capacidade de acelerar as reações químicas. Elas são classificadas de acordo com o tipo de reação que catalisam e possuem um pH e temperatura ótimo para suas atividades (LIMA, 2001).

A complexa estrutura molecular enzimática é em sua maioria constituída por uma parte protéica, porém a ela podem estar integradas os carboidratos e lipídios (LIMA, 2001).

“No processo de mostura ocorre a hidrólise do amido por três enzimas principais, que são a  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e maltase. A  $\alpha$ -amilase é uma endoenzima que tem ação sobre as cadeias da amilopectina nas extremidades não redutores dando origem a dextrinas (ligações  $\alpha$ -1,6, glicose e maltose). A  $\beta$ -amilase é uma exoenzima, hidrolisa as dextrinas, somente nas ligações  $\alpha$ -1,4 gerando maltose e dextrinas menores. Já a maltase é uma enzima que atua na maltose transformando em glicose.”(ENZIMAS, 2016).

A escolha do tipo de mosturação e a programação do tempo e temperatura que será aplicado durante a atuação enzimática vai depender da composição e do tipo de cerveja esperado. A tabela 3 apresenta o substrato, pH e temperatura ótima de atuação das enzimas e desativação delas.

Tabela 3 – Temperatura e pH de atuação das enzimas

Enzimas	Temperatura ótima (°C)	pH ótimo	Substrato
Hemicelulases	40-45	4,5-4,7	Hemicelulose
Exopeptidases	40-50	5,2-8,2	Proteínas
Endopeptidases	50-60	5,0	Proteínas
Dextrinase	55-60	5,1	Amido
Beta-amilase	60-65	5,4-5,6	Amido
Alfa-amilases	70-75	5,6-5,8	Amido

Fonte: Tschope, 2001 apud, VENTURINI FILHO, 2010.

### 4.3 LÚPULO

O lúpulo é uma planta com classificação botânica de *Humulus lupuluse* “prima” da *Cannabis sativa*, a maconha, mas não apresenta substâncias alucinógenas. É uma planta trepadeira de difícil cultivo, típica de regiões frias, é dicóica possuindo flores masculinas e femininas em plantas diferentes. O lúpulo pode ser comercializado na forma de flores secas (*in natura*), pélete ou em extratos (VENTURINI FILHO, 2010).

Segundo a FAO (Food Agricultural Organization), países como a Alemanha, Estados Unidos, China, República Checa produzem mais de 80% do lúpulo mundial. Tentativas sem sucesso de cultivá-lo nas Serras Gaúchas foram feitas (MORADO, 2009).

Tradicionalmente são classificados pelas suas características predominantes aromáticas ou de amargor (devido a presença de ácidos  $\alpha$ ). A tabela 4 apresenta a composição química do lúpulo em flor.

Tabela 4 – Composição química do lúpulo em flor.

Características	%
Resinas amargas totais	12-22
Proteínas	13-18
Celulose	10-17
Polifenóis	4-14
Umidade	10-12
Sais minerais	7-10
Açúcares	2-4
Lipídios	2,5-3,0
Óleos essenciais	0,5-2,0
Aminoácidos	0,1-0,2

Fonte: Tschope, 2001 apud Venturini Filho, 2010.

O lúpulo proporciona sabor e aromas especiais para a cerveja, também tem a função de conservante natural da bebida devido a presença de ácidos iso-alfa que são bacteriostáticos além de contribuir com a estabilidade da espuma. Com notas que variam do herbal ao floral, do frutado ao condimentado, fazem parte da essência de muitos estilos de cerveja. Portanto, são os óleos essenciais, as substâncias minerais, os polifenóis e as resinas amargas as substâncias mais

importantes e fundamentais durante o processo, o que confere um sabor especial a cerveja (MORADO, 2009).

#### 4.4 LEVEDURA

As características de sabor e aroma de qualquer cerveja estão relacionados preponderantemente pelo tipo de levedura utilizada. Embora o etanol seja o principal produto de excreção produzido durante o processo fermentativo, esse álcool primário tem pouco impacto no sabor da cerveja. O tipo e os outros produtos formados durante a fermentação são quem primariamente determinam o sabor da cerveja. Sua formação depende do balanço metabólico global da cepa de levedura (VENTURINI FILHO, 2010).

Classificadas biologicamente como fungos, as leveduras são microorganismos unicelulares que se reproduzem geralmente por brotamento. Os tipos mais conhecidos no meio cervejeiro são a *Saccharomyces cerevisiae*, *Schharomyces uvarum* e *Schharomyces carlsbenguensis* (VENTURINI FILHO, 2010).

Esses dois tipos de leveduras originam dois processos de fermentação diferentes, que são denominadas por cerveja estilo *Ale* e *Lager*. A *Saccharomyces cerevisiae* produz a *Ale*, de alta fermentação, que ocorre tradicionalmente entre 18 e 22°C, denominada de alta fermentação. A *Schharomyces uvarum* é responsável pela produção do estilo *Lager*, de baixa fermentação, que ocorre entre 7 e 15°C (VENTURINI FILHO, 2010).

## 5 PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo de produção de cerveja é um processo milenar de fermentação, de um extrato, obtido através do cozimento de cereais para a obtenção da cerveja, qual vem sendo aprimorado ao longo do tempo (AQUARONE et al., 2001). O processamento industrial pode ser elencado em três etapas:

- Produção do mosto, envolvendo a moagem do malte, a mosturação, filtração, fervura e clarificação do mosto;
- Processo fermentativo que pode ser subdividido em fermentação e maturação;

- Pós-tratamento da cerveja, envolvendo operações de filtração, carbonatação, pasteurização e envase.

## 5.1 PRODUÇÃO DO MOSTO

A fabricação do mosto, ou brassagem, consiste em uma sequência de operações que transformam o amido e as proteínas contidas no malte em uma solução de açúcares e outras substâncias solúveis (MORADO, 2009).

Os principais processos podem ser descritos como a moagem, mostura, filtração do mosto, fervura e finalmente a separação do “trub” e resfriamento do mosto (MORADO, 2009).

### 5.1.1 Moagem do malte

Essa etapa tem influência direta sobre a velocidade das transformações físico-químicas, rendimento, clarificação e a qualidade do extrato final. Com o objetivo de redução do grão do malte de um modo uniforme para expor o amido contido no seu interior (VENTURINI FILHO, 2010).

De uma maneira mais plena, a exposição do interior do grão deve romper a no sentido longitudinal a casca para expor ainda o endosperma, parte interna do grão promovendo melhor atuação enzimática. Deve-se ainda ter a produção mínima de farinha com granulometria muito fina, evitando a formação de substâncias que produzam uma quantidade excessiva de pasta dentro da solução exercendo influência direta na filtração (VENTURINI FILHO, 2010).

### 5.1.2 Mostura

A mostura consiste em adicionar água ao malte moído, submetendo-o em diferentes temperaturas por períodos de tempo pré-determinados. Uma pequena parte do extrato do mosto, cerca de 10 a 15% é constituído por substâncias oriundas do malte prontamente solúveis em água. O restante é formado por produtos de degradação de macromoléculas pelas enzimas do malte que solubilizam as substâncias insolúveis, promovendo a gomificação e posterior hidrólise do amido em açúcares (AQUARONE et al., 2001).

Deve-se considerar que todo processo enzimático depende diretamente da temperatura e do tempo de exposição, denominado rampa de temperatura. Nessa etapa se define o quanto de açúcares poderá ser consumido pela levedura. A relação entre açúcares fermentáveis e não-fermentáveis atribui a atenuação do corpo da cerveja, ou seja, quanto mais fermentáveis, menor a tendência de uma cerveja apresentar-se encorpada (MORADO, 2009).

O uso do malte de arroz em substituição total ao malte de cevada necessita de alguns cuidados. O principal problema é a sacarificação do amido, uma das razões para a ineficiente sacarificação é a alta temperatura de gelatinização do amido de arroz e posteriormente uma insuficiente ação enzimática (PRIEST; STEWART, 2006).

### **5.1.3 Filtração do mosto**

Consiste na separação do mosto líquido do bagaço de malte. O mosto basicamente é constituído pelo extrato das matérias-primas utilizadas na brasagem, dissolvido em água. A casca do malte serve como camada filtrante que após esta operação, é lavada com uma quantidade de água, denominada água secundária a 75°C visando elevar a extração de açúcar e conseqüentemente aumentar o rendimento do processo (VENTURINI FILHO, 2010).

Nesta temperatura, a viscosidade do mosto favorece a completa separação do resíduo e as enzimas do malte estão predominantemente inativas. O desenvolvimento bacteriano está bloqueado e não existe o risco de se extrair substâncias insolúveis das matérias-primas, principalmente os taninos da casca do malte. Em função do seu alto teor de fibra, a torta do filtro é coletada e este é recomendado para a nutrição de ruminantes (AQUARONE et al., 2001).

### **5.1.4 Fervura**

Nesta etapa, alguns aspectos são determinantes para o resultado final da cerveja. Com fervura intensa, o mosto é esterilizado, eliminando micro-organismos que poderiam consumir os nutrientes junto com a levedura. Exerce função importante na definição da cor e do sabor da cerveja devido a ação da caramelização dos açúcares e aminoácidos contidos no mosto (MORADO, 2009).

Durante a fervura acontece a adição de lúpulo, visando conferir amargor e aromas especiais a cerveja através da extração dos óleos essenciais além de estabilizar o mosto nos aspectos biológicos, bioquímico e coloidal (MORADO, 2009).

Terminada a fervura, o “trub” e o bagaço do lúpulo são separados normalmente em tanques de decantação denominados “whirlpool” que utiliza a força centrípeta para que os sólidos acumulem no centro do tanque e posteriormente descartado. O mosto clarificado segue para o resfriamento (AQUARONE et al., 2001).

### **5.1.5 Resfriamento e aeração do mosto**

O objetivo do resfriamento é reduzir a temperatura do mosto após a fervura que acontece aproximadamente a 100°C para a temperatura ideal para inoculação das leveduras que, geralmente, está na faixa de 14 a 16°C na fermentação alta e entre 6 e 12°C na baixa fermentação (AQUARONE et al., 2001).

Esta etapa de resfriamento também contribui para a eliminação de componentes no mosto que causam turbidez a cerveja, através da precipitação que, além disso, também possibilita uma adequada aeração do mosto que por sua vez é indispensável para que as leveduras tenham um bom desenvolvimento no processo de fermentação alcoólica (AQUARONE et al., 2001).

Atualmente o resfriamento do mosto acontece em trocadores de calor fechados, o que confere condições assépticas ao processo. Trocadores de calor com as configurações do tipo casco e tubo, duplo tubo e de placas geralmente são os mais utilizados na indústria cervejeira. Salienta-se ainda que o trocador de placas se sobressaem no meio cervejeiro devido a sua alta eficiência na transferência de calor (AQUARONE et al., 2001).

Essencial para o crescimento da levedura cervejeira, a aeração é realizada através do metabolismo oxidativo (respiração). A maioria das cervejarias introduzem ar estéril ou oxigênio na linha de mosto frio ou próximo a entrada do trocador de calor. O método ideal é introduzir parte do ar ou oxigênio através do trocador, entre os dois estágios de resfriamento e o restante na linha de mosto frio. Esse método evita o escurecimento do mosto associado a oxidação de taninos pela aeração quente (AQUARONE et al., 2001).

### **5.1.6 Fermentação**

Consiste basicamente na transformação, através da levedura, de açúcares em dióxido de carbono e etanol. Outros compostos também são produzidos nesta etapa, como subprodutos do metabolismo da levedura. Alguns deles consistem em aromas agradáveis e outros nem tanto (MORADO, 2009).

Os principais açúcares contidos no mosto são a maltose e a glicose. Também contém oxigênio que será utilizado pela levedura como nutriente para sua multiplicação na fase inicial da fermentação (MORADO, 2009).

As leveduras são classificadas como de alta fermentação (ale), que fermentam com temperaturas entre 18 e 25°C e consomem os açúcares do mosto entre dois e quatro dias. Os fermentos de baixa fermentação (lager), no entanto, fermentam com temperaturas que variam entre 5 e 12°C e possuem um tempo de fermentação entre seis e dez dias (EMMEL, 2016).

Ao término da fermentação, a levedura flocula, sedimentando ou flutuando conforme a sua variedade. Posteriormente é recolhida e tratada com soluções ácidas eliminando possíveis contaminantes e podem ser reutilizadas, desde que seja mantida a qualidade microbiológica (VENTURINI FILHO, 2010).

### **5.1.7 Maturação**

Geralmente acontecem em baixas temperaturas, próximas de 0°C. Necessária e importante, porém, relativamente poucas mudanças ocorrem durante este estágio. Nesta etapa também se inicia a clarificação da cerveja mediante a remoção, por sedimentação das células de leveduras, de material amorfo e de componentes de causam turbidez na bebida (AQUARONE et al., 2001).

Satura a cerveja com gás carbônico através da refermentação secundária, melhorando o odor e sabor da bebida através da redução de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico bem como o aumento do teor de éster (AQUARONE et al., 2001).

É nesta etapa que algumas cervejarias se dedicam a fazer adições de especiarias, como frutas ou lascas de madeiras, que conferem características próprias de aroma e sabor à bebida (MORADO, 2009).

Durante a maturação, a cerveja pode ser naturalmente carbonatada pelo gás carbônico produzido pela atividade da levedura e mediante a contrapressão de CO<sub>2</sub> que variam de 0,8 a 1,0 atm no tanque de maturação (AQUARONE et al., 2001).

#### **5.1.8 Filtração da Cerveja**

O objetivo principal da filtração da cerveja é promover um acabamento brilhante, eliminando quase totalmente as leveduras que ainda restam no final da maturação que promovem turbidez e remover também o material em suspensão (MORADO, 2009).

A filtração da cerveja pode ser realizada em duas ou mais etapas, dependendo da característica ou do estilo da cerveja. A principal filtração remove a maior parte das leveduras e material em suspensão, enquanto a filtração secundária produz uma cerveja límpida e brilhante. A adição de estabilizantes é normalmente empregada antes da filtração principal (VENTURINI FILHO, 2010).

O método mais utilizado é a filtração com o uso de terra diatomácea ou diatomita. Um mineral de origem sedimentar, rico em sílica, composto essencialmente por carapaças de minúsculas algas diatomáceas. Este método consiste em dosar a terra de acordo com o volume a ser filtrado, em seguida forma-se uma camada filtrante, que será retida nos suportes metálicos e por filtros especiais (MORADO, 2009).

#### **5.1.9 Carbonatação**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um constituinte muito importante da cerveja, responsável pela efervescência e a sensação de acidez deixada na boca devido às suas propriedades de gás ácido. A carbonatação pode ser realizada pela injeção de CO<sub>2</sub> em linha ou em tanque (VENTURINI FILHO, 2010).

O procedimento comumente mais utilizado é em linha e consiste na injeção de CO<sub>2</sub> desidratado no líquido através de uma placa porosa de aço inoxidável durante a transferência da cerveja do filtro até os tanques de armazenamento pressurizado que mantem elevada contrapressão (12 a 15 psi) durante seu enchimento, permitindo a retenção de CO<sub>2</sub> minimizando a formação de espumas (VENTURINI FILHO, 2010).

A carbonatação em tanque acontece com injeção através de um ou mais difusores porosos fabricados em cerâmica ou aço inoxidável, localizado no fundo do tanque. Esses difusores produzem bolhas e facilitam a dissolução do dióxido de carbono na cerveja.

Embora seja difícil de controlar, essa técnica permite a remoção de oxigênio e de compostos voláteis indesejáveis quando o tanque é aberto para a atmosfera durante o começo do processo de carbonatação (VENTURINI FILHO, 2010).

#### **5.1.10 Pasteurização**

A etapa da pasteurização consiste em conferir estabilidade biológica à bebida, mediante a eliminação de micro-organismos que deterioram a cerveja. Na prática a pasteurização da cerveja pode ser dividida em duas categorias: pasteurização *flash* e pasteurização em túnel (AQUARONE et al., 2001).

A pasteurização *flash* geralmente é aplicada em cervejas que serão acondicionadas em barris. A cerveja circula por um trocador de placas que aumenta rapidamente a temperatura até 72°C aproximadamente. A bebida é mantida nessa temperatura durante um intervalo de tempo entre 30 e 60 segundos, sendo em seguida resfriada e posteriormente engarrafada. Entre as principais vantagens destacam-se os menores custos de instalação e um menor espaço necessário na planta (VENTURINI FILHO, 2010).

A pasteurização de túnel, por outro lado, é aplicada a cerveja após o envase das garrafas e latas e é a forma mais segura de garantir até seis meses de vida de prateleira do produto nesses tipos de acondicionamento. Neste sistema, a garrafa ou a lata, ao atravessar o túnel do pasteurizador, recebe calor mediante aspersão de água quente nas diversas seções do pasteurizador. A cerveja no interior da garrafa atinge a temperatura de 60 a 65°C e posteriormente resfriada com aspersão de água fria (VENTURINI FILHO, 2010).

#### **5.1.11 Envase**

O envase e despacho ao consumidor final são momentos críticos para o futuro do produto, porque a bebida deixa o ambiente controlado em que foi gestado

e é exposto ao ambiente externo, que pode ser agressivo. Essa operação é executada em um equipamento denominado de enchedora no caso de garrafas ou latas ou de máquinas de embarrilhamento quando se trata de barris. A assepsia das instalações, dos barris e das garrafas é fundamental para garantir a qualidade e a estabilidade da cerveja (MORADO, 2009).

## 6 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa, para avaliar a sacarificação do malte de arroz, os experimentos foram realizados no Laboratório de Química de Ensino da Área de Saúde – UNESC. Na segunda etapa, a partir dos resultados obtidos no laboratório partiu-se para produção em escala piloto na empresa Cervejaria Santa Catarina – Saint Bier na cidade de Forquilha, SC.

### 6.1 MATERIAIS

#### 6.1.1 Malte de arroz

O malte utilizado para a produção do mosto foi o malte de arroz (tipo longo-fino) fornecido pela empresa Maltes Catarinense, cujo lote AR004/2016 produzido em 10 de Agosto de 2016 e com validade 07/2017, produz uma cor de mosto com 2,45 EBC numa proporção de 1:4 de malte. Segundo o fornecedor, o malte possui uma umidade de 5,2% e pH 6,2. Possui ainda um rendimento de extrato de 76,9% (base seca).

O malte de arroz foi moído em moinho de rolos com abertura entre 1,0 a 1,5 mm, marca Malte Joe, modelo dois rolos e posteriormente armazenado em recipientes fechados e armazenados sob refrigeração com temperaturas próximas a 0°C para o uso durante os testes. A figura 1 apresenta uma imagem do malte de arroz moído.

Figura 1 – Malte de arroz moído.



Fonte: Autor, 2017.

## 7 SACARIFICAÇÃO DO MALTE DE ARROZ

Os mostos foram preparados e estudados conforme a norma EBC (*European Brewing Convention*) 4.5.1 e todos os mostos foram produzidos em triplicatas. Para a preparação de cada amostra foram utilizados 50 g de malte de arroz. Foram produzidas rampas específicas na tentativa de melhorar a extração de açúcares fermentescíveis do malte de arroz.

### 7.1 NORMAS EBC

As normas EBC são convenções aplicadas a insumos e produtos para o ramo cervejeiro e são utilizados como guia para os parâmetros de qualidade no mundo inteiro (MORADO, 2009).

#### 7.1.1 Preparação do mosto conforme EBC 4.5.1

O mosto obtido foi submetido a avaliações quanto aos parâmetros descritos na norma EBC 4.5.1 que trata de procedimentos para determinação do potencial do malte para a produção de mosto por um processo padrão de brassagem. É utilizado para a determinação da sacarificação, odor, pH do mosto, cor, viscosidade do mosto e teor de nitrogênio solúvel.

Inicialmente aqueceu-se 200 mL de água a 45°C em banho-maria marca Marconi, modelo MA127, onde se adicionou o malte de arroz, sob agitação em

agitador de bancada marca Quimis e modelo Q235-1 durante 30 minutos. Aumentou-se a temperatura do mosto gradativamente, a uma razão de  $1^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$  durante 25 minutos. Ao final dos 25 minutos, a temperatura do mosto deverá ser  $70^{\circ}\text{C}$ .

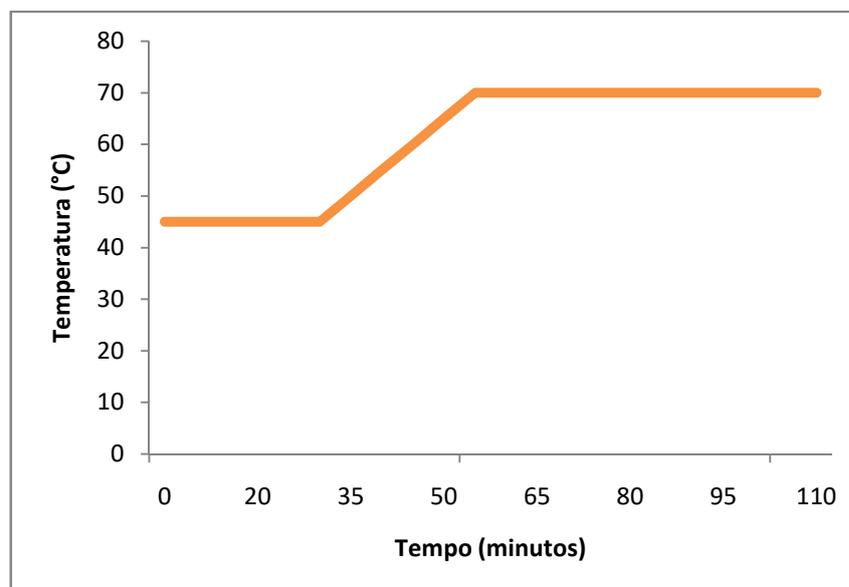
A figura 2 demonstra o processo de mosturação e a figura 3 mostra a rampa de temperatura para a brassagem, conforme determina a norma EBC 4.5.1.

Figura 2 – Equipamento utilizado na mosturação.



Fonte: Autor (2017)

Figura 3 – Rampa de temperatura conforme norma EBC 4.5.1



Fonte: Adaptado EBC 4.5.1, 2017.

Logo após, acrescentou-se mais 100 mL de água a  $70^{\circ}\text{C}$  e manteve-se a agitação, após 10 minutos o teste de iodo foi realizado para avaliar a sacarificação do amido.

O amido é um polissacarídeo constituído principalmente por glicose, que forma um complexo azul com o iodo, e amilopectina, que forma um complexo vermelho, ao aplicar uma gota do mosto sob a solução de iodo deverá surgir uma coloração avermelhada, indicando que o amido inicialmente presente no mosto foi sacarificado.

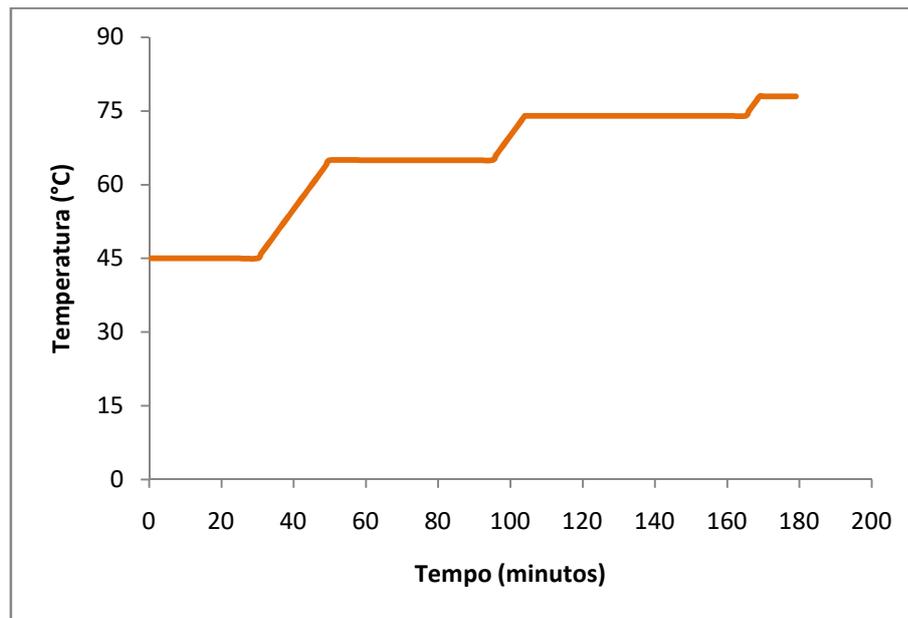
Após o teste, o mosto foi submetido à agitação constante a 70°C durante 60 minutos. Em seguida, o mosto foi resfriado em banho de gelo até temperatura ambiente.

Transferiu-se o mosto para outro béquer e o mesmo foi lavado com água deionizada até atingir uma massa de  $450,0 \pm 0,2$  g em uma balança semi-analítica, marca Gehaka e modelo BG2000. Posteriormente a amostra foi armazenada para sedimentação de partículas suspensas e em seguida filtrada a pressão reduzida para posteriormente iniciar os testes.

Uma rampa alternativa foi utilizada, devido a maior temperatura de gelatinização do amido de arroz em comparação ao malte de cevada. A rampa e as condições de preparo do processo foi desenvolvida conforme MAYER et al., 2016. A água foi previamente preparada com pH 5,3 a 5,4 e corrigida o teor de cálcio adicionando  $\text{CaCl}_2$  para que a água cervejeira obtivesse um teor de 85 mg/L de cálcio além do controle do pH adicionando-se ácido láctico na brassagem.

A figura 4 demonstra a rampa de temperatura utilizada, propondo ao processo um maior período de sacarificação na temperatura ideal de gelatinização do arroz que é próximo aos 74°C, segundo BRIGGS et al., 2004.

Figura 4 – Rampa de temperatura alternativa conforme MAYER et al., 2016.



Fonte: Adaptado MAYER et al., 2016.

### 7.1.2 Massa específica

A massa específica do mosto foi determinada conforme a norma EBC 8.2.1. Conforme a norma, a determinação acontece a 20°C por pesagem de um volume fixo em um picnômetro tipo Gay-Lussac. Foram utilizados picnômetro Gay-Lussac de 25 mL e balança analítica marca Gehaka e modelo AG200, com o auxílio da equação (1).

$$SG = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$

Equação (1)

Onde:

SG = massa específica (g)

$W_1$  = massa do picnômetro vazio (g)

$W_2$  = massa do picnômetro com água a 20°C (g)

$W_3$  = massa do picnômetro com o mosto a 20°C (g)

### 7.1.3 Determinação da cor do mosto

A cor do mosto foi determinada baseando-se na norma EBC 4.7.1.

Conforme a norma, o método pode ser aplicado a todos os mostos claros produzidos

durante a análise do malte. O espectrofotômetro marca Femto e modelo 700 foi ajustado para um comprimento de onda de 430 nm.

Com o auxílio da equação (2), calculou-se a cor do mosto.

$$C = 25 \cdot A_{430} \cdot F \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

C = Cor em unidades EBC

$A_{430}$  = Absorbância a 430 nm

F = Fator de diluição

#### 7.1.4 Determinação da viscosidade

A viscosidade foi determinada através de copo Ford orifício número 4 e transformada em viscosidade cinemática seguindo a equação (3).

$$V_{c4} = 3,85 \cdot t - 17,28 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$V_{c4}$  = Viscosidade cinemática (mm<sup>2</sup>/s)

T = Tempo de escoamento (s)

#### 7.1.5 Determinação de sólido solúveis

A determinação de sólidos solúveis do mosto foi obtido através do refratômetro de bancada, marca Quimis, modelo Q109D2.

#### 7.1.6 Determinação do pH

O pH do mosto foi determinado através de pHmetro digital, marca Quimis, modelo 400AS previamente calibrado a 25°C.

#### 7.1.7 Determinação da proteína do mosto

De acordo com o Instituto Adolfo Lutz, partindo do método modificado de Kjeldahl, as amostras foram submetidas à digestão no digestor marca Tecnal modelo TE1001804 e posteriormente destiladas em destilador de nitrogênio marca Tecnal e modelo TE036/1. Em seguida, titulada para obtenção do teor de proteína através da equação (4).

$$protídios(\%) = \frac{V \cdot 0,14 \cdot 5,95}{P} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

V = Volume de ácido gasto na titulação (mL)

P = Massa da amostra (g)

5,95 = Fator de conversão para o malte de cevada e malte de arroz

#### 7.1.8 Açúcares redutores

Os glicídios redutores em glicose pelo método de Fehling foram determinados segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008).

As amostras foram tituladas sob aquecimento até total desaparecimento da coloração azul e a presença de precipitado na solução. A porcentagem de açúcares redutores foi obtida através da equação (5).

$$AR(\%) = \frac{100 \cdot A \cdot a}{P \cdot V} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

AR = Teor de açúcar redutor (%)

A = Volume da solução padrão (mL)

a = Massa de glicose correspondente a 10 mL das soluções de Fehling (g)

P = Massa da amostra (g)

V = Volume gasto na titulação (mL)

#### 7.1.9 Açúcares não redutores

Os glicídios não redutores em glicose pelo método de Fehling foram determinados segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008).

As amostras foram tituladas sob aquecimento até total desaparecimento da coloração azul e a presença de precipitado na solução. A porcentagem de açúcar não redutor foi obtida através da equação (6).

$$AN(\%) = \left[ \frac{100 \cdot A \cdot a}{P \cdot V} - B \right] \cdot 0,95 \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

AN = Teor de açúcar não redutor (%)

A = Volume da solução padrão (mL)

a = Massa de glicose correspondente a 10 mL da solução de Fehling (g)

B = Massa em porcentagem obtido de glicídio redutor em glicose

P = Massa da amostra (g)

V = volume gasto na titulação (mL)

#### 7.1.10 Extrato do malte

Segundo as EBC 4.5.1 e 8.3, o extrato do malte foi determinado utilizando o polinômio de segundo grau conforme a equação (7) e as equações (8) e (9).

$$P(\%) = -460,234 + 662,649 \cdot (SG) - 202,414 \cdot (SG)^2 \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

P = Teor de extrato no mosto (°Plato)

SG = Massa específica do mosto

$$E_1(\%) = \frac{P(M + 100)}{100 - P} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

E<sub>1</sub> = Teor de extrato da amostra (%)

P = Teor de extrato no mosto (°Plato)

M = Teor de umidade no malte (%)

100 = Quantidade de água adicionada ao mosto para 50g de malte de arroz

$$E_2(\%) = \frac{E_1 \cdot 100}{100 - M}$$

Equação (9)

Onde:

$E_2$  = Teor de extrato de malte seco (%)

$E_1$  = Teor de extrato da amostra (%)

M = TEOR DE UMIDADE DO MALTE (%)

## 8 METODOLOGIA PARA PRODUÇÃO DA CERVEJA NA PLANTA PILOTO

Após a realização dos testes e obtenção dos resultados em laboratório, foi realizado um teste em planta piloto na Cervejaria Santa Catarina, localizado no município de Forquilha – SC.

A figura 5 mostra uma foto da planta piloto utilizada na empresa Cervejaria Santa Catarina – Saint Bier.

Figura 5 – Planta piloto



Fonte: Autor, 2017.

A brassagem ocorreu em uma planta piloto com capacidade máxima de 40 litros. Para tanto, utilizou-se 32 litros de água sendo previamente corrigida seu teor de cálcio a uma fração de 85 mg/L, pela adição de cloreto de cálcio. Para o procedimento foi utilizado 8,0 kg de malte de arroz, lote AR004/2016, do fornecedor Maltes Catarinense, Campos Novos – SC. O malte foi moído em moinho de dois rolos com abertura de 1,5 mm.

Adicionou-se com o auxílio de um conta-gotas, uma gota de  $\alpha$ -amilase, marca Endozin Alphamyl, lote 2017040074. Elevou-se a temperatura da água para 45°C e o malte foi adicionado a tina de mostura.

A temperatura de mostura foi mantida em 45°C por um período de 30 minutos. Em seguida elevou-se a temperatura a 65°C. Nesse momento adicionou-se com o auxílio de um conta-gotas, uma gota de bioglucanase, marca Prodooze, de origem irlandesa, lote 0000434273. A bioglucanase é uma enzima beta-glucanase empregada para o auxílio da clarificação do mosto. Manteve-se nesta temperatura durante os próximos 45 minutos. A figura 6 apresenta o procedimento após a infusão do malte de arroz.

Figura 6 – Infusão do malte na brassagem.



Fonte: Autor, 2017.

Decorridos os 45 minutos, elevou-se a temperatura até 72°C, mantendo esta temperatura durante 140 minutos até obtenção de 9,2 Brix. Posteriormente ocorreu a clarificação do mosto e a lavagem do mesmo, até que o processo atingisse 7,2 Brix. A figura 7 apresenta o processo de filtração utilizando hop bag,

que é um saco constituído de polipropileno atóxico utilizado para reter o lúpulo durante a fervura e que foi adaptado para a filtração devido a dificuldade na filtração do malte de arroz.

Figura 7 – Clarificação e filtragem do mosto.



Fonte: Autor, 2017.

O mosto foi transferido para a tina de fervura. Quando atingido os 98°C deu-se o início do processo de fervura e esterilização do mosto. Adicionou-se então 5 g de lúpulo Nugget. Após decorridos 30 minutos de fervura, adicionou-se 10 g de lúpulo Hersbrucker e finalmente mais 15 g do mesmo lúpulo no final da fervura. Foi realizado o teste com o auxílio de refratômetro e conferiu-se ao final da fervura uma concentração de sólidos solúveis em 9,0 Brix.

Ao final, transferiu-se o mosto para um balde fermentador, previamente sanitizado, no qual foi adicionado 11g de levedura para obtenção de uma cerveja do tipo Ale. As leveduras utilizadas, que foram previamente hidratadas, tem origem canadense, marca Lallemand, Classic English ESB, lote 03006380667711V. Optou-se por usar esta levedura por sua capacidade de produzir uma cerveja suave, dando ênfase no sabor da cerveja final ao malte utilizado no processo.

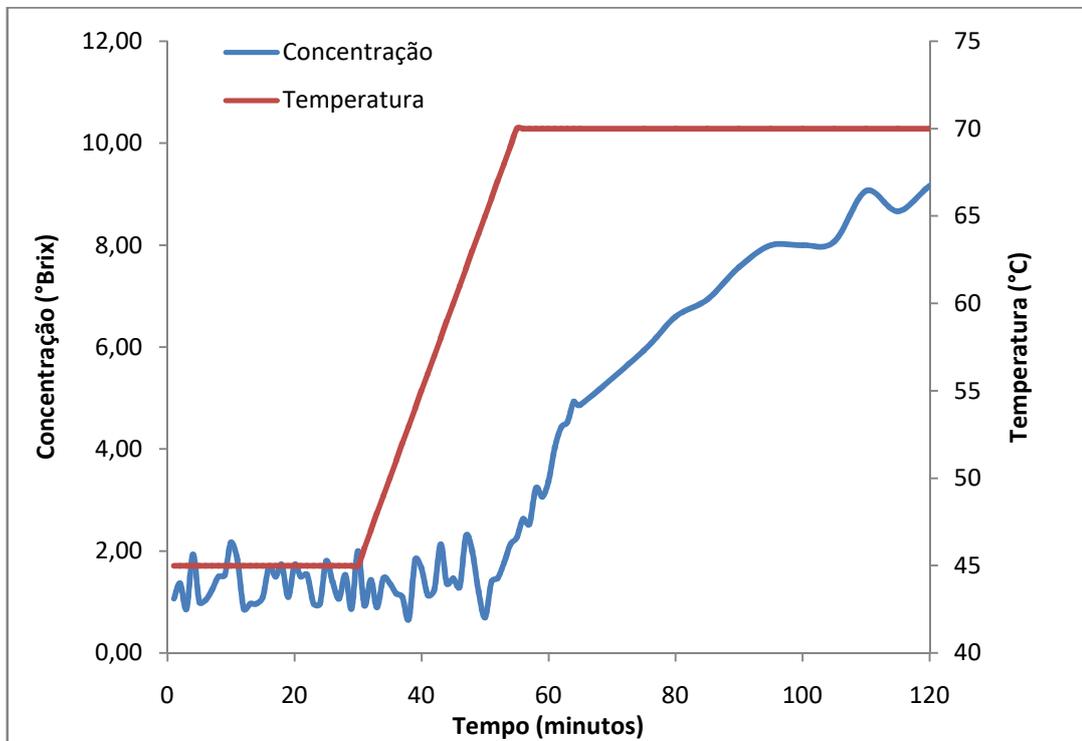
A cerveja produzida foi mantida a 18°C por um período de seis dias para fermentação. Posteriormente, a temperatura foi reduzida para 0°C e mantida durante dois dias para maturação. Ao final da maturação, iniciou-se a etapa de envase da cerveja e o preparo da carbonatação. Portanto, pesou-se 4g de açúcar para cada garrafa de 500 ml para a etapa de carbonatação.

## 9 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 9.1 RESULTADOS DOS MOSTOS OBTIDOS CONFORME NORMA EBC

Os experimentos e testes com o mosto foram reproduzidos em triplicada conforme as normas EBC. A figura 9 apresenta a média dos resultados da curva de sacarificação.

Figura 9 – Curva média de sacarificação das amostras obtidas conforme norma EBC.



Fonte: Autor, 2017.

Pode ser observado na figura 9 que o aumento da concentração, ou solubilização, ocorre apenas quando a temperatura atinge os 70°C, temperatura próxima a gelatinização do amido de arroz.

A seguir, a tabela 5 apresenta os resultados obtidos na determinação da massa específica, cor e viscosidade cinemática do mosto. Os resultados estão representados com a média e desvio padrão determinados através do uso do software Microsoft Excel 2010.

Tabela 5 – Massa específica, cor e viscosidade cinemática das amostras obtidas conforme norma EBC.

Amostra	Massa específica (g/mL)	Cor (EBC)	Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)
1	1,013	0,87	18,02
2	1,015	1,42	18,48
3	1,013	1,42	17,96
Média	1,014	1,23	18,15
Desvio padrão	0,001	0,31	0,28

Fonte: Autor, 2017.

Observa-se na tabela 5 que os valores obtidos para a cor do mosto estão dentro dos parâmetros segundo as normas EBC 4.7.1, uma vez que os mostos obtidos conferem uma aparência translúcida, atendendo assim as normas. A filtração da amostra ocorreu utilizando-se um filtro de 0,20 µm marca Chromafil ®Xtra.

Segundo SILVA (2016), os resultados obtidos para a massa específica do mosto padrão, onde sua composição foi de 100% malte de cevada, foi de 1,030 g/mL. A média dos resultados para o malte de arroz sendo 1,014 g/mL, um valor inferior ao encontrado para o malte de cevada, é devido a menor quantidade de solubilizados no mosto, como pode ser visto na Figura 9.

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos a partir da determinação dos sólidos solúveis iniciais conforme norma EBC, posterior diluição do mosto com adição de água até completar 450,0 ± 0,2 g e também apresenta valores obtidos de pH e extrato do malte.

Tabela 6 – Sólido solúveis, pH e extrato do malte base seca obtidas conforme norma EBC.

Amostra	Sólidos solúveis (Brix)	Sólidos solúveis após diluição (Brix)	pH	Extrato do malte (%)
1	10,3	3,5	6,07	3,91
2	9,8	3,9	6,29	4,18
3	8,5	3,7	6,02	3,91
Média	9,5	3,7	6,13	4,00
Desvio Padrão	0,9	0,2	0,14	0,16

Fonte: Autor, 2017.

A concentração de sólidos solúveis obtidos segundo a norma EBC se mostra insatisfatória, uma vez que o mesmo forneceria pouco substrato para uma boa fermentação. Segundo Silva (2016), os resultados médios obtidos para um mosto 100% malte de cevada após a diluição é 8,1 Brix, o que caracteriza que uma média de 3,7 Brix para o mosto utilizando malte de arroz se mostra insuficiente.

Os valores para proteínas, açúcares redutores e não redutores foram resultados de testes em triplicada a fim de se comparar os resultados obtidos. A tabela 7 a seguir representa esses valores.

Tabela 7 – Proteína, açúcar redutor e não redutor, obtidas conforme norma EBC.

Amostra	Proteína (%)	Açúcar redutor (%)	Açúcar não redutor (%)
1 A	0,41	1,51	0,52
1 B	0,66	1,62	0,51
1 C	0,58	1,34	0,78
Média	0,55	1,49	0,60
Desvio Padrão	0,12	0,14	0,15
2 A	0,58	1,60	0,46
2 B	0,41	1,69	0,47
2 C	0,41	1,75	0,32
Média	0,47	1,68	0,42
Desvio Padrão	0,10	0,08	0,08
3 A	0,49	1,55	0,79
3 B	0,49	1,69	0,55
3 C	0,49	1,67	0,61
Média	0,49	1,64	0,65
Desvio Padrão	0,00	0,08	0,12

Fonte: Autor, 2017.

Os valores obtidos são baixos se comparados a um mosto com malte de cevada. Segundo SILVA (2016), os resultados obtidos para um mosto composto 100% de malte de cevada resultaram em uma média de 2,94% de açúcar redutor e 1,02% de açúcar não redutor.

Essa baixa se dá em função da alta temperatura de gelatinização do amido de arroz, uma vez que houve pouca solubilização do amido na brassagem.

## 9.2 RESULTADOS DOS MOSTOS OBTIDOS CONFORME RAMPA OTIMIZADA

Segundo BRIGGS (2004), a temperatura de gelatinização do amido do arroz é maior do que a temperatura de gelatinização do amido presente na cevada. Desta forma buscou-se ajustar a curva de sacarificação para o malte de arroz conforme trabalho desenvolvido por MAYER et al., 2016.

Ajustou-se as temperaturas no processo de sacarificação a fim de obter resultados mais satisfatórios para a obtenção de açúcares fermentescíveis. Essa rampa compreende um intervalo de 30 minutos a 45°C, elevando-se sempre a temperatura a uma razão de 1°C/minuto até atingir 65°C e permanecer por 45 minutos (Figura 4).

Em seguida, a fase mais importante do processo segue para a temperatura de 72 a 74°C, temperatura de trabalho da enzima  $\alpha$ -amilase e próximo da temperatura gelatinização do amido de arroz. Nesta temperatura fica durante 60 minutos ou até a completa sacarificação. Por sua vez, esta temperatura também é próxima a temperatura de desativação das enzimas, no caso do malte de cevada, necessitando-se assim cuidado com o processo. E por fim, 78°C são mantidos durante 10 minutos para a completa desativação das enzimas.

As amostras também foram submetidas a algumas alterações com o intuito de verificar o efeito dessas modificações sobre o mosto final obtido. Segundo MAYER et al., 2016, a adição de ácido láctico ao processo, conferindo um pH de 5,3 a 5,4 para a água, e a correção com cloreto de cálcio a fim de se obter 85 mg/L de cálcio melhoram o processo de sacarificação.

A tabela 8 a seguir apresenta os resultados de massa específica, cor e viscosidade cinemática das amostras obtidos com as modificações propostas.

Tabela 8 – Massa específica, cor e viscosidade cinemática das amostras para rampa otimizada.

Amostra	Massa específica (g/mL)	Cor (EBC)	Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s)
1	1,023	2,35	19,18
2	1,021	2,22	18,48
3	1,025	2,17	19,02

Média	1,023	2,25	18,89
Desvio Padrão	0,002	0,09	0,37

Fonte: Autor, 2017.

Comparando-se com os resultados de massa específica, cor e viscosidade cinemática das amostras obtidas com as modificações no processo (Tabela 08) em relação as amostras obtidas segundo normas EBC (Tabela 5), percebe-se um aumento na massa específica, cor e viscosidade do mosto. As amostras também foram submetidas à filtrações com baixa pressão e posteriormente filtrada com filtro de 0,20 µm, marca Chromafil ®Xtra para obtenção da cor (EBC).

Os resultados para sólidos solúveis, pH e extrato do malte para as amostras obtidas com as modificações propostas são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Sólidos solúveis, pH e extrato do mosto base seca para rampa otimizada.

Amostra	Sólidos solúveis (°BRIX)	Sólidos solúveis após diluição (°BRIX)	pH	Extrato do mosto (%)
1	9,3	6,1	5,52	6,82
2	12	6,2	5,12	7,12
3	18,8	8,1	5,56	8,74
Média	13,37	6,8	5,4	7,56
Desvio Padrão	4,90	1,13	0,24	1,03

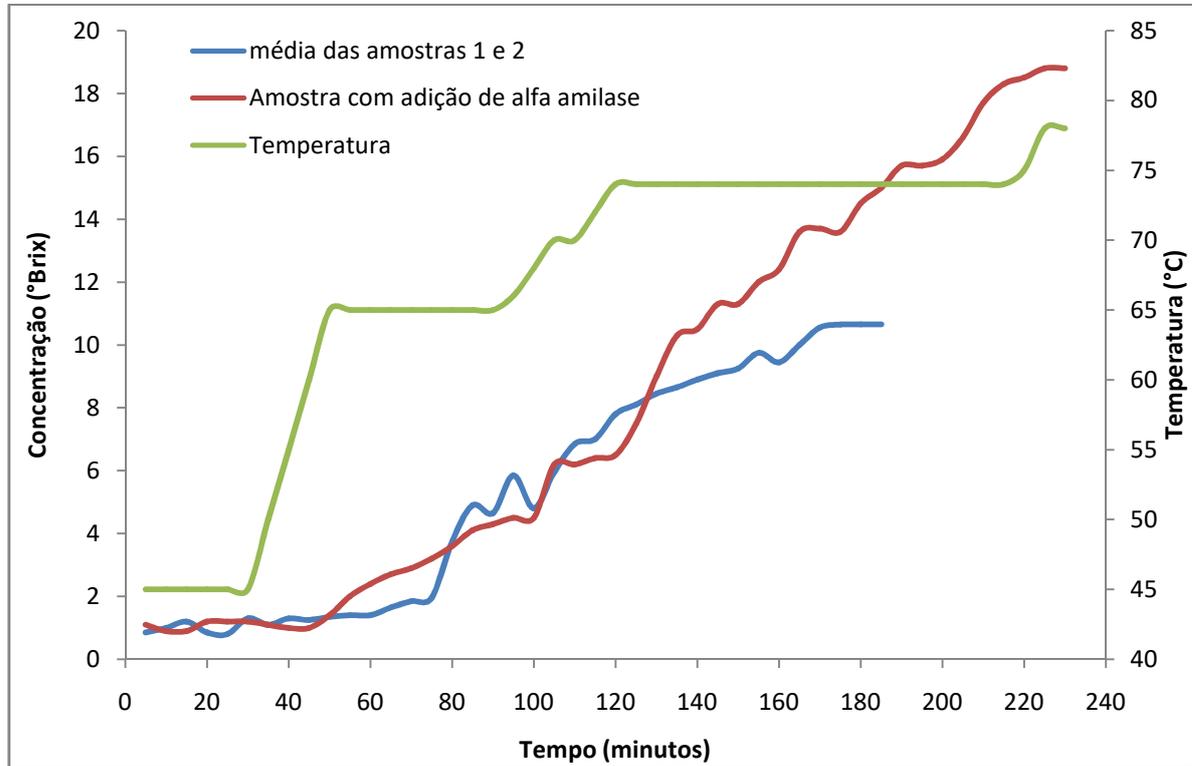
Fonte: Autor, 2017.

Com a correção de cálcio no processo e acidificação da água com ácido láctico, obteve-se um pH mais baixo para as amostras (Tabela 09) comparando-se com o mosto não ajustado (Tabela 06). Observa-se também maior quantidade de sólidos solúveis. Os ajustes realizados contribuíram para aumentar os sólidos solúveis no mosto, a temperatura mais próxima da gelatinização do amido de arroz possivelmente ter contribuído para a hidrólise.

A terceira amostra também foi modificada com a adição de uma gota de α-amilase para auxiliar na sacarificação, uma vez que para as amostras 1 e 2 as modificações no processo ainda tinham sido insuficientes para uma completa sacarificação do malte de arroz.

A figura 10 apresenta a curva de sacarificação para a rampa de brassagem realizada com as modificações no processo de obtenção do mosto.

Figura 10 – Comparativo da curva de sacarificação utilizando  $\alpha$ -amilase.



Fonte: Autor, 2017.

A adição de  $\alpha$ -amilase aumentou a eficiência enzimática do processo. O pH obtido ao final foi de 5,4 estabilizou-se na faixa esperada com uma razão plausível para o sucesso do procedimento.

A tabela 10 apresenta os resultados para a proteína, os açúcares redutores e não redutores.

Tabela 10 – Proteína, açúcar redutor e não redutor.

Amostra	Proteína (%)	Açúcar redutor (%)	Açúcar não redutor (%)
1 A	0,58	5,68	2,70
1 B	0,25	5,75	2,45
1 C	0,41	5,90	2,56
Média	0,41	5,78	2,57
Desvio Padrão	0,17	0,11	0,13

2 A	0,50	5,90	0,36
2 B	0,25	5,75	0,27
2 C	0,33	5,87	0,49
Média	0,36	5,84	0,37
Desvio Padrão	0,13	0,08	0,11
3 A	0,50	4,59	5,45
3 B	0,33	5,34	6,39
3 C	0,33	4,71	1,22
Média	0,38	4,88	4,35
Desvio Padrão	0,10	0,40	2,75

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados obtidos para a rampa modificada tiveram diferenças significativas em relação aos resultados obtidos conforme as normas EBC. Isso se deve pelo maior tempo de sacarificação em temperaturas próximas ao ponto de gelatinização do malte de arroz.

Os valores de açúcares redutores e não redutores também apresentaram maiores resultados devido a maior solubilização do amido no processo de sacarificação se comparados aos resultados das normas EBC.

Segundo SILVA (2016), os resultados médios obtidos para açúcar redutor são de 2,94% e 1,02% de açúcares não redutores. Comparando-se com os resultados obtidos utilizando malte de arroz, observa-se um aumento significativo para ambos os testes.

Esses resultados se mostraram suficientes para produzir uma brassagem em escala de planta piloto.

### 9.3 RESULTADOS EM PLANTA PILOTO.

Durante a fermentação que ocorreu em um período de cinco dias, a empresa Saint Bier forneceu dados referentes ao processo de fermentação. Esses dados foram obtidos através do equipamento marca Anton Paar, modelo Alex 500. A tabela 11 demonstra esses dados.

Tabela 11 – Dados fornecidos pela Cervejaria Santa Catarina- Saint Bier.

Dia	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Brix	Extrato original (% w/w)	Álcool (% v/v)	Extrato aparente (% w/w)	pH
-----	-----------------------------------	------	-----------------------------	-------------------	-----------------------------	----

2	1,0233	5,90	9,43	1,62	6,37	4,60
3	1,0231	5,85	9,36	1,62	6,31	4,63
4	1,0231	5,85	9,34	1,60	6,33	4,81
5	1,0229	5,80	9,17	1,54	6,28	4,73
6	1,0228	5,77	8,91	1,42	6,24	4,24

Fonte: Cervejaria Santa Catarina – Saint Bier, 2017.

Após inoculação das leveduras e após dois dias, conferindo tempo suficiente de adaptação da levedura e início da fermentação, observa-se que a densidade e o extrato diminuíram conforme as leveduras consumiam os substratos.

Observa-se que todo o extrato já havia sido consumido, pois após o segundo dia praticamente não há mais variação na densidade, Brix e teor de álcool. Os resultados obtidos para a graduação alcoólica divergem do esperado. Segundo a Cervejaria Saint Bier, pode ter havido distorção na leitura do equipamento devido a quantidade de sólidos suspensos no fermentador.

Apesar dos resultados satisfatórios em escala laboratorial, quando foi obtido um extrato suficiente para uma boa fermentação, a brassagem em escala piloto não ocorreu conforme o esperado e os resultados não foram os esperados. Obteve-se um valor aproximado à escala laboratorial para a concentração de sólidos solúveis, porém alguns problemas pertinentes a granulometria do malte dificultaram o processo exigindo mais tempo de sacarificação.

A filtração não ocorreu conforme o previsto, houve muita dificuldade em filtrar, devido a grande quantidade de amido não dissolvido que pode ter obstruído a cama de malte. A utilização do hop bag foi necessária para o avanço do procedimento. O alto teor de amido presente na clarificação também foi determinante para o resultado final.

## 10 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos conforme as metodologias baseadas nas normas EBC e comparando-os com os resultados obtidos através da metodologia alternativa, conclui-se que para a obtenção de açúcares fermentescíveis através do malte de arroz é necessário um processo de sacarificação a temperaturas mais elevadas próximas da temperatura de gelatinização do amido de arroz.

A curva alternativa se mostrou eficaz no aumento da sacarificação do malte de arroz, porém ainda insuficiente para o malte avaliado. Há necessidade de avaliar outros maltes de arroz obtidos de outras variedades de arroz.

Estudos recentes no estado do Rio Grande do Sul determinam que algumas variedades de arroz além do longo-fino, aqui utilizado, possui uma temperatura de gelatinização com temperaturas entre 63 e 68°C, o que facilitaria no controle da temperatura sem que haja risco de se atingir a temperatura de desativação das enzimas.

Portanto, conclui-se que é possível obter açúcares fermentescíveis livres de glúten através do uso do malte de arroz, prevendo algumas alterações na metodologia de produção do mosto, para melhores resultados na solubilização do mosto, como auxiliar no poder diastático do malte e utilizar algum método mais eficaz procedimento e assim contribuir para uma melhor análise sensorial do produto final.

## 11 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após o desenvolvimento do trabalho, algumas sugestões podem ser elencadas para melhores resultados. Dentre elas, podemos destacar:

- Avaliar melhor a moagem do malte, com o intuito de aumentar o contato do amido com o processo;
- Sugerir algum meio de filtração opcional para auxiliar na clarificação e reter alguns sólidos suspensos;
- Aumentar o poder enzimático da mostura e avaliar o poder diastático do malte de arroz;
- Utilizar malte de arroz de outros fornecedores ou até mesmo obter o malte de arroz de outras espécies de arroz;

## REFERÊNCIAS

AQUARONE, Eugênio; LIMA, Urgel de Almeida; BORZANI, Walter,.; SCHMIDELL, Willibaldo. **Biotecnologia industrial**. São Paulo, 2001.

BRASIL. Casa Civil. Decreto nº 6.871. **Bebidas alcoólicas fermentadas: Aditivos**. Brasília- DF. 2009.

BRIGGS, Denis E.; Boulton, Crhis A.; Brooks, Peter A.; Stevens, Roger. **Brewing, Science and Practice**. Cambridge, 2004.

DORTMUND, Cervejaria. Disponível em:  
<http://www.dortmund.com.br/fabricacao.php>. <Data de acesso: 23-06-2017>

EMMEL, Leandro. **Curso de produção de cerveja artesanal**. Porto Alegre, 2016.

FARINI, B. BORGES, J. **Desenvolvimento de uma cerveja de malte de arroz**. Faculdade de Química. Porto Alegre, 2016.

INNOVARE, pesquisa. **O consumo de cerveja no Brasil**. Disponível em:  
<http://www.innovarepesquisa.com.br/blog/o-consumo-de-cerveja-brasil/>. <Data de acesso: 22-03-2017>

LIMA, Urgel de Almeida; BORZANI, Walter,.; SCHMIDELL, Willibaldo; AQUARONE, Eugênio. **Biotecnologia industrial**. São Paulo, 2001.

MAYER, H; Ceccaroni, D; Marconi, O; Sileoni, V; Perreti, G; Fantozzi, P. **Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative**. University of Perugia. Itália, 2016.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

PRIEST, F. G; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2º ed., 2006.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: Aden, p. 214, 1997.

SILVA, F. **Produção de mosto cervejeiro a partir do aproveitamento de pão francês**. Criciúma, 2016.

SINDICERV. **Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja**. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/mercado.php><Data de acesso: 21-03-2017>

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo, 2005.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni (Coord.). **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo, 2010.