

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
CAMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

ANA PAULA LÚCIO GARCIA PIRES

**REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE BALAS COMO
MATÉRIA PRIMA PARA GERAÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO**

ERECHIM – RS

2021

ANA PAULA LÚCIO GARCIA PIRES

**REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE BALAS COMO
MATÉRIA PRIMA PARA GERAÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento das Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

**Orientadores: Dr. Rogério M. Dallago
Dr. Marcelo L. Mignoni**

ERECHIM - RS

2021

ANA PAULA LÚCIO GARCIA PIRES

**REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE BALAS COMO
MATÉRIA PRIMA PARA GERAÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO**

**Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-
Graduação em Engenharia de Alimentos,
Departamento das Ciências Agrárias da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.**

**Orientadores: Dr. Rogério M. Dallago
Dr. Marcelo L. Mignoni**

Erechim, 16 de setembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago
Orientador – URI/Erechim

Prof. Dr. Marcelo Luis Mignoni
Orientador - URI/Erechim

Prof^a. Dr^a. Eunice Valduga
URI/Erechim

Dr^a. Rosicler Colet
IFET/Erechim

P667r Pires, Ana Paula Lúcio Garcia

Reaproveitamento de efluente da indústria de balas como matéria prima para geração de álcool etílico. – Ana Paula Lúcio Garcia Pires. – 2021.
45 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2021.

“Orientação: Prof. Dr. Rogério M. Dallago, Dr. Marcelo L. Mignoni.”
1. Calda residual 2. Fermentação alcoólica 3. Álcool etílico I. Título

C.D.U.: 664

Catlogação na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

AGRADECIMENTOS

- Às oportunidades que a vida me dá. À força de Deus.
- Ao meu marido por ser meu incentivador, por andar sempre ao meu lado, por seu companheirismo incondicional.
- Em especial aos meus professores orientadores Marcelo Luis Mignoni, que teve total dedicação e atenção num momento de dificuldade encontrado e Rogério Marcos Dallago, pela paciência, ensinamentos e incentivo.
- À professora e coordenadora Eunice Valduga, por sua compreensão e amizade.
- Às minhas colegas Adriana e Keli que tanto me ajudaram em sala de aula.
- À todos os professores, à equipe da central de matérias e à Capes, por me dar a oportunidade de completar essa caminhada.

O mais importante ingrediente na fórmula do sucesso é saber como lidar com as pessoas.

(Theodore Roosevelt)

Resumo da dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos como para dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE BALAS COMO MATÉRIA PRIMA PARA GERAÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO

Ana Paula Lúcio Garcia Pires
2021

Orientadores: Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago
Prof. Dr. Marcelo Luis Mignoni

O crescimento econômico, de forma global, é importante por uma série de fatores como, por exemplo, à geração de empregos e desenvolvimento tecnológico. A indústria de alimentação é responsável por movimentar altos valores (bilhões) anualmente, sendo que no Brasil, segundo a ABICAC, o setor de balas e doces contribuiu com mais de R\$ 14 bilhões em 2016. No Rio Grande do Sul 43% dos efluentes líquidos lançados nos corpos receptores são oriundos das indústrias de alimentação, sendo que parte desta carga é produzida nos processos de fabricação de balas e doces. Há possibilidade de reaproveitar parte do efluente líquido gerado por esse segmento, mais especificamente, a calda residual oriunda da lavagem das drageadeiras (etapa onde as balas e chicletes recebem uma cobertura de açúcar), para produção de etanol. A calda residual é composta por materiais orgânicos e inorgânicos, tais como: açúcares solúveis, óleos, corantes e, ainda, consideráveis volumes de água. Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo reaproveitar o resíduo citado, incorporando-o ao caldo de cana, para produção de etanol. Aliar tecnologias já consolidadas para reaproveitamento de rejeitos industriais, além de estimular a pesquisa, torna mais eminente a possibilidade da aplicação proposta. Nesse contexto, a fermentação alcoólica torna-se uma possibilidade viável, uma vez que, é um processo cuja principal matéria prima são compostos com altas concentrações de açúcares. Dessa forma, foram realizados ensaios fermentativos com a calda residual juntamente com o caldo de cana e, ainda, ensaios utilizando apenas a calda residual. Testes também foram realizados com o uso de floculantes na calda residual com a intenção de diminuir a alta pigmentação que esse tipo de resíduo contém. A condução do processo fermentativo foi monitorado através de análises periódicas da concentração de açúcares solúveis e densidade do mosto. A aplicação de um tratamento primário para remoção da pigmentação interferiu negativamente no processo fermentativo. A separação do álcool foi realizada por sistema de destilação simples e o volume de álcool gerado foi determinado por alcoometria. A presença de álcool, após a destilação, indica que é possível reaproveitar o resíduo líquido oriundo das etapas de drageamento de balas e doces. O álcool gerado ($\cong 106,3 \text{ L/m}^3$) poderá ser destinado à produção de cachaça, ou servir de matéria prima para indústrias de cosméticos, tintas e vernizes, materiais de limpeza etc.

Palavras chave: Reaproveitamento, Calda residual, Fermentação Alcoólica.

Abstract of the dissertation presented to the Graduate Program in Food Engineering as for the requirements needed to obtain the Degree of Master in Food Engineering.

EFFLUENT REPLACEMENT OF THE BULLET INDUSTRY AS RAW MATERIAL FOR THE GENERATION OF ETHANOL ALCOHOL

Ana Paula Lúcio Garcia Pires

2021

Advisors: Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago

Prof. Dr. Marcelo Luis Mignoni

Economic growth globally is important because of many factors such as job creation and technological development. The food industry is responsible for moving high values (billions) annually and in Brazil, according to ABICAC, the candy and bulk sector contributed with more than R \$ 14 billion in 2016. In Rio Grande do Sul, 43% of effluents liquids released in the recipient bodies are from the food industry, part of which is produced in the processes of manufacture of sweets and sweets. It is possible to reuse part of the liquid effluent generated by this segment, more specifically the residual liquor from the dragee washing (stage where the gum and chewing gum are coated sugar) for the production of ethanol. Residual liquor is composed of organic and inorganic materials such as soluble sugars, oils, colorants and also considerable volumes of water. In view of the above, the present work had as objective to reuse the above residue, incorporating it to the juice of sugarcane, for the ethanol production. Aligning already consolidated technologies for the reuse of industrial waste, besides stimulating research, makes the possibility of the proposed application more eminent. In this context, alcoholic fermentation becomes a viable possibility because it is a process whose main raw material are compounds with high concentrations of sugars. In this way, the fermentation tests were carried out with the residual syrup together with the sugarcane juice and, also, tests using only the residual syrup. Tests were also carried out with the use of flocculants in the residual syrup with the intention of reducing the high pigmentation that this type of residue contains. The conduction of the fermentation process was monitored through periodic analyzes of the soluble sugars concentration and density of the must. The application of a primary treatment to remove the pigmentation interfered negatively in the fermentation process. The separation of alcohol was carried out by simple distillation system and the volume of alcohol generated was determined by alcohol. The presence of alcohol after distillation indicates that it is possible to reuse the liquid residue from the drainage stages of sweets and sweets. The alcohol generated ($\cong 106,3 \text{ L/m}^3$) can be used for the production of sugarcane liquor, or serve as raw material for cosmetics, paints and varnishes, cleaning materials, etc.

Keywords: Reuse. Residual syrup. Alcoholic Fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sequência de operações de produção do etanol por fermentação.....	20
Figura 2- Temperatura ideal de fermentação alcoólica.	24
Figura 3- Etapas do tratamento físico-químico da calda residual bruta	30
Figura 4- Calda residual após tratamento primário com PAC + gel-floc	33
Figura 5- Calda residual tratada com somente com PAC durante processo de filtração à vácuo	33
Figura 6- Evolução dos valores de densidade durante as 48 horas de fermentação.....	35
Figura 7- Evolução dos valores de pH durante as 48 horas de fermentação.....	36
Figura 8- Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaios conduzidos com a calda residual bruta. Temperatura de 28 °C .	37
Figura 9 – Evolução da densidade no decorrer do processo fermentativo. Calda residual tratada com PAC.	40
Figura 10 – Evolução da densidade no decorrer do processo fermentativo. Calda residual tratada com PAC/Gelfloc.....	40
Figura 11 – Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaios conduzidos com a calda tratada com PAC.....	41
Figura 12 – Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaios conduzidos com a calda tratada com PAC/Gelfloc.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais representantes da indústria da alimentação.....	16
Tabela 2 – Aplicações de algumas leveduras para produção de alimentos	21
Tabela 3 – Composições de caldo de cana/calda residual empregadas nos ensaios.	30
Tabela 4 – Caracterização da calda residual.....	32
Tabela 5 – Caracterização do efluente tratado físico-quimicamente.	33
Tabela 6 – Resultados do vinho após etapa de destilação simples.	38
Tabela 7 – Resultados da destilação dos ensaios com a calda bruta.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
2 OBJETIVOS	Erro! Indicador não definido.
2.1 Objetivo geral	Erro! Indicador não definido.
2.2 Objetivos específicos	Erro! Indicador não definido.
3 REFERENCIAL TEÓRICO	Erro! Indicador não definido.
3.1 Indústria de BalasErro! Indicador não definido.
3.2 Efluentes Industriais	Erro! Indicador não definido.17
3.3 Tecnologia das Fermentações na Produção do Álcool19
3.3.1 Fases da Fermentação Alcoólica	20
3.3.2 Interferentes da Fermentação Alcoólica.....	21
3.3.3 Tipos de Controle em Fermentação Alcoólica.....	27
3.4 Rendimento do Etanol	27
3.5 Considerações Finais	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Amostras e Reagentes	29
4.2 Preparo da Calda Residual	29
4.3 Ensaio Fermentativos	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	Erro! Indicador não definido.
5.1 Caracterização da Calda Residual	32
5.2 Ensaio Fermentativos e Análises	34
6 CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico de um país está diretamente ligado ao crescimento industrial, por gerar empregos, aperfeiçoar mão de obra capacitada, implementar novas tecnologias, entre outros benefícios. Paralelamente e com a mesma proporção do avanço industrial, resíduos são produzidos e necessitam de tratamentos adequados para que diminuam seu impacto negativo à natureza. A maioria das indústrias já tem inseridas em seus layouts os sistemas de tratamento para os resíduos sólidos, líquidos e gasosos e, cada vez mais o reaproveitamento de materiais ganha destaque por aliar preservação com economia.

O segmento alimentício é responsável por grande parte da emissão de efluentes líquidos lançados nos corpos receptores e, com a intenção de minimizar sua carga poluidora, o reaproveitamento de parte desse material para transformá-lo em matéria prima a ser usada em outros segmentos industriais, é visto com grande motivação para, entre outras medidas, ajudar a solucionar os problemas causados pelo seu descarte na natureza.

Desenvolver estudos que avaliem a viabilidade para aplicações nobres e com maior valor agregado de cada resíduo é essencial para se assegurar os ganhos agrônômicos, ambientais, econômicos e sociais que esse tipo de disposição representa (EMBRAPA, 2103).

Seguindo nesse contexto, destaca-se o setor industrial responsável pela produção de balas e doces, o qual representa um segmento com fortes atributos sensoriais que visam aumentar o interesse dos consumidores na aquisição dos seus produtos, sendo que, para isso fazem uso de uma vasta gama de aditivos potencializadores de tais características, mas que geram material líquido com alta carga orgânica e inorgânica, composta por açúcares solúveis, gorduras, corantes, entre outros. É considerado aditivo químico todo e qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação (PORTARIA SVS/MS 540, de 27/10/97).

No estado do Rio Grande do Sul a indústria de balas e doces é bastante consolidada e um dos seus setores, o de drageamento, se destaca por gerar efluentes líquidos com altas concentrações de açúcares e pigmentos. Balas e chicletes drageados são bastante consumidos e, por isso, sua produção é alta. O drageamento consiste na aplicação controlada de açúcar, adoçante ou chocolate sobre centros de frutas, balas, chicletes, entre outros produtos, com a utilização de tacho ou uma sequência de tachos giratórios de cobre ou aço inoxidável. A lavagem desses tachos gera altos volumes de líquidos com elevada concentração de açúcares solúveis (calda residual) e, por se tratar de um produto com alta valoração no mercado, reaproveitar parte desse açúcar se torna pertinente, dentro da problemática preservação versus economia.

Aliar tecnologias consolidadas para recuperação e reaproveitamento de rejeitos da indústria alimentícia estimula a pesquisa por tornar mais eminente a possibilidade da aplicação proposta. Nessa questão, a fermentação alcoólica se destaca por ser um processo que utiliza como principal matéria prima compostos ricos em açúcares. De acordo com Lima, Aquarone e Bornazi (1986), qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, constitui-se em matéria prima para obtenção de etanol.

O reaproveitamento do material produzido a partir do resíduo das etapas de drageamento de balas e doces pode constituir-se de parte da matéria prima para produção de cachaça, por exemplo, uma vez que, na região norte do estado existe um número expressivo de pequenas destilarias artesanais. Também o álcool produzido poderia ser usado em indústrias dos setores de cosméticos, materiais de higiene e limpeza, aromatizantes, combustíveis de veículos, entre outros.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de produção de álcool, incorporando à matéria prima usualmente utilizada para produzi-lo (caldo de cana), parte do efluente líquido (calda residual) gerado na etapa de drageamento de balas e doces, através de processo fermentativo visando promover a aplicação desse produto recuperado em outros segmentos industriais.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi produzir álcool, por fermentação, utilizando como matéria prima, além do caldo de cana, parte do efluente líquido gerado na etapa de drageamento de uma indústria de balas e doces da cidade de Erechim/RS.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de produção de álcool, por processo fermentativo, de uma matéria prima composta por calda residual incorporada ao caldo de cana;
- Verificar a influência do uso de flocculantes, para reduzir parte da pigmentação presente na calda residual, no volume final de álcool gerado;
- Analisar o rendimento do álcool produzido nos ensaios com a calda residual bruta e com a calda residual tratada com flocculantes.

3 REVISÃO BIBLIGRÁFICA

3.1 Indústria de Balas

O polo industrial é de grande importância mundial, por acarretar crescimento econômico ao país, geração de empregos, otimização de mão de obra capacitada, implantação de novas tecnologias, trazendo infraestrutura ao país, além de incentivo cultural (GRANGEIRO, 2009).

Segundo a ABIA, a indústria da alimentação (produtos alimentares + bebidas) teve um faturamento de R\$ 614,3 bilhões em 2016, sendo seus principais representantes, segundo a associação, os citados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais representantes da indústria da alimentação.

Indústrias de Produtos Alimentares - Ranking dos principais setores (R\$ Bilhões)							
Derivados de carnes	6,0	9,1	8,7	00,8	15,6	29,1	331
Beneficiamento de Café, Chá e Cereais	5,9	0,6	6,9	2,8	6,9	6,7	7,6
Açúcares	7,7	2,2	1,9	0,9	8,3	6,6	6,6
Laticínios	3,1	8,1	2,2	0,1	5,2	8,9	7,5
Óleos e Gorduras	9,3	4,5	0,9	2,3	4,7	7,7	9,2
Derivados de Trigo	9,9	1,4	3,5	6,8	9,5	1,6	3,6
Derivados de Frutas e Vegetais	5,6	8,2	0,4	3,7	5,8	6,3	0,3
Diversos (salgadinhos, sorvetes, temperos e leveduras)	7,7	0,5	4,2	8,7	1,5	3,1	4,6
Chocolate, Cacau e Balas	0,5	1,5	2,4	3,1	3,4	3,7	4,5
Desidratados e Supergelados	0,5	0,4	0,5	1,3	3,2	4,5	5,4
Conservas de Pescado	0,5	0,9	0,4	0,0	0,6	0,6	0,0

Fonte: ABIA, 2016.

O segmento de chocolate, cacau e balas contribui com mais de R\$ 14 bilhões e, segundo dados da ABICAC, mesmo com a crise dos últimos dois anos, as indústrias de balas e gomas mantêm estabilidade e registraram produção 0,6% superior no primeiro semestre de 2016 em comparação ao mesmo período do ano anterior. O volume produzido de janeiro a junho deste ano foi de 185 mil toneladas, contra 184 mil toneladas em 2015. Pela relevância dessas indústrias e atuação internacional, já que o produto brasileiro é exportado para mais de 130 países, existe grande preocupação com as boas práticas de sustentabilidade. Muitos países para

onde o Brasil exporta, têm exigências ambientais rigorosas, o que estimula as pesquisas que visam melhorar a qualidade dos seus rejeitos industriais.

Denominam-se balas e caramelos as preparações à base de pasta de açúcar fundido, de formatos variados e de consistência dura ou semidura, com ou sem adição de outras substâncias permitidas (ANVISA, Resolução CNNPA nº 12, 1978). Os principais ingredientes para produção desses produtos são: água, gelatina, açúcares (mono e dissacarídeos), leite, cacau e certos aditivos, como aromatizantes, acidulantes, edulcorantes, corantes, antieméticos, glaceantes e gelificantes (ANVISA, 2005).

3.2 Efluentes Industriais

Todo segmento industrial produz resíduos sólidos, líquidos ou gasosos oriundos das suas diversas etapas de produção. O número expressivo de indústrias de alimentação remete à certeza que a quantidade de resíduos formados é igualmente expressiva.

Os efluentes industriais líquidos, por exemplo, se formam a partir dos resíduos e energias integrados nas diferentes etapas dos processos de produção, os quais determinarão suas características físico-químicas e sensoriais. Segundo Zaharia e Suteu (2012), efluente é a água que sobra de vários processos industriais ou mesmo de uso doméstico, sempre carregado de substâncias orgânicas ou inorgânicas.

As indústrias alimentícias, de modo geral, são as que geram efluentes com maior carga poluidora, pois possuem elevada carga orgânica e são de difícil biodegradabilidade. Assim, a sua disposição no meio ambiente, por meio de emissões de matéria e de energia lançados na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os resíduos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos na legislação ambiental para não causarem impacto negativo (FREIRE, et al., 2000; JAIN, SHARMA; BHARGAVA, 2004).

As características dos resíduos líquidos e sólidos provenientes de indústrias alimentícias favorecem o crescimento de microrganismos que irão competir pelo oxigênio disponível nos corpos d'água com os organismos naturais da fauna naquele ambiente, principalmente, os peixes e as algas, além de contribuir para a geração de maus odores e poluição das águas de consumo (ALMEIDA E CABALERO, 2004; IMAMURA, TONI, DORTA, 2012).

Segundo Baumgarten (2010), em virtude dos aportes de matéria orgânica, oriunda de efluentes de indústrias de alimentos ocorre a chamada eutrofização que é a proliferação de microvegetais oportunistas que podem liberar toxinas no corpo hídrico, causada pela baixa capacidade de autodepuração de carga orgânica pelo corpo receptor.

No Brasil e em vários países, a legislação ambiental regula o descarte de efluentes sobre corpos d'água, limitando a carga poluidora lançada de acordo com o tipo de uso estabelecido para a água do corpo receptor (classe da água) (TEIXEIRA, 2008).

Os principais constituintes orgânicos dos efluentes oriundos da indústria de alimentos são: proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microrganismos, sais orgânicos e componentes dos produtos saneantes. Os principais constituintes inorgânicos são sais formados de ânions (cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio) (VON SPERLING, 1996).

A aplicação de resíduos agroindustriais em bioprocessos tem sido considerada uma boa alternativa para novos substratos, além de ajudar na redução do impacto ambiental (Medeiros et al., 2000; Pandey, et al 2000, Soccol & Vandenberghe, 2003). A busca por alternativas que contribuam com o meio ambiente e auxiliem na resolução dos problemas gerados pelo desenvolvimento descontrolado das grandes metrópoles, vêm ganhando cada vez mais interesse e destaque entre os grupos de pesquisa que investigam e buscam exaustivamente soluções sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

A indústria de balas, objeto do presente estudo, gera altos volumes de efluentes líquidos ricos em açúcares solúveis sendo que, sob o ponto de vista ambiental, tal característica a torna viável à pesquisa para reaproveitamento de seus rejeitos. Desenvolver estudos que avaliem a viabilidade para aplicações nobres e com maior valor agregado de cada resíduo é essencial para se assegurar os ganhos agronômicos, ambientais, econômicos e sociais que esse tipo de disposição representa (EMBRAPA, 2013).

Os dados na literatura sobre as características dos efluentes oriundos da indústria de balas são poucos. Uma revisão feita sobre os resíduos gerados nas indústrias de alimentos por Kroyer (1995) descreve algumas características que são comuns e devem ser consideradas como aspectos significativos para adequar e caracterizar os efluentes. Algumas destas características são: grande quantidade de matéria orgânica presente, como proteínas, carboidratos e lipídios; grande quantidade de sólidos suspensos; alta demanda química e bioquímica de oxigênio; alta concentração de nitrogênio, alto conteúdo de óleo e gordura suspensos e além de altas variações de pH (RAMJEAWON, 2000; GALAMBOS ET AL., 2004).

O resíduo da indústria de balas e doces foi proveniente da etapa de drageamento de balas e chicletes e, se destaca por apresentar alta carga de açúcares solúveis, dentre outros compostos. Os drageados, denominação dada a produtos que apresentam um centro de determinada matéria-prima envolvido por uma cobertura, são largamente populares e, por isso, bastante consumidos. Consiste no engrossamento contínuo e controlado de um determinado centro (frutos secos, cereais, bolacha, fruta desidratada, etc.) através da aplicação de sucessivas camadas de açúcar líquido (ou outro tipo de revestimento), utilizando um equipamento rotativo, conhecido como drageadeiras, num ambiente com condições de umidade e temperatura adequadas/controladas (COPPING, 1996; PEREIRA, 2010).

Como é um processo em batelada, ao mudar a pigmentação da calda, as drageadeiras devem ser submetidas a uma etapa de lavagem para evitar a contaminação cruzada. Esta lavagem ocorre com a água aquecida, facilitando a extração desta calda cristalizada, tornando-

a um resíduo em potencial para ser empregado como matéria prima para a geração de álcool. De acordo com Lima *et al.* (1986), qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, constitui-se em matéria-prima para obtenção de etanol.

3.3 Tecnologia das Fermentações na Produção do Álcool

Os processos fermentativos desenvolveram-se de modo artesanal até a segunda metade do século XIX, quando as descobertas científicas sobre os microrganismos e as enzimas possibilitaram o desenvolvimento da indústria de alimentos, que soube se apropriar de todas as ciências afins (microbiologia, bioquímica, engenharia química, automação etc.).

A fermentação alcoólica é um fenômeno bioquímico muito complexo que provoca a transformação do açúcar em álcool etílico, gás carbônico, ácido succínico, ácidos voláteis, ésteres etc (Gay-Lussac). A biotransformação do substrato (açúcares) ocorre por meio de um microrganismo.

No Brasil a via de obtenção do álcool mais utilizada é a fermentativa por questões econômicas, domínio de tecnologia e disponibilidade de biomassa (VIEIRA *et al.*, 2009).

O etanol hidratado, com cerca de 5% de água, é utilizado na produção de bebidas, alimentos, cosméticos, aromatizantes, produtos de limpeza, remédios, vacinas e como combustível de veículos (NOVACANA, 2014). O álcool gerado através do reaproveitamento de rejeitos da indústria de balas e doces pode ser utilizado como matéria prima para os segmentos supracitados e ainda, como uma opção para produzir cachaça em pequenas destilarias artesanais locais.

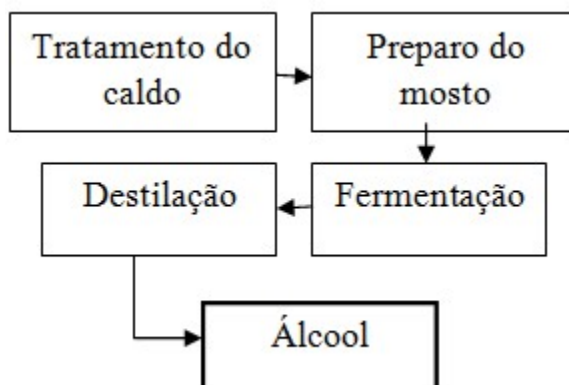
O álcool produzido durante a fermentação é dependente da quantidade de açúcares presentes no mosto. O processo se inicia por meio da atuação da exoenzima invertase, a qual, por meio da hidrólise, transforma o açúcar (sacarose) em glicose e frutose (monossacarídeos estruturais). Esses monossacarídeos serão absorvidos pela célula da levedura (aeróbio facultativo), que em condições de anaerobiose realizará a fermentação e, em condições de aerobiose serão utilizados no processo de respiração da mesma (AMORIM *et al.*, 2005).

Pasteur verificou que ao se trabalhar em condições adequadas de fermentação (mostos sintéticos), 5% do açúcar metabolizado pela levedura é desviado para rotas metabólicas alternativas, ou seja, para gerar produtos secundários, enquanto que 95% resultam em etanol.

Usualmente é utilizada a levedura da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, a qual realiza a fermentação dos açúcares com um único objetivo: conseguir energia química necessária à sua sobrevivência, sendo o etanol apenas um subproduto desse processo (AMORIM; BASSO; ALVES, 1996).

O processo tecnológico de fabricação de etanol é formado por uma sequência de operações industriais que resumidamente seriam: preparo do mosto, fermentação e destilação (Figura 1).

Figura 1 – Sequência de operações de produção do etanol por fermentação.



3.3.1 Fases da Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica ocorre em três etapas distintas: A primeira etapa é a pré fermentação que inicia quando o pé de cuba (leveduras) é adicionado ao mosto devidamente preparado e se caracteriza por ativa multiplicação das células e elevação lenta e gradual da temperatura do meio. Após cinco a seis horas, com pouca espuma, inicia-se a fermentação principal, que é reconhecida pela elevação rápida da temperatura, queda da densidade do mosto por causa do desaparecimento dos açúcares e da formação equivalente do álcool. A acidez eleva-se abaixando o pH. Essa fase termina quando as espumas desaparecem, durando de nove a dez horas (ANTONINI, 2004).

A pós fermentação é caracterizada pela diminuição lenta e gradual da temperatura do mosto, diminuição do desprendimento do gás carbônico e não se formam mais espumas. Essa fase dura de seis a oito horas e deve durar o mínimo possível para evitar a infecção do mosto fermentado e do pé de cuba, que será utilizado em nova fermentação (ANTONINI, 2004).

3.3.2 Interferentes da Fermentação Alcoólica

Conforme Schiavone (2009), para produzir etanol um dos parâmetros principais a ser controlado é a etapa de fermentação, tendo como consequência principal o rendimento da fermentação, ou seja, a porcentagem do açúcar que se transforma em álcool, em relação à quantidade máxima teórica da equação de Gay-Lussac. Entre os principais fatores que podem afetar a produção de etanol destacam-se:

Leveduras

A levedura é o principal constituinte da fermentação alcoólica, sendo responsável pela transformação do açúcar em etanol. Para um bom desempenho na indústria, ela deve apresentar algumas características, tais como: elevada velocidade de fermentação, tolerância ao álcool, bom rendimento, resistência e estabilidade (RIBEIRO; BLUMER; HORII, 1999).

Muitas pesquisas têm sido realizadas visando a utilização de outros microrganismos para a obtenção de etanol nas destilarias brasileiras, mas a utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae* continua sendo a mais adequada. Apresenta alta eficiência fermentativa, um crescimento rápido, eficiente metabolização de açúcares, habilidade na produção e consumo de etanol, tolerância a altas concentrações de etanol e baixos níveis de oxigênio, osmotolerância, tolerância a grandes variações de temperatura, e atividade celular em ambientes ácidos que são fundamentais na sua utilização industrial (ANDRIETTA et al., 2007).

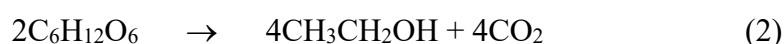
A Tabela 2 apresenta a aplicação de algumas leveduras na produção industrial de alimentos.

Tabela 2 – Aplicações de algumas leveduras para produção de alimentos.

Leveduras	
Apenas algumas associadas à produção de alimentos fermentados	Todas fermentam glicose
Ascomicetas ou membros do gênero <i>Candida</i>	<p><i>S. cerevisiae</i> mais frequente em bebidas e alimentos de origem vegetal</p> <p>Outras fermentam outros hidratos de carbono de origem vegetal</p> <p>Sacarose, maltose, rafinose</p>
	Nenhuma fermenta lactose

Fonte: Souza (2012).

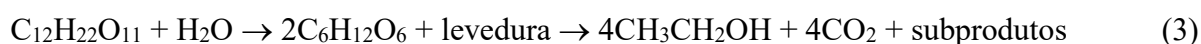
Na fermentação alcoólica, uma molécula de sacarose é oxidada na ausência de oxigênio, resultando em etanol e gás carbônico conforme mostra a Equação 1 e 2.



Na sequência das reações enzimáticas aparecem rotas metabólicas alternativas para a formação de outras substâncias necessárias para o desenvolvimento de produtos secundários,

relacionados direta ou indiretamente com a adaptação e sobrevivência das leveduras. Estando sujeito à presença de oxigênio ou não, a levedura forma juntamente com o etanol e gás carbônico, produtos como glicerol, ácidos nucleicos, proteínas, lipídios, alcoóis superiores, ácidos acético, succínico, pirúvico, entre outros, simultaneamente ocorre também o crescimento celular.

Segundo Campelo (2005) apud Bosqueiro (2010), a equação descrita por Gay Lussac, mediante as condições industriais anaeróbicas utilizando sacarose é dada pela Equação 3 abaixo:



Nutrientes para as leveduras

Segundo Lima *et al.*, (2001) a nutrição balanceada das leveduras é um fator que interfere no rendimento. Estes necessitam de fonte de carbono (açúcares), vitaminas, nitrogênio, fósforo, magnésio, cálcio, ferro entre outros.

Muitos elementos podem estar presentes no mosto, sendo desnecessária sua adição. Os nutrientes compostos, produzidos pelas indústrias químicas, possuem fórmula balanceada que segue as recomendações dos fornecedores de leveduras selecionadas. O emprego desses produtos reduz o custo de mão de obra na destilaria.

De acordo com Caldas; Borém; Santos (2012) a concentração de nutrientes no mosto é um dos fatores mais importantes para a boa condução da fermentação etanoica. Se presentes em quantidades inadequadas, maiores ou menores que as necessárias, os nutrientes podem proporcionar reflexos negativos sobre o desempenho da fermentação etanoica, afetando a multiplicação celular e a velocidade da fermentação. As leveduras necessitam de meio contendo fonte de carbono, como glicose e frutose; além disso, deve ser fonte de vitaminas, nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, zinco, ferro, cobre, cobalto, iodo e outros em quantidades menores.

Ressalta-se que, como o mosto contém em parte ou em sua totalidade vários destes nutrientes em quantidades adequadas, é sempre conveniente determinar a composição média dos mostos para que a complementação seja mais adequada.

Aeração e Agitação

Conforme Lima *et al.*, (1986) apud Naves *et al.*, (2010) as leveduras usadas nos processos fermentativos (*Saccharomyces cerevisiae*), tem características facultativas em respeito à utilização do oxigênio, podendo seguir rotas metabólicas tanto na ausência como na presença de oxigênio. Porém quando há altas concentrações de açúcares ocorre à inibição da atividade de enzimas respiratórias e a formação de mitocôndrias, levando a produção de álcool

na presença de oxigênio. Para Steckelberg (2001) apud Naves *et al.*, (2010) a fermentação alcoólica é inibida na presença de grandes concentrações de oxigênio. Este efeito está intimamente associado ao estado fisiológico da célula, sendo que se manifesta principalmente nas leveduras que não estão na fase de crescimento (fase estacionária) nas quais ocorre nítida diminuição do consumo específico de glicose. Nas células em crescimento (fase exponencial), por outro lado, não se observa diferença significativa quanto à velocidade de consumo de glicose entre uma célula aeróbia e outra anaeróbia.

Embora pareça contraditório, sabe-se hoje que a completa falta de oxigênio não é benéfica ao processo de produção do álcool. Níveis mais altos de rendimentos alcoólicos e menos glicerol formado foram obtidos em culturas nas quais havia certa quantidade de oxigênio disponível (SOUZA, 2009).

Concentração de Açúcares e Fermento

A espécie *Saccharomyces cerevisiae* é capaz de fermentar os açúcares que compõe a cana-de-açúcar, que são basicamente a glicose, a frutose e a sacarose (STECKELBERG, 2001). Mostos com elevadas concentrações de açúcares, acarretam em estresse osmótico, reduzindo o crescimento dos microrganismos, produzindo glicerol e levando a perda da viabilidade das células (LIMA *et al.*, 2001).

Isto leva a perdas em volume das células que se contraem por causa de diferenças em pressão osmótica entre o exterior e o interior das células (SOUZA, 2009).

É importante existir um teor ótimo de levedura, dependendo das condições especiais do processo industrial (Lima *et al.*, 2001), uma vez que, elevadas concentrações de inóculo permitem fermentações mais rápidas, seguido pelo aumento de temperatura, assim com maior produtividade e maior controle sobre as bactérias contaminantes, além de restringir o crescimento da própria levedura. Por outro lado, o elevado teor de levedura exige energia de manutenção maior, isto é, maior consumo de açúcar para manter as células vivas. Como consequência, resulta em maior competição pelos nutrientes do meio, minerais e vitaminas, diminuindo a velocidade do fermento.

Álcool

O efeito inibitório do álcool produzido por *S. cerevisiae* durante a fermentação é complexo e resulta no principal fator que desencadeia fermentação incompleta e consequentemente diminuição no rendimento do processo.

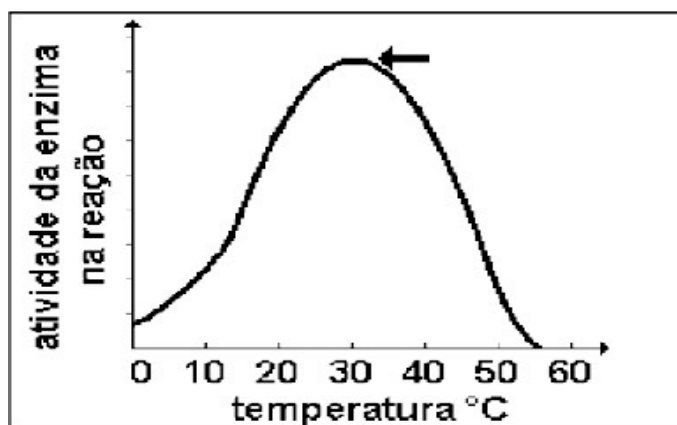
O álcool retarda o crescimento da levedura, reduz viabilidade e habilidade fermentativa (FERREIRA, 2002). O álcool parece não ter efeito único, provocando modificações nas propriedades da membrana lipídica e nos sistemas de transporte de soluto e agindo sobre algumas enzimas (STECKELBERG, 2001).

Temperatura

A temperatura é uma das condições ambientais que mais afetam a atividade de microrganismos, influenciando o crescimento, metabolismo, capacidade fermentativa e viabilidade celular em leveduras (BATISTA, 2001). Por um lado, quanto maior a temperatura maior é a velocidade da fermentação, porém a contaminação bacteriana aumenta e a levedura fica mais sensível à toxidez do álcool, levando a formação de metabólitos secundários como o glicerol.

As temperaturas ótimas usadas nos processos de produção do álcool encontram-se na faixa de 26 a 35°C, podendo chegar a 38-40°C, quando não há controle eficiente da temperatura do meio em fermentação. Temperaturas elevadas também favorecem a evaporação do etanol, no caso dos fermentadores que operam abertos. A Figura 2 demonstra as condições ideais de temperatura para se obter uma boa fermentação.

Figura 2 – Temperatura ideal de fermentação alcoólica.



Fonte: Adaptado Souza; Carvalho (2012).

pH e Acidez

O pH é um fator significativo para as fermentações industriais devido à sua importância tanto no controle da contaminação bacteriana quanto ao seu efeito sobre o crescimento da levedura, taxa de fermentação e formação de subprodutos (SOUZA, 2009). Para Caldas; Borém; Santos (2012) as leveduras são microrganismos acidófilos e trabalham bem em ampla faixa de pH. Os melhores resultados são obtidos, porém, para valores entre 4,0 a 4,5. Aumentando-se o pH até 7,0, observa-se, via de regra, uma diminuição do rendimento em álcool, com aumento da produção de ácido acético (SOUZA, 2009). Os valores de pH dos mostos industriais se encontram na faixa de 4,5 a 5,5.

A fermentação alcoólica inicia com valores de pH baixos, finalizando com valores de 3,5 a 4,0. Fermentações conduzidas em meios mais ácidos resultam em maiores rendimentos de álcool, pelo fato de restringir o crescimento do fermento, ao mesmo tempo que reduz a contaminação bacteriana.

Matéria prima

De acordo com Lima *et al.* (1986), qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, constitui-se em matéria-prima para obtenção de etanol por fermentação alcoólica.

Caldas; Borém; Santos (2012) destacam que a adoção de determinada matéria-prima para a produção de etanol depende de uma série de fatores: disponibilidade e facilidade de transporte e custos de produção; rendimento industrial em etanol; conter o substrato adequado (e em concentrações economicamente viáveis) ao microrganismo agente da fermentação etanoica; custo industrial da transformação em etanol; ser de fácil obtenção, não exigindo tratamentos prévios onerosos; não contribuir para complicar os processos de separação de produtos do meio fermentado; e ser economicamente vantajosa e de fácil estocagem.

No Brasil a principal matéria prima para produção de etanol é a cana de açúcar (ALQUATI, 1990), que foi trazida ao país na época colonial. A cana-de-açúcar é atualmente a opção de biomassa que agrega maior produtividade por unidade de área e melhor balanço energético, que é a razão entre a energia que sai na forma de produto (etanol, por exemplo) e a energia fóssil consumida na cadeia produtiva.

Em termos de rendimento em etanol, a cana de açúcar destaca-se por ser capaz de produzir 85 L de álcool por tonelada de matéria prima, com um caldo apresentando, por exemplo, 14% de sacarose (14 °Brix) (RODRIGUES, 2009).

O caldo de cana ou garapa é o nome dado ao líquido extraído da cana de açúcar por extração em moendas elétricas ou manuais, que contém gomas, graxa e cera que, juntamente com os ácidos pécticos e algumas substâncias nitrogenadas, formam os chamados sólidos orgânicos do caldo. O caldo é uma solução impura e diluída de sacarose, constituído de água (75 a 82%) e sólidos solúveis (18 a 25%) sendo esses últimos divididos em açúcares (18%) e outras substâncias de natureza orgânica (1%) e inorgânicas (0,5%). Dentre as substâncias inorgânicas, temos no caldo: fósforo, cálcio, sódio, manganês, enxofre, alumínio, ferro, potássio, magnésio, cloro, entre outros. O caldo possui também materiais corantes (pigmentos), como clorofila, antocianinas e sacaratina, pequenas quantidades de substâncias como taninos e polifenóis de ferro, conferem ao caldo uma coloração verde escura (CESAR *et al.*, 2003; DELGADO *et al.*, 1977).

No entanto, para CANILHA *et al.*, (2010) o Brasil tem potencial para a implantação de novas alternativas para geração de álcool e, entre elas, destaca-se o aproveitamento de biomassa agroindustrial, tal como o próprio bagaço de cana de açúcar. Essa biomassa é rica em compostos

lignocelulósicos (lignina, celulose e hemicelulose), os quais representam mais de 90% da massa seca total. A celulose e a hemicelulose compõe a maioria deste, representando cerca de 60-70% (McCARTHY; TIEMANN, 1998). Além da queima para a geração de calor, o bagaço de cana pode ser utilizado para obtenção de etanol de segunda geração.

Na busca do desenvolvimento de novas tecnologias metodológicas, o aproveitamento do farelo de arroz surge como uma alternativa viável e de baixo custo em variados segmentos. Amostras de farelo de arroz de diferentes cidades do estado de Tocantins foram utilizadas como fonte de celulose para obtenção de papel.

Ainda, no Brasil, a utilização da mandioca como matéria prima para a produção de biocombustíveis sempre foi discutida, mas dois fatores têm desmobilizado o uso da mandioca para fabricação de etanol: a baixa produtividade agrícola (PEQUENO et al., 2007) e o maior consumo energético necessário à hidrólise do amido no preparo do mosto. Cereda et al., (2004) defendem a produção de etanol a partir da mandioca pois, a exemplo dos cereais, essa raiz produz álcool de qualidade superior podendo apresentar outras aplicações, além de combustível. De acordo com Jardine (2009), uma tonelada de mandioca com 25% de amido é capaz de produzir 170 Litros de etanol.

Outra fonte alternativa, mencionada por Jardine (2009), a batata doce, pode ser processada de forma similar à mandioca. Contendo cerca de 22% de amido e 5-6% de açúcares redutores ela pode produzir em média, de 85 a 95 L de álcool por tonelada.

Outra via que tem despertado atenção é o emprego de efluentes como matéria prima para a produção de etanol.

A avaliação do efluente gerado no processo de polpação celulósica de uma indústria que produz papel a partir do farelo de arroz mostrou um potencial de utilização deste efluente para a produção de bioetanol (79 L/ton de resíduo) devido às quantidades de amido presentes (REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS, 2014).

Outro exemplo de reaproveitamento, em destaque, ocorre em São Paulo onde o biogás gerado na estação de tratamento de esgoto (ETE) está sendo transformado em combustível, o biometano, que poderá ser utilizado no lugar da gasolina, do álcool e do gás natural veicular. Estimasse uma produção de 1.700 Nm³ de biometano por dia, o suficiente para substituir 1.700 Litros de gasolina comum a cada dia (SECRETARIA DE SANEAMENTO DE SÃO PAULO, 2017).

3.3.3 Tipos de Controle em Fermentação Alcoólica

Uma das principais perdas no processo de fermentação está relacionada à contaminação bacteriana, afetando diretamente a produção de álcool (AMORIM; BASSO; ALVES, 1996).

A floculação de leveduras é uma das consequências dessa contaminação, na qual as células de levedura aglomeram-se formando flocos que dificultam o contato com o substrato, reduzindo o rendimento e aumentando o tempo de fermentação. Além disso, ocorrem dificuldades operacionais relacionadas principalmente ao entupimento de canalizações e problemas na separação do fermento nas centrífugas (ALTHERTHUM *et al.*, 1984).

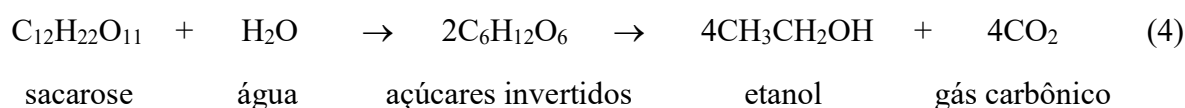
A eficiência do processo fermentativo é dada em função direta da manutenção das células ativas dispersas no mosto em contato com o substrato. A remoção precoce das células devido à floculação provoca redução do rendimento e aumenta o tempo de fermentação, com perdas econômicas significativas. Mas, se a floculação ocorrer num ponto desejável na fermentação, atuará eficientemente na remoção das células do mosto, contribuindo na diminuição do custo do processo e aumentando sua produtividade (MARTINS, 1997).

Alguns parâmetros de monitoramento contribuem para uma maior eficiência (rendimento) do processo de fermentação alcoólica, como análise de densidade ou °Brix, temperatura, pH, contaminação bacteriana, velocidade de alimentação e açúcares residuais.

Segundo Ribeiro, Blumer e Horii (1999), a eficiência do processo de fermentação alcoólica pode ser avaliada por meio do método de rendimento de subproduto (análises de ART, glicerol, ART residual, % de álcool, acidez, teor de levedo e floculação do fermento) e rendimento convencional (balanço de massa).

3.4 Rendimento do Etanol

Para Fernandes (2011), um volume conhecido de álcool e correspondente grau alcoólico ou massa específica pode ser convertido em sacarose ou em açúcar de determinada polarização. A fermentação alcoólica é um processo complexo que envolve diversas etapas de transformação dos açúcares do caldo de cana pela ação das leveduras. Após a inversão da sacarose, as duas moléculas de açúcares invertidos podem ser diretamente fermentadas para a conversão em quatro moléculas de etanol e quatro moléculas de gás carbônico, conforme a Equação 4 apresenta.



Uma determinada quantidade de sacarose pode ser convertida estequiometricamente em etanol pela multiplicação do fator 0,68.

- Sacarose em Etanol → Multiplicar por 0,68

- Etanol em sacarose → Dividir por 0,68

O rendimento teórico de etanol por grama de glicose consumida é 0,511 gramas, sendo este valor considerado 100% quando o substrato for glicose. Como na condição de fermentação industrial brasileira, o rendimento alcançado é em média 91%, isto corresponde a 0,465 gramas de etanol por grama de “Açúcar Redutor Total” (ART) consumido.

3.5 Considerações Finais

No Rio Grande do Sul, cerca de 43% dos efluentes industriais gerados são procedentes da indústria de alimentos. A minimização da carga residual nos mesmos, bem como o reaproveitamento em outros segmentos industriais, estão diretamente associadas a benefícios ambientais e econômicos a são estratégias que devem ser incorporadas pelas empresas em seus modelos de gestão (SANCHES, 2000, CORAZZA, 2003, MACHADO, et al 2015).

No entanto para que isto efetivamente ocorra, em função da complexidade dos rejeitos e/ou efluentes, são necessários estudos para avaliar a viabilidade de determinados procedimentos e aplicações. Com esta finalidade, parcerias empresas/universidades são primordiais, cabendo as últimas a tarefa de desenvolver metodologias, bem como validar possíveis aplicações.

Neste contexto, a indústria de *Candies*, objeto do presente estudo, destaca-se pela geração de elevados volumes de efluentes líquidos ricos em açúcares solúveis, os quais, sob o ponto de vista tecnológico-ambiental, tornam-se atrativos à pesquisa para reaproveitamento como matéria prima para geração de etanol, agregando valor a um resíduo atualmente descartado pela empresa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostras e Reagentes

A amostra utilizada foi fornecida por uma indústria local de produção de balas e doces, e corresponde ao efluente líquido, tratado no presente estudo como calda residual, gerado na etapa de lavagem das drageadoras. O caldo de cana e o pé de cuba foram cedidos por uma cachaçaria artesanal, também erechinense.

Os sólidos solúveis foram medidos com uso de um refratômetro ótico portátil. Para a obtenção do etanol, o mosto fermentado foi submetido a um sistema de destilação simples e, a graduação alcoólica foi determinada utilizando um alcoômetro centesimal.

Os reagentes empregados neste estudo foram o sulfato de amônio P.A (ativador de fermentação, polímero catiônico gel flocc, policloreto de alumínio (PAC) e carbonato de sódio.

4.2 Preparo da Calda Residual

No Brasil, os processos de fermentação alcoólica utilizam, como principal matéria prima, o caldo de cana. Este se caracteriza por apresentar altos teores de açúcares solúveis, entre outros compostos. A calda residual, gerada na etapa de drageamento de balas e doces, também se destaca por apresentar elevada concentração de açúcares (26 °Brix), sendo esse o atributo que despertou o interesse no seu reaproveitamento como matéria prima para produção de álcool.

Em uma fermentação alcoólica eficiente normalmente emprega-se um mosto com um teor de açúcar de 16 °Brix e uma proporção de mosto:pé de cuba de 1000:200 (v/v).

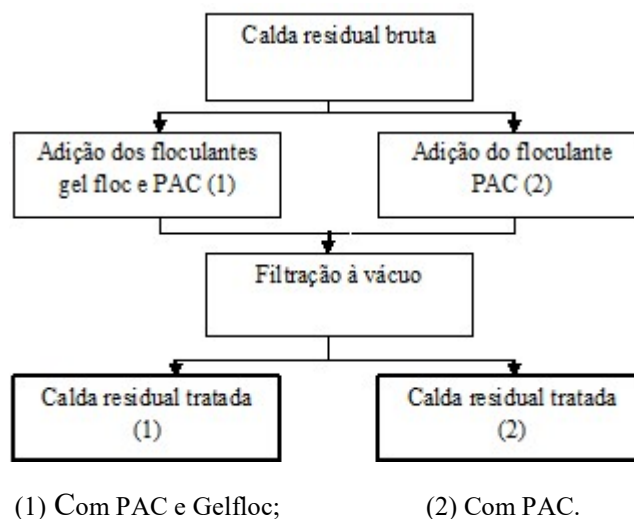
Para os ensaios de fermentação foram preparadas duas caldas residuais: uma calda residual bruta e outra submetida a tratamento físico-químico com uso de dois flocculantes (Gelfloc e PAC), visando à remoção da pigmentação. Alguns pigmentos, em função de suas propriedades, podem apresentar toxicidade à determinadas espécies biológicas, no caso do estudo, avaliou-se a possível interferência na atividade das leveduras. A Figura 3 representa as etapas do tratamento físico-químico da calda residual bruta.

As caldas residuais, bruta e tratada, foram diluídas à 16 °Brix antes do início da etapa de fermentação, uma vez que acima desta concentração a fermentação está sujeita a ocorrer com atraso ou incompleta (LIMA et al., 2001; SOUZA, 2009). Por outro lado, valores muito abaixo de 16 °Brix apresentam baixo rendimento em álcool.

A concentração de sólidos solúveis (°Brix) da calda residual foi medida com auxílio de um refratômetro portátil e corrigida por meio de diluição com água destilada, sendo os valores obtidos através do cálculo de diluição representado pela Equação 5.

$$Volume\ Total = \frac{Volume\ do\ Caldo\ x\ Briz\ do\ Caldo}{Brix\ desejado} \quad \text{Equação (5)}$$

Figura 3 – Etapas do tratamento físico-químico da calda residual bruta.



4.3 Ensaios Fermentativos

Com as caldas residuais (bruta e tratada) diluídas foram preparados diferentes ensaios variando as concentrações da calda residual e caldo de cana, conforme o planejamento experimental presente na Tabela 3.

Todos os ensaios fermentativos foram conduzidos com volume total de 1.200 mL, sendo que deste total, 200 mL foram de pé de cuba (*Saccharomyces cerevisiae*).

Tabela 3 – Composições de caldo de cana/calda residual empregadas nos ensaios.

Experimentos												
Calda Bruta							Tratada (1) e (2)					
Caldo de cana (%)	100	80	60	40	20	-	25	50	-	25	50	
Calda residual (%)	100	-	20	40	60	80	100 _{(1)*}	75 ₍₁₎	50 ₍₁₎	100 ₍₂₎	75 ₍₂₎	50 ₍₂₎
Experimentos												
Calda Bruta							Tratada (1) e (2)					
Caldo de cana (%)	-	100	80	60	40	20	-	25	50	-	25	50
Calda residual (%)	100	-	20	40	60	80	100 _{(1)*}	75 ₍₁₎	50 ₍₁₎	100 ₍₂₎	75 ₍₂₎	50 ₍₂₎

Fonte: Próprio Autor

O sistema formado pelas amostras nas condições experimentais ajustadas, de acordo com a variável de cada ensaio, foi aquecido à 28 °C em shaker e mantido por 48h. Após 24h do início dos processos fermentativos de oxidação dos açúcares, fez-se adição de 1,0 g de sulfato de amônio, o qual é empregado como ativador de fermentação.

A evolução da fermentação foi acompanhada por análises periódicas do teor de açúcares (°Brix) com uso de um refratômetro e da densidade (g.L^{-1}), através de densímetro.

O teor de açúcares redutores totais (ART) pelo método do ácido 3,5 dinitrossalicílico (DNS), seguindo metodologia de Bernfeld (1955) com modificações introduzidas por Miller (1959) foi cogitado. No entanto, a metodologia foi descartada devido a coloração da calda residual a qual apresentou interferência em 590 nm, comprimento de onda de leitura deste método.

Como resposta da eficiência dos processos fermentativos acompanhou-se a quantidade de álcool produzida a qual foi calculada após uma etapa de destilação simples, considerando o volume álcool gerado em função do volume de fermentado.

O teor de álcool foi determinado por densimetria, utilizando um alcoômetro de Gay-Lussac, calibrado à 20°C. Após a medida, o teor de etanol foi corrigido levando-se em consideração a temperatura ambiente no momento da medida. Este instrumento indica o volume de álcool etílico contido em 100 volumes de uma mistura feita exclusivamente de álcool etílico e água.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Calda Residual

A calda residual empregada neste estudo é proveniente do efluente gerado na etapa de lavagem das drageadoras de uma indústria de balas erechinense. Algumas características da calda residual pertinentes a sua aplicação estão representadas pela Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização da calda residual.

	Concentração de açúcares (°Brix)	Densidade (g.mL ⁻¹)	Pigmentação	pH
Calda residual	26	1,06	Presente	5,0

Fonte: Próprio autor.

Como podemos observar, esta calda residual apresenta um elevado teor de açúcares solúveis, 26 °Brix. Este elevado teor de açúcar era esperado, uma vez que na etapa de drageamento temos a agregação de grande quantidade de calda cristalizada nas paredes internas dos drageadores e que, após a lavagem com a água aquecida para facilitar a extração desta calda cristalizada, tem-se a formação de um resíduo rico em açúcares solúveis. Esta característica sugere um elevado potencial de aplicabilidade como matéria prima para a geração de álcool. Lima et al., (1986) citam que qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato, constitui-se em matéria-prima para obtenção de etanol.

Outra característica a ser considerada na calda residual, e que poderá interferir no processo fermentativo, é a sua elevada pigmentação. Alguns pigmentos apresentam toxicidade a processos biológicos, como lodos ativados, característica esta que poderá se manifestar em outros processos biotecnológicos, como os processos fermentativos.

A dificuldade na remoção de corantes sintéticos pelos sistemas de tratamento convencionais é bastante mencionada na literatura (FORGACS et al., 2004; GOGATE, PANDIT, 2004; KUSIC ET AL., 2011). Shaul e colaboradores (1991) utilizando 18 corantes da classe azo observaram que 11 destes passaram praticamente inalterados pelo sistema de lodo ativado, 4 foram adsorvidos pelo lodo ativado e somente 3 foram biodegradados.

Neste contexto, parte da calda residual, antes de ser avaliada como substrato para os ensaios fermentativos, foi submetida a uma etapa de tratamento primário, destinada a remoção desta pigmentação. Como coagulante, para o tratamento primário, foi avaliado o policloreto de

alumínio (PAC) o qual foi empregado de forma independente e associado ao polímero catiônico Gelfloc.

O PAC é muito usado como coagulante nos processos de remoção de cor em efluentes indústrias. Apresenta algumas características como: poder ser utilizado na clarificação de efluentes líquidos industriais e na clarificação de água potável em águas para fins industriais e, a de formar flocos grandes, rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação. Prati, Moretti e Cardello (2005) citam que o PAC atua melhor como agente coagulante por promover coagulação em qualquer faixa de pH.

Após a etapa de coagulação o sistema foi deixado decantar e submetido a uma etapa de filtração a vácuo (Figuras 4 e 5). O sobrenadante gerado em ambos os ensaios foi caracterizado novamente quanto ao teor de açúcar. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para ambas as condições avaliadas.


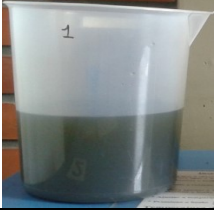
Figura 4 – Calda residual após tratamento primário com PAC + gel-floc.



Figura 5 – Calda residual tratada somente com PAC durante processo de filtração à vácuo.



Tabela 5 – Caracterização do efluente tratado físico-quimicamente.

Calda Residual	Concentração de Açúcares (°Brix)	Pigmentação
PAC	26	
PAC + Gelfloc	26	

Fonte: Próprio autor.

Como podemos observar o processo físico-químico, apesar de proporcionar a agregação de material orgânico (Figuras 4 e 5) não interferiu no teor de açúcar presente na calda residual (Tabela 5). Esta tendência era esperada uma vez que os açúcares, que são poli álcoois, em função de sua elevada polaridade e solubilidade dificilmente são removidos por processos físico-químicos que empregam como princípio a agregação química, comumente utilizada nos tratamentos primários baseados na utilização de coagulantes químicos, sejam sintéticos ou naturais.

Dessa forma, o material floculado foi vinculado à remoção de outros compostos empregados comumente como matéria prima na fabricação de balas, chicletes e doces, tais como gorduras, farinhas, óleos, pigmentos etc.

Outra peculiaridade observada foi a alteração da tonalidade e até mesmo da cor da calda, em alguns casos, após o tratamento primário (Figuras 4 e 5, Tabela 5). Esta mudança de tonalidade/cor foi relacionada a possíveis alterações no pH, uma vez que muitos pigmentos são empregados também como indicadores de pH, ou seja, mudam de cor ou alteram sua tonalidade com a variação do pH do meio.

Cabe destacar que o processo físico-químico proporcionou uma redução do pH da calda residual de 5,0 para 3,0. Com a correção do pH, utilizando carbonato de sódio, a calda tratada retornou a sua coloração inicial, indicando que o pigmento presente comporta-se como um indicador de pH.

Os elevados teores de açúcares presentes em ambas as caldas (bruta e tratada – 26 °Brix), devido ao estresse osmótico, podem atuar negativamente no processo fermentativo, retardando-o e até mesmo inibindo-o (LIMA et al., 2001). O aumento da concentração de açúcares proporciona além de uma elevação na velocidade de fermentação, resultando em perdas da atividade de transporte de açúcar e produção de menos álcool, aumento da osmolaridade externa a qual induz a redução em crescimento e perda da viabilidade das células das leveduras, devido às perturbações no gradiente osmótico através da membrana plasmática (SOUZA, 2009). De acordo com Silva (2016), os melhores resultados fermentativos são obtidos com mostos de concentração variável de 14 a 16 °Brix.

Neste sentido, visando minimizar este efeito as caldas foram submetidas a uma etapa de diluição com água destilada, à 16 °Brix, antes de serem empregadas como parte do substrato para os ensaios fermentativos destinados a produção de álcool. Com a diluição, cada 1L de calda residual a 26 °Brix, gerou 1,6 L de calda residual com 16 °Brix.

5.2 Ensaios Fermentativos e Análises

De acordo com Lima *et al.* (2001), quanto ao tempo de fermentação, espera-se que a fermentação alcoólica esteja estagnada entre 24 a 36 horas de processo. Considerando que o mosto empregado neste estudo refere-se a uma calda residual, a qual apresenta além de açúcares

Dissertação de Mestrado – PPGEAL/URI - Erechim
Ana Paula Pires

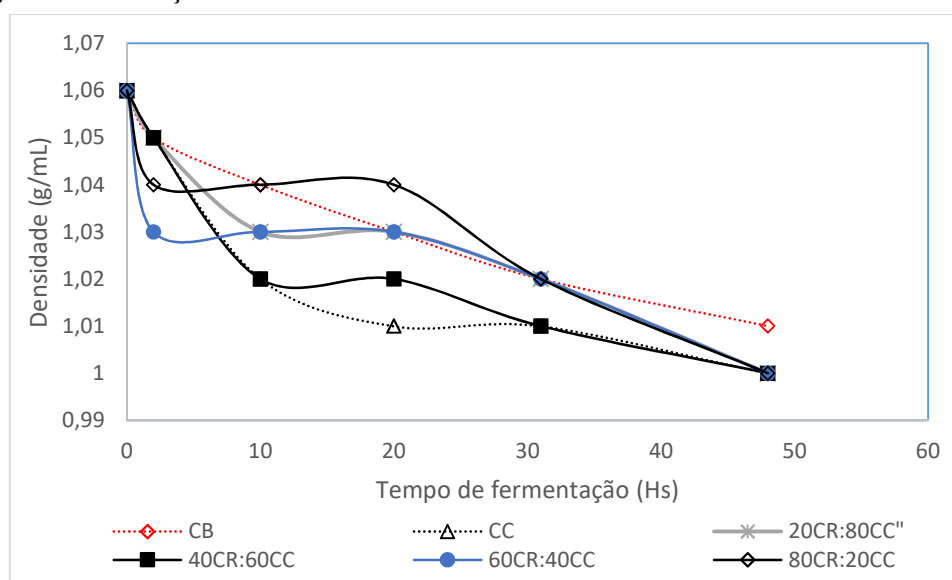
outros constituintes como gorduras, farinhas e pigmentação que podem interferir no processo, estipulou-se, como margem de segurança, 48 horas para a etapa de fermentação.

A evolução dos processos fermentativos ao longo de 48h foi acompanhada mediante análise do teor de açúcares solúveis ($^{\circ}$ Brix) e da densidade. A densidade em 1,0 g/mL sugere que a fermentação atingiu seu término.

Como referência foi conduzido um ensaio fermentativo nas mesmas condições (teor de açúcar, temperatura, tempo de fermentação e adição de ativante), empregando como substrato somente caldo de cana.

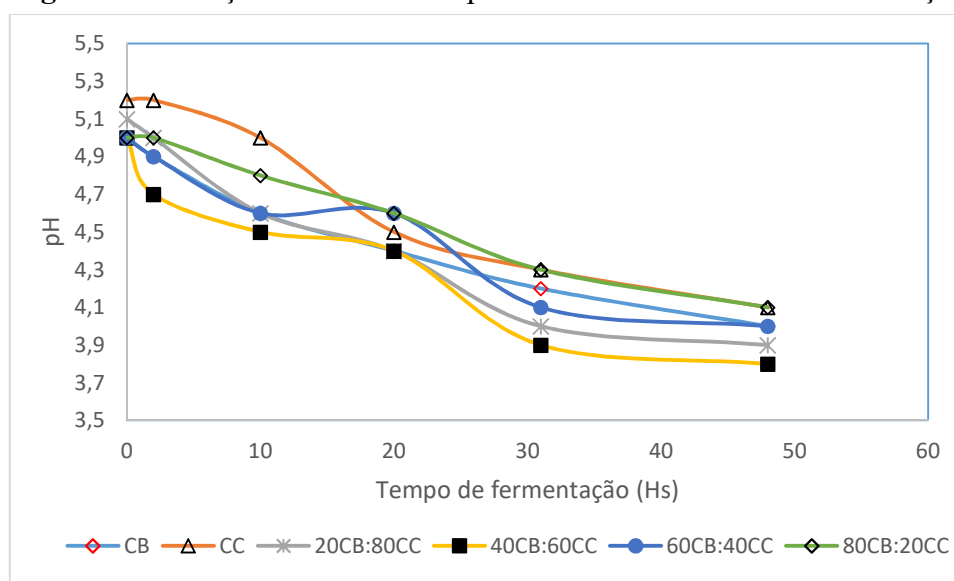
As tendências dos valores referentes a densidade, pH e ao teor de açúcares solúveis para os ensaios conduzidos com a calda residual bruta pura e associada com caldo de cana em diferentes proporções encontram-se apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

Figura 6- Evolução dos valores de densidade durante as 48 horas de fermentação



Em relação a resposta densidade observa-se uma mesma tendência, com todas as condições avaliadas apresentando uma diminuição progressiva durante o processo fermentativo, apresentando com 48 horas de fermentação uma densidade de 1 g/mL, o que sugere que a fermentação foi completa, consumindo todo o açúcar presente. A principal diferença está relacionada com a intensidade com que a mesma se manifesta. A pequena variação entre a densidade de partida (1,05) com a desejável ao final do processo (1,00), associado a tipo de análise, o qual é feito de forma visual, dificulta uma interpretação confiável em relação a possíveis efeitos da calda residual sobre o processo fermentativo.

Sendo o pH um parâmetro ambiental importante na condução de processos fermentativos, sua evolução também foi objeto desse estudo, sendo os resultados apresentados na Figura 7.

Figura 7- Evolução dos valores de pH durante as 48 horas de fermentação

O maior valor de pH no início do processo de fermentação foi de 5,2 cujo substrato era formado apenas com caldo de cana. Esse valor é inferior aos encontrados na literatura que estima, conforme Lima (1999) que os valores esperados para canas maduras é entre 5,4 a 5,8.

O menores valores iniciais de pH observados para as amostras contendo a calda residual bruta (RB) foi vinculado a presença de compostos com características ácidas presentes na mesma, como ácido ascórbico e/ou cítrico empregados pela indústria alimentícia, como a de *candies*, como conservante e aromatizante, respectivamente.

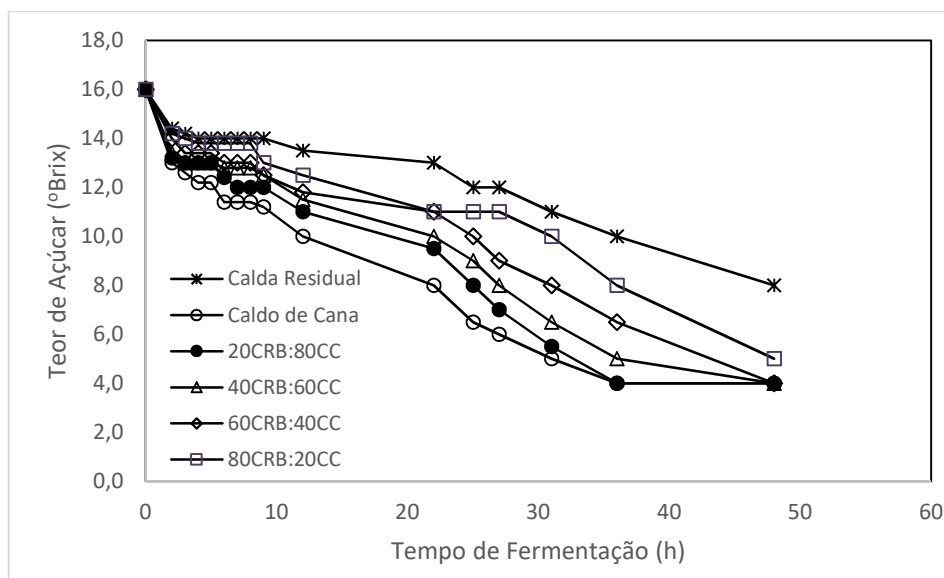
De acordo com a Figura 7 verifica-se um comportamento semelhante nos valores de pH, com uma redução no decorrer do processo fermentativo, para todos os ensaios, independente das concentrações de caldo de cana e calda residual.

A redução observada de aproximadamente 5,2 para 3,9, redução esta similar aos relatados na literatura. Antonini (2004) ao acompanhar a cinética de fermentação e balanço de massa para a produção de cachaça artesanal, observou um decréscimo de pH de 5,2 para 3,6.

Em relação tendência observada para o pH, a mesma esta coerente com o processo fermentativo, o qual, mediante produção de ácidos orgânicos pelas leveduras, tende a proporcionar uma diminuição do pH proporcionada pelo aumento da acidez. Considera-se como boa fermentação, quando o aumento da acidez é da ordem de 30 a 50 % da acidez inicial, característica esta observada neste estudo cuja acidez variou de $\cong 6,3 \times 10^{-6}$ (pH = 5,2) para $\cong 7,9 \times 10^{-5}$ (pH = 4,1)

Diferentemente da densidade, a resposta teor de açúcares (°Brix) apresenta uma maior variação com o tempo, permitindo uma análise mais criteriosa do efeito da composição do mosto sobre o processo fermentativo. A evolução do valores referente ao teor de açúcar (°Brix) no decorrer do processo fermentativo são apresentados na Figura 8.

Figura 8- Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaios conduzidos com a calda residual bruta. Temperatura de 28 °C.



Fonte: Próprio Autor

Como podemos observar, todas as condições avaliadas (proporções calda residual bruta:caldo de cana) apresentaram uma mesma tendência, com uma redução no teor de açúcar no decorrer da fermentação. As principais diferenças entre os ensaios estão relacionadas com a intensidade com que este decaimento ocorrer e com o valor final após as 48 horas de fermentação.

O ensaio referência, conduzido somente com caldo de cana, é o que apresenta o decaimento do teor de açúcar mais intenso, apresentando 4 °Brix (menor valor observado entre os ensaios) em 36 hs de fermentação. Resultado este corrente com Antonini (2004) que observou durante a fermentação de calda de cana um consumo de sólidos solúveis de 15,0 para 4,0 °Brix.

Dentre os ensaios, o conduzido somente com calda residual bruta foi o que apresentou o decaimento do teor de açúcar menos intenso, além de apresentar após 48 horas de fermentação, com 8 °Brix, o maior teor de açúcar residual.

Para as demais condições avaliadas, a intensidade com que o decaimento no teor de açúcares ocorre varia proporcionalmente com o aumento da proporção de caldo de cana no mosto a ser fermentado.

Em relação ao teor de açúcares após 48 horas de fermentação, com exceção do ensaio contendo 80% de calda residual bruta (80CRB:20CC) que apresenta 5 °Brix, todas as demais composições (CR:CC) apresentam um valor equivalente ao observado para o ensaio conduzido somente com caldo de cana, ou seja, 4 °Brix.

Após a adaptação dos microrganismos com o meio, há o início do consumo de açúcares do mosto, onde por anaerobiose há a oxidação da glicose, para transformação em etanol e CO₂, sendo que os produtos finais da metabolização dos açúcares dependem das condições ambientais em que as leveduras se encontram (LIMA *et al.*, 2001).

Normalmente, espera-se que a etapa principal da fermentação alcoólica inicia-se após 5 a 6 hs do início do processo, sendo reconhecida pela elevação rápida da temperatura e queda da densidade do mosto (ANTONINI, 2004), com atenuação completa de açúcares (0 °Brix) em um período de 24 a 36 h (LIMA, 1999). Entretanto, este comportamento não foi observado em nenhum dos ensaios realizados no presente trabalho. De acordo com Caldas; Borém; Santos (2012) a concentração de nutrientes no mosto é um dos fatores mais importantes para a boa condução da fermentação etanoica. Se presentes em quantidades inadequadas, maiores ou menores que as necessárias, os nutrientes podem proporcionar reflexos negativos sobre o desempenho da fermentação etanoica, afetando a multiplicação celular e a velocidade da fermentação, o qual se traduzirá em menor produção de etanol.

Após a fermentação, o mosto fermentado recebe a denominação de vinho e apresenta constituições variáveis, envolvendo substâncias gasosas, sólidas e líquidas. A água e o etanol são as substâncias líquidas mais importantes presentes nos vinhos. Produtos secundários como aldeído acético, ácido succínico, ácido acético, ácido láctico, ácido burítico, ésteres, alcoóis superiores e, às vezes, o furfural, estão presentes. A água e o etanol, nos vinhos comuns, são encontrados em percentagens que variam, respectivamente, de 88-93 % a 7-12 %, respectivamente (BORZANI, 1988).

Após a etapa de fermentação, as amostras foram submetidas a uma etapa de destilação simples para extração do álcool gerado. O teor de álcool foi calculado considerando o volume de destilado produzido para cada ensaio e o teor de álcool presente nos memsos. Os valores referente ao volume de destilado (mL), teor de álcool (°GL) e volume de álcool (mL) produzido por cada condição avaliada encontram-se apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do vinho após etapa de destilação simples.

Condição	Volume Destilado (mL)	Teor de Álcool (°GL à 20 °C)	Volume de Álcool (mL)*	Percentual (%)
Caldo de Cana (CC)	436	27,9	121,6	10,0
Ensaio com Calda Residual Bruta (CRB)				
Calda Residual Bruta (CRB)	350	18,7	65,4	5,5
80CRB:20CC	322	22,1	71,2	5,9
60CRB:40CC	320	24,3	77,7	6,5
40CRB:60CC	320	25,5	81,6	6,8
20CRB:80CC	360	23,9	86,0	7,2

*Gerado a partir de 1200 mL de mosto

Os valores referentes aos volumes de álcool produzido para as condições avaliadas com o caldo de cana e a calda bruta estão coerentes com a tendência observada para os resultados referentes aos teores de açúcar (°Brix), com o ensaio de referência conduzido empregando somente caldo de cana como mosto, com 121,6 mL, correspondendo a 10% em volume, apresentando a maior produção de álcool e a calda residual bruta, com uma produção de álcool de 65,4 mL (5,5% em volume), ou seja, aproximadamente 50% da observada para o caldo de cana, apresentando o menor rendimento.

Para as demais condições avaliadas observa-se uma tendência entre o volume de álcool produzido, de 71,2 a 86 mL, ou seja, de 5,9 a 7,2% (v/v), com a quantidade de caldo de cana adicionada ao mosto, de 20 para 80%, respectivamente.

Esta tendência nos valores referente ao volume de álcool produzido com a calda residual bruta e suas misturas, reforça seu caráter inibidor detectado nos resultados referentes aos teores de açúcares (°Brix), o qual é minimizado pela sua diluição mediante adição de caldo de cana.

A tendência observada nos resultados, sugere que algo na composição da calda residual a descaracterize quanto às condições ideais, seja pela presença de interferentes e/ou pela ausência de nutrientes necessários para uma fermentação completa.

Neste contexto, destaca-se visualmente a presença de pigmentação, a qual poderia estar interferindo negativamente na adaptação dos microorganismos e, conseqüentemente no processo fermentativo, uma vez que alguns pigmentos (corantes sintéticos) se caracterizam por serem refratários e até mesmo inibidores de processos de tratamentos biológicos, como em efluentes (KUSIC et. al., 2011).

Visando confirmar esta hipótese, foram conduzidos ensaios fermentativos empregando a calda residual submetida a dois tratamentos físico-químicos, um somente com policloreto de alumínio (PAC) e outro associando ao PAC com um auxiliar de floculação, um polímero catiônico, comercializado com Gelfloc.

A evolução da densidade e do teor de açúcares (°Brix) para as diferentes condições avaliadas para as caldas tratadas com PAC e com o sistema PAC/Gelfloc encontram-se apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Evolução da densidade no decorrer do processo fermentativo. Calda residual tratada com PAC.

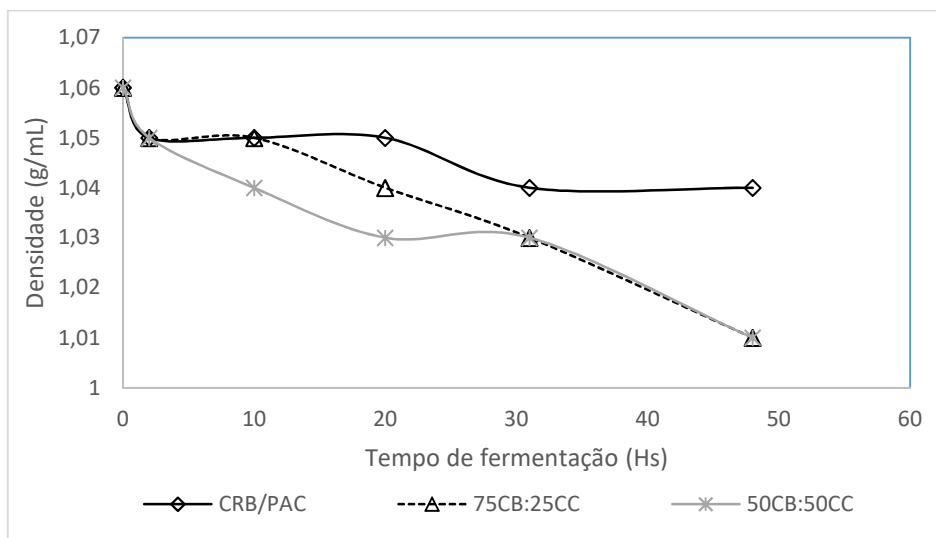
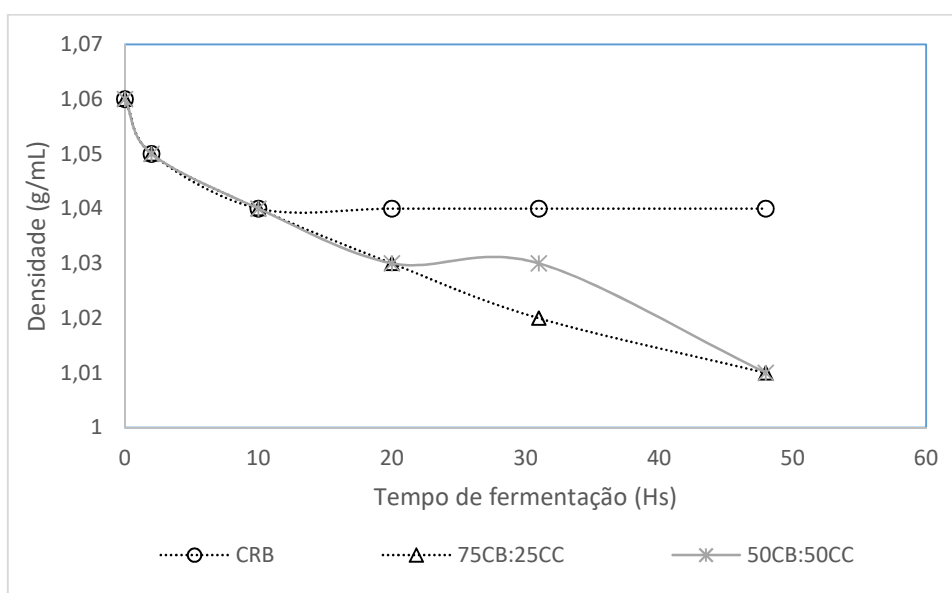


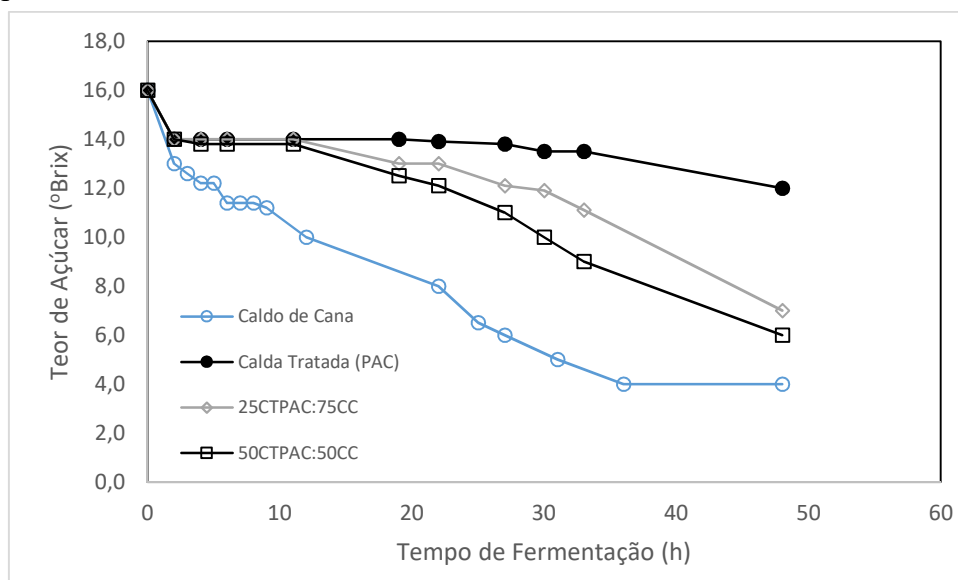
Figura 10 – Evolução da densidade no decorrer do processo fermentativo. Calda residual tratada com PAC/Gelfloc



Os valores de densidade próximos a 1,0 ($d = 1,01$) para as amostras compostas com caldo de cana e calda residual, sugerem que o processo fermentativo foi eficiente nestas amostras. No entanto, os ensaios referentes somente as caldas tratadas, independente dos tratamentos físico-químicos, com valores de densidade de 1,04 (muito próximos a 1,05 de partida) sugerem que o processo fermentativo não foi eficiente e, quando comparado com os ensaios com a calda residual bruta, cuja densidade após 48 hs de fermentação é 1,01, que os tratamentos físico-químicos não surtiram o efeito desejado.

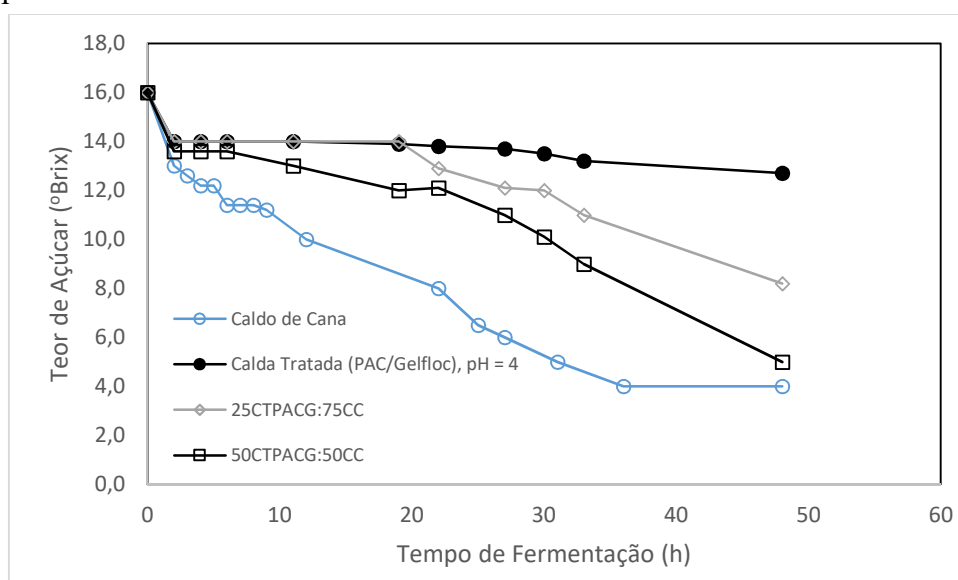
Similar aos ensaios com a calda residual bruta (sem tratamento), as principais diferenças com as amostras tratadas com PAC e PAC/Gelfloc são observadas para os teores de açúcares (Figuras 11 e12, respectivamente).

Figura 11 – Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaio conduzidos com a calda tratada com PAC.



Fonte: Próprio Autor

Figura 12 – Variação do teor de açúcares solúveis (°Brix) no decorrer das 48 horas de fermentação para os ensaio conduzidos com a calda tratada com PAC/Gelfloc.



Fonte: Próprio Autor

Para ambas as caldas residuais, independentemente do pré-tratamento, observa-se uma mesma tendência, com um aumento da intensidade do declínio do teor de açúcares com a

proporção de caldo de cana, apresentando $\cong 12$ °Brix para as caldas tratadas, entre 7 e 8 °Brix para as composições contendo 75% de calda tratada e 25 % de caldo de cana e entre 5,5 e 6 °Brix para as composições contendo 50% de calda tratada e 50 % de caldo de cana. Os ensaios conduzidos somente com as caldas tratadas apresentaram após 48 horas de fermentação, independentemente do pH, teores de açúcares ≥ 11 °Brix, ou seja, no mínimo 30% superior ao observado para o ensaio conduzido somente com a calda residual bruta, cujo valor observado após 48 horas de fermentação foi de 8 °Brix.

Este desempenho inferior, considerando a redução de açúcares, observado para as amostras tratadas em relação a calda residual bruta esta coerente com os resultados de densidade e sugere que ambos os tratamentos físico-químicos a que a amostra foi submetida proporcionou um efeito negativo sobre o processo fermentativo. Esta tendência foi vinculada a agregação de outros elementos ou composto durante o tratamento, como o alumínio presente no PAC, o qual pode ser tóxico as leveduras.

Os valores referente ao volume de destilado (mL), teor de álcool (°GL) e volume de álcool (mL) produzido por cada condição avaliada encontram-se apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da destilação dos ensaios com a calda bruta.

Condição	Volume Destilado (mL)	Teor de Álcool (°GL à 20 °C)	Volume de Álcool (mL)*	Percentual (%)
Caldo de Cana (CC)	436	27,9	121,6	10,1
Calda Residual Bruta (CRB)	350	18,7	65,4	5,5
Ensaio com Calda Residual Tratada com PAC				
CRT/PAC	111	26,4	29,3	2,4
75CRTPAC:25CC	181	27,4	49,6	4,1
50CRTPAC:50CC	187	30,4	56,8	4,7
Ensaio com Calda Residual Tratada com PAC/Gelfloc				
CRT/PAC/Gelfloc	98	29,4	28,8	2,4
75CRTPAC:25CC	134	37,4	50,1	4,2
50CRTPAC:50CC	144	38,4	55,3	4,6

*Volume de álcool produzido por 1.200 mL de mosto.

As caldas tratadas com os floculantes PAC e PAC/Gelfloc apresentaram produções de álcool de 29,3 e 28,8 mL, respectivamente. Estes valores são aproximadamente 56 % inferior aos 65,4 mL de álcool produzido com a calda residual bruta e 76 % inferior aos 121,6 mL produzidos com o caldo de cana.

Esta tendência corrobora com os resultados referente aos valores dos teores de açúcares residual após as 48 horas de fermentação, onde ambas as amostras tratadas, com $\cong 12$ °Brix, foram as que apresentaram os maiores resultados, indicando a existência de açúcar para ser convertido em álcool.

Como para a calda residual bruta, observa-se para as amostras tratadas um efeito benéfico da adição do caldo de cana sobre o rendimento em álcool. A calda residual tratada com PAC, apresentou um aumento na produção de álcool de 29,3 mL para 49,6 mL e 56,8 mL quando a amostra foi misturada com 25 e 50% de caldo de cana, respectivamente. Por sua vez, a calda residual tratada com PAC, apresentou um aumento na produção de álcool de 28,8 mL para 50,1 mL e 55,3 mL quando a amostra foi misturada com 25 e 50% de caldo de cana respectivamente.

Os resultados também sugerem que o processo de clarificação empregando tratamentos físico-químicos atuam negativamente no processo fermentativo visando a produção de álcool.

Analisando de forma mais ampla observa-se que a aplicação do tratamento primário a calda bruta não proporciona um efeito benéfico ao processo fermentativo, como o observado pela adição de caldo de cana.

O valor de 65,4 mL de álcool por litro de cada residual bruta com 16 °Brix, o qual corresponde a uma produção de 106,3 mL por litro de calda residual bruta com 26 °Brix, representa uma produção de 106,3 L/m³ de calda residual, ou seja, um resultado significativamente superior aos 79 L/ton de resíduo rico em amido gerado no processo de polpação celulósica de uma indústria de papel (RCA,2014).

Cabe destacar que os mesmos estão coerentes com a literatura quanto ao teor alcoólico percentual gerado. Segundo Aquarone (1983) o teor alcoólico de um bom processo fermentativo deve variar de 6% a 8%, ou seja, 60,0 a 80 mL/L. Para Silva et al. (2008) no final da fermentação o produto obtido deverá apresentar de 8 a 12% de álcool.

6 CONCLUSÕES

A utilização da calda residual proveniente da etapa de drageamento de balas e doces demonstrou ser uma boa alternativa para diminuir os impactos causados pelo lançamento desses resíduos aos corpos receptores.

A metodologia empregada mostrou-se eficiente quanto ao objetivo proposto que era transformar o açúcar presente na calda residual em álcool. O estudo mostra que os processos fermentativos são tecnologias em geral, simples, mas que são sensíveis à alguns interferentes, que devem ser devidamente monitorados, aumentando o rendimento do produto final.

O volume de álcool gerado sugere que o mesmo pode servir como matéria prima para produção de cachaça, bem como ser aplicado em indústrias de cosméticos, materiais de limpeza, tintas e vernizes, etc.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a calda residual em escala industrial na geração de cachaça

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICAC <http://www.abicab.org.br/estatisticas-2/> Acessado em: 15 de janeiro de 2017.
- AEBI, M. 2009. Chocolate Panning. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use (Beckett, S. T.), Blackwell, Oxford, UK, p. 367-384.
- BENINCÁ, C. **Degradação do corante alimentício Ponceau 4R e tratamento de efluente de uma indústria de alimentos utilizando processos oxidativos avançados.** 1012. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, UFP, Curitiba, 2006.
- BONASSA, G.; SCHNEIDER, L.T., OLIVEIRA, C.J.; TELEKEN, J. T.; DIETER J.; CREMONEZ, P.A.; TELEKEN, J.G. **Otimização do processo de fermentação alcoólica para produção de etanol hidratado.** In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, 2014.
- CHAGAS, N. V.; ROSA, M.B.; REIS, A. H.. **Estudo de cinético de fermentação alcoólica por células de *Saccharomyces cerevisiae* em mel diluído.** Revista Ciências Exatas e Naturais, v.10, n.2, 2008.
- COSTA, V. M. **Perfil de metabólicos excretados por *Lactobacillus* isolados de processos industriais de produção do etanol, com ênfase nos isômeros óticos D(-) e L (+) do ácido láctico.** 2006. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, 2006.
- FERRAZ, D.; ASSUMPÇÃO, M. R. Crescimento da produção de açúcar e de alimentos no Brasil. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia da Produção, Fortaleza, 2015.
- FRICK, J. M. **Estudo do monitoramento de efluentes líquidos industriais de frigoríficos no Rio Grande do Sul.** 2011. 38f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS.
- FURTADO, R. A. **Destilação lenta de cachaça artesanal.** 2014. 35f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Bioquímica) – Escola de Engenharia de Lorena, USP, Lorena, 2014.
- GRANJEIRO, R. V. T. **Caracterização da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel.** 2009. 40f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, UFP, João Pessoa, 2009.
- MALAJOVICH, Maria Antônia. **Biotecnologia: Ensino e Divulgação.** VIII. Rio de Janeiro: BTeduc, 2016.
- MORETO, D. **Avaliação da remoção de pigmentação de calda de indústria de balas utilizando peróxido de hidrogênio promovido com íon hidroxila.** 2011. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Erechim, 2011.

- NECKEL, A.; GOELLNER, E.; BERTOLDI, T. **A eficiência no tratamento de efluente em indústria de balas com a modificação do lodo em reator anaeróbio.** Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas, UFSM, v.20, p.427-425, 2016.
- NEVES, R. F.; FERNANDES, F. S.; PINTO, O. G.; NAVES, P. L. F. **Contaminação microbiana nas etapas de processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usina alcooleira.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.6, n.11, p.1, 2010.
- NUNES, R. M.; ARAÚJO, R. F.; GUARDA, E. A. **Avaliação do potencial de produção de etanol a partir do efluente da produção de papel.** Revista de Ciências Ambientais, v.8, n.1, 2014.
- PASCHOALINI, G.; ALCARDE, V.E. **Estudo do processo fermentativo de usina sucroalcooleira e proposta para sua otimização.** Revista de Ciência e Tecnologia, v.16, n.32, p.59-68, 2009.
- PAVLAK, M. C. M.; LIMA, T., L., A.; CARREIRO, S., C. **Estudo da fermentação do hidrolisado de batata doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*.** Química Nova, v.34, n.1., p.82-86, 2011.
- RAMIRES, S. S. **Desenvolvimento de drageados de chocolate** 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Escola Superior de Biotecnologia, Porto,, 2012.
- REIS, V. R. **Caracterização de linhagens selvagens de *Saccharomyces cerevisiae* isoladas de processos fermentativos para produção de etanol.** 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura, USP, Piracicaba, 2011.
- STEINLE, L. A. **Fatores que interferem na fermentação alcoólica.** 2013. 58f. Dissertação (Pós Graduação em Gestão Industrial Sucroenergética) – Centro de Ciências Agrárias, UFSC, Sertãozinho, 2013.
- TONI, J. C.V.; IMAMURA, K. B.; SOUZA, T. H. **Caracterização física e química dos efluentes líquidos gerados na indústria alimentícia da região de Marília, SP.** Revista Analítica, n. 69, 2014.
- VICARI, M. B.; BRIÃO, V. B.; MIORANDO, T. **Avaliação da eficiência de remoção de corantes de indústrias de balas por nanofiltração.** In: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves, 2012.