

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Departamento de Matemática, Física e Engenharia e Instituto de Química –
Câmpus de Araraquara

Fábio Cruciata Perrone

Produção de Cervejas: Otimização de Processos e Redução de Custos.

Araraquara

2024

Fábio Cruciata Perrone

Produção de Cervejas: Otimização de Processos e Redução de Custos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Tecnologia Cervejeira.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Fernando Costa Marques

Coorientador: Prof. João Fernando Sacilotto

Araraquara

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

P459p	<p>Perrone, Fábio Cruciata</p> <p>Produção de cervejas: otimização de processos e redução de custos / Fábio Cruciata Perrone. – Araraquara: [s.n], 2024 44 f. : il.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Lato Sensu – Tecnologia Cervejeira) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química Orientador: Rodrigo Fernando Costa Marques Coorientador: João Fernando Sacilotto</p> <p>1. Cervejarias. 2. Cerveja. 3. Custo industrial. 4. Métodos de produção. 5. Pesquisa econômica. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Química, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Fábio Cruciata Perrone

Produção de Cervejas: Otimização de Processos e Redução de Custos.

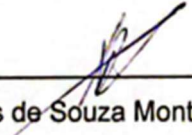
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Tecnologia Cervejeira.

Araraquara, 19, abril, 2024

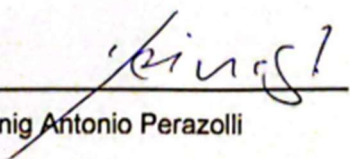
Banca examinadora



Prof. Dr. Rodrigo Fernando Costa Marques



Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho



Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus orientadores: Rodrigo Fernando Costa Marques e João Fernando Sacilotto, pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado ao longo deste processo. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus orientadores: Rodrigo Fernando Costa Marques e João Fernando Sacilotto, pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado ao longo deste processo. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional

Agradeço também à minha família pelo apoio incondicional, compreensão e encorajamento durante todo o período de estudo. Em especial ao meu pai, Vicente Antônio Perrone, pela ajuda, orientação e direcionamento nesta jornada e neste projeto.

Às instituições Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, expresso minha gratidão pela infraestrutura, recursos e ambiente acadêmico propício que proporcionaram as condições necessárias para a realização deste estudo.

Agradeço aos professores e colegas de curso que contribuíram com insights valiosos, discussões enriquecedoras e sugestões construtivas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Este projeto não teria sido possível sem o apoio e colaboração de cada um de vocês. Obrigado!

Fábio Cruciata Perrone

- ¹ Assim como o cervo brama pelas correntes das águas, assim suspira a minha alma por ti, ó Deus!
- ² A minha alma tem sede de Deus, do Deus vivo; quando entrarei e me apresentarei ante a face de Deus?
- ³ As minhas lágrimas servem-me de mantimento de dia e de noite, enquanto me dizem constantemente: Onde está o teu Deus?
- ⁴ Quando me lembro disto, dentro de mim derramo a minha alma; pois eu havia ido com a multidão. Fui com eles à casa de Deus, com voz de alegria e louvor, com a multidão que festejava.
- ⁵ Por que estás abatida, ó minha alma, e por que te perturbas em mim? Espera em Deus, pois ainda o louvarei pela salvação da sua face.”

(Salmos 42:1-5)¹

¹ BÍBLIA. Português. Bíblia sagrada. Nova Almeida Atualizada. Sociedade Bíblica do Brasil, 2017.

RESUMO

Este trabalho aborda a otimização dos processos de produção em uma microcervejaria, utilizando uma abordagem baseada em revisão bibliográfica e implementação de soluções práticas. A revisão bibliográfica abrangeu aspectos fundamentais da produção de cerveja, fatores que influenciam na qualidade e custo de produção, além das melhores práticas da indústria cervejeira. Com base nessa revisão, foram delineados métodos e soluções para redução de custos e melhoria da eficiência operacional em diversas etapas do processo produtivo, incluindo moagem, mosturação, fervura e fermentação.

As soluções implementadas foram avaliadas com base em dados quantitativos, como rendimento de produção, custos de insumos e eficiência operacional. Observou-se que ajustes na moagem dos grãos resultaram em aumento do rendimento da produção, enquanto a implementação de enzimas na mosturação contribuiu para a redução do uso de malte. Além disso, melhorias na fervura e no processo de recolha de levedura foram identificadas, resultando em aumento da eficiência e redução de perdas.

Os resultados mostraram uma redução significativa nos custos de produção e um aumento na eficiência operacional da microcervejaria. Com base nos ganhos mensurados, foi possível concluir que as estratégias de otimização implementadas foram bem-sucedidas e contribuíram para a viabilidade financeira e operacional da empresa. Este estudo oferece insights valiosos para outras microcervejarias interessadas em aprimorar seus processos de produção, promovendo o avanço contínuo da indústria cervejeira artesanal.

Palavras-chave: Microcervejaria; Otimização; Redução de custos; Eficiência operacional; Produção de cerveja.

ABSTRACT

This work addresses the optimization of production processes in a microbrewery, using an approach based on literature review and implementation of practical solutions. The literature review covered fundamental aspects of beer production, factors influencing quality and production costs, as well as best practices in the brewing industry. Based on this review, methods and solutions were delineated for cost reduction and improvement of operational efficiency in various stages of the production process, including milling, mashing, boiling, and fermentation. The implemented solutions were evaluated based on quantitative data, such as production yield, input costs, and operational efficiency. It was observed that adjustments in grain milling resulted in increased production yield, while the implementation of enzymes in mashing contributed to reducing malt usage. Additionally, improvements in boiling and yeast harvesting processes were identified, resulting in increased efficiency and reduced losses. The results showed a significant reduction in production costs and an increase in the operational efficiency of the microbrewery. Based on the measured gains, it was possible to conclude that the optimization strategies implemented were successful and contributed to the financial and operational viability of the company. This study offers valuable insights for other microbreweries interested in enhancing their production processes, promoting the continuous advancement of the craft brewing industry.

Keywords: Microbrewery; Optimization; Cost reduction; Operational efficiency; Beer production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Esquema de processos de fabricação de cerveja.....	18
Figura 2	–	Moinho de moagem de malte em uma cervejaria.....	19
Figura 3	–	Influencia Moinho de Martelo x Moinho de Rolos na atividade enzimática.....	19
Figura 4	–	Sala de mosturação em uma cervejaria.....	21
Figura 5	–	Degradação do amido durante a mostura.....	22
Figura 6	–	Tipos de equipamentos de clarificação em uma cervejaria....	24
Figura 7	–	Trocador de Calor para resfriamento do mosto.....	26
Figura 8	–	Filtro tipo Vela de uma microcervejaria.....	29
Figura 9	–	Moagem anterior – 1,6mm (esq.) x Moagem Atual – 1,0mm (dir.)	33
Figura 10	–	Gráfico Rendimento x Regulagem do moinho.....	33
Figura 11	–	Pá agitadora de whirlpool com três pás.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Temperatura e pH ótimos para as enzimas no mosto cervejeiro....	21
Tabela 2	–	Rampa tipo 1.....	34
Tabela 3	–	Rampa tipo 2.....	34
Tabela 4	–	Relação rampa de mostura X extrato primeiro mosto	35
Tabela 5	–	Controle pH Mostura.....	35
Tabela 6	–	Resultado da utilização da pá.....	37
Tabela 7	–	Recolha de fermento.....	37
Tabela 8	–	Resultado das soluções aplicadas na redução de malte pilsen.....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GERAIS	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 MATÉRIAS PRIMAS	13
3.1.1 MALTE	13
3.1.2 ÁGUA	14
3.1.3 LÚPULO	15
3.1.4 LEVEDURA	16
3.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CERVEJA	18
3.2.1 MOAGEM	18
3.2.2 MOSTURAÇÃO	20
3.2.3 CLARIFICAÇÃO	23
3.2.5 FERVURA	24
3.2.6 RESFRIAMENTO E AERAÇÃO DO MOSTO	26
3.2.7 FERMENTAÇÃO	27
3.2.8 MATURAÇÃO	28
3.2.9 FILTRAÇÃO	29
3.2.10 CARBONATAÇÃO	30
3.2.11 ENVASE	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
4.2 MÉTODOS E SOLUÇÕES APLICADAS	32
4.2.1 SOLUÇÃO APLICADA NA MOAGEM	32
4.2.2 SOLUÇÕES APLICADAS NA MOSTURAÇÃO	34
4.2.3 SOLUÇÕES APLICADAS NA FERVURA	35
4.2.4 SOLUÇÕES APLICADAS NA FERMENTAÇÃO	37
5 RESULTADOS	38
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A produção de cervejas tem se destacado cada vez mais no cenário cervejeiro mundial, oferecendo uma ampla variedade de aromas, sabores e características únicas. No Brasil, essa tendência é evidente, com um crescente interesse tanto por parte dos consumidores quanto dos empreendedores em ingressar nesse mercado promissor.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo explorar estratégias para otimização de processos e redução de custos na produção de cervejas. A busca pela eficiência operacional e competitividade financeira torna-se fundamental para a sustentabilidade e crescimento das microcervejarias, especialmente diante de um mercado dinâmico e em constante evolução.

O objetivo geral desta pesquisa é realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre os processos de fabricação de cervejas, investigando as principais matérias-primas e técnicas de produção. A partir desse embasamento teórico, serão propostas estratégias específicas de otimização de processos, com foco na redução de custos e aumento da eficiência operacional.

Entre os objetivos específicos, destaca-se a análise detalhada das etapas do processo produtivo cervejeiro, desde a seleção das matérias-primas até o envase do produto. Além disso, serão identificados pontos críticos passíveis de otimização, considerando técnicas de gestão da qualidade, automação e controle de estoque.

A avaliação do impacto das estratégias propostas na eficiência operacional e viabilidade financeira das microcervejarias será fundamental para fornecer insights relevantes para o setor. Espera-se, assim, contribuir para o desenvolvimento sustentável das cervejarias, promovendo a excelência na produção cervejeira e a satisfação do consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivos Gerais*

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica abrangente, abordando os principais aspectos relacionados aos processos de

fabricação, matérias-primas e técnicas de produção de cervejas. Além disso, visa propor estratégias eficazes de otimização de processos e redução de custos na produção cervejeira, com o intuito de contribuir para o aprimoramento da gestão e da eficiência operacional das microcervejarias.

2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Características das principais matérias-primas
- Revisão da literatura sobre os processos de fabricação de cervejas.
- Identificação de pontos críticos nos processos de produção para otimização de custos.
- Proposição de estratégias de otimização.
- Avaliação do impacto das estratégias na eficiência operacional e viabilidade financeira das microcervejarias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matérias Primas

Para a fabricação de cervejas são necessários basicamente quatro insumos: malte, água, lúpulo e levedura.

3.1.1 Malte

A composição da cerveja é tradicionalmente baseada em malte de cevada, embora outros cereais, como trigo, aveia, arroz e milho, possam ser adicionados para conferir características específicas ao produto (MORADO, 2017). A cevada se destaca como a escolha mais comum devido às suas propriedades únicas: rica em amido e proteínas, fornecendo os aminoácidos essenciais para o crescimento das leveduras; presença de compostos nitrogenados que desempenham um papel crucial na formação da espuma; maior concentração de enzimas; e uma casca

insolúvel que oferece proteção durante a maceração e atua como agente filtrante durante a brassagem.

O processo de maltagem, conhecido como malteação, desempenha um papel fundamental na produção de malte e é caracterizado por uma série de etapas cuidadosamente controladas. Inicialmente, os grãos são umedecidos para estimular a germinação, ativando as enzimas presentes no grão, incluindo glucanases, proteases, fosforilases e amilases (α -amilase e β -amilase) (PALMER, 2006). Durante a germinação, as reservas energéticas do grão são convertidas em açúcares e aminoácidos, essenciais para o crescimento da planta.

O objetivo da maltagem é induzir a produção dessas enzimas, que desempenham um papel importante na quebra da matriz que envolve os grânulos de amido, preparando-os para a conversão durante a brassagem. Após a germinação parcial, os grãos são secos para interromper o processo até que sejam necessários para a produção de cerveja. Quando utilizados, os grãos maltados são moídos e adicionados à água quente para reativar e acelerar a atividade enzimática durante a brassagem (PALMER, 2006). Esse processo meticuloso garante a qualidade e consistência do malte utilizado na produção de cerveja artesanal.

3.1.2 Água

A água está presente em todas as etapas do processo de produção de cerveja, representando aproximadamente 90% da composição da bebida final (BRIGGS et al., 2004). Desde o condicionamento do malte até a limpeza dos equipamentos, a água é essencial em diversas funções, cada uma exigindo especificações distintas (MORADO, 2017).

As fontes de água variam, podendo ser provenientes de rios, lagos, poços artesianos ou fontes naturais. No entanto, raramente essas fontes satisfazem os requisitos necessários para a produção de cerveja, sendo essencial o tratamento adequado. Existem dois principais tipos de tratamento: completo, quando a água é captada em rios ou lagos, e parcial, quando proveniente de poços artesianos, fontes naturais ou fornecida pelo município. Em ambos os casos, a água deve atender aos critérios de potabilidade, sendo incolor, inodora, insípida e livre de turbidez, além de possuir uma concentração balanceada de sais minerais dissolvidos (MORADO, 2017).

O pH da água possui um papel importante na produção de cerveja, influenciando a ativação enzimática, a extração de componentes adstringentes, as variações de cor do mosto e a coagulação dos componentes protéicos. A faixa ideal de pH da água para a mosturação é de 6,5 a 8,0, garantindo condições ótimas para as enzimas do malte (BRIGGS et al., 2004; MATOS, 2011).

A dureza da água, determinada pela concentração de sais minerais, também é um aspecto crucial. Águas com diferentes níveis de dureza podem conferir características específicas às cervejas, como corpo, sabor e aroma. A dureza temporária, dada por bicarbonatos, e a dureza permanente, dada por sulfatos ou cloretos de cálcio e magnésio, devem ser balanceadas para atender às necessidades da produção (CARVALHO, 2007; COSTA, 2014).

Os minerais presentes na água, como cálcio, magnésio, ferro, zinco, cloreto, sódio e potássio, também desempenham papéis específicos na fermentação da cerveja, afetando o sabor, aroma e corpo da bebida. O equilíbrio desses minerais é essencial para garantir a qualidade e consistência do produto (BRIGGS et al., 2004; MATOS, 2011).

O conhecimento detalhado sobre a composição e o tratamento da água é essencial para garantir a excelência na produção cervejeira (PALMER, 2006).

3.1.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta perene da família Cannabaceae, amplamente cultivada em várias regiões do mundo devido às suas propriedades únicas e essenciais na produção de cerveja. Além de conferir amargor e aroma característicos à cerveja, o lúpulo possui uma fonte rica em compostos químicos que contribuem para suas propriedades sensoriais e funcionais. Os principais componentes químicos do lúpulo incluem α -ácidos, β -ácidos, óleos essenciais, polifenóis e compostos amargos e aromáticos. Além disso, também desempenha um papel crítico na estabilidade e na preservação da bebida.

O sabor característico do lúpulo é fundamental para o impacto organoléptico total da cerveja, influenciando diretamente na estabilidade do sabor e da espuma. No que diz respeito à qualidade do lúpulo, diversos constituintes são considerados, incluindo a umidade, compostos de amargor (α -ácidos, β -ácidos e resinas), compostos aromáticos (óleos essenciais) e taninos.

Os α -ácidos do lúpulo são especialmente relevantes, como o ácido humulone, após a conversão em iso- α -ácidos durante a fervura do mosto, eles fornecem o amargor característico da cerveja. A quantidade e a qualidade desses α -ácidos influenciam diretamente no perfil de amargor da cerveja final. Os β -ácidos, como o ácido lupulone, embora presentes em quantidade muito pequena, também desempenham um papel mínimo, mas significativo, no sabor da cerveja.

Os óleos essenciais, como o humuleno, o mirceno e o linalol, contribuem com notas florais, cítricas e herbáceas às cervejas. Os polifenóis, incluindo flavonoides e taninos, fornecem propriedades antioxidantes e contribuem para a estabilidade da cerveja.

As características físico-químicas do lúpulo, como umidade, teor de compostos de amargor e aromáticos, bem como a presença de taninos, são fundamentais para determinar sua qualidade e seu impacto na cerveja. O lúpulo é geralmente comercializado na forma de pellets, extratos e flores secas, sendo os pellets e extratos mais densos e ocupando menos espaço, facilitando o transporte e armazenamento.

3.1.4 Levedura

A levedura, um microorganismo unicelular conhecido como fermento, desempenha um papel fundamental na fermentação do mosto cervejeiro e é uma das matérias-primas mais importantes na elaboração de cerveja. Apesar da longa tradição da cerveja ao longo dos séculos, a compreensão científica da importância da levedura na produção de cerveja é relativamente recente. Foi somente no final do século XIX que Louis Pasteur demonstrou de maneira conclusiva que a fermentação ocorria devido à ação de microorganismos, lançando luz sobre o papel da levedura nesse processo. Essa descoberta revolucionou a indústria cervejeira, proporcionando uma compreensão mais profunda dos mecanismos envolvidos na produção de cerveja e permitindo o desenvolvimento de técnicas mais refinadas para controlar e otimizar a fermentação.

A fermentação alcoólica na produção de cerveja é um processo essencial que envolve a transformação dos açúcares fermentáveis presentes no mosto em álcool, dióxido de carbono e uma variedade de outros subprodutos. Para facilitar

essa reação bioquímica, são necessárias leveduras, microrganismos unicelulares responsáveis por catalisar a conversão dos açúcares em álcool e outros compostos.

Existem três categorias principais de leveduras usadas na produção de cerveja: as de alta fermentação, as de baixa fermentação e as selvagens. As leveduras de alta fermentação, como a *Saccharomyces cerevisiae*, são empregadas na elaboração de cervejas do tipo Ale. Essas leveduras funcionam melhor em temperaturas mais elevadas, normalmente entre 12°C e 22°C. Durante o processo de fermentação, que dura aproximadamente cinco dias, essas leveduras contribuem para a criação de uma variedade de estilos de cerveja, desde as mais leves e refrescantes até as mais robustas e complexas.

Por outro lado, as leveduras de baixa fermentação, como a *Saccharomyces carlsbergensis*, são usadas na produção de cervejas do tipo Lager. Essas leveduras preferem temperaturas mais baixas, geralmente entre 4°C e 15°C, e têm um tempo de fermentação mais longo, em torno de dez dias. As cervejas Lager são conhecidas por seu perfil de sabor limpo e suave, e as leveduras de baixa fermentação desempenham um papel fundamental na criação dessa característica.

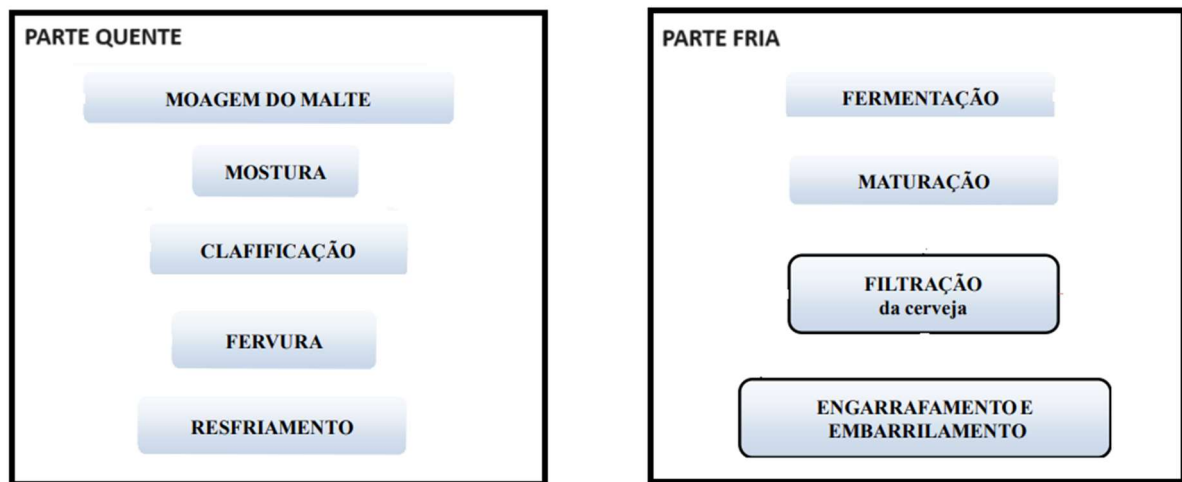
As leveduras selvagens, como a *Brettanomyces*, são encontradas naturalmente no ambiente e são usadas na produção de cervejas do tipo Lambic. Ao contrário das cepas de leveduras tradicionais, que são adicionadas ao mosto, as leveduras selvagens se desenvolvem espontaneamente no mosto, uma vez que este é mantido em contato com o ar. Essas leveduras selvagens contribuem para o sabor único e complexo das cervejas Lambic, que muitas vezes apresentam notas ácidas.

Além de converter açúcares em álcool e dióxido de carbono, as leveduras também produzem uma variedade de compostos que contribuem para o sabor, aroma e características sensoriais da cerveja. Estes incluem ésteres, que conferem notas frutadas, e fenóis, responsáveis por notas de especiarias. A compreensão detalhada do comportamento e das características das leveduras é fundamental para os cervejeiros na seleção das cepas adequadas e na manipulação dos parâmetros de fermentação para alcançar os resultados desejados em termos de sabor, aroma e qualidade da cerveja final.

3.2 Processos de Produção de Cerveja

Independente da escala e tamanho da cervejaria, os processos de fabricação são os mesmos, podendo ser divididos resumidamente em dois blocos principais: (a) parte quente: moagem, mosturação, clarificação, fervura e resfriamento e (b) parte fria: fermentação, maturação, filtração carbonatação e envase).

Figura 1 – Esquema de processos de fabricação de cerveja.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

3.2.1 Moagem

A moagem é responsável por aumentar a área de superfície do malte e facilitar a extração dos açúcares durante a brassagem. Este processo físico consiste na danificação e/ou corte das cascas dos grãos por uso de um moinho, resultando em um aumento da área superficial do material. Dessa forma, o endosperma do malte fica mais exposto ao ataque enzimático, facilitando as conversões das substâncias dos grãos nas etapas subsequentes.

Figura 2 – Moinho de moagem de malte em uma cervejaria.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

No método de moagem seca, são empregados diversos tipos de moinhos, como os moinhos de rolos, moinhos de martelo e moinhos de discos. O moinho de rolos, por exemplo, é composto por dois cilindros rotativos que comprimem os grãos entre si, resultando em uma moagem uniforme. Esse tipo de moagem pode influenciar a atividade enzimática, uma vez que a uniformidade da trituração afeta diretamente a disponibilidade de substratos para as enzimas presentes no mosto durante a sacarificação.

Por outro lado, o moinho de martelo utiliza martelos giratórios para triturar os grãos, enquanto o moinho de discos utiliza discos rotativos para moer o malte.

Figura 3 – Influencia Moinho de Martelo x Moinho de Rolos na atividade enzimática.

Atividade Enzima	Martelo - Fresado	Rolo - Fresado
Limite dextrinase, mU/g	294 ± 33	123 ± 8
α - amilases, U/g	1.713 ± 42	1.500 ± 119
β - amilase, U/g	1.232 ± 175	597 ± 45
β - Glucanases ,mU/g	113 ± 3	72 ± 1

Fonte: Am. Soc. Brew. Chem. 53, 1995.

Esses métodos de moagem podem ter efeitos diferentes na atividade enzimática devido à variação na granulometria e na distribuição de tamanho de partículas resultantes da trituração

Por outro lado, na moagem úmida, os grãos podem passar por um processo de remolho, no qual são submersos em água por um período antes da moagem. Isso ajuda a amaciar os grãos e facilitar a remoção das cascas durante a moagem. Além disso, existe a moagem úmida acondicionada, na qual os grãos são umedecidos antes da moagem para melhorar a eficiência e uniformidade do processo.

A relação entre a eficiência na extração e o tamanho das partículas resultantes do processo de moagem é intrínseca. Partículas maiores possibilitam uma boa fluidez das correntes e filtração mais eficiente, enquanto partículas menores permitem uma melhor extração, uma vez que o ataque enzimático é facilitado. As cascas dos grãos moídos desempenham um importante papel na etapa da filtração, atuando como uma camada filtrante que evita a compactação do material particulado, permitindo a extração do açúcar à medida que o mosto flui pela camada filtrante.

Assim, é fundamental uma moagem adequada, que equilibre o tamanho do material particulado e a filtração do mosto, a fim de garantir uma eficiência satisfatória no processo de produção de cerveja.

3.2.2 Mosturação

O processo de mosturação, tem como principal objetivo dissolver as substâncias do malte e promover a hidrólise do amido em açúcares fermentescíveis. Essa etapa consiste no embeber o malte em água quente para hidratá-lo e ativar suas enzimas. Como resultado desse processo, ocorre a extração de aproximadamente 65% dos sólidos totais do malte, os quais estarão em dissolução ou suspensão na água, formando o mosto que será utilizado na fermentação da cerveja (CARVALHO, 2007; PALMER, 2006).

Figura 4 – Sala de mosturação em uma cervejaria.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

Durante a mosturação, uma série de fatores, incluindo temperatura, pH e tempo de exposição, influenciam diretamente na atividade e eficácia das enzimas presentes no mosto cervejeiro.

Tabela 1 – Temperatura e pH ótimos para as enzimas no mosto cervejeiro.

Enzimas	Temperatura ótima	pH ótimo
Glucanases	35 – 45°C	4,5 a 5,5
Proteases	45 – 55°C	4,6 a 5,3
β - amilase	60 – 65°C	5,4 a 5,6
α - amilases	70 – 75°C	5,6 a 5,8

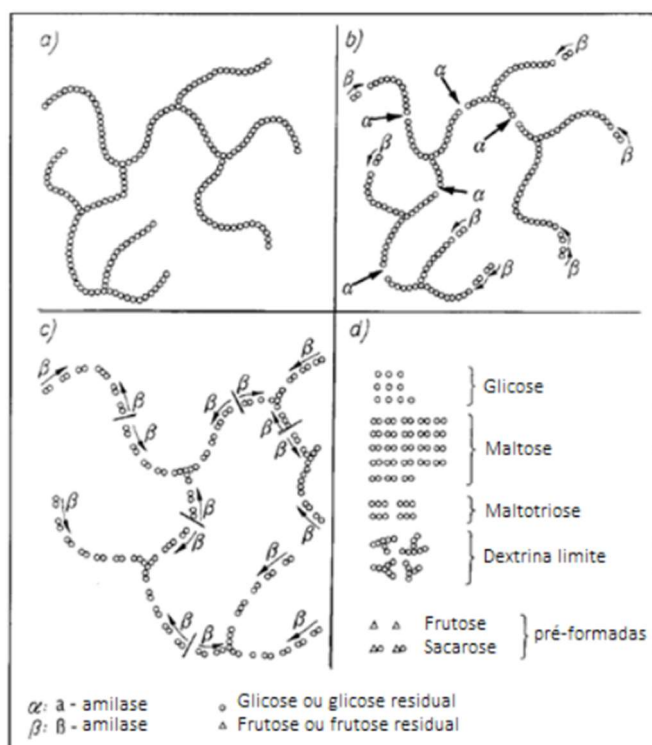
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As enzimas entram em ação em condições específicas de temperatura e pH. Por exemplo, as glucanases funcionam melhor em uma faixa de temperatura entre 35-45°C, enquanto as proteases têm sua eficácia otimizada em temperaturas entre 45-55°C. Já as α -amilases e β -amilases operam em uma faixa mais ampla, variando de 60-75°C.

Manter o pH controlado durante a mosturação é fundamental para garantir uma conversão eficiente do amido. Isso é alcançado pela adição de ácido fosfórico à mistura, o que não só afeta a extração de polifenóis da casca do malte, mas também protege as enzimas contra a desnaturação térmica. Além disso, a inclusão de cloreto de cálcio atua como um tampão, minimizando as flutuações de pH e protegendo as enzimas ao longo do processo.

Durante o processo de mosturação, ocorrem degradações das β -glucanas, proteínas e amido. A degradação das β -glucanas evita a formação de géis e garantir uma filtração eficaz do mosto. As proteínas são quebradas em peptídeos e aminoácidos, que não só fornecem nutrientes vitais para as leveduras, mas também influenciam características chave da cerveja, como sabor e formação de espuma. Por sua vez, a degradação do amido é predominantemente realizada pelas enzimas α e β -amilases, que convertem o amido em açúcares fermentáveis, como glicose, maltose e maltotriose.

Figura 5 – Degradação do amido durante a mostura.



Fonte: Adaptado de KUNZE e WAINWRIGHT, 1996.

A importância de monitorar a quebra do amido durante a mosturação é evitar a turbidez do mosto, que pode surgir devido à presença de longas cadeias de

dextrinas e resíduos não degradados. Para acompanhar esse processo, é comum realizar o teste de iodo, que revela a presença de amido por meio de uma reação com o iodo. Esse teste é fundamental para confirmar se a sacarificação foi concluída com sucesso. Quando há amido e longas cadeias de dextrinas, a solução fica azulada ou arroxeadada. Por outro lado, se apenas açúcares fermentescíveis e pequenas cadeias de dextrinas estiverem presentes, e o amido tiver sido quebrado, a solução fica amarelada ou acastanhada, indicando que o iodo não reagiu e, portanto, a sacarificação foi completa.

Além de açúcares e proteínas, a cerveja contém outros compostos como lipídios, polifenóis e taninos. A extração desses compostos para o mosto aumenta conforme a temperatura e o tempo da mosturação, assim como a temperatura da lavagem, aumentam. No entanto, essas substâncias podem contribuir com alguns aspectos indesejáveis na cerveja final. Por exemplo, altos níveis de lipídios podem causar turvação, enquanto a oxidação dos taninos e polifenóis pode resultar em coloração mais escura e sabor adstringente na cerveja.

A mosturação pode ser conduzida de diferentes maneiras, sendo as mais comuns a infusão e a decocção. A infusão é o método mais simples e econômico, no qual a mistura de grãos é completamente imersa em água quente, enquanto a decocção envolve a remoção de parte do mosto, aquecimento separado e posterior retorno ao vaso principal.

3.2.3 Clarificação

O processo de clarificação do mosto visa separar as substâncias solúveis das insolúveis, garantindo um mosto o mais límpido possível.

A remoção de sólidos indesejáveis, como cascas, proteínas e enzimas coaguladas, reduz a turvação do mosto, evitando assim a instabilidade no sabor, a perda de amargor e outras características indesejáveis que podem comprometer a qualidade da cerveja.

Existem diferentes equipamentos e métodos utilizados para a clarificação do mosto. Dois dos mais comuns são as tinas de filtração e o filtro prensa de placas.

Figura 6 – Tipos de equipamentos de clarificação em uma cervejaria.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

Na tina de filtração, o mosto é bombeado para um recipiente que possui um fundo falso, onde o bagaço fica retido, formando um meio filtrante para o líquido. O líquido resultante, conhecido como primeiro mosto, é então recirculado repetidamente até que fique menos turbido. Enquanto isso, a torta formada pelo bagaço retido é lavada com água quente para extrair mais açúcares e inativar enzimas, produzindo assim o segundo mosto. Esse processo de recirculação e lavagem é repetido até que o mosto atinja a clareza desejada, e então ele é transferido para a caldeira de fervura.

Já no filtro prensa de placas, o mosto é preenchido entre as placas do filtro e os sólidos são prensados para a obtenção do primeiro mosto. Após essa etapa, a torta resultante é lavada com água quente para gerar o segundo mosto, e então a torta é removida para que o equipamento possa ser reutilizado.

3.2.5 Fervura

Durante o processo de fervura do mosto, realizado a uma temperatura entre 97°C e 100°C e com a adição de lúpulo, diversos processos essenciais ocorrem para estabilizar a composição do líquido e prepará-lo para as etapas subsequentes da produção de cerveja. Essa fervura é importante para inativar enzimas como as amilases e proteases, o que promove a coagulação de proteínas e taninos do lúpulo, resultando na formação de flocos conhecidos como trub. Além disso, durante a fervura, ocorrem processos de aromatização, concentração, esterilização e

caramelização de açúcares, que contribuem para as características sensoriais da cerveja final.

A ebulição do mosto desempenha um papel fundamental na estabilidade do líquido em vários aspectos. Além de proporcionar a esterilização do mosto, eliminando quaisquer microrganismos presentes que possam competir com as leveduras durante a fermentação e afetar o sabor da cerveja, a fervura também desativa enzimas e proteínas, evitando alterações indesejadas na composição do mosto.

Outro efeito importante da fervura é o aumento da coloração do mosto, que ocorre devido a reações de Maillard entre grupos carbonila e aminoácidos, caramelização de açúcares e oxidação de taninos e polifenóis. Isso contribui para a aparência visual da cerveja final, conferindo-lhe uma tonalidade mais intensa e característica.

A adição de lúpulo durante a fervura não apenas contribui para o amargor da cerveja, devido à isomerização dos alfas ácidos e iso-alfa ácidos presentes no lúpulo, mas também proporciona sabor e aroma característicos. É durante a fervura que os componentes aromáticos e amargos do lúpulo são transferidos para o mosto, influenciando significativamente o perfil sensorial da cerveja.

Além disso, a fervura promove a formação de trub, que consiste na coagulação de proteínas e taninos, juntamente com outras substâncias insolúveis. Esses flocos de trub são essenciais para a estabilidade da cerveja, ajudando a remover impurezas e garantindo a qualidade da espuma, cor e sabor da cerveja final.

Por fim, durante a fervura, também ocorre a formação e remoção de dimetil sulfeto (DMS) e seus precursores, compostos que podem conferir aromas e sabores indesejados à cerveja. A evaporação do DMS durante a fervura contribui para reduzir seu impacto na qualidade sensorial da cerveja final.

Após a fervura do mosto, é necessário remover o trub quente e as partículas suspensas do lúpulo para preservar o sabor e a estabilidade coloidal da cerveja. Isso também evita o bloqueio das placas do trocador de calor durante o resfriamento do mosto. Se o trub quente não for removido, pode afetar as leveduras e reduzir a conversão dos açúcares fermentescíveis durante a fermentação.

Existem várias técnicas para remover o trub quente do mosto, incluindo sedimentação, centrifugação, whirlpool e filtração. O processo de whirlpool, onde o

mosto é bombeado tangencialmente em um recipiente cilíndrico, é especialmente eficaz. Isso cria um fluxo rotacional que faz com que o trub se instale na parte inferior do cilindro, permitindo que o mosto clarificado seja retirado lateralmente.

3.2.6 Resfriamento e Aeração do Mosto

No processo de resfriamento do mosto é essencial controlar o tempo e a temperatura para evitar reações químicas indesejáveis. A temperatura de resfriamento varia de acordo com o tipo de fermentação, sendo entre 8°C a 14°C para cervejas de baixa fermentação e entre 12°C a 20°C para cervejas de alta fermentação. É essencial que o resfriamento do mosto não ultrapasse uma hora para garantir a qualidade do produto.

Figura 7 – Trocador de Calor para resfriamento do mosto.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

Após o resfriamento, é necessário aerar o mosto para fornecer oxigênio essencial para a propagação da levedura. A quantidade de oxigênio a ser dosada varia de 3 a 10 litros por hectolitro de mosto, dependendo das instalações. A precipitação do trub frio através do sistema de flotação é facilitada pelo excesso de

oxigênio, com uma quantidade recomendada de 20 a 60 litros por hectolitro de mosto.

Para garantir a eficácia da aeração, o oxigênio deve ser injetado em bolhas finíssimas e o ar utilizado deve ser estéril, passando por um filtro de ar intercalado. A absorção de oxigênio é maior em temperaturas mais baixas e com bolhas menores, resultando em uma mistura mais intensa entre o mosto e o ar.

Embora o oxigênio seja o maior inimigo da cerveja devido ao seu impacto negativo sobre suas qualidades, é essencial nesta etapa, pois a levedura requer cerca de 8 a 10 mg de oxigênio por litro de mosto para sua propagação. O controle preciso da concentração de oxigênio durante a aeração é essencial para garantir a reprodução celular adequada e a conversão eficiente dos açúcares fermentescíveis.

3.2.7 Fermentação

A fermentação da cerveja é uma fase complexa do processo de produção, onde é adicionado ao mosto resfriado as leveduras, sendo transferido para os fermentadores para iniciar a transformação dos açúcares em álcool e dióxido de carbono (CO₂). Durante esse processo, várias reações físico-químicas ocorrem, contribuindo para o desenvolvimento das características sensoriais desejadas na cerveja. É fundamental manter um controle preciso da temperatura, geralmente entre 10°C e 15°C, para garantir o sabor adequado da cerveja.

Para iniciar a fermentação, são utilizadas cepas de leveduras puras, selecionadas especificamente para o tipo de cerveja a ser produzida. A qualidade da levedura é crucial, pois ela deve permanecer em suspensão durante a fase ativa da fermentação e depois flocular e sedimentar para permitir a separação rápida da cerveja clarificada do sedimento.

O tempo de fermentação geralmente varia de 5 a 8 dias, dependendo de vários fatores, a atenuação do extrato, a redução do pH do mosto para valores entre 4,0 e 4,6, a redução do oxigênio dissolvido como a aeração durante o resfriamento do mosto, o tipo e quantidade de fermento, e a quantidade de trub. Durante esse período, é essencial monitorar a atenuação dos extratos, a presença de diacetil e o tempo de fermentação para determinar o momento adequado para a trasfega.

Os fermentadores mais comumente utilizados são adaptações do modelo projetado por Leopold Nathan, com base cônica para facilitar a decantação da

levedura. Esses equipamentos devem ser encamisados para controlar a temperatura, com sistemas de refrigeração para remover o calor gerado durante a fermentação. É essencial evitar a incorporação de oxigênio na cerveja durante a trasfega, pois isso pode causar alterações no sabor e aroma, além de sua oxidação.

3.2.8 Maturação

A maturação ocorre após a fermentação primária e visa aprimorar as características sensoriais, estabilidade e qualidade da bebida. Durante esta etapa, a cerveja é resfriada a zero grau, a maior parte do fermento é separada por decantação e inicia-se a fermentação secundária, também conhecida como maturação.

Durante a maturação, que pode variar de seis a trinta dias, ocorrem transformações sutis na cerveja, auxiliando a aperfeiçoar seu sabor. Substâncias indesejáveis, provenientes da fermentação primária, são eliminadas, e o açúcar residual é consumido pelas células de fermento remanescentes. A maturação também é responsável pela formação de CO₂, essencial para a formação de espuma e frescor da cerveja.

Uma temperatura adequada é fundamental para o sucesso da maturação, geralmente entre -1°C e 0°C. Durante este período, substâncias indesejáveis são consumidas, sabores e aromas se desenvolvem, e a estabilidade da cerveja é aprimorada. A levedura inativa decanta, permitindo a retirada das células remanescentes.

Existem duas abordagens para determinar o momento de início da maturação: a partir da remoção da levedura ou quando a temperatura da cerveja atinge 0°C. Durante este processo, é necessário controlar o oxigênio na bebida para manter suas características constantes.

A maturação pode ocorrer em fermentadores especiais, como o fermentador de Nathan, que permite a remoção das leveduras inativas. A temperatura baixa favorece a formação de ésteres, conferindo aroma à cerveja, enquanto inibe a formação de álcoois superiores, responsáveis por sabores indesejados.

Um parâmetro essencial na maturação é o controle do diacetil, um composto que confere sabor de manteiga à cerveja se presente em concentrações elevadas.

Durante a maturação, o diacetil é convertido em acetoína, proporcionando um sabor mais equilibrado e suave.

3.2.9 Filtração

A filtração realizada após a maturação, tem com o objetivo de remover partículas em suspensão, como células de levedura remanescentes, proteínas precipitadas e coloides formados durante o processo. Esta etapa confere à cerveja uma aparência límpida e cristalina, garantindo sua estabilidade microbiológica, físico-química e sensorial.

Durante a maturação da cerveja, ocorre a formação de coloides, como o complexo proteína-tanino, que são insolúveis e contribuem para a turbidez da bebida. A filtração visa remover esses coloides, além de outras partículas em suspensão, para proporcionar uma cerveja mais estável e com uma aparência visual atraente.

A filtração é realizada sob contrapressão e a baixas temperaturas, para evitar a perda de saturação de CO₂ e garantir que a cerveja mantenha suas características desejadas.

Figura 8 – Filtro tipo Vela de uma microcervejaria.



Fonte: Material adaptado da aula do curso de pós-graduação em tecnologia cervejeira (2023).

Um método comum de filtração é o uso de terra diatomácea como auxiliar de filtração, que adsorve partículas indesejáveis e ajuda na remoção das impurezas. Geralmente, são utilizados filtros de leito fixo, adicionados de estabilizantes para auxiliar na clarificação da cerveja.

3.2.10 Carbonatação

A adição controlada de dióxido de carbono (CO₂) sob pressão é fundamental para remover o oxigênio presente na cerveja, prevenindo assim possíveis oxidações e atividades microbianas indesejadas (OETTERER; REGITANO-DARCE; SPOTO, 2006).

Existem diferentes técnicas para carbonatar a cerveja, sendo a mais comum a injeção forçada de CO₂ coletado durante a fermentação. Além disso, o processo de maturação em tanques pressurizados também é utilizado para conservar a cerveja sob pressão de CO₂, otimizando o processo de carbonatação. Algumas cervejarias realizam uma prévia injeção forçada de CO₂, independentemente do estilo da cerveja, enquanto outras podem optar por injetar diferentes tipos de gases, como o nitrogênio, para contribuir com a formação de espuma (SANTOS e RIBEIRO, 2005; MATOS, 2011).

O gás carbônico produzido durante o processo de carbonatação incorpora-se à bebida mediante a baixa temperatura e ao aumento da pressão no tanque, com valores típicos para o teor de CO₂ em cerveja Pilsen variando entre 0,52% e 0,62%. Uma curiosidade interessante é que 1 hectolitro de mosto a 12°P pode produzir aproximadamente 2,0-2,5 kg de CO₂ durante a fermentação. Esses dados ilustram a importância do controle preciso do processo de carbonatação para garantir a consistência e a qualidade da cerveja final.

3.2.11 Envase

O processo de enchimento ou envase representa a fase final e crítica da produção de cerveja, onde a bebida é acondicionada em diferentes tipos de recipientes, como garrafas, latas e barris. Embora a essência da cerveja permaneça a mesma, independentemente da embalagem escolhida, é fundamental garantir que

o processo de envase seja realizado com cuidado adequado para preservar a qualidade do produto.

O tipo de recipiente utilizado para o envase muitas vezes varia de acordo com o mercado alvo e considerações ambientais. As linhas de envase nas indústrias cervejeiras são equipadas para encher os recipientes com cerveja e enviá-los para estocagem, sendo essa uma etapa que muitas vezes requer investimentos significativos de capital.

As máquinas de envase de garrafas e latas são projetadas para garantir um processo eficiente e de alta qualidade. Elas utilizam sistemas como o HDE (High-Pressure Injection System) para expulsar o ar do espaço entre a superfície do líquido e a tampa das garrafas, evitando a oxidação da cerveja.

Um dos fatores mais importantes para um envase bem-sucedido é a sanitização adequada de todos os equipamentos e objetos que entram em contato com a cerveja, a fim de evitar a contaminação. Diferentes métodos de sanitização, como sanitização térmica e química, são empregados, com soluções específicas utilizadas nas indústrias para garantir a limpeza e a segurança microbiológica do produto.

Durante o envase, é necessário controlar a temperatura e a pressão para garantir a quantidade adequada de CO₂ dissolvido na cerveja e evitar possíveis problemas de qualidade.

O chopp se diferencia da cerveja em garrafas e latas devido ao processo de pasteurização. Enquanto as cervejas engarrafadas e enlatadas passam por esse processo, proporcionando maior estabilidade e vida útil, o chopp, por não ser pasteurizado, mantém suas características de aroma e sabor mais frescos. O chopp é mais comumente envasado em barris, mas também pode ser encontrado em outras embalagens, como garrafas PET.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Revisão Bibliográfica

Antes de aplicar métodos e soluções para redução de custos e otimização da produção em uma microcervejaria, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica para compreender os princípios fundamentais da produção de cerveja, os fatores

que influenciam na qualidade e no custo de produção, bem como as melhores práticas utilizadas na indústria cervejeira.

Foram consultados diversos livros, artigos científicos e publicações especializadas no tema, abordando tópicos como processo de mosturação, fermentação, controle de qualidade, gestão de custos e eficiência operacional em microcervejarias. Algumas das referências utilizadas incluíram obras de Kunze e Wainwright, Briggs et al., Palmer, entre outros.

A revisão bibliográfica permitiu identificar áreas de oportunidade para aprimoramento na produção de cerveja, bem como estabelecer uma base teórica sólida para a implementação de soluções práticas.

4.2 Métodos e Soluções Aplicadas

Com base na revisão bibliográfica, foram delineados os seguintes métodos e soluções para redução de custos e otimização da produção na microcervejaria:

4.2.1 Solução aplicada na Moagem

Conforme discutido na literatura especializada, essa fase desempenha um papel crucial na extração eficiente dos açúcares e compostos desejáveis durante a brassagem. No entanto, é fundamental encontrar um equilíbrio delicado entre triturar os grãos para expor o endosperma e evitar danos excessivos à casca, que é vital para a formação do leito filtrante durante a clarificação do mosto.

Uma trituração insuficiente pode acarretar complicações durante a brassagem, pois o endosperma pode permanecer aglomerado, dificultando a penetração da água. Isso pode resultar em uma digestão enzimática deficiente, comprometendo a sacarificação e, conseqüentemente, o rendimento da produção. Ademais, a presença de grumos de grão mal triturado pode dificultar o processo de filtração, resultando em uma cerveja menos clara e na extração de polifenóis, contribuindo para sabores indesejáveis.

Diante deste cenário, visando otimizar a trituração dos grãos, a microcervejaria em estudo realizou um ajuste na regulagem do moinho de 1,6 mm para 1mm. Essa medida visa garantir uma trituração mais adequada, promovendo

uma exposição mais uniforme do endosperma e minimizando danos à casca dos grãos.

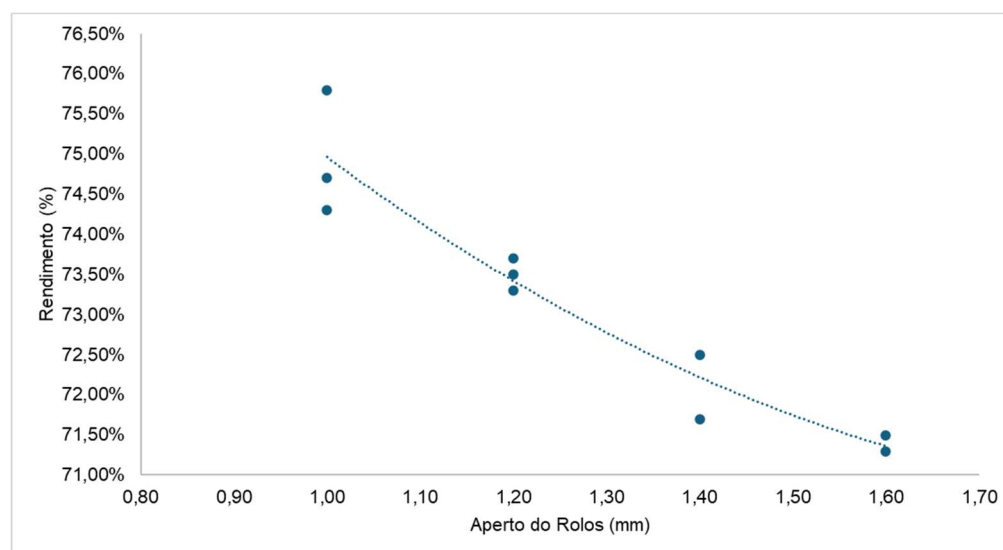
Figura 9 – Moagem anterior – 1,6mm (esq.) x Moagem Atual – 1,0mm (dir.).



Fonte: Acervo Pessoal (2024).

O gráfico abaixo apresenta o rendimento da produção de cada amostra antes e depois do ajuste do moinho. Observa-se que houve um aumento consistente no rendimento após o ajuste, indicando uma extração mais eficiente dos componentes desejáveis dos grãos de malte durante a brassagem.

Figura 10 – Gráfico Rendimento x Regulagem do moinho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2.2 Soluções aplicadas na Mosturação

Com base no item 4.2.1, o ajuste da moagem foi identificado como uma estratégia que favorece uma maior extração dos açúcares e compostos desejáveis durante a mosturação. No entanto, para alcançar o máximo rendimento possível, é importante adotar uma padronização das rampas de brassagem, juntamente com o controle dos parâmetros físico-químicos.

Com o objetivo de otimizar a produção e aumentar a eficiência, a microcervejaria em estudo implementou algumas soluções. Em primeiro lugar, foi realizada a aquisição de equipamentos de controle, incluindo um hidrômetro para acompanhar em tempo real a quantidade de água utilizada no processo de mosturação, e um pHmetro para monitorar e controlar o pH do mosto durante a produção de cerveja.

Além disso, foi adotada uma abordagem eficiente na escolha da rampa de mosturação, com o intuito de melhorar a extração dos açúcares e otimizar o tempo de produção. Inicialmente, foi implementada uma rampa, denominada "rampa tipo 1", e posteriormente foi adotada a "rampa tipo 2". A análise dos resultados do extrato do primeiro mosto em cada uma das rampas de mosturação, conforme apresentado na Tabela 5, revela que, embora tenham alcançado praticamente o mesmo rendimento de extrato, a redução de uma etapa permitiu uma redução significativa no tempo de brassagem, aproximadamente 20 minutos.

Tabela 2 – Rampa tipo 1.

Temperatura (°C)	Tempo (mín.)
45	20
52	20
62	60
72	30
78	5

Tabela 3 – Rampa tipo 2.

Temperatura (°C)	Tempo (mín.)
52	20
62	60
72	30
78	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 4 – Relação rampa de mostura X extrato primeiro mosto.

Amostra	Rampa	Extrato 1º Mosto (Plato)	Média (Plato)
1	Tipo 1	13,23	13,29
2	Tipo 1	13,55	
3	Tipo 1	13,08	
4	Tipo 2	13,55	13,32
5	Tipo 2	13,25	
6	Tipo 2	13,08	
7	Tipo 2	13,41	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com o pHmetro foram realizados ajustes no pH durante a mosturação para garantir condições ideais para a atividade enzimática e a extração eficiente dos açúcares do malte. Manter o pH dentro de uma faixa específica foi essencial para maximizar a eficiência das enzimas presentes no malte na quebra dos amidos em açúcares fermentáveis.

Tabela 5 – Controle pH Mostura.

Amostra	ph Mostura
1	5,90
2	5,81
3	5,80
4	5,71
5	5,57
6	5,70
7	5,34
8	5,75
9	5,57
10	5,20

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Outra medida implementada foi a utilização de enzimas, como a β -glucanase (HG), para otimizar a quebra de β -glucanas e melhorar a eficiência da mosturação.

4.2.3 Soluções aplicadas na Fervura

Conforme evidenciado na literatura especializada, é fundamental garantir uma fervura vigorosa, tanto em consistência quanto em intensidade, durante o processo de produção de cerveja. Para assegurar uma evaporação adequada, permitindo a

eliminação de compostos indesejados presentes no mosto. Além disso, uma fervura vigorosa é essencial para promover a isomerização adequada dos alfa-ácidos do lúpulo, contribuindo para a obtenção dos aromas e sabores desejados na cerveja final.

Na microcervejaria em estudo, foi identificada a necessidade de aprimorar a intensidade e a consistência da fervura, devido a inconstância de cada fervura. Foi realizado a troca da resistência de aquecimento, para garantir uma fervura mais eficiente e aumento da superfície de contato com o líquido.

Além disso, durante a análise do processo de produção de cerveja, identificou-se um desafio relacionado à eficiência do processo de Whirlpool. A remoção do trub quente e a maximização do volume de mosto aproveitado eram aspectos que demandavam aprimoramento, pois a presença excessiva de trub poderia contaminar a levedura e comprometer a qualidade do produto.

Como solução para esse problema, optou-se por implementar o uso de uma pá agitadora de whirlpool com três pás, para otimizar o processo de Whirlpool, melhorando a força centrípeta aplicada no mosto, facilitando a separação do trub quente do mosto, permitindo uma remoção mais eficiente e aumentando o volume de mosto aproveitado.

Figura 11 – Pá agitadora de whirlpool com três pás.



Fonte: <https://www.indupropil.com.br/agitador-para-whirlpool-3-pas-em-inox-75-cm.html> (2024).

Observou-se uma melhoria significativa na eficiência do processo de Whirlpool e um aumento no volume de mosto aproveitado.

Tabela 6 – Resultado da utilização da pá.

Amostra	Caldeira Cheia (L)	Mosto quente MP (L)	Mosto Frio (L)	Perdas (%)	Utilização da pá de Whirlpool
1	260	254	230	9%	Não
2	260	254	230	9%	Não
3	260	254	230	9%	Não
4	260	254	230	9%	Não
5	260	254	240	6%	Sim
6	260	254	240	6%	Sim
7	260	254	240	6%	Sim
8	260	254	240	6%	Sim
9	260	254	240	6%	Sim
10	260	254	240	6%	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2.4 Soluções aplicadas na Fermentação

Foi identificado um desafio relacionado à recolha eficiente da levedura após a fermentação do mosto cervejeiro. Tradicionalmente, a recolha da levedura era realizada com o mosto entre 5 °C e 6°C, o que dificultava o processo e resultava em perdas significativas de levedura.

Adotamos a prática de abrir o frio assim que o extrato final atingisse a temperatura desejada, reduzindo-a para entre 3 °C e 4°C. Essa medida foi tomada com o objetivo de favorecer a recolha da levedura.

Tabela 7 – Recolha de fermento.

Amostra	Temperatura de Recolhimento (°C)	Quantidade de Levedura retirada (L)	Média (L)
1	6,00	7,00	7,40
2	6,00	7,00	
3	6,00	8,00	
4	6,00	8,00	
5	6,00	7,00	
6	4,00	9,00	8,60
7	4,00	9,00	
8	4,00	9,00	
9	4,00	8,00	
10	4,00	8,00	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5 RESULTADOS

Após analisar todas as soluções implementadas, a microcervejaria em questão conseguiu aprimorar sua produção, resultando em uma redução percentual nos custos de produção. Os dados demonstram uma diminuição expressiva nos custos totais, indicando uma utilização mais eficiente dos insumos.

A efetividade do ajuste do moinho e a introdução de enzimas na mostura resultaram em uma otimização na extração de açúcares fermentáveis. Essa abordagem levou a um aumento médio de rendimento de cerca de 4,10%, o que, combinado com a utilização de enzimas, contribuiu para uma redução de 7% na quantidade de malte base utilizada.

Tabela 8 – Resultado das soluções aplicadas na redução de malte pilsen.

Fabrico	Soluções Implementadas	Malte Pilsen (kg)	Extrato 1º Mosto (Plato)	Média (Plato)
1	Não	85,00	13,23	
2	Não	85,00	13,55	
3	Não	85,00	13,08	13,33
4	Não	85,00	13,55	
5	Não	85,00	13,25	
6	Sim	79,00	13,08	
7	Sim	79,00	13,41	
8	Sim	79,00	13,25	13,34
9	Sim	79,00	13,55	
10	Sim	79,00	13,41	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Considerando a redução de 6 kg de malte, com um custo unitário médio de R\$ 6,00/kg, e levando em conta que a microcervejaria realiza em média 14 fabricações por mês, temos o seguinte:

Redução em kg de malte Pilsen = quantidade de fabricações * redução de malte por fabricação

Redução em kg de malte Pilsen = 14 * 6 = 84 kg de malte Pilsen

Redução em R\$ = quantidade reduzida no mês * custo unitário

Redução em R\$ = 84 * 6 = R\$ 504,00

Além disso, a diminuição das perdas no resfriamento do mosto, cerca de 3%, resultou em um ganho de 10 litros por fabricação. Considerando que são realizadas 14 fabricações por mês, foram "recuperados" 140 litros. Isso gera um aumento de receita de R\$ 2.000 por mês.

Com as soluções implementadas durante a fermentação e a utilização de enzimas na mosturação, observamos um aumento na reutilização do fermento, resultando em uma redução de custos neste insumo. Considerando as 14 fabricações e que a levedura é reutilizada 6 vezes, temos que uma cepa de levedura na microcervejaria dura 7 fabricações, em comparação com as 4 do passado.

Considerando que cada nova cultura de levedura utiliza 0,5 kg ao custo de R\$ 800,00, temos:

Necessidade de compra = quantidade de fabricações / quantidade de reutilização

Necessidade de compra anterior = $14 / 4 = 3$ compras de leveduras, equivalente a 1,5 kg.

Necessidade de compra atual = $14 / 7 = 2$ compras de leveduras, equivalente a 1,0 kg.

Redução = R\$ 800,00

Em suma, considerando todos os elementos discutidos anteriormente, registramos um ganho mensal de:

Economia na utilização de malte Pilsen: R\$ 504,00

Economia na utilização de levedura: R\$ 800,00

Aumento na quantidade de mosto resfriado: R\$ 2.000,00

Ganho total mensal: R\$ 3.304,00

6 CONCLUSÃO

Com base nos objetivos específicos estabelecidos, este estudo foi bem-sucedido em abordar as características das principais matérias-primas, revisar a literatura sobre os processos de fabricação de cervejas, identificar pontos críticos nos processos de produção para otimização de custos, propor estratégias de

otimização e avaliar seu impacto na eficiência operacional e viabilidade financeira das microcervejarias. Os resultados experimentais apresentados demonstraram que a configuração do moinho na moagem do malte e a utilização de enzimas foram eficazes na melhoria da eficiência da mostura, resultando em uma redução significativa na utilização de malte base, chegando a até 7% na microcervejaria em questão. Além disso, as soluções aplicadas durante a fermentação para aumentar a taxa de reutilização das leveduras, juntamente com a melhoria na eficiência do whirlpool para aumentar o rendimento de volume de mosto transferido, geraram uma economia mensal de R\$ 3.304 para a cervejaria. Essa economia acumulada ao longo de um ano, aproximadamente R\$ 36.000, pode ser reinvestida na expansão da microcervejaria.

Ao compartilhar essas descobertas, este estudo pode servir como um recurso valioso para outras microcervejarias interessadas em aprimorar seus processos de produção. Ao disseminar práticas bem-sucedidas, contribuimos para o avanço contínuo da indústria cervejeira artesanal, promovendo a produção de cervejas de alta qualidade em todo o setor.

REFERÊNCIAS

ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA Analysis of the Beer Production Process Ariane Maria Rodrigues de OLIVEIRA¹; Djenifer DREVECK²; Miriam ARL

BAMFORTH, C. (Ed.). **Brewing: new technologies**. Woodhead Publishing, 2006.

Breda, M.H. 2021., **Cerveja Artesanal**, p.85-111, In: Venturini Filho, W. G., Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia Brasil: Editora Blucher., São Paulo, Brasil.

Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=4ytdDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRIGGS, D. E., BROOKES, P. A., STEVENS, R., BOULTON, C. A. **Brewing: science and practice**. Elsevier, 2004

CARMO, André Felipe, **Otimização do Processo de Filtração e Diluição de Cerveja**. 2019. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica

CARVALHO, L. G. **Dossiê Técnico: Produção de Cerveja**. Rio de Janeiro, REDETEC Rede Tecnológica do Rio de Janeiro, 2007.

HIERONYMUS, S. **For the love hops**. Brewers Association, 2012.

MALLETT, J. **Malting: a practical guide**. Brewers Association, 2014.

MATOS, Ricardo Augusto Grasel. **CERVEJA: PANORAMA DO MERCADO, PRODUÇÃO ARTESANAL, E AVALIAÇÃO DE ACEITAÇÃO E PREFERÊNCIA**. 2012. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2021. **Anuário da Cerveja.2021** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2021.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Editora Lafonte Ltda., 2009.

KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. Berlin: VLB. 1997

OLIVEIRA, Ariane Maria Rodrigues, DREVECK, Djenifer, **Analysis of the Beer Production Process**.

PALMER, J. J. **How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time**. Brewers Publications, 2006.

PALMER, J., Kaminski, C. **Water: a comprehensive guide for brewers**. Brewers Association, 2013.

RIFAIE, Mohammad Majid, CAVAZZA, Marc, **Multi-Objective Evolutionary Beer Optimisation**. 2022.

SANTOS, M. S. dos; RIBEIRO, F. de M.; **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005.