



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM *HOPCYCLON*
PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO CERVEJEIRO**

Matheus Meneses Rangel
Orientador: Professor Dr. Adilson José de Assis

Universidade Federal de Uberlândia
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM *HOPCYCLON* PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO CERVEJEIRO

Matheus Meneses Rangel

Orientador: Professor Dr. Adilson José de Assis

Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Uberlândia - MG
2024

Matheus Meneses Rangel

ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM *HOPCYCLON* PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO CERVEJEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Professor Dr. Adilson José de Assis

Banca Examinadora:

Uberlândia, 21 de Janeiro de 2025

Professor Dr. Adilson José de Assis
Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia - MG

Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho
Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia – MG

Profª. Dra. Sarah Arvelos Altino
Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia - MG

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar esse espaço para agradecer formalmente àquelas que me permitiram viver a experiência de fazer faculdade em outra cidade, contribuindo com todo o seu amor para esse desejo ser possível: Márcia, minha mãe, e Thaisa, minha irmã. Obrigado, do fundo do meu coração, por toda a dedicação e paciência comigo nestes anos, tanto pelo apoio emocional, quanto pelas correções de rota. Vocês são meu maior exemplo, e nada disso seria possível sem os sacrifícios de vocês. Sempre sonhamos em morarmos próximos e acompanharmos o dia a dia uns dos outros, e esse diploma será um grande passo para a realização desse sonho.

Ademais, gostaria de agradecer à minha companheira de todos os dias, aquela que me ajudou em todas as matérias desse curso, com puxões de orelha para que eu estudasse em finais de semana, madrugadas e momentos de estresse, e que mesmo estando sob a mesma pressão que eu para os dias de prova, tirava um tempo para me explicar a mesma coisa diversas vezes, até que ficasse claro. Julia Pires, você foi, é, e sempre será parte da minha história, muito obrigado por ser exatamente como você é.

Não poderia deixar de ressaltar a importância do meu grupo de amigos: Gabriel Bonifácio, João Vítor Okano, Heitor Saes, Leonardo Selis, Antônio Neto, Angellus Uriãh, Lucas Leão, Maria Isabel Barcelos e Júlia Maia. Vocês fizeram dessa jornada uma história muito prazerosa, fazendo com que até meus dias mais tristes, tivessem momentos de alegria. Obrigado pelo companheirismo (em festas, viagens e curtições, mas também nas dificuldades de provas, trabalhos e afins). Finalmente posso dizer com orgulho que todos nós conseguimos, e estamos apenas começando: Hoje engenheiros e empregados, amanhã em busca de nossos sonhos.

Por último, agradeço todo o apoio da universidade para a construção não só do meu currículo acadêmico, mas do profissional que venho me tornando. ConsultEQ e todo o Movimento Empresa Júnior, uma escola de grandes aprendizados e importantíssimas conexões. Professores, sempre nos apoiando em momentos de dificuldades, alguns até fora de horário devido à corrida rotina de estagiar e fazer matérias. Todos os profissionais de laboratório, e principalmente, meu orientador: Adilson José de Assis. Suas matérias me brilharam os olhos no mundo da engenharia, e seu apoio foi fundamental na construção deste trabalho. Fica aqui o meu muito obrigado a todos.

RESUMO

Este trabalho aborda a análise econômica da implementação de um equipamento *Hopcyclon* no processo de produção cervejeiro, com foco na otimização da técnica de *dry hopping*. A pesquisa visa reduzir perdas industriais, particularmente relacionadas ao desperdício de lúpulo e ao volume de cerveja descartado devido ao acúmulo de resíduos sólidos nos tanques de fermentação. O estudo foi realizado em uma cervejaria artesanal localizada em Uberlândia, MG, e considerou indicadores financeiros, como Retorno sobre Investimento (ROI) e *Payback*, para avaliar a viabilidade econômica do equipamento. Os resultados mostraram uma redução de até 50% nas perdas por purga (quantia de líquido fermentável perdida, em volume) e uma economia de aproximadamente 20% no consumo de lúpulo (em massa), com ROI estimado de 90% no primeiro ano de uso. A aplicação do *Hopcyclon* demonstrou benefícios substanciais para a sustentabilidade e competitividade das microcervejarias, evidenciando o papel da inovação tecnológica na otimização dos processos produtivos.

PALAVRAS CHAVE: produção de cerveja, *dry hopping*, *Hopcyclon*, otimização de processo, ROI, sustentabilidade

ABSTRACT

This study addresses the economic analysis of implementing *Hopcyclon* equipment in the brewing production process, focusing on optimizing the *dry hopping* technique. The research aims to reduce industrial losses, particularly related to hop waste and discarded beer volume due to solid residue buildup in fermentation tanks. The study was conducted in a craft brewery located in Uberlândia, MG, and considered financial indicators such as Return on Investment (ROI) and *Payback* to evaluate the economic feasibility of the equipment. Results showed up to a 50% reduction in purge losses and approximately 20% savings in hop consumption, with an estimated ROI of 90% in the first year of use. The application of *Hopcyclon* demonstrated substantial benefits for the sustainability and competitiveness of craft breweries, highlighting the role of technological innovation in optimizing production processes.

KEYWORDS: Beer production, *dry hopping*, *Hopcyclon*, process optimization, ROI, sustainability

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. ETAPAS DO PROCESSO CERVEJEIRO.....	3
2.2. PRINCIPAIS PERDAS DO PROCESSO	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
Materiais utilizados.....	17
Metodologia aplicada.....	17
Resumo metodológico	20
4. ESTUDO DE CASO: DESCRIÇÃO, SOLUÇÃO PROPOSTA E RESULTADOS	20
4.1 TIPOS DE CERVEJA CONSIDERADOS E MENSURAÇÃO DAS PERDAS	20
4.2. PROPOSTA SUGERIDA NO PROCESSO PARA REDUÇÃO DE PERDAS.....	22
4.2 - QUANTIFICAÇÃO MATEMÁTICA DAS PERDAS E INDICADORES ECONÔMICOS.....	27
ROI (Retorno sobre investimento)	27
<i>Payback</i>	30
Exemplo na produção de cerveja.....	31
Comparando ROI e <i>payback</i>	31
Modelo matemático estratificado por SKU	33
Cálculo da economia total	34
Cálculo do ROI total	35
Cálculo do <i>Payback</i> total.....	36
Estudo de caso	36
<i>Payback</i>	40
ROI	40

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
Sugestões para trabalhos futuros.....	42
6. REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

A produção de cerveja constitui um campo de estudo altamente valorizado e amplamente explorado dentro das diversas disciplinas da engenharia, destacando-se particularmente na Engenharia Química devido à complexidade das múltiplas etapas envolvidas, que abrangem desde a seleção criteriosa das matérias-primas até os processos cruciais de fermentação, maturação e envase. Nos últimos anos, o segmento das cervejarias artesanais tem apresentado um crescimento notável no Brasil, com uma crescente demanda por inovações tecnológicas e pelo aprimoramento da eficiência produtiva em um mercado altamente competitivo. O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, atrás da China e dos Estados Unidos e deve alcançar, em 2023, o volume de vendas de 16,1 bilhões de litros, um crescimento de 4,5% em relação a 2022 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E AGROPECUÁRIA, 2023). Este panorama tem gerado desafios significativos para os profissionais da Engenharia Química, que enfrentam a incumbência de otimizar os processos produtivos, reduzir custos e minimizar perdas de insumos, sem comprometer a excelência e a qualidade do produto final, que constituem os principais fatores de sucesso das cervejarias artesanais.

Diante desse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo investigar as possibilidades de aprimoramento da eficiência na produção de cerveja, com foco especial na técnica de *dry hopping*, amplamente utilizada na produção de estilos como India Pale Ale (IPA) e New England IPA (NEIPA). Embora essencial para a obtenção do perfil sensorial desejado, essa técnica, que envolve a adição de lúpulo durante a fermentação, contribui significativamente para o aumento das perdas de lúpulo e do volume final de cerveja, devido ao acúmulo de sólidos (*trub*) nos tanques de fermentação e maturação. Dessa forma, a otimização dessa etapa, sem prejuízo à qualidade da bebida, torna-se uma prioridade estratégica.

Neste cenário, o presente trabalho propõe a utilização do equipamento *Hopcyclon*, uma inovação desenvolvida para maximizar a extração de compostos aromáticos e de amargor do lúpulo durante o processo de *dry hopping*, enquanto reduz significativamente o volume de cerveja perdido devido à presença de resíduos sólidos nos tanques. O estudo, realizado em parceria com uma cervejaria artesanal de pequeno porte localizada em Uberlândia, MG, permite uma análise prática e detalhada dos impactos financeiros e operacionais do uso do *Hopcyclon*.

Os objetivos principais buscam avaliar detalhadamente a eficiência do *Hopcyclon* no processo, quantificando as reduções nas perdas de lúpulo e no volume de cerveja afetado por resíduos sólidos, além de fornecer dados práticos e significativos sobre sua aplicação. Ademais, serão realizados cálculos precisos de indicadores financeiros, como Retorno sobre Investimento (ROI) e *payback*, para avaliar a viabilidade econômica da adoção do *Hopcyclon* em cervejarias de pequeno porte, com foco na sua rentabilidade e impacto no custo de produção sendo replicável em indústrias de todo o país.

A relevância deste estudo para o curso de Engenharia Química é inquestionável, uma vez que permite integrar, de forma prática e aplicável, os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da formação acadêmica, em áreas como operações unitárias, processos fermentativos e análise econômica. O setor de bebidas ultrapassou 130 mil empregos diretos em 2023, com variação positiva de 3,83% (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2024), sendo muitos deles engenheiros responsáveis por inovações tecnológicas, desenvolvimento de novos produtos e gestão da produção nas cervejarias. Ao abordar especificamente a implementação de tecnologias inovadoras na indústria cervejeira, este trabalho reforça a importância do engenheiro químico como agente de inovação, eficiência e sustentabilidade em setores produtivos cada vez mais exigentes.

Um exemplo dessa dinâmica é a crescente presença das grandes cervejarias no mercado de microcervejarias. Nos últimos anos, empresas como a Ambev adquiriram marcas e fábricas de cervejas artesanais, como Colorado e Wäls, integrando essas operações ao seu portfólio.

Dessa forma, este TCC contribui não apenas para o avanço do conhecimento acadêmico, mas também para o desenvolvimento de soluções práticas e relevantes para a indústria cervejeira artesanal. A capacidade de adaptação às mudanças do mercado, por meio de inovações tecnológicas e práticas sustentáveis, torna-se um diferencial crucial para a sobrevivência e o crescimento das cervejarias. Assim, a Engenharia Química desempenha um papel fundamental nesse processo de transformação, impulsionando a sustentabilidade e a competitividade do setor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ETAPAS DO PROCESSO CERVEJEIRO

O processo de produção de cerveja consiste em uma sequência de etapas interdependentes, responsáveis por transformar os ingredientes básicos — malte, lúpulo, água e levedura — em um produto final de alta qualidade. As principais etapas, descritas na figura 1, incluem a mosturação, durante a qual os açúcares são extraídos do malte; a fervura, etapa em que o lúpulo é adicionado para conferir características de amargor e aroma; e a fermentação, onde ocorre a conversão dos açúcares em álcool e dióxido de carbono pela ação da levedura. Após a fermentação, o produto passa pelo processo de maturação, cuja finalidade é estabilizar os sabores e clarificar o líquido. Em determinados estilos, como as Índia Pale Ales (IPAs) e as New England IPAs (NEIPAs), é realizada a técnica de *dry hopping*, que consiste na adição de lúpulo durante a fermentação, com o objetivo de intensificar os aromas.

O processo de *dry hopping* consiste em uma extração a frio de compostos voláteis e não voláteis do lúpulo em uma solução alcoólica, neste caso, a cerveja. A técnica é muito utilizada por cervejeiros de forma a aumentar o aroma e a estabilidade do sabor da cerveja. Tal extração é otimizada quando se utiliza lúpulo em pellets ou em pó, de forma que a glândula de lupulina esteja triturada, aumentando a superfície de contato da cerveja com os óleos essenciais e polifenóis do lúpulo (RETTBERG et al., 2018).

O presente trabalho propõe a utilização do equipamento *Hopcyclon*, projetado para otimizar a extração de compostos aromáticos durante a etapa de *dry hopping*, minimizando as perdas de insumos e o volume de cerveja desperdiçado. Na sequência, será apresentado um fluxograma ilustrativo das etapas do processo de produção de cerveja, com ênfase na técnica de *dry hopping* e na implementação do *Hopcyclon* como solução para aumentar a eficiência produtiva e reduzir os desperdícios.

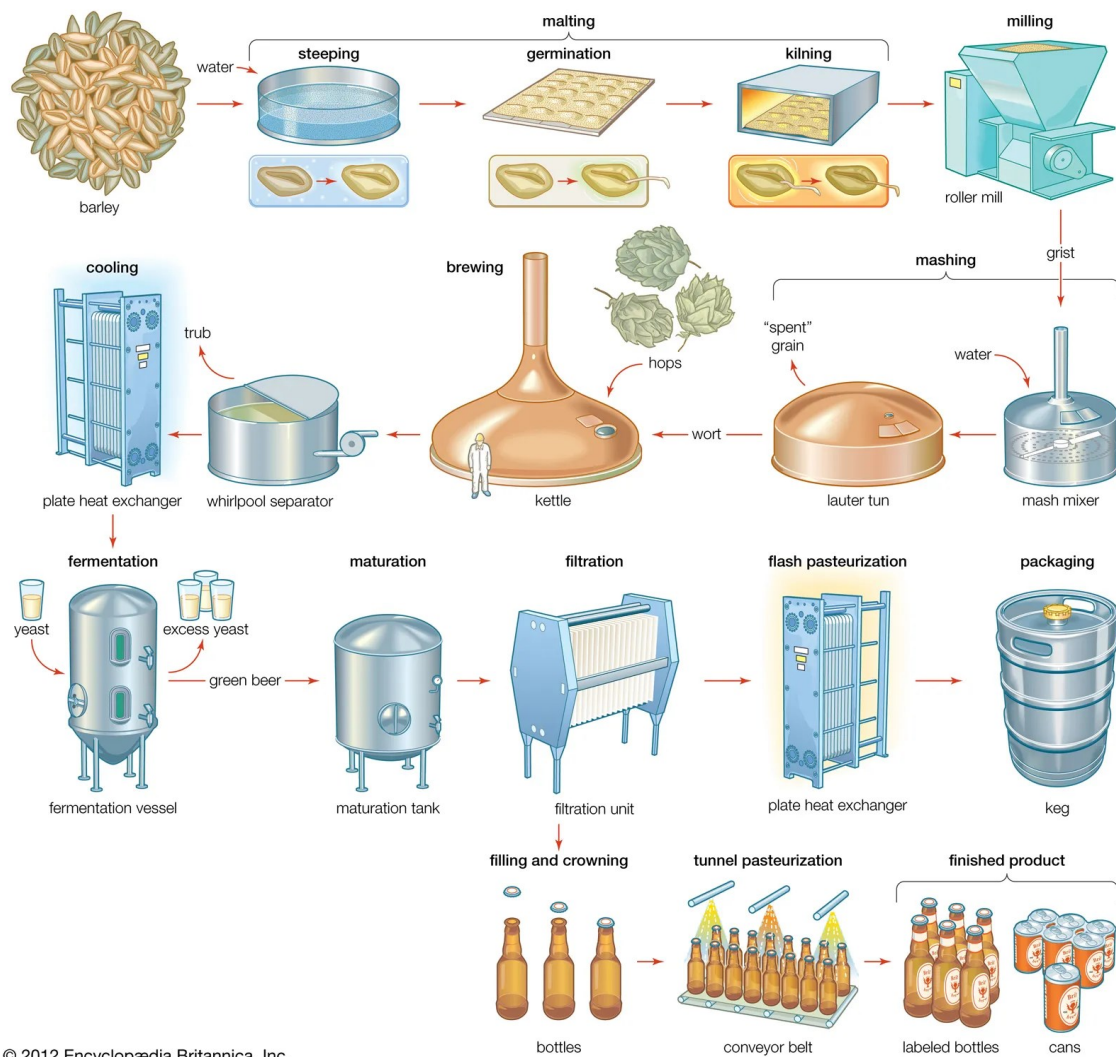


Figura 1: Etapas do processo de produção de cerveja

Fonte: <https://cdn.britannica.com/69/74269-050-5EC741B2/process-beer-production.jpg>. Acesso em: 12/11/2024

Malteação

A moagem do malte é uma etapa essencial na produção de cerveja, tendo como objetivo fragmentar os grãos em partículas menores. Essa operação facilita a extração de açúcares durante a mosturação, garantindo a máxima eficiência na conversão do amido presente no malte em açúcares fermentáveis. É indispensável que os grãos sejam moídos de maneira a permitir que a água extraia a maior quantidade possível de amido, sem que sejam tão fragmentados a ponto de prejudicar o

processo de filtração subsequente. Atualmente, “considera-se que a moagem correta também faz parte do processo de filtração, uma vez que a casca que permanece nos grãos atua como um agente filtrante do mosto” (TROMMER, 2014).

Na prática, o malte chega à cervejaria já maltado, o que reduz a presença de β -glucanas e de proteínas insolúveis que poderiam dificultar a ação das enzimas sobre os grânulos de amido (HUGHES e BAXTER, 2001). Após o processo de malteação, o malte é moído em moinhos de rolos, como o indicado na figura 2, com a granulometria ajustada conforme o tipo de cerveja a ser produzido. Esse ajuste pode variar dependendo do estilo da cerveja e das características específicas do malte utilizado.



Figura 2: Processo de moagem do malte em um moedor industrial

Fonte: [Como melhorar o processo produtivo da cerveja – Equip Consultoria](#). Acesso em: 22/11/2024

Mosturação

A mosturação tem como principal objetivo extrair os açúcares fermentáveis do malte por meio da ação enzimática dentro de uma tina de mostura com temperatura controlada, como indicado na figura 3. Durante essa fase, as enzimas presentes nos grãos desempenham funções essenciais,

como a hidrólise do amido, a quebra de proteínas e outras reações relacionadas (HORNINK, 2022). Inicialmente, a temperatura da mosturação é ajustada para a faixa de 45-55°C, etapa conhecida como “repouso proteico”, em que as proteases decompõem as proteínas dos grãos em aminoácidos, fundamentais para a nutrição das leveduras, e em peptídeos, que auxiliam na formação e retenção de espuma na cerveja (MUXEL, 2016). Esse processo tem duração aproximada de 15 a 30 minutos, ativando as enzimas alfa-amilase.

Na sequência, a temperatura é gradualmente elevada para 62-67°C, em uma etapa intermediária de 30 a 45 minutos, conhecida como rampa de temperatura intermediária. Nesse momento, ocorre a conversão do amido em carboidratos menores, sob a ação das enzimas alfa-amilase, que convertem o amido em maltose, e beta-amilase, que o convertem em dextrinas. Finalmente, a etapa denominada “mash out” eleva a temperatura para 75-78°C por 10 a 15 minutos, com o objetivo de inativar as enzimas e tornar os açúcares mais solúveis.

As temperaturas e os tempos empregados durante a mosturação podem ser ajustados de acordo com o perfil desejado para os açúcares da cerveja, influenciando diretamente características como corpo, dulçor e secura do produto final.



Figura 3: Tina de mostura com agitador contínuo

Fonte: [O tanque de aço inox com misturador para cerveja | Tanque de Aço Inox](#). Acesso em: 04/12/2024

Filtração

A filtração do mosto tem como objetivo separar a mistura heterogênea em duas partes: o líquido (mosto) e os sólidos insolúveis (bagaço das cascas de malte e adjuntos), utilizando diferenças de pressão. O mosto é drenado do tanque de mosturação por meio de um filtro (ou filtros de martelos, ou filtro prensa), que retém o bagaço e garante a clarificação do mosto para a próxima etapa do process, como indicado na figura 4. Técnicas como a recirculação do mosto podem ser empregadas para uma clarificação adicional. Em muitas cervejarias, utiliza-se um visor durante a recirculação para avaliar visualmente a coloração do mosto, determinando o momento adequado para iniciar a fase seguinte, que é a fervura.



Figura 4: Tanque de filtração com fundo falso.

Fonte: [SALA DE BRASSAGEM - Tecnologia de Processos - Cerveja - Salas de Brassagem | Zegla](#). Acesso em: 12/11/2024

Fervura

A fervura tem como objetivo esterilizar o mosto, extrair o lúpulo e promover reações químicas essenciais, como a isomerização dos alfa-ácidos liberados pelo lúpulo, os quais contribuem

significativamente para o perfil aromático da cerveja. A fervura geralmente começa em torno de 100°C e dura de 60 a 90 minutos, em um tanque com temperatura controlada, como indicado na figura 5. Durante essa etapa, o lúpulo é adicionado em momentos específicos para ajustar o amargor, o aroma e o sabor. A ebulição deve ser vigorosa para permitir a evaporação de compostos indesejados e ajustar o volume do mosto. Técnicas adicionais, como a utilização do whirlpool, giram o mosto na panela, permitindo que os sólidos em suspensão se depositem no fundo, facilitando a separação do mosto durante a transferência para o fermentador (BARCELOS, TREGELLAS, XAVIER, 2015).



Figura 5: Tina de fervura com pratos e whirlpool.

Fonte: Autoria própria (2022)

Resfriamento

O objetivo do resfriamento é reduzir rapidamente a temperatura do mosto fervido, a fim de evitar a produção de DMS (dimetil sulfeto), um composto que confere um sabor vegetal cozido à cerveja. Embora o DMS seja eliminado durante a fervura, sua produção pode continuar enquanto o mosto ainda está quente após o desligamento do fogo. Por isso, é crucial interromper rapidamente essa produção para evitar um "off-flavor". Além disso, o resfriamento prepara o mosto para a adição da levedura, que possui uma faixa ideal de temperatura de saturação (aproximadamente 15-25°C, dependendo do estilo de cerveja, como Ale ou Lager). O processo de resfriamento é realizado com trocadores de calor (principalmente trocadores de placa) - exemplo ilustrado na figura 6 - ou chillers de imersão, reduzindo a temperatura para cerca de 18-24°C.



Figura 6: Trocador de calor de placas.

Fonte: cbbmicrocervejarias.com.br/equipamentos/acessorios/bomba-cip-transfega/. Acesso em: 21/11/2024

Fermentação

A fermentação tem como objetivo transformar os açúcares do mosto em álcool e CO₂, produzindo a cerveja. Durante a metabolização do extrato, as leveduras produzem centenas de compostos adicionais, que representam cerca de 1% V/V do produto final, mas que contribuem significativamente para o perfil sensorial da cerveja (WHITE; ZAINASHEFF, 2022). A temperatura de fermentação varia conforme a cepa de levedura utilizada, geralmente entre 10 e 25°C, assim como o volume dos tanques utilizados nesse processo - na figura 7, por exemplo, está exposto um tanque de 4000L -. Para as cervejas do tipo Lager, as temperaturas de fermentação variam entre 8 e 14°C, sendo essas conhecidas como cervejas de baixa fermentação. Por outro lado, as cervejas do tipo Ale fermentam em temperaturas entre 18 e 25°C, sendo conhecidas como cervejas de alta fermentação. O tempo de fermentação pode variar de alguns dias a várias semanas, dependendo do estilo de cerveja. A escolha da cepa de levedura e o controle preciso da temperatura influenciam diretamente o perfil de sabor e aroma da cerveja.



Figura 7: Tanque de 4000L de fermentação encamisado.

Fonte: Autoria própria (2022)

Maturação e carbonatação

A maturação e a carbonatação têm como objetivo melhorar o sabor e a claridade da cerveja, além de garantir sua carbonatação. Em muitos casos, pode haver uma etapa adicional importante para obter cervejas com perfil lupulado, conhecida como *dry hopping*. Essa técnica consiste na adição de lúpulo seco diretamente na escotilha dos tanques durante a maturação, com o objetivo de extrair

compostos que não são liberados durante a fervura. O principal objetivo do *dry hopping* é intensificar o aroma da cerveja e, em alguns casos, aumentar a densidade ou o "corpo" da bebida. A temperatura de maturação pode variar entre 0 e 15°C, e o tempo de maturação pode variar de vários dias a meses, dependendo do estilo de cerveja. A carbonatação pode ocorrer naturalmente na garrafa ou por meio de carbonatação forçada em tanques.

Filtração e envase

Finalmente, a filtração e o envase têm como objetivo remover sedimentos da cerveja antes do envase. Para isso, utilizam-se filtros que removem leveduras e partículas indesejadas. Em algumas cervejas, a filtração é omitida para preservar uma maior complexidade de sabor, como é o caso das cervejas de trigo alemãs, as Weissbier, que são tradicionalmente enviadas sem filtração. Para o processo de envase, o processo varia bastante a depender de qual o produto final desejado. No exemplo da figura 8, há uma envasadora de garrafas, mas é importante ressaltar que também existem equipamentos diferentes para envase de latas e garrafas com volumes maiores como 600mL ou 1L.



Figura 8: Envasadora linear para latas

Fonte: [Envasadora Linear para Latas RZ-RER-LA-F - Tecnologia de Envase - Cerveja - Lata | Zegla](#). Acesso em 21/11/2024

2.2. PRINCIPAIS PERDAS DO PROCESSO

O processo de produção de cerveja é complexo e multifacetado, apresentando diversos pontos de perda ao longo de sua cadeia produtiva. Entre esses pontos críticos, as etapas de fermentação são especialmente destacadas. Na fase de fermentação, os principais objetivos são a conversão dos açúcares em álcool, CO₂ e compostos que conferem aroma e sabor à cerveja. Durante esse processo, ocorrem diversas perdas substanciais que podem impactar tanto o volume final de cerveja quanto a eficiência econômica da produção.

Sabe-se que, com o decorrer da fermentação e o esgotamento dos açúcares, as leveduras começam a reduzir sua atividade e a se acumular no fundo do fermentador. O gerenciamento do *trub*, resíduo sólido composto por lúpulo, proteínas e outros sólidos acumulados no fundo dos tanques, é um

exemplo claro das perdas associadas à fermentação. A formação e a remoção do *trub* não só resultam em perdas de volume, como também podem afetar a clareza e a qualidade da cerveja. O processo de remoção do *trub*, essencial para garantir a clareza e a estabilidade da cerveja, envolve várias etapas de separação que podem levar a perdas significativas de volume.

Adicionalmente, certos estilos de cerveja, como as New England IPAs (NEIPAs) - destacadas na figura 9 com o nome de "*Double IPA*" -, exacerbam essas perdas devido à técnica de adição intensiva de lúpulo. A elevada carga de lúpulo contribui para um volume significativamente maior de *trub*, elevando as perdas de cerveja durante o processo de filtração e remoção. Esses estilos, caracterizados por sua turvação e perfil aromático intenso, apresentam desafios específicos que agravam o problema das perdas durante a fermentação.

Nesses estilos, principalmente, é muito comum a utilização de uma técnica chamada *dry hopping*, que consiste na adição tardia de lúpulo visando a extração de aromas interessantes para a experiência do consumidor (floral, mentolado, cítrico, condimentado, entre outros). A primeira experiência conhecida como *dry hopping* no universo cervejeiro surgiu na Inglaterra, em meados dos anos 60, por Paul Farnsworth, Ph.D. na Universidade de Londres. Em suas primeiras tentativas de extração de aromas e enriquecimento de cervejas com o lúpulo, Farnsworth chegou a adicionar 60g de lúpulo em tanques de 40L, uma média muito alta para a época.

Em cervejas altamente lupuladas, as perdas de extrato devido à fermentação são apenas uma parte do problema, já que a adição intensa de lúpulo também contribui significativamente para a formação de *trub*. Durante o processo de *dry hopping*, o lúpulo é adicionado em grandes quantidades, resultando na formação de um volume considerável de sólidos que se acumulam no fundo do tanque. Na época das primeiras experiências de adições tardias de lúpulo em tanques, houve muitas críticas de estudiosos do tema acerca das eficiências do processo, como a do diretor da cervejaria Saint Louis Brewing, James Ottolini: “Do ponto de vista da eficiência do processo, o *dry hopping* é uma tolice, mas os tolos que querem lúpulo em suas cervejas farão qualquer coisa para conseguirem.”

O processo de *dry hopping* é amplamente utilizado na produção de cervejas, especialmente em estilos que buscam um perfil de aroma e sabor intenso, como as IPAs (India Pale Ales) e NEIPAs

(New England India Pale Ales). Consiste na adição de lúpulo durante ou após a fermentação, com o objetivo de extrair seus compostos aromáticos sem adicionar amargor excessivo à cerveja. Essa prática é essencial para dar à cerveja o aroma característico de frutas cítricas, tropicais, florais e herbais, atributos típicos dessas variedades. O impacto dessa perda é particularmente relevante em cervejas com alta carga de lúpulo, como as IPAs e NEIPAs, onde a quantidade de lúpulo utilizado é substancialmente maior em comparação com outros estilos de cerveja.

As IPAs, um dos estilos mais populares de cerveja artesanal, são conhecidas por seu alto teor de lúpulo, o que proporciona uma combinação de amargor e aroma intenso. Esse estilo surgiu na Inglaterra, mas ganhou popularidade nos Estados Unidos, onde passou a ser caracterizado por uma maior quantidade de lúpulo, resultando em sabores mais ousados e notas mais complexas. As IPAs podem ter um amargor elevado, equilibrado por um perfil de sabor que varia de cítrico a resinoso. Na versão New England IPA (NEIPA), esse lúpulo é ainda mais proeminente, com a adição de lúpulos que oferecem aromas mais tropicais e frutados, como manga, maracujá e abacaxi. As NEIPAs são notáveis por sua turbidez e suavidade, o que contribui para um corpo mais aveludado e uma sensação de frescor. Esse estilo se diferencia pela técnica de *dry hopping* em maiores quantidades e mais tarde no processo de produção, resultando em uma cerveja com um aroma mais pronunciado e um sabor mais frutado, mas também com perdas aumentadas de volume.

Estudos indicam que, dependendo da quantidade de lúpulo utilizado e da duração do processo de *dry hopping*, as perdas percentuais de volume podem ser significativas, comprometendo a rentabilidade do processo. Como as cervejas com alto teor de lúpulo, como as IPAs e NEIPAs, dependem fortemente dessa técnica para alcançar suas características sensoriais desejadas, a otimização desse processo torna-se essencial para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência na produção. De acordo com o *The Craft Beer Journal* (2023), as IPAs são caracterizadas pela sua ênfase no lúpulo, e o *BeerAdvocate* (2022) observa que as NEIPAs se destacam pela intensidade do aroma e a turbidez, características que demandam uma abordagem cuidadosa no manejo do lúpulo durante o *dry hopping*.

Abaixo, será apresentado um fluxograma que detalha as particularidades de cada estilo de cerveja, com foco principal nas ALES (cervejas de fermentação sobre alta temperatura) — onde estão alocados os estilos de foco deste trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para compilar as informações necessárias à realização deste trabalho, considerando exclusivamente a etapa de coleta dos *trubs* (resíduos sólidos formados durante a fermentação), foram utilizados os materiais e procedimentos descritos a seguir. A etapa de produção inicial do mosto fermentado foi excluída deste estudo, pois o foco está na análise e otimização do processo subsequente, onde ocorrem perdas significativas relacionadas ao manejo dos *trubs*.

Materiais utilizados

- Martelo de borracha: Utilizado para desprender os *trubs* aderidos às paredes internas dos tanques, facilitando a coleta completa do material acumulado.
- Balde transparente de 20 L com visor de nível graduado em 500 mL: Permite a coleta e a medição dos volumes de *trubs* descartados, proporcionando registros quantitativos confiáveis.
- Tanques de fermentação cônicos EGISA com válvula esfera: Equipados com camisa de resfriamento por circulação de líquido refrigerado para manter a temperatura ideal durante a fermentação e com válvula inferior para retirada dos volumes de *trubs*.
- Sifão de aço inoxidável: Garante a extração do *trub* com um melhor controle de vazão, quando comparado à abertura direta da válvula.
- Planilha impressa e plastificada: Afixada ao lado dos tanques de fermentação, destinada ao registro diário dos volumes de *trubs* coletados, garantindo que os dados sejam organizados e acessíveis.
- Planilha digital de cálculos: Desenvolvida para consolidar os dados coletados e calcular os ganhos esperados com a utilização do equipamento *Hopcyclon*, de acordo com as especificações fornecidas pelo fabricante.

Metodologia aplicada

- **Coleta de *trubs***

Durante o processo de fermentação, as leveduras se multiplicam e, ao final, uma parte significativa das células mais antigas morre, formando resíduos sólidos que se depositam no fundo e nas paredes

internas dos tanques. Esses resíduos, conhecidos como *trubs*, incluem partículas de lúpulo, proteínas coaguladas e leveduras mortas. A remoção eficiente desses resíduos é fundamental para evitar a contaminação e a perda de qualidade do mosto fermentado.

- **Desprendimento dos *trubs***

Diariamente, a equipe de produção utiliza martelos de borracha para golpear suavemente as paredes internas dos tanques, desprendendo o *trub* que se adere às superfícies. Esse procedimento visa garantir que o material acumulado seja deslocado para o fundo do tanque, onde pode ser coletado pela válvula inferior.

- **Extração dos *trubs***

A coleta do *trub* é realizada por uma pessoa, que garante o encaixe prévio do sifão à válvula localizada na parte inferior do tanque e opera o sistema completo, como indicado na figura 10 abaixo. A abertura gradual da válvula permite o escoamento do material sólido e concentrado até que o líquido coletado apresente uma coloração semelhante à observada no visor do tanque, indicando a presença do mosto fermentado. Nesse momento, a coleta é interrompida para evitar o desperdício de líquido ainda utilizável no processo produtivo.



Figura 10: Sistema de extração do trub (válvula esfera, sifão e balde de 20L)

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Medição do Volume Coletado**

Após a coleta, o líquido acumulado no balde transparente é deixado em repouso por alguns minutos para permitir que a espuma dissipe. Com base na escala graduada do balde, registra-se o volume total coletado. Esses dados são imediatamente anotados na planilha impressa fixada ao lado do tanque, garantindo um registro contínuo e organizado das perdas diárias por *trub*.

- **Descarte do *trub***

O líquido coletado, composto por resíduos sólidos e mosto residual, é descartado no sistema de esgoto da cervejaria. Esse descarte é realizado de forma controlada para manter a higiene e evitar a contaminação do ambiente de trabalho.

- **Consolidação e Análise dos Dados**

Os registros diários de perdas por *trub* são transferidos para uma planilha digital, onde os dados são organizados e consolidados para análise. Com base nesses registros, foram calculados os volumes totais perdidos e as projeções de ganhos esperados com a implementação do *Hopcyclon*. A metodologia considera as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante do equipamento, permitindo uma análise comparativa antes e após sua adoção.

Resumo metodológico

A metodologia adotada neste estudo combina práticas operacionais sistemáticas, coleta precisa de dados e análise quantitativa detalhada. Essas etapas garantem a confiabilidade das informações coletadas e fornecem uma base sólida para avaliar os benefícios do *Hopcyclon* na otimização do processo de produção de cervejas artesanais. Essa abordagem também evidencia a importância do controle rigoroso de perdas na fermentação, permitindo identificar oportunidades de melhoria contínua na gestão do processo produtivo.

4. ESTUDO DE CASO: DESCRIÇÃO, SOLUÇÃO PROPOSTA E RESULTADOS

4.1 TIPOS DE CERVEJA CONSIDERADOS E MENSURAÇÃO DAS PERDAS

Dados obtidos de uma cervejaria localizada em Uberlândia mostram que a média de perda de mosto durante a limpeza e remoção do *trub* dos tanques foi de aproximadamente 11% do volume total, considerando um intervalo de análise de seis meses e sete estilos diferentes: American Pale Ale (10 g/L - gramas de lúpulo em massa por volume de cerveja), India Pale Ale (12 g/L), New England IPA (16 g/L), Summer Ale (8 g/L), Witbier (1 g/L), Brown Ale (2,5 g/L) e Pilsen (1 g/L). Essa perda inclui tanto o volume de *trub* removido quanto a quantidade de cerveja que é inevitavelmente descartada junto com o resíduo sólido. Este dado sublinha a importância de otimizar o gerenciamento do *trub* para minimizar as perdas e melhorar a eficiência do processo de produção, especialmente em estilos de cerveja que exigem grandes adições de lúpulo e têm uma alta formação de *trub*. A compreensão e a gestão eficaz dessas perdas são cruciais para maximizar a produção e a rentabilidade, fornecendo uma base sólida para as propostas de otimização que serão discutidas posteriormente neste trabalho.

Tabela 1: Perda (em porcentagem) por *trub* durante fermentação.

	<i>APA</i>	<i>IPA</i>	<i>NEIPA</i>	<i>FRUIT ALE</i>	<i>SUMMER ALE</i>	<i>WITBIER</i>	<i>BROWN ALE</i>	<i>PILSEN</i>
LITROS PRODUZIDOS	2000	2500	1200	1000	1000	1200	1100	2300
LITROS PERDIDOS COM PURGA	230	280	290	110	45	90	100	147
PERDA EM PORCENTAGEM	11,5%	11,2%	24,2%	11,0%	4,5%	7,5%	9,1%	6,4%

O processo de separação geralmente começa com a decantação, na qual o fermentador é deixado em repouso por um período para permitir que o *trub* se assente no fundo do tanque. Durante essa fase, a cerveja é separada dos sólidos mais pesados, mas a eficiência da decantação depende de vários fatores, incluindo a temperatura e o tempo de repouso. As principais perdas ocorrem nesta etapa, pois parte da cerveja pode permanecer misturada com o *trub* ou ser retida pelos sólidos, reduzindo o volume final disponível.

Em seguida, muitas cervejarias utilizam a centrifugação para acelerar a separação dos sólidos. A centrifugação usa a força centrífuga para forçar o *trub* a se deslocar para o fundo do tanque, separando-o da cerveja líquida. Embora esse método seja eficiente para remover a maior parte do *trub*, ele também pode resultar em perdas adicionais de volume, especialmente se a centrifugadora não estiver otimizada ou se houver uma quantidade excessiva de *trub*, como no caso de estilos como as NEIPAs.

Após a centrifugação, a cerveja pode passar por um processo de filtração, no qual filtros são utilizados para remover qualquer resíduo remanescente de *trub* e outras impurezas. Esse processo é crucial para alcançar a clareza desejada e garantir que a cerveja esteja pronta para o envase. Contudo, a filtração pode levar a uma perda adicional de volume, pois a cerveja que fica retida no filtro ou é descartada devido a problemas de filtragem contribui para o desperdício total. A

eficiência do sistema de filtragem é um ponto crítico, e filtros muito finos podem resultar em maior perda de produto.

Essas fases do processo de separação, embora necessárias para garantir um produto final de alta qualidade, estão associadas a importantes lacunas de eficiência que resultam em perdas de volume. A identificação e a otimização dessas etapas são essenciais para minimizar o desperdício e melhorar a rentabilidade na produção de cerveja. O presente trabalho buscará explorar esses pontos críticos, oferecendo recomendações e soluções que podem reduzir as perdas e aprimorar a eficiência global do processo produtivo.

4.2. PROPOSTA SUGERIDA NO PROCESSO PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Entendendo como ponto focal de perda a baixa eficiência do processo de produção de cerveja quando há presença de *dry hopping*, foi desenvolvido um equipamento chamado *Hopcyclon*, representado abaixo na figura 11 como o modelo da empresa EGISA, e na figura 12 como o exemplo da empresa NKA Schiaveto, que consiste basicamente em um tanque cilíndrico com entradas para a circulação de cerveja em diferentes alturas, posicionadas de modo a causar um turbilhonamento da cerveja, mantendo as partículas em suspensão durante o processo.



Figura 11: Unidade *dry hopping* modelo EGISA

Fonte: [EGISA - unidade-dry-hoping](#). Acesso em 04/12/2024

Um elemento filtrante especialmente desenvolvido permite a circulação do fluido livremente, retendo a maior parte dos resíduos de lúpulo no interior do *Hopcyclon* ao final do processo. Assim, não só o rendimento do *dry hopping* aumenta, como também as perdas de cerveja são diminuídas, devido ao menor número de purgas de lúpulo no tanque de fermentação/maturação. Entradas de gás carbônico para purga e pressurização, bomba com variação de frequência, selo especial de vedação e o desenho do equipamento permitem uma operação segura, minimizando os riscos de incorporação de oxigênio no processo.



Figura 12: *Hopcyclon* modelo NKA Schiaveto

Fonte: [Dry Hopping - Hopcyclon](#). Acesso em 04/12/2024

De acordo com o guia para operação e CIP da NKA Schiaveto (dona da patente do equipamento), o procedimento descrito no manual para a operação do *Hopcyclon* 25 envolve uma série de etapas organizadas de forma sequencial, indicadas abaixo na figura 13, cujo objetivo é garantir o uso eficiente e seguro do equipamento, bem como a máxima extração de aromas e a qualidade do produto final. Inicialmente, é necessário realizar a preparação do equipamento. Para isso, deve-se abrir o tampo do *Hopcyclon*, adicionar a quantidade de lúpulo desejada e, em seguida, fechar o tampo, utilizando o aperto cruzado nos fechos para evitar danos à junta de vedação.

Após essa etapa, procede-se à conexão das mangueiras do equipamento ao tanque de fermentação. Deve-se realizar a desaeração progressiva do sistema, utilizando CO₂ com o intuito de eliminar o oxigênio residual presente nas mangueiras e no interior do equipamento. A seguir, realiza-se a pressurização do *Hopcyclon*, na qual o CO₂ é injetado até que a pressão interna do equipamento seja igualada à pressão do tanque.

Com a pressurização concluída, inicia-se o enchimento do *Hopcyclon* com cerveja. Para tanto, as válvulas necessárias são abertas e a bomba é ajustada de forma a permitir o preenchimento do reservatório, garantindo o equilíbrio adequado entre as pressões. Durante este processo, deve-se monitorar a pressão para evitar desvios.

Após o enchimento, realiza-se a circulação da cerveja no interior do *Hopcyclon* com o objetivo de promover a extração de aromas do lúpulo. Nesta etapa, é importante configurar o fluxo da cerveja, ajustando as válvulas de maneira a distribuir a turbulência internamente. Tal ajuste busca maximizar a suspensão do lúpulo e a eficiência da extração de compostos aromáticos durante o tempo recomendado.

Finalizado o período de extração, inicia-se a separação por meio de ciclone. Para isso, realiza-se um novo ajuste nas válvulas, permitindo a criação de um movimento em espiral no interior do *Hopcyclon*, o que promove a separação do lúpulo residual. Em seguida, realiza-se o retorno da cerveja para o tanque de fermentação. Este procedimento envolve o desligamento da bomba, seguido de um período de espera para que o lúpulo sedimentado se acomode. Posteriormente, conecta-se uma linha de CO₂ para facilitar a transferência suave da cerveja de volta ao tanque.

Por fim, realiza-se a limpeza do equipamento. Este processo inclui a despressurização do *Hopcyclon*, a abertura do tampo e a remoção manual dos resíduos de lúpulo acumulados. É recomendável realizar um enxágue do sistema com água para garantir a eliminação completa de resíduos e preparar o equipamento para a próxima operação ou ciclo de limpeza e sanitização.

Esse conjunto de etapas, quando seguido de forma rigorosa, assegura não apenas a funcionalidade do *Hopcyclon*, mas também contribui para a qualidade do processo de produção da cerveja.

Abaixo, na figura 12, encontra-se uma visualização individual de cada componente envolvido no processo de operação do *Hopcyclon* 25kg.

HopCyclon 25kg - Componentes

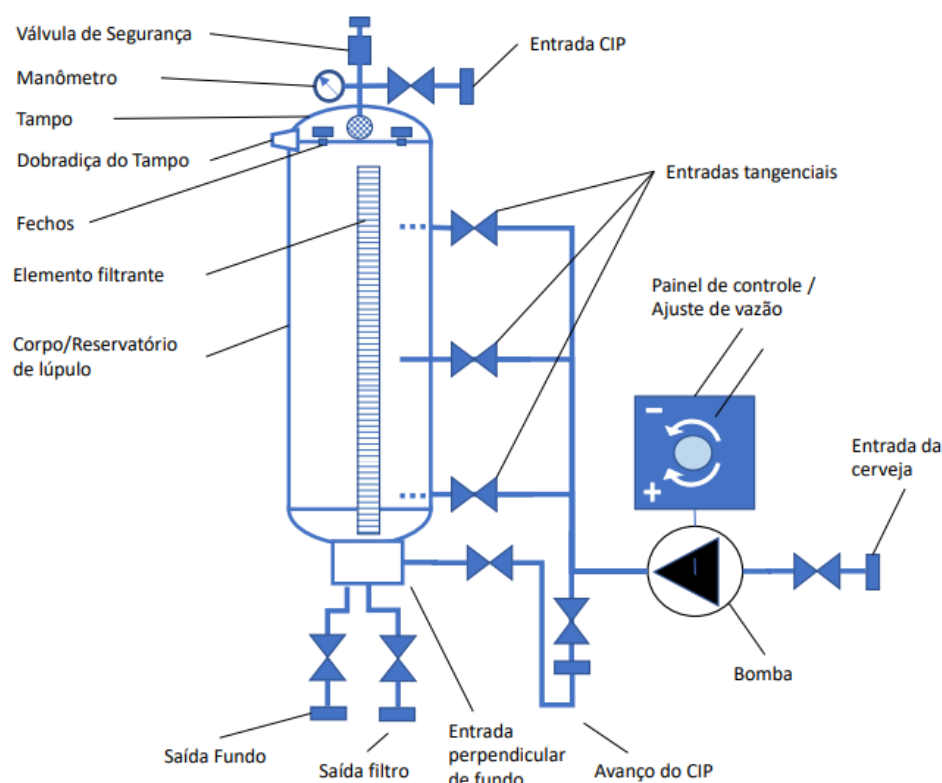


Figura 13: Componentes do *Hopcyclon* 25kg

Fonte: NKA Schiaveto - Guia para operação e CIP (*Hopcyclon* 25kg). Acesso em 02/12/2024

Nas versões da NKA Schiaveto, principal vendedora do equipamento, existem três opções, a depender do volume de lúpulo utilizado no processo: *Hopcyclon* 10, para até 10 kg de lúpulo; *Hopcyclon* 25, para até 25 kg de lúpulo; e *Hopcyclon* 50, para até 50 kg de lúpulo.

O *Hopcyclon*, desenvolvido pela NKA Schiaveto, representa uma inovação significativa no processo de *dry hopping*, especialmente no contexto das microcervejarias, que frequentemente lidam com desafios relacionados à eficiência no uso do lúpulo e à redução de perdas durante a produção de cerveja. O custo de aquisição do modelo *Hopcyclon* 25, precificado em R\$ 44.000,00 no ano de 2024, é um investimento considerável para as microcervejarias, especialmente quando se considera que o modelo intermediário é o mais utilizado. A maioria dessas cervejarias trabalha com tanques de fermentação e maturação de 1000L, e estilos de cerveja como NEIPA, IPA e APA frequentemente exigem uma quantidade significativa de lúpulo, com médias que variam de 12 a 20 g/L, dependendo da intensidade do *dry hopping* desejada. Nesse cenário, o modelo de 25 kg de capacidade do *Hopcyclon* se torna a escolha mais adequada, já que o modelo de 10 kg seria insuficiente para atender a essa demanda de lúpulo, aumentando a necessidade de múltiplas purgas, o que acarreta em maior desperdício de cerveja e maior custo operacional.

Os ganhos operacionais proporcionados pelo *Hopcyclon* são consideráveis e podem justificar o investimento em pouco tempo. A redução de 50% nas purgas (processo de descarte de cerveja para remoção dos resíduos de lúpulo) não apenas contribui para uma redução das perdas de cerveja, mas também diminui a quantidade de lúpulo necessário para cada lote. Em média, espera-se uma economia de 20% no consumo de lúpulo em comparação aos processos tradicionais, dado que o sistema melhora a eficiência da extração de compostos aromáticos e amargos do lúpulo. Além disso, o equipamento proporciona uma redução de até 3 dias no tempo de extração durante o *dry hopping*, o que representa um ganho significativo de produtividade, já que muitos tanques de fermentação estão ocupados com outros lotes, e o tempo é um recurso valioso para as cervejarias.

4.2 - QUANTIFICAÇÃO MATEMÁTICA DAS PERDAS E INDICADORES ECONÔMICOS

Como citado nos objetivos, o intuito principal deste trabalho é viabilizar, explicitando indicadores de ROI e *payback*, a compra de equipamentos similares para a redução de perdas durante a produção em indústrias de pequena e grande escala, a depender, é claro, dos SKUs produzidos e suas respectivas demandas de lúpulo por litro.

Para isso, inicialmente, serão explorados cada um dos indicadores foco da pesquisa, a fim de proporcionar um entendimento pleno do público sobre suas funcionalidades e aplicações. Somente após isso será possível determinar um modelo matemático breve, considerando todas as variáveis, sendo elas:

- Quantidade de lúpulo utilizada por litro;
- Custo do lúpulo (R\$/g);
- Escala da produção (estratificada por SKU) por milhares de litros;
- Lucro líquido (estratificado por SKU);
- Investimento inicial do maquinário;
- Expectativa de economia do maquinário.

ROI (Retorno sobre investimento)

A formulação básica do retorno sobre o investimento (ROI) consiste no lucro líquido operacional (EBIT) em relação ao investimento total. O ROI representa o retorno sobre o capital próprio e de terceiros aplicados no empreendimento (SAURIN; LOPES; JUNIOR GONÇALVES, 2013). Ele é expressado em forma de porcentagem e é calculado pela seguinte fórmula:

$$ROI = \left(\frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Investimento inicial}} \right) \times 100$$

Exemplo na produção de cerveja

Supondo que uma cervejaria invista R\$ 500.000 na construção de uma nova linha de produção. Após um ano, a cervejaria gera um lucro líquido de R\$ 70.000. O cálculo do ROI seria:

$$ROI = \left(\frac{70.000}{500.000} \right) \times 100 = 14\%$$

Para este exemplo, é de suma importância lembrar que o cálculo do lucro líquido é diferente de receita gerada e é um aspecto fundamental para entender a rentabilidade de um negócio, como uma cervejaria. O lucro líquido é definido como a diferença entre a receita total gerada pela venda de produtos e todos os custos e despesas associados à operação. A fórmula básica para calcular o lucro líquido é:

$$\text{Lucro líquido} = \text{Receita total} - \text{Custos e despesas totais}$$

Receitas Totais

A receita total representa o montante total recebido pela venda de produtos ou serviços em um determinado período. Para uma cervejaria, isso inclui a venda de todos os seus diferentes tipos de cerveja.

Custos e despesas totais

Os custos e despesas totais devem ser divididos em diferentes categorias, que incluem:

Custos de matéria-prima

Os custos de matéria-prima englobam todos os insumos necessários para a produção da cerveja, já citados anteriormente no tópico "Processo de produção".

Por exemplo, se uma cervejaria gasta R\$ 200.000 em matéria-prima ao longo de um ano, esse valor será subtraído da receita total.

Mão de obra

Os custos com mão de obra incluem salários e encargos sociais dos funcionários envolvidos na produção, distribuição e venda da cerveja. Caso os custos com mão de obra totalizem R\$ 150.000 por ano, esse valor deve ser considerado nas despesas totais.

Impostos

Os impostos aplicáveis podem variar conforme a localização e o tipo de cerveja produzida. Para uma cervejaria, alguns dos impostos mais comuns incluem:

- **Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS):** Um imposto estadual sobre as vendas.
- **Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI):** Um imposto federal aplicado a produtos industrializados, incluindo cerveja.

Se a cervejaria paga R\$ 50.000 em impostos durante o ano, esse valor deve ser subtraído da receita total.

Outras despesas operacionais

Essas despesas englobam:

- **Despesas com energia elétrica:** Necessárias para a operação das máquinas e refrigeração, como caldeiras, camisas de tanques e trocadores de calor.
- **Manutenção de equipamentos:** Manutenção do maquinário em boas condições, além de sistemas de gestão para manutenção, como o SAP e o Project.
- **Marketing e vendas:** Custos associados à promoção da cerveja e atração de clientes.
- **Aluguel:** No caso de a cervejaria não possuir sua própria instalação, o aluguel do espaço deve ser considerado.

Por exemplo, se a soma dessas despesas for de R\$ 30.000 ao ano, esse valor também será subtraído.

Exemplo prático

Para exemplificar o cálculo do lucro líquido em uma cervejaria, considere os seguintes valores:

- **Receita Total:** R\$ 500.000
- **Custos de Matéria-Prima:** R\$ 200.000
- **Mão de Obra:** R\$ 150.000
- **Impostos:** R\$ 50.000
- **Outras Despesas:** R\$ 30.000

O primeiro passo é somar todos os custos e despesas, sendo eles: matéria-prima + mão de obra + impostos + outras despesas.

Custos e despesas totais = 200.000 + 150.000 + 50.000 + 30.000 = 430.000

Em seguida, subtrai-se os custos e despesas da receita total para calcular o lucro líquido:

Lucro líquido = 500.000 – 430.000 = 70.000.

Payback

O *payback* é o método que representa o tempo médio em anos para recuperar o investimento inicial (BRIGHAM; GAPENSKI; EHRHARDT, 2001). Em outras palavras, ele indica em quantos anos ou meses um investimento se paga. É especialmente útil para avaliar projetos em que o fluxo de caixa é crucial.

O cálculo é feito da seguinte forma: $Payback = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa anual}}$

No presente estudo, a análise financeira foi realizada considerando exclusivamente o cálculo do *payback* simples (PB), ou seja, o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado por meio dos fluxos de caixa gerados ao longo dos anos. Nesse modelo, não se leva em conta o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não se aplica o conceito de desconto aos fluxos de caixa futuros. Portanto, o *payback* simples (PB) não reflete o impacto de variáveis como a taxa de juros ou o custo de oportunidade do capital, diferentemente do *payback* descontado (PBD), que considera esses fatores e, por isso, oferece uma análise mais precisa da viabilidade financeira do projeto ao incorporar o valor presente dos fluxos de caixa futuros.

De forma breve, o *payback* descontado é medido pelo tempo decorrido entre a data inicial do fluxo de caixa (ponto zero) e a data futura mais próxima até a qual o valor do investimento inicial é coberto pela soma dos valores presentes das parcelas positivas do fluxo de caixa. Para a obtenção do PBD, é necessário calcular o valor presente de cada parcela futura do investimento, descontada com a taxa (em % ao ano), e comparar o valor acumulado dessas parcelas descontadas com o valor do investimento inicial (DE ASSIS, 2024).

Além disso, é fundamental esclarecer que, no cálculo do *payback*, o valor considerado como "investimento inicial" corresponde a um montante específico e previamente determinado,

destinado exclusivamente às despesas iniciais do projeto, conhecido como CAPEX (Capital Expenditure). Esse valor engloba todos os custos necessários para a implementação da iniciativa, como aquisição de ativos, infraestrutura, mão de obra inicial, entre outros. É importante destacar que o "investimento inicial" não se refere à receita gerada pela empresa durante o período de operação do projeto, mas sim ao valor desembolsado no início, antes da geração de fluxo de caixa positivo. Essa distinção é crucial, pois garante a clareza na análise do retorno do investimento, sem confundir os custos operacionais com os investimentos de capital necessários para a execução do projeto.

Exemplo na produção de cerveja

Continuando com o exemplo da cervejaria, imagine que, após a instalação da nova linha de produção, a empresa espera gerar um fluxo de caixa adicional de R\$ 70.000 por ano. O cálculo do *payback* seria:

$$Payback = \left(\frac{500.000}{70.000} \right) = 7.14 \text{ anos}$$

Isso significa que a cervejaria levaria aproximadamente 7 anos e 2 meses para recuperar o investimento feito na nova linha de produção. Da mesma forma, será construído o modelo para o cálculo de tais indicadores de acordo com as variáveis da cervejaria-alvo e do equipamento (*Hopcyclon*) a ser adquirido.

Comparando ROI e *payback*

O ROI é útil para avaliar a eficiência do investimento e a rentabilidade a longo prazo, enquanto o *Payback* é focado em quanto tempo leva para recuperar o capital investido. O ROI é mais indicado para decisões de longo prazo, enquanto o *payback* é mais utilizado para avaliar a liquidez e o risco de investimentos.

Na produção de cerveja, esses indicadores ajudam os gestores a tomar decisões mais informadas sobre investimentos em novas máquinas, expansão da produção, lançamento de novos produtos, entre outros. Ao avaliar tanto o ROI quanto o *payback*, uma cervejaria pode otimizar sua operação

e maximizar seus lucros, garantindo um crescimento sustentável no mercado competitivo de cervejas.

Esses indicadores devem ser considerados juntamente com outros fatores, como as tendências do mercado, o custo das matérias-primas e as preferências dos consumidores, para garantir que os investimentos sejam realmente viáveis e benéficos a longo prazo.

O estudo proposto, que utiliza os indicadores ROI (Retorno sobre o Investimento) e *Payback*, possui grande valor para a realização de uma análise preliminar da viabilidade econômica de um projeto, especialmente no que se refere à instalação de um equipamento. Esses indicadores permitem uma avaliação inicial do tempo de retorno do investimento e da relação entre o custo e o benefício imediato, fornecendo uma base importante para a tomada de decisões iniciais. É fundamental esclarecer que, no cálculo do *payback*, o valor considerado como "investimento inicial" corresponde a um montante específico e previamente determinado, destinado exclusivamente às despesas iniciais do projeto, conhecido como CAPEX (Capital Expenditure). Esse valor engloba todos os custos necessários para a implementação da iniciativa, como aquisição de ativos, infraestrutura, mão de obra inicial, entre outros. Importante destacar que o "investimento inicial" não se refere à receita gerada pela empresa durante o período de operação do projeto, mas sim ao valor desembolsado no início, antes da geração de fluxo de caixa positivo. Essa distinção é crucial, pois garante a clareza na análise do retorno do investimento, sem confundir os custos operacionais com os investimentos de capital necessários para a execução do projeto.

Entretanto, é importante ressaltar que tanto o ROI quanto o *payback* não consideram o Fluxo de Caixa do negócio ao longo da vida útil da planta ou de qualquer horizonte de tempo definido na análise. Esses indicadores são de caráter momentâneo, ou seja, fornecem uma visão pontual do retorno do investimento, sendo adequados para uma avaliação preliminar da viabilidade econômica de um projeto. No entanto, para uma análise mais detalhada e precisa da rentabilidade e viabilidade do empreendimento, é imprescindível projetar o Fluxo de Caixa ao longo de toda a vida útil do projeto ou de outro período de análise previamente estabelecido. Somente a partir dessa projeção é que se torna possível calcular o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), indicadores que consideram o valor do dinheiro no tempo e oferecem uma visão mais abrangente e fiel da rentabilidade do negócio. Esses índices proporcionam uma avaliação

mais precisa, refletindo os efeitos de todos os fluxos de caixa ao longo do tempo, o que permite uma tomada de decisão mais informada e robusta.

As parcelas do fluxo de caixa que ocorrem após o PBD não são consideradas, o que torna o PBD apenas uma medida parcial de desempenho financeiro, não podendo ser considerado um método independente e completo para a análise de qualquer investimento. O PBD é, a rigor, um indicador adicional aos métodos do VPL e TIR, que informa o tempo em que o investimento inicial é recuperado. Deve, portanto, ser utilizado apenas como um método auxiliar para informar a mobilidade do capital e não como um método para tomada de decisão (DE ASSIS, 2024). Embora o foco deste estudo seja a aplicação de métodos mais simples e acessíveis, a inclusão da TIR em análises subsequentes é altamente recomendada, sendo sugerida como tema para trabalhos futuros, a fim de proporcionar uma avaliação mais aprofundada e robusta da viabilidade financeira do investimento.

Modelo matemático estratificado por SKU

Para cada stock keeping unit (SKU) – Unidade de Manutenção de Estoque, em português – trata-se de um código único atribuído a cada produto ou item no inventário de uma empresa, com o objetivo de identificar e rastrear de forma eficiente os itens em estoque. Cada SKU é específico para um produto e pode incluir informações sobre características como tamanho, cor, modelo ou qualquer outro atributo relevante que ajude a distinguir os produtos dentro de um portfólio. Para esse cálculo, é importante entender que, com a utilização do *Hopcyclon*, são viabilizadas duas formas diferentes de aumentar o rendimento da produção. São elas:

- **Redução na Utilização de Lúpulo:** O *Hopcyclon* utiliza a centrifugação para extrair a lupulina de maneira mais eficiente, o que possibilita a produção da mesma quantidade de compostos aromáticos e de sabor com uma redução de até 25% no uso de lúpulo. Essa economia não apenas reduz o custo com insumos, mas também minimiza o impacto ambiental associado ao cultivo e à produção de lúpulo.
- **Redução da Perda de Cerveja:** Durante o processo de fermentação, a perda de cerveja devido ao *trub* (resíduos sólidos, como leveduras mortas e lúpulos solidificados) representa valores muito significativos. Em casos como o da NEIPA, essa perda pode ultrapassar 20%

do volume total produzido. O uso do *Hopcyclon* minimiza essas perdas em até 10%, permitindo que a cervejaria aproveite uma quantidade maior do produto final. Isso resulta em um aumento no rendimento e na eficiência da produção, refletindo diretamente nos lucros da empresa.

Variáveis por SKU

1. Economia total mensal (St);
2. Ganho de lúpulo mensal (Gl);
3. Lúpulo gasto por litro de cerveja produzido (L);
4. Custo da grama do lúpulo (Cl);
5. Volume vendido por mês (Vv);
6. Lúpulo gasto por mês (Lg);
7. Redução de purga mensal (Rp);
8. Antiga perda por purga mensal (Apm);
9. Nova perda por purga mensal (Npm);
10. Lucro por litro (Li);
11. Perda por purga total do tanque (Ppt);
12. Volume total do tanque (Vt).

Cálculo da economia total

A economia total gerado por todos os SKUs é a soma das economias individuais:

$$St_i = \sum_{n=1}^{i=1} Gl_i + Rp_i \quad (1)$$

Onde n é o número total de SKUs.

Considerando as variáveis mensuráveis do processo, abre-se o modelo em 2 novas fórmulas, sendo: (4) para cálculo de Gl_i e (8) para o cálculo de Rp_i .

$$Gl_i = (L_i \times 0,2) \times Cl_i \quad (2)$$

Contudo, como devemos considerar a quantidade de lúpulo vendida no mês, e não a total para produção do tanque, expande-se a variável L_i em:

$$L_i = Vv_i \times Lg_i \quad (3)$$

Portanto, define-se o ganho de lúpulo mensal após a instalação de um *Hopcyclon* no processo cervejeiro como:

$$Gl_i = Vv_i \times Lg_i \times 0,2 \times Cl_i \quad (4)$$

Já para a definição do valor de redução de purga por mês com a instalação do equipamento, considera-se o seguinte modelo (sem simplificação):

$$Rp_i = (Apm_i \times Li_i) - (Npm_i \times Li_i) \quad (5)$$

Considerando as variáveis repetidas no processo, e sabendo que o equipamento garante uma eficiência de geração de purga 50% menor no processo, reorganiza-se o modelo da seguinte forma:

$$Rp_i = 0,5Apm_i \times Li_i \quad (6)$$

Por último, entende-se que a perda mensal por purga (seja antiga ou nova) é definida como:

$$Apm_i = Ppt_i \times \frac{Vv_i}{Vt_i} \quad (7)$$

Dessa forma, juntando (7) em (6), define-se:

$$Rp_i = Li_i \times 0,5 \times Ppt_i \times \frac{Vv_i}{Vt_i} \quad (8)$$

Portanto, o modelo final descrito neste trabalho para mensurar os ganhos financeiros, dentro do período de um mês, após a instalação do *Hopcyclon*, se define na equação (9):

$$St_i = \sum_{i=1}^n Vv_i \times Lg_i \times 0,2 \times Cl_i + Li_i \times 0,5 \times Ppt_i \times \frac{Vv_i}{Vt_i} \quad (9)$$

Cálculo do ROI total

O ROI total deve ser calculado com base na economia total:

$$ROI = \frac{St_i \times 12}{Custo\ do\ HopCyclon} \times 100 \quad (10)$$

Cálculo do *Payback* total

O *Payback* total pode ser calculado pela fórmula:

$$Payback = \frac{Custo\ do\ HopCyclon}{St_i} \quad (11)$$

Estudo de caso

A cervejaria em Uberlândia, em busca de otimizar seu processo de *dry hopping* e reduzir os custos associados ao uso de lúpulo, propôs a aquisição de um *Hopcyclon*. Para justificar esse investimento, foram realizados cálculos de ROI (Retorno sobre Investimento) e *Payback* com base nos ganhos previstos, como a redução de 50% na purga e a diminuição de 20% no consumo de lúpulo.

Para garantir uma análise precisa e fundamentada, as informações utilizadas foram extraídas de diversas fontes e baseadas em dados reais da operação da cervejaria. O processo de coleta de dados envolveu:

1. Volume de litros vendidos e lucro médio por marca: Essas informações foram obtidas diretamente com a administração do bar da cervejaria, que fornece os números de vendas e o lucro médio por cada estilo de cerveja produzido.
2. Quantidade de gramas de lúpulo por litro (g/L) e valor médio da grama de lúpulo: Essas métricas foram alinhadas com o mestre cervejeiro, que forneceu as quantidades exatas de lúpulo utilizadas em cada estilo de cerveja, bem como o custo médio do lúpulo por grama, considerando o mercado local.
3. Litros perdidos com purga (lúpulo + fermento): A equipe de acompanhamento de produção realiza anotações diárias sobre os volumes de cerveja perdidos com purga. Todos os dias, é necessário retirar a purga do fermentador para remover resíduos de lúpulo e fermento, e a equipe registra esses volumes para o cálculo das perdas. Essas informações foram

essenciais para a simulação de ganhos com a redução de purgas proporcionada pelo uso do *Hopcyclon*.

O modelo de análise considerou as variáveis de cada SKU (estilo de cerveja) individualmente, o que permite uma avaliação mais precisa do impacto da implementação do *Hopcyclon* em cada tipo de cerveja. Para cada estilo de cerveja — incluindo APA, IPA, NEIPA, Fruit Ale, Summer Ale, Witbier, Brown Ale e Pilsen — foram avaliados os seguintes aspectos:

- g/L de lúpulo utilizado: A quantidade de lúpulo necessária para a produção de cada estilo.
- Valor médio do lúpulo: O custo do lúpulo por grama.
- Litros perdidos com purga: Volume de cerveja perdido durante o processo de remoção dos resíduos de lúpulo e fermento.
- Lucro individual por marca: O lucro obtido por cada estilo de cerveja, levando em consideração o preço de venda e o custo de produção.

Esses dados foram organizados em planilhas, de forma a calcular o impacto de cada variável separadamente, conforme descrito no modelo matemático utilizado para a análise de ROI e *Payback*. A redução de purga foi simulada com base no ganho de 50% de redução nos volumes de purga, e o desperdício de lúpulo foi diminuído em 20%.

A partir da coleta e organização dos dados, foram feitas projeções de ganho para cada SKU, detalhando os resultados esperados de redução de perdas de cerveja e redução no consumo de lúpulo. Esses ganhos são fundamentais para calcular o ROI (Retorno sobre o Investimento), que avalia o tempo necessário para que o custo de aquisição do equipamento (R\$ 44.000,00 para o modelo de 25 kg) seja recuperado.

Além disso, o *Payback* foi calculado para determinar em quanto tempo a cervejaria terá de operação até que os benefícios do *Hopcyclon* cubram seu custo inicial. A redução de 50% nas purgas e a diminuição de 20% no uso de lúpulo representam economias significativas em termos de insumos e tempo de produção, refletindo diretamente na rentabilidade das operações.

4.3 - RESULTADOS QUANTITATIVOS E DISCUSSÃO

Para ilustrar as análises, foram elaboradas tabelas detalhadas que mostram a projeção de ganhos da somatória dos SKU em cada uma das etapas da operação: redução de purga e economia de lúpulo. Essas tabelas fornecem uma visão clara do impacto positivo que a aquisição do *Hopcyclon* teria em termos de redução de custos e aumento de produtividade para cada estilo de cerveja.

A análise visual permite uma compreensão aprofundada dos resultados esperados e facilita a tomada de decisão, mostrando que, para estilos de cerveja com alto uso de lúpulo como NEIPA e IPA, os benefícios de reduzir perdas e otimizar o uso de insumos podem ser particularmente expressivos.

Tabela 2: Economia de gasto com lúpulo por mês

	APA	IPA	NEIPA	FRUIT ALE	SUMMER ALE	WITBIER	BROWN ALE	PILSE N
QUANTIA VENDIDA MENSALMENTE (L)	500	600	150	220	100	320	120	480
QUANTIA DE LÚPULO UTILIZADA NO ESTILO (G/L)	10	12	16	8	2	1	2,5	1
LÚPULO TOTAL GASTO (G)	5000	7200	2400	1760	200	320	300	480
VALOR MÉDIO DOS LÚPULOS (R\$/G)	0,20	0,15	0,24	0,10	0,20	0,11	0,17	0,11
NOVA QUANTIA DE LÚPULO GASTO APÓS REDUÇÃO DE 20% NO CONSUMO (G)	4000	5760	1920	1408	160	256	240	384
ECONOMIA POR REDUÇÃO NO CONSUMO DE LÚPULO (R\$)	200,00	216,00	115,20	35,20	8,00	7,04	10,20	10,56

Tabela 3: Redução da perda com purga por mês

	APA	IPA	NEIPA	FRUIT ALE	SUMMER ALE	WITBIER	BROWN ALE	PILSEN
QUANTIA PRODUZIDA EM UM TANQUE (L)	2000	2500	1200	1000	1000	1200	1100	2300
QUANTIA VENDIDA POR MÊS (L)	500	600	150	220	100	320	120	480
QUANTIA PERDIDA COM PURGA (L)	230	280	290	110	45	90	100	147
QUANTIA PERDIDA COM PURGA EM 1 MÊS (L)	58	67	36	24	5	24	11	31
LUCRO INDIVIDUAL DO SKU (R\$/L)	25	28	20	14	18	17	16	11
PERDA POR PURGA (%/V)	11,5	11,2	24,2	11,0	4,5	7,5	9,1	6,4
NOVA PERDA POR PURGA APÓS REDUÇÃO DE 50% (%/V)	5,8	5,6	12,1	5,5	2,3	3,8	4,5	3,2
NOVA PERDA BRUTA APÓS REDUÇÃO DE 50% (L)	115	140	145	55	23	45	50	74
NOVA PERDA MENSAL APÓS REDUÇÃO DE 50% (L)	29	34	18	12	2	12	5	15
ECONOMIA POR REDUÇÃO NA PERDA POR PURGA (R\$)	718,75	940,8	362,5	169,4	40,5	204	87,28	168,73

Dessa maneira, ao calcular a soma das economias provenientes tanto da redução no consumo de lúpulo, estimada em 20%, quanto da diminuição das perdas com purga, calculada em 50%, ambas as melhorias propostas pela implementação do maquinário, é possível obter os seguintes ganhos mensais:

- Economia a partir da redução no consumo de lúpulo: R\$ 602,20
- Economia a partir da redução das perdas com purga: R\$ 2.691,95

Ao somar esses dois valores, observa-se que o equipamento resulta em uma redução de custos mensais da ordem de R\$ 3.294,15. Esse impacto financeiro positivo demonstra o potencial do maquinário não apenas para melhorar a eficiência do processo, mas também para promover uma significativa economia operacional, contribuindo para a viabilidade econômica do projeto a curto

prazo. O valor total de redução de custos evidencia a relevância da adoção dessa tecnologia, a qual, além de otimizar o consumo de recursos, também minimiza perdas, oferecendo um retorno imediato sobre o investimento.

A partir dos dados coletados e das simulações realizadas, foi possível calcular o ROI (Retorno sobre Investimento) e o *Payback* para a cervejaria de Uberlândia, com base na economia mensal obtida pela implementação do *Hopcyclon*. O valor total de economia mensal, considerando a redução de 50% nas purgas e a diminuição de 20% no consumo de lúpulo, foi de R\$ 3.294,15.

Payback

Com os dados fornecidos:

Investimento Inicial = R\$44.000,00 (valor do equipamento *Hopcyclon*)

Economia Mensal = R\$3.294,15

Substituindo na fórmula:

$$Payback = \frac{44.000,00}{3.294,15} = 13,35 \text{ meses}$$

Portanto, o *Payback* para a cervejaria será de aproximadamente 13,35 meses, o que significa que, após cerca de 1 ano e 1 mês de operação, o custo do *Hopcyclon* será totalmente recuperado pelas economias geradas com a redução de perdas de cerveja e lúpulo.

ROI

Aplicamos na fórmula do ROI:

$$ROI = \frac{39.529,80}{44.000,00} \times 100 = 89,8\%$$

O ROI após 12 meses de operação será de aproximadamente 89,8%. Isso significa que, em um ano, a cervejaria terá obtido um retorno de quase 90% sobre o valor investido no *Hopcyclon*, o que demonstra a alta viabilidade financeira do equipamento para o seu processo de produção.

Os cálculos de *Payback* e ROI indicam que a implementação do *Hopcyclon* representa uma excelente oportunidade de retorno financeiro para a cervejaria. O *Payback* de 13,35 meses é relativamente curto, considerando que o ciclo de vida útil do equipamento é muito superior a esse valor (em média, 10 anos, contando com as devidas manutenções preventivas em bombas e tubulações), o que significa que, após esse período, a cervejaria começará a gerar lucros líquidos adicionais devido à economia contínua de insumos e tempo de produção.

O ROI de 89,8% após 1 ano é um indicativo de que o equipamento será capaz de proporcionar um retorno considerável sobre o investimento, o que torna o *Hopcyclon* uma solução financeiramente vantajosa, especialmente para microcervejarias que buscam otimizar seus processos e reduzir custos com insumos caros, como o lúpulo.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abordou a eficiência do processo de produção de cerveja, com ênfase na técnica de *dry hopping*, um método crucial na produção de estilos como IPAs e NEIPAs, e na aplicação do equipamento *Hopcyclon* como alternativa para otimizar a extração de compostos aromáticos do lúpulo. A principal proposta foi analisar como o uso do *Hopcyclon* pode reduzir o desperdício de insumos e o volume de cerveja perdido devido ao acúmulo de resíduos sólidos (*trub*), um desafio comum na produção de cerveja artesanal. A implementação do *Hopcyclon* em uma cervejaria artesanal demonstrou um grande potencial para ganhos operacionais substanciais. A redução de cerca de 50% nas purgas, aliada a uma economia de até 20% no consumo de lúpulo, destacou os benefícios tangíveis do uso do equipamento. Com um Retorno sobre o Investimento (ROI) estimado em 90% no primeiro ano de uso e um tempo de recuperação do investimento de aproximadamente 13 meses, o *Hopcyclon* provou ser não apenas uma solução técnica eficiente, mas também economicamente viável. Esses resultados indicam que o equipamento é uma excelente opção para microcervejarias que buscam melhorar a rentabilidade sem comprometer a qualidade da cerveja.

Além dos benefícios operacionais, a aplicação do *Hopcyclon* também trouxe contribuições significativas para a sustentabilidade do processo produtivo. A redução do desperdício de insumos caros, como o lúpulo, e a otimização do tempo de operação são vitais para a sustentabilidade de uma indústria que lida com margens de lucro muitas vezes apertadas. Isso não apenas reflete positivamente nos custos de produção, mas também oferece uma oportunidade para que as cervejarias artesanais minimizem seu impacto ambiental, uma vez que o desperdício de recursos e energia é reduzido. Com o aumento da pressão para que as empresas adotem práticas mais sustentáveis, a implementação de tecnologias como o *Hopcyclon* pode ser vista como um diferencial competitivo e uma estratégia inteligente para garantir a longevidade no mercado.

Os resultados apresentados reforçam a importância de integrar tecnologias inovadoras dentro das microcervejarias, permitindo que essas empresas se mantenham competitivas e sustentáveis em um mercado que se torna cada vez mais exigente. Além disso, este estudo confirma o papel fundamental do engenheiro químico no processo de identificação e implementação de soluções técnicas e econômicas que aprimorem a eficiência e a rentabilidade de processos industriais. Através da aplicação do conhecimento teórico e prático, o engenheiro químico se posiciona como um protagonista no desenvolvimento da indústria cervejeira, propondo melhorias contínuas que beneficiem tanto os pequenos produtores quanto os grandes conglomerados cervejeiros.

Sugestões para trabalhos futuros

Com o intuito de expandir o conhecimento gerado por este estudo e explorar novas possibilidades de otimização no processo de produção de cerveja, várias abordagens podem ser consideradas para trabalhos futuros:

1. **Avaliação do Impacto Sensorial do Uso do *Hopcyclon*:** Uma análise aprofundada sobre como o uso do *Hopcyclon* pode influenciar o perfil sensorial da cerveja seria uma contribuição valiosa. Esse estudo poderia comparar as características sensoriais, como aroma, sabor e corpo da cerveja, entre a utilização do *Hopcyclon* e as técnicas tradicionais de *dry hopping*. A análise sensorial com consumidores e a realização de testes laboratoriais focados nos compostos voláteis seriam importantes para entender melhor os impactos dessa inovação no produto final.

2. **Análise Comparativa com Outros Métodos de Redução de Perdas:** Este trabalho pode ser ampliado com estudos que comparem o desempenho do *Hopcyclon* com outras tecnologias e métodos de otimização, como sistemas de filtração avançada e centrifugação. A comparação dessas soluções ajudaria a identificar a mais adequada para diferentes tipos de cervejas e escalas de produção, além de possibilitar a escolha do equipamento com o melhor custo-benefício para cada caso específico.
3. **Estudo de Viabilidade em Outras Etapas do Processo Produtivo:** Expansões do uso do *Hopcyclon* ou a adoção de equipamentos similares para outras fases do processo produtivo, como fermentação e clarificação, poderiam ser uma linha de pesquisa interessante. Investigar o impacto desses dispositivos em outras etapas pode revelar novas oportunidades para otimizar a produção, reduzir perdas e aumentar a eficiência global da cervejaria.
4. **Desenvolvimento de Modelos de Simulação e Otimização:** A criação de modelos matemáticos e computacionais que simulem o impacto de diferentes variáveis no processo de produção seria uma excelente contribuição para o campo. Tais modelos poderiam incluir fatores como tempo de contato com o lúpulo e temperatura de operação, com o objetivo de otimizar a extração dos compostos aromáticos e minimizar as perdas durante a produção.
5. **Estudos de Sustentabilidade:** Um aprofundamento nos aspectos ambientais da produção cervejeira poderia ser realizado, com foco na redução de resíduos sólidos e no uso eficiente de insumos, considerando o impacto ambiental do uso do *Hopcyclon*. Esses estudos forneciam dados essenciais para a construção de um modelo de produção mais sustentável, beneficiando tanto o meio ambiente quanto as cervejarias no cumprimento de requisitos regulatórios e demandas do mercado.
6. **Projeção de um Fluxo de Caixa e Cálculo da TIR e do VPL:** Uma análise mais detalhada do retorno financeiro, incluindo a estimativa da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL) dos investimentos, poderia oferecer uma visão mais completa sobre a viabilidade econômica do uso do *Hopcyclon*. Um estudo que considere o horizonte de tempo da vida útil dos equipamentos ou o tempo de financiamento, no caso de investimentos com recursos de terceiros, poderia ajudar a avaliar o impacto desses indicadores econômicos na decisão de investimento, considerando aspectos como o financiamento e o pagamento de juros.

Essas direções para futuros estudos têm o potencial de fortalecer ainda mais o campo da produção de cerveja artesanal, oferecendo soluções inovadoras que ajudem a indústria a superar os desafios relacionados à eficiência, sustentabilidade e competitividade. A integração das engenharias aplicadas nesse processo não só favorece a inovação tecnológica, como também contribui para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e eficientes, alinhadas com as necessidades do mercado atual.

Esses estudos futuros não só podem expandir o conhecimento sobre o impacto do uso de novas tecnologias na indústria cervejeira, como também promover a consolidação de práticas mais sustentáveis e eficientes no setor, com o apoio direto da engenharia e de inovações tecnológicas. Ao melhorar a eficiência dos processos, as cervejarias artesanais não apenas se tornam mais rentáveis, mas também mais competitivas e resilientes a um mercado cada vez mais dinâmico e desafiador.

6. REFERÊNCIAS

TROMMER, M. W. Avaliação do ciclo de vida no processo de produção da cerveja. 83f, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – 56 Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara d'Oeste, SP. 2014.

HUGHES, P.S.; BAXTER, E.D. “An overview of the malting and brewing processes.” The Royal Society of Chemistry, In beer: quality, safety and nutritional aspects, Cambridge, UK. p. 14 -39, 2001

MUXEL, [A.](#) Fundamentos de Fabricação de Cerveja. Dia de brassagem, 2016.

VAZ, D. S. REDUÇÃO DE PERDAS DE EXTRATO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA NA ÁREA DA FERMENTAÇÃO, APLICANDO A METODOLOGIA DE GESTÃO TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM), 2019.

MATOS, S. C. S. Aplicação do ciclo pdca para redução da perda de extrato na filtração em uma indústria cervejeira, 2022.

[Dry Hopping - Hopcyclon \(nkaschiaveto.com\)](#)

LÚPULO, GUIA PRÁTICO PARA O AROMA, AMARGOR E CULTIVO DE LÚPULOS. HIERONYMUS, STAN

HIERONYMUS, Stan. Lúpulo, guia prático para o aroma, amargor e cultivo de lúpulos, 2019.

BRIGHAM, Eugene F.; GAPENSKI, Louis C.; EHRHARDT, Michael C. Administração Financeira Teoria e Prática. São Paulo: Atlas, 2001.

SAURIN, Valter; LOPES, Ana; JUNIOR, Newton; GONÇALVES, Carlos, Medidas de eficiência e retorno de Investimento: um estudo nas distribuidoras de energia elétrica brasileiras com base em Data Envelopment Analysis, Índice de Malmquist e ROI, 2013.

BARCELOS, Ana; TREGELLAS, Brendon; XAVIER, Karine. Produção e análise de cerveja artesanal, 2015.

WHITE, Chris; ZAINASHEFF, Jamil. Levedura, guia prático para a fermentação da cerveja, 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E AGROPECUÁRIA, 2023. Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano, aponta anuário. Disponível em [Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano, aponta anuário — Ministério da Agricultura e Pecuária](#). Acesso em: 02/12/24.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E AGROPECUÁRIA, 2024. Anuário da cerveja. Disponível em: [Anuário da Cerveja ano 2022](#). Acesso em 01/12/24.

Rettberg, Nils; Biendl, Martin; Garbe, Leif. Hop aroma and hoppy beer flavor: chemical backgrounds and analytical tools: a review. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 76(1), 1-20, DOI 10.1080/03610470.2017.1402574, 2018.