

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE DE MELLO GONÇALVES
GUILHERME VIEIRA ZANIN
PEDRO HENRIQUE URZEDO QUEIROZ
RAFAEL ARAUJO RUFATTO

INPB: INDÚSTRIA CERVEJEIRA

APUCARANA

2023

FELIPE DE MELLO GONÇALVES
GUILHERME VIEIRA ZANIN
PEDRO HENRIQUE URZEDO QUEIROZ
RAFAEL ARAUJO RUFATTO

INPB: INDÚSTRIA CERVEJEIRA

INPB: BEER INDUSTRY

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química do Curso de Bacharelado em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Alves da Silva

APUCARANA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

INPB: INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Por

FELIPE DE MELLO GONÇALVES

GUILHERME VIEIRA ZANIN

PEDRO HENRIQUE URZEDO QUEIROZ

RAFAEL ARAUJO RUFATTO

Monografia apresentada às 8 horas e 20 minutos do dia 27 de outubro de 2023 como requisito parcial para conclusão do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. Os candidatos foram arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Caroline Casagrande Sipoli, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Membro
Profa. Fernanda Lini Seixas, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Membro
Prof. Fernando Alves da Silva, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Orientador



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **FERNANDO ALVES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 27/10/2023, às 09:37, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **CAROLINE CASAGRANDE SIPOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 27/10/2023, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **FERNANDA LINI SEIXAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 27/10/2023, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador (informing the verification code) **3804493** e o código CRC (and the CRC code) **318D5988**.

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais por todo apoio e amor para conseguirmos chegar até aqui, pois não foi fácil, mas com a ajuda deles conseguimos.

Aos nossos amigos que fizeram parte de toda a nossa trajetória acadêmica para que tornasse um ambiente mais leve e descontraído.

Ao nosso professor orientador Dr. Fernando Alves da Silva que sempre nos ajudou com muita paciência e sempre esteve disponível quando a gente precisava e que sem ele não seria possível realizar este trabalho, gratidões eternas.

A todos professores da UTFPR que nos ensinaram e capacitaram para podermos realizarmos este trabalho.

E a todos que de alguma forma passaram por nossas vidas e nos ajudaram e apoiaram a sermos melhores.

RESUMO

Cerveja é uma bebida fermentada que se estima já ser consumida a mais de 8000 anos e que ainda atrai novos consumidores com o passar dos anos, havendo uma grande aceitação no paladar das sociedades. No Brasil, sua história é datada desde meados de 1650, edesde então, novas receitas foram surgindo de acordo com a criatividade e vontade de se fazer cerveja. A indústria nacional de cerveja é a terceira maior do mundo, ficando apenasatrás de Estados Unidos e China, o que reforça sua popularidade e como isso movimentaa economia do país. A partir de uma projeção de 23,93 bilhões de litros de cerveja no ano de 2040, a INPB (Indústria Nacional de Produção de Bebidas) surge com o projeto de suprir 5% desta quantidade com cervejas do tipo pilsen, Lager puro malte e IPA (India Pale Ale),e ainda com a visão de diversificar mais a oferta de seus produtos futuramente. Atendendoa porcentagem estipulada, a produção estimada é de 700 milhões de litros para a Pilsen, 300 milhões para a Lager Puro Malte e 100 milhões para a IPA. Situada em Rio do Sul-SC, a instalação preza pela proximidade com as matérias-primas necessárias e com a grande oferta hídrica. No mais, a qualidade da água é ponto fundamental para os processos da INPB, e por isso, etapas como troca iônica e ultrafiltração irão garantir um nível excelente desta matéria-prima, sem que seja atribuído aroma ou sabores desagradáveis para os produtos. Além disso, a empresa irá se pagar em 8 anos e teremos uma receita anual estimada de aproximadamente R\$2.950 bilhões.

Palavras-chave: Cerveja. Pilsen. Puro Malte. Ipa. Qualidade.

ABSTRACT

Beer is a fermented beverage that is estimated to have been consumed for more than 8000 years and that still attracts new consumers over the years, with great acceptance in the taste of societies. In Brazil, its history dates back to the mid-1650s, and since then, new recipes have emerged according to the creativity and desire to make beer. The national beer industry is the third largest in the world, just behind the United States and China, which reinforces its popularity and how it moves the country's economy. From a projection of 23.93 billions liters of beer in the year 2040, the INPB (National Beverage Production Industry) comes up with the project to supply 5% of this amount with Pilsen beers, Pure Malt Lager and IPA (India Pale Ale) also, with the vision of further diversifying the offer of its products in the future. Given the stipulated percentage, the estimated production is 700 million liters for Pilsen, 300 million for Pure Malt Lager and 100 million for IPA. Located in Rio do Sul – SC, the installation values its proximity to the necessary raw materials and the large water supply. In addition, water quality is a fundamental point for INPB processes, and therefore, steps such as ion exchange and ultrafiltration will guarantee an excellent level of this raw material, without attributing unpleasant aromas or flavors to the products.

Keywords: Beer. Pilsen. Pure Malt. Ipa. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Penetração do consumo de cerveja dentro de casa	12
Figura 2 - Projeção futura do consumo de cerveja	13
Figura 3 - Logo INPB.....	14
Figura 4 - Organograma INPB.....	16
Figura 5 - Localização da sede do INPB	18
Figura 6 - Área de construção da INPB.....	19
Figura 7 - Layout da INPB	20
Figura 8 - Diagrama de blocos do processo.....	21
Figura 9 - Filtro prensa Industrial.....	27
Figura 10 - Fluxograma malteação Lager	33
Figura 11 - Fluxograma brassagem lager parte 1.....	38
Figura 12 - Fluxograma brassagem lager parte 2	38
Figura 13 - Fluxograma fermentação/maturação lager	45
Figura 14 - Fluxograma malteação IPA	53
Figura 15 - Fluxograma brassagem IPA parte 1	57
Figura 16 - Fluxograma brassagem IPA parte 2	57
Figura 17 - Fluxograma fermentação/maturação	62
Figura 18 – Fluxograma malteação pilsen	68
Figura 19 - Diagrama de blocos para utilidade quente.....	85
Figura 20 - Diagrama de blocos para utilidade fria.....	86
Figura 21 – Fluxo de caixa	102
Figura 22 - Gráfico do ponto de equilíbrio	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço de massa e energia maceração lager - parte 1	34
Tabela 2 - Balanço de massa e energia maceração lager - parte 2	34
Tabela 3 - Balanço de massa e energia germinação lager.....	35
Tabela 4 - Balanço de massa e energia secagem lager - parte 1.....	36
Tabela 5 - Balanço de massa e energia secagem lager parte 2.....	37
Tabela 6 - Balanço de massa e energia moagem lager	37
Tabela 7 - Balanço de massa e energia mosturação lager - parte 1	39
Tabela 8 - Balanço de massa e energia mosturação lager - parte 2	39
Tabela 9 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 1	40
Tabela 10 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 2	41
Tabela 11 - Balanço de massa e energia fervura lager - parte 1	42
Tabela 12 - Balanço de massa e energia fervura lager - parte 2.....	42
Tabela 13 - Balanço de massa e energia clarificação lager - parte 1	43
Tabela 14 - Balanço de massa e energia clarificação lager - parte 2	44
Tabela 15 - Balanço de massa e energia resfriamento lager	44
Tabela 16 - Balanço de massa e energia fermentação lager - parte 1	46
Tabela 17 - Balanço de massa e energia fermentação lager - parte 2	46
Tabela 18 - Balanço de massa e energia centrífuga lager - parte 1	48
Tabela 19 - Balanço de massa e energia centrífuga lager - parte 2	48
Tabela 20 - Balanço de massa e energia maturação lager	49
Tabela 21 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 1	50
Tabela 22 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 2	51
Tabela 23 - Balanço de massa e energia pasteurização lager	51
Tabela 24 - Balanço de massa e energia maceração IPA - parte 1	54
Tabela 25 - Balanço de massa e energia maceração IPA - parte 2	54
Tabela 26 - Balanço de massa e energia germinação IPA	55
Tabela 27 - Balanço de massa e energia secagem IPA - parte 1	55
Tabela 28 - Balanço de massa e energia secagem IPA - parte 2	56
Tabela 29 - Balanço de massa e energia mosturação IPA - parte 1	57
Tabela 30 - Balanço de massa e energia mosturação IPA - parte 2	58
Tabela 31 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 1	58

Tabela 32 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 2	59
Tabela 33 - Balanço de massa e energia fervura IPA - parte 1	59
Tabela 34 - Balanço de massa e energia fervura IPA - parte 2	60
Tabela 35 - Balanço de massa e energia clarificação IPA - parte 1	60
Tabela 36 - Balanço de massa e energia clarificação IPA - parte 2	61
Tabela 37 - Balanço de massa e energia fermentação IPA - parte 1	62
Tabela 38 - Balanço de massa e energia fermentação IPA - parte 2	63
Tabela 39 - Balanço de massa e energia centrífuga IPA - parte 1	63
Tabela 40 - Balanço de massa e energia centrífuga IPA - parte 2	64
Tabela 41 - Balanço de massa e energia maturação IPA	65
Tabela 42 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 1	66
Tabela 43 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 2	66
Tabela 44 - Balanço de massa e energia pasteurização IPA	67
Tabela 45 - Balanço de massa e energia maceração pilsen - parte 1	68
Tabela 46 - Balanço de massa e energia maceração pilsen - parte 2	69
Tabela 47 - Balanço de massa e energia germinação pilsen	70
Tabela 48 - Balanço de massa e energia secagem pilsen - parte 1	70
Tabela 49 - Balanço de massa e energia secagem pilsen - parte 2	71
Tabela 50 - Balanço de massa e energia moagem pilsen - parte 1	72
Tabela 51 - Balanço de massa e energia moagem pilsen - parte 2	72
Tabela 52 - Balanço de massa e energia mosturação - parte 1	73
Tabela 53 - Balanço de massa e energia mosturação - parte 2	73
Tabela 54 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen - parte 1	74
Tabela 55 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 2	74
Tabela 56 - Balanço de massa e energia fervura pilsen - parte 1	75
Tabela 57 - Balanço de massa e energia fervura pilsen - parte 2	75
Tabela 58 - Balanço de massa e energia clarificação pilsen - parte 1	76
Tabela 59 - Balanço de massa e energia clarificação pilsen – parte 2	76
Tabela 60 - Balanço de massa e energia fermentação pilsen – parte 1	77
Tabela 61 - Balanço de massa e energia fermentação pilsen – parte 2	78
Tabela 62 - Balanço de massa e energia centrífuga pilsen – parte 1	79
Tabela 63 - Balanço de massa e energia centrífuga pilsen – parte 2	79
Tabela 64 - Balanço de massa e energia maturação pilsen	80
Tabela 65 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 1	81

Tabela 66 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 2	81
Tabela 67 - Balanço de massa e energia pasteurização pilsen.....	82
Tabela 68 – Tabela SAC.....	98
Tabela 69 – Payback	104
Tabela 70 – Custo dos equipamentos	115
Tabela 71 – DRE parte 1	115

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	ANÁLISE DE MERCADO	12
3	A EMPRESA	14
3.1	Missão	15
3.2	Visão	15
3.3	Valores	15
3.4	Estrutura Organizacional	16
3.5	Localização	16
3.6	Layout	18
4	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS E DIAGRAMA PFD	21
4.1	Setor 100: Tratamento de Água	21
4.2	Setor 200: Malteação	23
4.3	Setor 300: Brassagem	25
4.4	Setor 400: Fermentação/Maturação	28
4.5	Setor 500: Resfriamento/Envase	29
5	BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO	31
5.1	Cerveja Lager Puro Malte	32
5.1.1	Setor 200: Malteação	32
5.1.2	Setor 300: Brassagem	38
5.1.3	Setor 400: Fermentação/Maturação	45
5.1.4	Setor 500: Resfriamento/Envase lager	49
5.2	Cerveja IPA	52
5.2.1	Setor 200: Malteação	53
5.2.2	Brassagem IPA	56
5.2.3	Setor 400: Fermentação/Maturação	61
5.2.4	Setor 500: Resfriamento/Envase	65
5.3	Cerveja Pilsen	67
5.3.1	Setor 200: Malteação	68
5.3.2	Setor 300: Brassagem	71
5.3.3	Setor 400: Fermentação/Maturação	77
5.3.4	Setor 500: Resfriamento/Envase	80
6	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA	83
7	UTILIDADES	85

7.1	Ciclo de refrigeração.....	86
7.2	Caldeira	87
7.3	Tratamento da água de caldeira	87
8	DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	88
8.1	Setor 200: Malteação.....	88
8.1.1	Tanque de maceração	88
8.1.2	Tanque de germinação	89
8.1.3	Secador de tambor rotativo	89
8.2	Setor 300: Brassagem	90
8.2.1	Moinho de martelo	90
8.2.2	Tanque de mosturação	90
8.2.3	Filtro prensa.....	91
8.2.4	Tanque de fervura.....	91
8.2.5	Trocador de calor casco tubos (integração).....	92
8.2.6	Trocador de calor casco tubos.....	92
8.2.7	Tanque de clarificação	93
8.2.8	Trocador de calor resfriamento.....	93
8.3	Setor 400: Fermentação/Maturação	94
8.3.1	Dorna de fermentação	94
8.3.2	Centrífuga.....	94
8.3.3	Dorna de maturação	95
8.4	Setor 500: Resfriamento/Envase	95
8.4.1	Filtro de membranas.....	95
8.4.2	Trocadores de calor (pasteurização)	96
9	VIABILIDADE FINANCEIRA.....	97
9.1	Financiamento	97
9.2	Custos e despesas	99
9.2.1	Custos fixos	99
9.2.2	Custos variáveis	100
9.3	Receita e deduções	100
9.4	Demonstração do resultado de exercício (DRE).....	101
9.5	Fluxo de caixa.....	102
9.6	Ponto de equilíbrio.....	102
9.7	Taxa interna de retorno	103
9.8	Payback.....	104

10 TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	106
11 CONCLUSÃO.....	107
REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICE A – Tabelas de Viabilidade Financeira.....	113
APÊNDICE B – Tabela para calcular o preço dos equipamentos.....	120

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a legislação brasileira, cerveja pode ser definida como uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo (PICCINI e MORESCO, 2002).

O consumo de cerveja no Brasil é datado desde meados de 1650, quando a companhia das Índias Orientais enviou para terras brasileiras amostras da bebida e também sua receita e o equipamento necessário para prepará-la. A ideia com essas ações era criar a primeira cervejaria do país (CERVEJA, 2017). Esse movimento de navios trazendo bebidas para o Brasil ocorreu durante todo o período de permanência da família real portuguesa no país.

Nas últimas décadas percebe-se um grande crescimento no setor cervejeiro no Brasil, sendo que, atualmente, o país passou a ocupar a terceira posição no ranking dos maiores produtores de cerveja e esse crescimento tende a aumentar nos próximos anos. Além disso, o consumo da bebida teve um crescimento significativo, aumentando assim as vendas e o consumo, em bares, mas também dentro das residências (ALVARENGA e SILVEIRA, 2022).

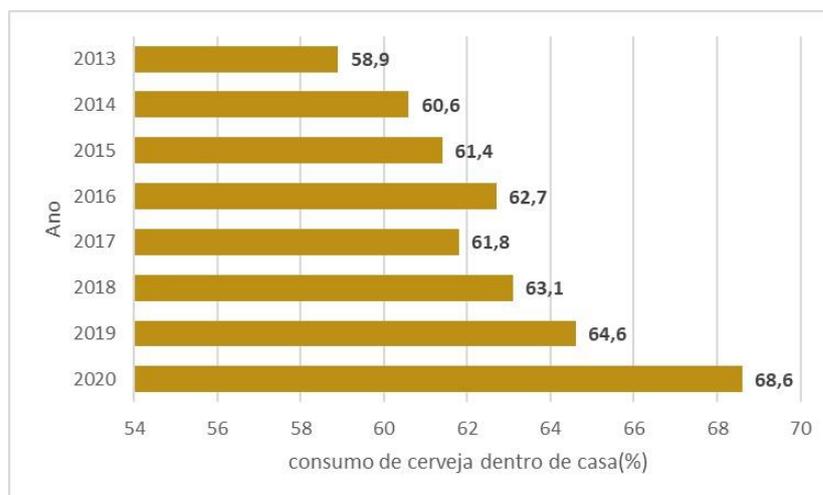
Diante desse cenário, ocorreu também um alto crescimento no número de cervejarias no país, para assim, atender a quantidade de consumo estimado. Dessas, em sua grande maioria foram microcervejarias e sendo assim, ainda há uma porcentagem desse consumo a ser atendida. (MAFRA, 2022). Considerando esse contexto, surge a Indústria Nacional de Produção de Bebidas (INPB), produzindo inicialmente cervejas do tipo: IPA, Pilsen e Puro malte, visando atender essa parcela de produção faltante para os próximos anos.

2 ANÁLISE DE MERCADO

O consumo de cerveja no Brasil, de forma equilibrada, já é considerado tradição, seja para celebrar com a família em um churrasco de domingo ou para um *happy hour* depois de um dia cansativo de trabalho. Por isso, a demanda por esse líquido tende a crescer mais do que os 14,32 bilhões de litros que foram vendidos, segundo a Euromonitor, no ano de 2021. Somando-se a isso, o país é o terceiro maior mercado consumidor de cerveja, ficando apenas atrás de Estados Unidos e China, mas o Brasil é o único destes que teve crescimento percentual de vendas de 5,3% no ano de 2020, enquanto os outros dois países tiveram queda de 3,4% e 7% respectivamente (ALVARENGA, 2021).

No entanto, a pandemia fez com que os brasileiros ficassem em casa, e com isso as vendas chamadas de *off-trade*, no qual o consumo não é no local, como supermercado, aumentou 17,6% em 2020. De acordo com a Figura 1, a penetração do consumo dentro de casa teve um aumento de 10% nos anos de 2013 a 2020, o que mostra que está mais comum encontrar cerveja na geladeira da população. No entanto, quando as restrições foram diminuindo, a venda *on-trade* foi aumentando devido às pessoas começarem a sair mais de casa e aproveitarem mais aquele “tempo perdido” quando os bares estavam fechados (ALVARENGA e SILVEIRA, 2022).

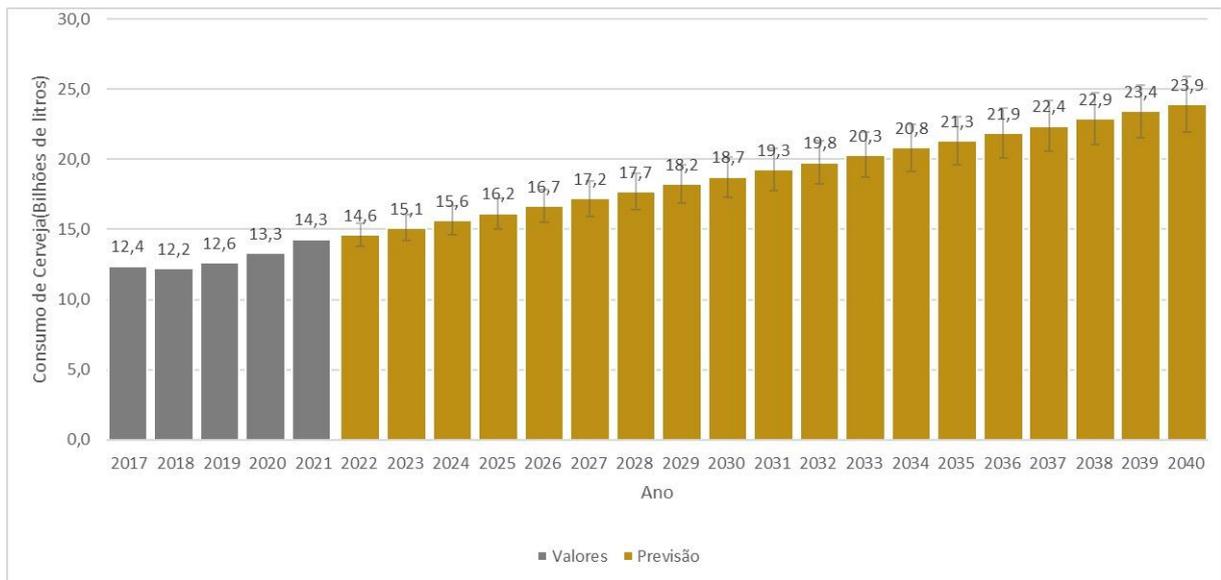
Figura 1 - Penetração do consumo de cerveja nos domicílios brasileiros



Fonte: Adaptado de G1 (2021).

Dessa maneira, de acordo com a projeção feita na Figura 2, haverá uma demanda de consumo de 23,93 bilhões de litros no ano de 2040, o que implica em uma maior produção das indústrias cervejeiras já existentes no país, ou ainda a implantação de novos empreendimentos/indústrias para suprir a demanda com cervejas de alta qualidade naquele ano projetado.

Figura 2 - Projeção futura do consumo de cerveja



Fonte: Autoria própria (2022).

3 A EMPRESA

Para garantir uma oferta de produto no mercado nacional cervejeiro, de acordo com a demanda projetada, a criação de uma nova indústria se faz necessário, visto que a das atuais ocorreria de forma onerosa e insuficiente para obter a produção necessária no ano de 2040.

Surge, neste contexto, a proposta da Indústria Nacional de Produção de Bebidas (INPB), uma indústria do tipo *business to people*, que visa suprir, de acordo com o estudo de mercado, 5% da demanda e contribuir no mercado nacional, *a priori*, de cervejas, podendo ainda se expandir para outros tipos de bebidas num futuro, diversificando sua oferta e alimentando mais a economia brasileira.

O nome escolhido para representar a empresa foi de Indústria Nacional de Produção de Bebidas (INPB), resumindo basicamente a visão a longo prazo da empresa que é se instaurar como uma gigante do mercado nacional, produzindo bebidas de um modo geral. Atrelado ao nome da empresa, moldou-se uma paleta de cores voltada à coloração característica da cerveja, produto principal da indústria, inserindo essa identidade visual na logomarca e nas marcas consequentes, construindo uma base visual que agregue valor e carregue o propósito da indústria por onde passar e a logo é mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Logo INPB



Fonte: Autoria própria (2022).

3.1 Missão

Impulsionar a paixão pela cerveja de modo consciente, oferecendo produtos de alta qualidade aos clientes e promovendo união entre as pessoas, gerando ótimos momentos entre famílias e amigos.

3.2 Visão

Estabelecer-se como empresa referência nacional na produção de bebidas, promovendo inovações, desenvolvendo e consolidando tecnologias sustentáveis para melhorar a qualidade do mercado, transformando momentos em grandes celebrações.

3.3 Valores

- Qualidade de entrega
- Inovação e Tecnologia de Ponta
- Sustentabilidade
- Inclusão e Diversidade
- Integralidade
- Liderança
- Foco no cliente
- Consumo consciente
- Engajamento em equipe
- Relevância no mercado

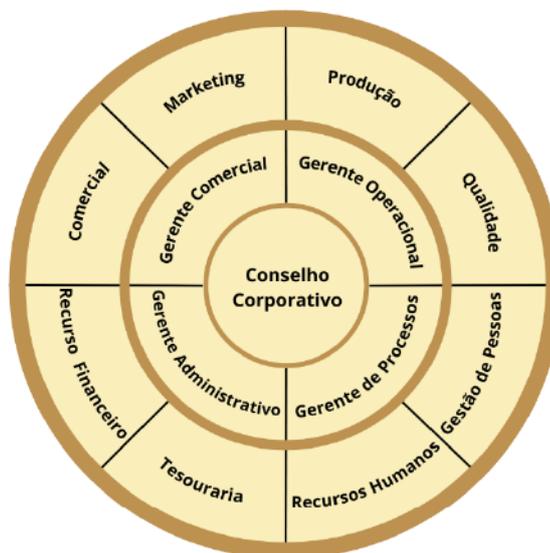
3.4 Estrutura Organizacional

O organograma de uma empresa é uma ferramenta de organização e documentação de estrutura organizacional de uma corporação, estabelecendo hierarquias necessárias para o melhor desempenho empresarial.

Para a INPB, foi escolhido um organograma do tipo circular, conhecido também como radial, assim, nele é proposto um modelo de estrutura em que os principais responsáveis são apresentados mais ao centro e em suas proximidades os cargos subjacentes. Partindo do conceito do próprio organograma, foi montado um modelo com um Conselho Corporativo ao centro e os cargos subsequentes aos redores da base, sendo compostos pelos gerentes e seus colaboradores.

O objetivo desta apresentação é demonstrar uma forma de liderança mais flexível, sendo menos rígida com as relações hierárquicas propostas. Nesse formato, os colaboradores são mais livres para tomarem decisões sem seus supervisores.

Figura 4 - Organograma INPB



Fonte: Autoria própria (2022).

3.5 Localização

O local escolhido para ser implantado a sede da empresa foi o município de Rio

do Sul, no interior de Santa Catarina, localizado a 197 km de Florianópolis, em uma região conhecida pela produção de cerveja e que abriga um dos maiores eventos de consumo de cerveja do país. Os principais fatores para a escolha desta cidade estão fundamentados em alguns pontos, como produção de matéria-prima, impostos, incentivos fiscais e custo das tarifas energéticas.

Em específico, as principais matérias-primas utilizadas na produção da cerveja são a cevada e o milho. O estado de Santa Catarina está localizado entre os dois maiores produtores de cevada, que em 2019, foram responsáveis por 96% da produção de cevada do Brasil. O milho, por sua vez, é produzido em altas quantidades em várias regiões do país, facilitando sua obtenção, e novamente Santa Catarina está entre o segundo e o terceiro maior produtor de grãos do país (CNA, 2017).

Uma vez definida a região Sul do país como a melhor opção para implementação da INPB devido à disponibilidade de matérias-primas, é necessário considerar outros fatores para a escolha do estado; entre tantos, escolheu-se ICMS, que é aplicado entre 20% e 30% de imposto em cada produto, e a tarifa energética, que varia de estado para estado. Diante disso, foram reunidos os dados apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - ICMS e tarifas energéticas no Sul do país

Estado	ICMS (%)	Tarifas Energéticas (R\$/mhW)
Rio Grande do Sul	27	762
Santa Catarina	25	748
Paraná	29	803

Fonte: Autoria própria (2022).

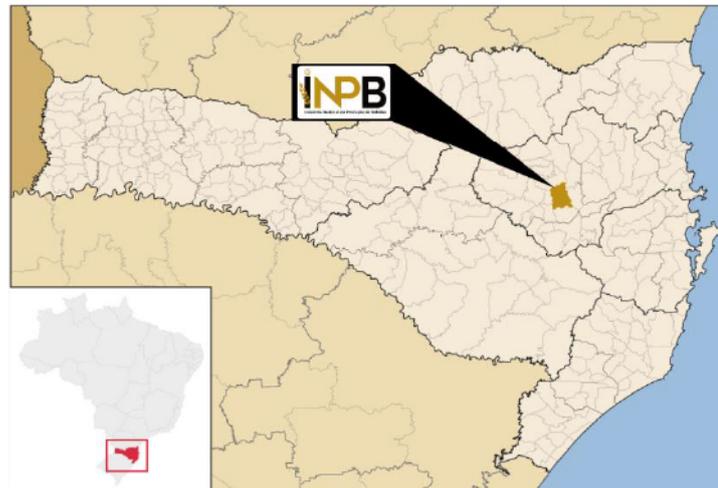
É possível perceber que para ambos os fatores, o estado de Santa Catarina se destaca com menores impostos e tarifas energéticas, e somado à disponibilidade das matérias-primas na região, foi escolhido como estado que apresenta as melhores condições para se abrigar a INPB. Em sequência, para se escolher a cidade de implantação, foram analisadas quais cidades possuem melhores incentivos fiscais para indústrias e disponibilidade de recursos hídricos.

Analisando a distribuição de Incentivos Fiscais pelo estado, fica claro que o

valor fornecido é proporcional ao número de habitantes; porém parte dos grandes polos industriais estão localizadas no litoral, ocasionando na ausência de rios para se conseguir recursos hídricos suficientes para a produção cervejeira. Entretanto, Rio do Sul aparece como uma das oito cidades que mais distribuem incentivos, estando também localizada próxima a vários grandes centros urbanos como Blumenau e Florianópolis, além do grande contato com o rio Itajaí-Açu, facilitando o acesso à água.

Portanto, a implantação de uma grande empresa como a INPB irá fortalecer o crescimento econômico de uma cidade como Rio do Sul e de toda a sua região. Na Figura 5 pode-se observar a localização geográfica da empresa.

Figura 5 - Localização da sede do INPB



Fonte: Autoria própria (2022).

3.6 Layout

Um *layout* eficiente, apresentado na Figura 7, é essencial para a organização e mapeamento de uma empresa. Ele influencia diretamente na otimização de fluxos de trabalho, na maximização do espaço e na redução de custos operacionais. Um bom *design* facilita a comunicação interna e promove eficiência, fundamental para o sucesso empresarial.

A fim de aprimorar a eficiência do ambiente de trabalho, delineamos cuidadosamente a disposição de cada setor dentro da empresa. Conforme as diretrizes de segurança estabelecidas pela NR 13, a caldeira foi posicionada em uma

área isolada, devido à natureza altamente perigosa de suas operações. Além disso, buscamos estabelecer normas de segurança e convivência adequadas, levando em consideração a complexidade dos processos realizados nessa seção.

Adotando uma abordagem estratégica, a área do escritório foi projetada para estar localizada na entrada da fábrica, facilitando o gerenciamento e a comunicação eficaz entre os diversos departamentos. Em consonância com práticas comuns da indústria, o refeitório foi posicionado no centro da fábrica, visando garantir o fácil acesso e a comodidade dos funcionários e colaboradores durante os intervalos de trabalho.

Com o objetivo de otimizar a cadeia de suprimentos, deliberamos posicionar o estoque de matérias-primas próximo à área de produção, com acesso estratégico para carga e descarga. Observando as exigências logísticas específicas do setor de malteação, os silos de armazenamento de grãos foram dispostos em proximidade às rodovias, simplificando o processo de transporte e garantindo uma gestão eficiente do fluxo de materiais.

Em relação ao tratamento de água, optamos por estabelecer a estação de tratamento próximo ao rio, visando facilitar a captação ágil de água e garantir um processo eficaz de tratamento. Essa disposição foi cuidadosamente planejada para minimizar o tempo e os recursos necessários para esse aspecto crucial da produção, contribuindo para uma abordagem sustentável e responsável em relação aos recursos hídricos. O terreno terá uma área de 1.031.919,57 m² e está apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Área de construção da INPB



Fonte: *Google Earth* (2023).

Figura 7 - Layout da INPB

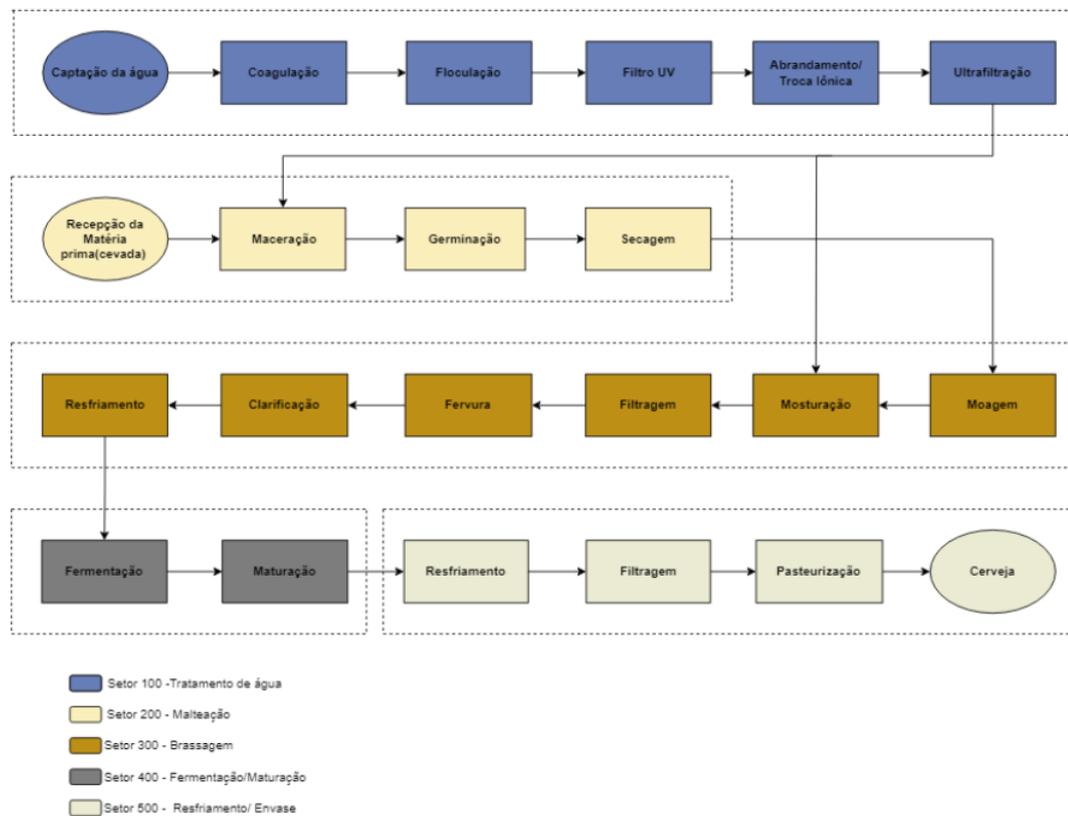


Fonte: Autoria própria (2023).

4 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS E DIAGRAMA PFD

O processo produtivo da INPB é estruturado segundo o seguinte diagrama de blocos da Figura 8.

Figura 8 - Diagrama de blocos do processo



Fonte: Autoria própria (2022).

O diagrama PFD representa o processo de uma forma mais detalhada quando comparada com o diagrama de blocos, pois os equipamentos estão em seus símbolos padrão, além de apresentar mais informações de engenharia química.

Como o diagrama está em um tamanho maior do que este documento, a sua visualização será feita através de um *link* do *drive* para que a qualidade seja mantida para uma observação mais clara. O *link* para acesso ao diagrama PFD: <https://app.diagrams.net/#G1ywTLUVctcB0hAy8le80R49jiUH443Y-W>

4.1 Setor 100: Tratamento de Água

O tratamento de água é uma etapa muito importante dentro da produção de cerveja, estipula-se que cerca de 90% da cerveja como produto final é a água, logo é de suma importância um tratamento minucioso para remover microrganismos patogênicos, vírus e qualquer bactéria que possa constar no processo. Além disso, sabe-se que o rio Itajaí-Açu que servirá de recurso hídrico para a empresa sofre com altas taxas de Fósforo (P) (ZUMACH, 2003), fazendo com que tenha a necessidade de uma desmineralização para que não contamine a cerveja e nem gere incrustações nas tubulações e nos encanamentos.

Captação de água: A água para ser usada durante os processos será principalmente captada do rio Itajaí-Açu da cidade de Rio do Sul/SC. Este rio que será utilizado como recurso hídrico da indústria passa dentro da cidade e por isso se torna de fácil acesso, abrindo portas para que a empresa se instale e tenha um subsídio para sua produção de bebidas.

Coagulação, Floculação e Decantação: A utilização de um coagulante no início do processo visa o auxílio para remoção de materiais específicos, aumentando a qualidade da água tratada, diminuindo o risco de acúmulo de material morto nos encanamentos e equipamentos usados ao longo da purificação, por exemplo, a presença de metais pesados, lodos biodegradáveis e materiais orgânicos em geral (CRISTINA e KONRADT-MORAES, 2009). É então adicionado um coagulante, que geralmente é sulfato de alumínio ou cloreto férrico, para que as impurezas presentes na água se aglomerem em corpos mássicos maiores, também conhecidos como flocos, havendo uma posterior decantação para que essas partículas maiores sejam eliminada por uma filtração estabelecida (CAESB, 2022).

Após essas etapas é utilizado um tanque de decantação, onde o material que ficou decantado, ou seja, os resíduos sólidos sedimentados são removidos.

Filtros UV: O tratamento com raios UV são feitos utilizando lâmpadas que emitem a luz sobre a água e assim todos os patógenos são inativados rapidamente e impedem que se multipliquem. A vantagem é que as propriedades físico-químicas da água não se alteram em odor e nem em sabor (RICHTER, 1991). Utilizando um reator ultravioleta como tecnologia de desinfecção para aumentar a segurança da água, obteve-se como resultado a ausência de coliformes totais e termotolerantes. Além disso, é de fundamental importância que as variáveis turbidez e cor aparente estejam com valores baixos para que a radiação UV atinja as bactérias de maneira uniforme,

o que nesse caso é o esperado. (CRUZ e GIRARD, 2017).

Abrandamento/Troca Iônica: Neste processo é aplicado um trocador iônico para a desmineralização de águas brutas, permitindo a remoção de calcários responsáveis pela dureza da água através de resinas zeolíticas; simultaneamente, há a remoção de demais íons, visto a grande quantidade de fósforo apresentada pela captação de água provinda do rio da região (KROTTENTHALER, 2009).

Segundo Melo, um estudo possibilitou verificar a qualidade da água através de análise de dureza, alcalinidade, pH e condutividade elétrica, bem como acompanhar o tratamento da água em um município. O processo de abrandamento utilizando a resina de troca iônica foi eficaz, apresentando boa relação custo-benefício, sendo uma tecnologia econômica promissora e pode servir de alternativa futura de produção de água potável (MELO e SILVA, 2015).

Ultrafiltração: Esse processo tem como objetivo a filtração destinada a remover sólidos físicos da água, passando-o através de uma membrana semi-permeável. Usando a ultrafiltração, os sólidos são capturados e descartados.

A ultrafiltração é um processo que utiliza membranas de tamanho na faixa de 1 nm a 100nm e com pressões de até 10 bar, com o objetivo de reter partículas em escala molecular, tais como bactérias, gorduras, proteínas e colóides, resultando em um melhor polimento da água, aprimorando a qualidade final (ROSENBERG, 1995).

Este processo se destaca como uma das principais operações da INPB, colocando-a à frente de suas concorrentes como um dos principais fatores para uma boa cerveja, possibilitando a perspectiva de eficiência geral para o processo de tratamento de água igual a 99%.

4.2 Setor 200: Malteação

A malteação é um processo artificial e controlado que ajuda na germinação do malte. Esse processo transforma internamente os grãos que tem como objetivo torná-los ricos em enzimas que ajudam a quebrar as cadeias de amidos e proteínas dos grãos, reduzindo o amido em açúcar, e gerando substratos solúveis e aminoácidos que são elementos indispensáveis para a produção da cerveja (TANCREDO, 2015). O malte escolhido para o processo influencia diretamente na qualidade da cerveja, afetando sua cor, sabor e aroma do produto final. O processo de malteação é dividido em três etapas, maceração, germinação e secagem, que serão

descritas em sequência. Cerca de 95% das sementes que entram no processo sofrem a germinação, quando conduzidas nas condições adequadas.

Maceração: A maceração tem por finalidade, aumentar o teor de umidade, em diferentes etapas, do grão de cevada, até que atinja um percentual de umidade entre 38 e 42% (KUNZE, 1999), além de fornecer oxigênio ao grão. Somado a isso, a etapa conta com a remoção de inibidores. Ambos os processos, são fundamentais para dar início a germinação (KREISZ, 2009).

Logo, o aumento da umidade do grão deve ser feita em condições controladas, a fim de evitar contaminações de microrganismos indesejados. Como por exemplo, a temperatura estando entre 14 a 18 °C, alimentação de oxigênio para a respiração do grão, alternância de ambientes seco e úmido. A eficiência da maceração depende da qualidade da cevada, no qual pode conter maior ou menor dormência, ação que impede o grão de germinar (KREISZ, 2009).

Germinação: Acontece logo depois do fim do processo de maceração e para ocorrer da maneira adequada é preciso uma condições controladas de temperatura (16 a 25°C), umidade (44 a 46%) e aeração (ZSCHOERPER, 2009).

Nessa etapa, observa-se a formação de radículas, que são formadas e crescem no decorrer do processo e são retiradas posteriormente, ao final do processo da secagem (TSCHOPE e NOHEL, 2009).

No início do processo, o grão faz uso de suas reservas, presentes na forma de amido, como alimento, pelo fato de ainda não possuir clorofila. Sendo assim, para que se consiga usar como fonte energética é preciso a atuação enzimática, permitindo que certas substâncias atuem no grão (PINTO, 2013).

Durante a germinação, é aplicado o ácido giberélico, que é um fitormônio, que já está presente nos grãos naturalmente e é responsável por provocar o crescimento. Quando o grão de cevada entra em contato a solução citada acima aumenta a produção de enzimas hidrolíticas, aumentando também a velocidade da germinação e a atividade da alfa amilase, reduzindo assim, o tempo de germinação (KUNZE, 1999).

É nesse processo onde ocorre a formação e ativação das enzimas pré-existentes na matéria-prima (Beta amilases). Ocorrem também diversas alterações no metabolismo do grão e em seu desenvolvimento, após o processo da germinação, tem-se o chamado “Malte Verde” (BARROS e GUESTI, 2016).

Segundo cálculos para o balanço material, foi estipulado que a taxa de

transformação de amido em açúcar durante a germinação é cerca de 6%.

Secagem: Tem como principal objetivo gerar melhores condições para o armazenamento, finalizar os processos bioquímicos e evitar contaminações microbiológicas, além de promover e atribuir paladar e aromas característicos (BARROS e GUESTI, 2016). Este processo é dado através de uma rampa de aquecimento que está com temperaturas entre 50 e 85°C (LEWIS e YOUNG, 1995), o processo vai aumentando sua temperatura cineticamente, sendo possível ultrapassar os 100°C (TELES, 2007). O tempo de duração do processo é variável, ocorrendo até que os grãos atinjam valores entre 5 e 10% de umidade (GORZOLKA, 2012).

Após o final do processo, a temperatura do grão é reduzida até 35°C, para que assim, não ocorra nenhuma perda enzimática, também ocorre a chamada degerminação, em que são retirados as radículas, reduzindo assim o peso do grão e finalizando a preparação do grão para o processo de brassagem (NOHEL, 2016).

4.3 Setor 300: Brassagem

Processo que pode ser considerado a parte inicial da produção, onde o que foi obtido na etapa anterior é elevado a altas temperaturas em meio aquoso, tendo um rígido controle da temperatura e do pH, permitindo assim a atuação das enzimas que transformam o amido dos grãos em açúcares, que podem ser fermentáveis, no caso da maltose e não fermentáveis, no caso a dextrina. Trata-se de uma etapa essencial do processo, pois é onde são produzidos os nutrientes essenciais para as etapas seguintes, principalmente a fermentação (COSTA, 2014).

Moagem do malte: O objetivo principal no processo da moagem do malte é realizar a desintegração completa do endosperma utilizando a trituração, para que todos os seus elementos constituintes estejam acessíveis à atuação da ação enzimática. A granulometria do malte não deve ser muito baixa ao ponto de tornar lenta a filtragem do mosto posteriormente, nem mesmo muito grossa, o que dificultaria a hidrólise do amido. Esta etapa tem grande influência sobre a mosturação, filtração e extração do bagaço, rendimento em extrato da brassagem e qualidade da cerveja (cor e paladar).

No início da produção o malte é enviado até moinhos de martelo que possuem como função promover um corte na casca e liberar o material amiláceo

(amido) para o processo, promovendo a diminuição da abertura de partícula do amido de modo a aumentar sua área superficial que futuramente vai ocasionar em um aumento na velocidade de hidrólise do amido (GUERREIRO, 1999).

A armazenagem do malte é feita em silos metálicos ou de concreto. Durante a armazenagem deve ser verificado: se o teor de umidade do malte está abaixo de 5% e nas cascas em 1,2% (GUERREIRO, 1999).

Mosturação: Esta etapa do processo consiste na mistura do malte moído com água, e caso seja necessário, é nessa etapa onde são colocados os complementos da cerveja. Na mosturação, o pH e a temperatura são controlados, para que haja a degradação do amido e das proteínas. Nesse processo, é possível obter uma extração de 65% dos sólidos totais do malte (JUNIOR e FERREIRA, 2009).

Nesse processo, as enzimas são ativadas para fazer a quebra dos nutrientes do malte. Sendo que as enzimas principais são amilase, que quebram o amido, as proteases que quebram as moléculas de proteínas e as glucanases que quebram os glucanos (GUERREIRO, 1999).

Filtração do mosto: Esta etapa do processo tem como objetivo separar o bagaço de malte do mosto líquido, melhorando a qualidade e os aspectos qualitativos, deixando o mosto límpido com baixa turgidez. Economicamente, esse processo obtém o máximo de extrato separado, com uma ótima rapidez de operação, deixando o bagaço de malte pronto para ser reutilizado em processos secundários. Neste processo há a geração de um subproduto que pode ser destinado à fabricação de ração animal (JUNIOR e FERREIRA, 2009).

Atualmente, utiliza-se equipamentos de separação com o intuito de realizar a lixiviação, do caldo e do bagaço. Equipamentos como, separadores centrífugos, tina de clarificação e filtros de mosto (GUERREIRO, 1999).

Finalizada a mosturação, o mosto segue adiante para a filtração, nesse processo busca-se a separação do extrato de malte das cascas do malte e de outros sólidos solúveis. A filtração ocorre em um recipiente denominado tina de filtração, sendo o equipamento, um filtro prensa, como o da Figura 9 e é feita em duas etapas: inicialmente, o líquido é filtrado pela própria torta de sólidos que foi decantada no fundo do tanque, ou seja, a própria casca do malte é utilizada como meio filtrante (BARBOSA, 2019).

Figura 9 - Filtro prensa Industrial



Fonte: Micronins (2022).

Fervura do mosto: A fervura do mosto a 100°C com o lúpulo estabiliza a composição por coagulação das proteínas, inativando as amilases e proteases, precipitando em flocos. Esta operação leva em torno de 90 minutos. Dentro disso, há efeitos que podem ser observados como a aromatização, concentração e esterilização do mosto, havendo uma caramelização de açúcares; isso se dá devido às reações químicas que ocorrem entre os componentes. Dependendo do processo, o lúpulo é acrescentado quando a fervura está entre o meio e o final do processo, podendo também ser adicionado em parcelas durante o processamento. A razão é que os óleos essenciais responsáveis pelo desenvolvimento do aroma são voláteis, ocasionando numa possível perda na fervura; no caso de ser xarope de açúcar, é adicionado como complemento do malte ao final da fervura (JUNIOR e FERREIRA, 2009).

Clarificação: Clarificação é o nome dado a qualquer processo em que os sólidos são removidos do mosto ou da cerveja para fornecer um líquido transparente. A clarificação do mosto é importante para que a cerveja produzida, que sai com uma cor mais escura principalmente devido ao malte, se torne um mosto mais claro com uma qualidade superior. Além disso, a redução de sólidos é de extrema importância na parte da fermentação, já que a presença de grandes quantidades de partículas suspensas tendem a aumentar o tempo de residência, demorando mais para fermentar (BUTTRICK, 2022).

Antes de iniciar a fermentação, é necessário retirar proteínas que coagulam e outros subprodutos, as quais são denominadas trub. Para isso, é realizada uma

rotação centrípeta, através de uma pá de *Whirlpool*, que irá depositar as impurezas no fundo do tanque e assim terá um mosto mais límpido e cristalino. Essa etapa irá acelerar o processo de resfriamento (SOUZA, 2018).

Resfriamento: Após a fervura e a clarificação, o mosto se encontra em alta temperatura, variando em torno de 90 a 95°C, havendo a necessidade de resfriá-lo para que o processo de fermentação ocorra bem e no menor tempo possível. Esse resfriamento tem como seu principal objetivo separar o material sólido que está em suspensão no mosto, e resfriar até sua temperatura ideal, por volta de 40°C, para assim, dar início a fermentação. Este processo é de grande importância pois os seus efeitos afetam diretamente no resultado das etapas seguintes (JUNIOR e FERREIRA, 2009).

4.4 Setor 400: Fermentação/Maturação

Fermentação: A fermentação é um processo metabólico de produção energética, desenvolvido pelas leveduras através do seu metabolismo anaeróbico ao consumir os substratos, sendo eles os carboidratos presente no mosto. Os principais produtos resultantes são: dióxido de carbono, álcool, ácidos, alcoóis superiores e aromáticos, somado a algumas variedades de ésteres, fundamentais para a formação dos atributos da cerveja como os aspectos sensoriais (ESSLINGER, 2009).

As principais leveduras utilizadas nos processos de fermentação cervejeira são as de alta fermentação, como *Saccharomyces cerevisiae*, e para baixa fermentação, a *Saccharomyces Uvarum*. Ambas são anaeróbias facultativas, pois ajustam o metabolismo na ausência de oxigênio (GUERREIRO, 1999). O meio ideal para a cinética dessa espécie de levedura, pode variar de uma temperatura entre 10 a 25°C. As principais características presentes na cerveja são adquiridas na etapa de fermentação, como o seu aroma, corpo, limpidez, e graduação alcoólica. Nessa etapa, entre 20 a 25% da quantidade total das proteínas são reduzidas devido à coagulação ou à precipitação (ESSLINGER, 2009).

Centrífuga: Uma centrífuga de cerveja empregada antes da embalagem pode reduzir a turbidez da cerveja, separando muitas ou a maioria das células de levedura da cerveja clara. É possível ligar a centrífuga a um sensor óptico que mede a turbidez da cerveja e sendo usado corretamente, essa configuração pode

ser usada para ajustar a contagem de células de neblina ou levedura no pacote final. Da mesma forma, uma centrífuga pode remover parte do fermento entre o final da fermentação primária e o início da fermentação secundária ou antes da defasagem. Para este caso, foi escolhido usá-la, principalmente, para fazer a recuperação da levedura e diminuir a quantidade de fermento usado a cada nova cerveja, dessa forma, com esse reciclo acontecendo dentro do tanque de fermentação é possível gastar menos e aumentar a eficiência econômica (CHLUP, 2022).

Maturação: É o processo onde ocorre uma fermentação complementar lenta, proporcionando mudanças de aroma e sabor, e também a clarificação, devido a precipitação das proteínas, leveduras e sólidos em suspensão. É neste processo onde podem ser adicionados os antioxidantes, para assim, prevenir a ação do oxigênio residual (JUNIOR e FERREIRA, 2009).

Também é de grande importância realizar essa etapa, pois quando ocorre o processo de envase sem ser realizada a maturação, a cerveja pode ser envasada com densidade alta, podendo ocasionar assim, a explosão da garrafa. Além disso, essa etapa atua como um aprimoramento ao sabor e aroma da cerveja, sendo fortemente marcada por diversas reações bioquímicas, químicas e físicas. A temperatura nesta etapa varia de acordo com o tipo de cerveja.

4.5 Setor 500: Resfriamento/Envase

Resfriamento: tem como objetivo abaixar a temperatura após a fermentação, para que possa passar pelo processo da filtração por membrana com uma temperatura menor para que não danifique o equipamento.

Filtragem: Nesta segunda filtragem, o objetivo principal é a remoção de quaisquer restos de material presente na cerveja já madura, dependendo do estilo de cerveja produzida. Antes de seguir os próximos processos, é importantíssimo para a qualidade da cerveja que haja uma retirada do excesso de suspensão coloidal (REINOLD, 1997) proporcionando a remoção de atividades indesejadas que alteram a qualidade final da cerveja, como os restos de leveduras e alterações do aspecto visual como a turbidez (BARBOSA, 2019).

A filtração por membrana utiliza-se de membranas de polietersulfona com diâmetro de 1,5mm e poro de 0,5mm, cuja diferença de pressão é usada como modelo de força motriz. A cerveja é transferida modularmente seguindo um fluxo

contínuo de cerveja que passa a membrana, evitando com que as partículas se depositem nas paredes do filtro, gerando um acúmulo de massa e, posteriormente, sendo necessário uma limpeza para não diminuir sua eficiência ao longo do tempo (BARBOSA, 2019).

Como foi utilizada anteriormente uma centrífuga para ajudar a separar o líquido do sólido por meio da rotação em alta velocidade, a carga desses sólidos diminui no mosto, favorecendo essa filtração que será realizada através de uma membrana, tomando um valor de eficiência esperado na casa de 99% para remoção desses sólidos.

Pasteurização: Ocorre quando a cerveja já está finalizada e por isso, é preciso realizar a pasteurização para que seja garantido que o produto esteja devidamente estéril a contaminantes e suas leveduras inativas, pois do contrário, pode ser gerado um excesso de carbonatação, ocasionando a explosão da garrafa. Pode ser realizado pré ou pós envase, mas devido ao volume total ser menor quando o produto ainda não foi envasado, esse foi o método escolhido para a indústria, dessa forma o líquido passa por um trocador de calor para ser pasteurizado. Além disso, esse processo é de extrema importância, para garantir assim, segurança para o consumidor (RAZA, 2020).

5 BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO

De uma forma geral, para a execução do balanço material global para a produção pode ser descrito de acordo com a Equação 1:

$$\sum \text{Acúmulo} = \sum \text{Entrada} - \sum \text{Saída} + \sum \text{Geração} - \sum \text{Consumo} \quad (1)$$

Considerando que a maior parte do processo da INPB ocorre em regime permanente, ou seja, não apresenta geração e consumo, a equação acima pode ser simplificada da seguinte forma:

$$\sum \text{Entrada} - \sum \text{Saída} = 0 \quad (2)$$

Assumindo as mesmas considerações, para o balanço energético da produção, a equação que pode ser assumida para os cálculos é definida por:

$$\dot{Q} = \Delta H + \dot{m}_{\text{convertida}} \cdot \Delta H_{\text{fermentação}} = H(T_{\text{final}}) - H(T_{\text{inicial}}) + \dot{m}_{\text{convertida}} \cdot \Delta H_{\text{fermentação}}$$

De forma que $H(T)$ é igual a:

$$H(T) = H(\text{referência}) + \int C_p \Delta T \quad (4)$$

Faz-se importante dizer que, em todos os processos (com exceção das dornas de fermentação), o segundo termo do balanço de energia é nulo devido à inexistência de reação química; para as demais, o primeiro termo representa a quantidade de energia que precisa ser transferida pelas fronteiras para aquecimento ou resfriamento para atingir uma determinada temperatura de operação. Houve também casos em que a transferência de calor se fez nula (sistemas adiabáticos), e então, nestes casos, a busca pela temperatura de saída da corrente foi determinada a partir das temperaturas e capacidades térmicas das correntes que alimentam. As vazões mássicas assumidas

nos cálculos foram definidas em kg/h, enquanto os valores de energia definidos por J/h.

5.1 Cerveja Lager Puro Malte

A cerveja puro malte possui 4 ingredientes principais em sua composição, sendo: malte, água, lúpulo e levedura. Em comparação com outros tipos de lager, possui amargor característico devido a maior quantidade de lúpulo usado em sua formulação. Dentro do grupo das cervejas de baixa fermentação, a puro malte tem coloração dourada entre 4 e 12 EBC (*European Brewing Convention*), corpo médio, nível de amargor entre 15 e 25 IBUs (*International Bitterness Unit*), que é o índice de amargor da cerveja, teor alcoólico entre 4,5 e 6% ABV (*Alcohol by Volume*), índice atrelado à quantidade álcool por volume de cerveja, apresentando uma densidade esperada entre 1,010 a 1,056 g/L correspondidos pelo OF (*Final Gravity* ou gravidade final) após a fermentação, somando a OG (*Original Gravity* ou gravidade original) antes do mosto ser fermentado (LOPES, 2021).

A INPB vai atender ao comércio nacional com uma produção de 300 milhões de litros anuais, e a empresa possui uma linha de produção com o foco de suprir essa demanda seguindo a Figura 6.

Quadro 2 - Informações da Cerveja Puro Malte

Ingredientes	Perfil médio do produto final
Malte Pilsen	ABV: 5
Malte Cristal	IBU: 24
Lúpulo (2,15 g/L)	OG: 1,052
Fermento Lage	FG: 1,013

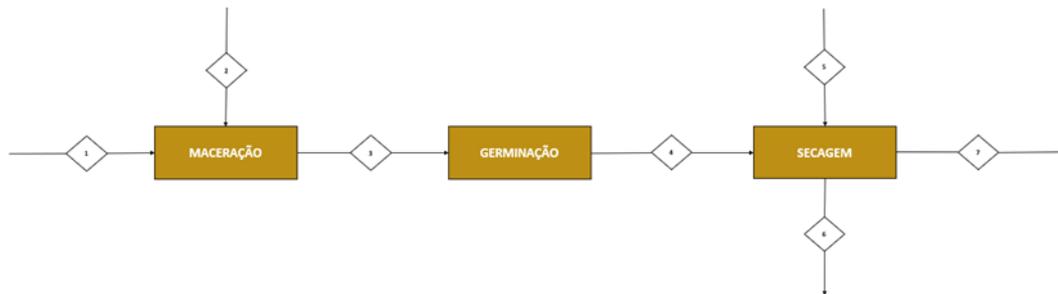
5.1.1 Setor 200: Malteação

No processo de malteação da lager puro malte, ocorre a preparação da cevada para a produção da cerveja. Na receita, utiliza-se o malte pilsen em maior quantidade, sendo preparado no setor, com uma composição de malte secundário do tipo cristal

de origem importada. Na preparação, inclui-se a transformação da cevada em malte, seguindo os processos de maceração, germinação e secagem.

A figura 10 contém a representação dos processos com as correntes mássicas de entrada e saída.

Figura 10 - Fluxograma malteação Lager



Fonte: Autoria própria (2022).

5.1.1.1 Maceração

A maceração, a primeira etapa do processo de malteação da cerveja, consiste no primeiro balanço material que foi desenvolvido na finalidade de controlar certos parâmetros do grão da cevada, buscando aumentar, através da adição de água, o teor de umidade do grão, além de ajudar no fornecimento de oxigênio ao grão, contribuindo na remoção de inibidores e sendo fundamental para o início da germinação. A eficiência desse processo sofre influência da qualidade da cevada, podendo conter maior ou menor dormência que impede o grão de germinar. Por isso, foi estipulado valores médios aproximados conforme embasamento teórico encontrado. Como mostrado na tabela a seguir, obteve-se um aumento de umidade de água no grão, saindo de 7% para 40% (KUNZE, 1999).

Em resumo, a maceração desempenha um papel crítico no processo de produção de cerveja tipo lager, desdobrando o malte em componentes solúveis essenciais para a fermentação e desenvolvimento do sabor. O balanço de energia nesse estágio do processo é de suma importância para garantir eficiência e consistência na produção de cerveja.

A maceração envolve a mistura controlada de malte moído com água, criando um ecossistema ideal para a ação das enzimas que transformarão os amidos do malte em açúcares fermentáveis.

Para todo o processo, foi considerada a temperatura de referência de 17,8°C como temperatura ambiente de Rio do Sul, SC. Para fins de cálculos, foi considerado que ambas as temperaturas de entrada, tanto dos cereais quanto da água, são iguais e entraram na mesma temperatura de referência conforme as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Balanço de massa e energia maceração lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 1 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 2 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1657,75	0	13025,17585	0
Proteína	2368,21	0	0	0
Gorduras totais	473,64	0	0	0
Amido	15156,55	0	0	0
Açúcares	236,82	0	0	0
Fibra Alimentar	2841,85	0	0	0
Minerais	236,82	0	0	0
Compostos Orgânicos	236,82	0	0	0
Lipídios	473,64	0	0	0
TOTAL	23682,11	0	13025,18	0
Temperatura: 17,8°C		Temperatura: 17,8°C		

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 2 - Balanço de massa e energia maceração lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 3 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
14682,92	0
2368,21	0
473,64	0
15156,55	0
236,82	0
2841,85	0
236,82	0
236,82	0
473,64	0
36707,29	0
Temperatura: 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.1.2 Germinação lager

No início da germinação o grão faz uso de suas reservas de amido como alimento pois ainda não possui clorofila. Sendo assim, para que se consiga usar como fonte energética, é preciso a atuação enzimática, permitindo que certas substâncias atuem no grão (PINTO, 2013). Basicamente, a germinação consiste na transformação do amido contido no grão, em carboidratos mais simples e fermentescíveis.

Foram moldados valores para balanço assumindo uma conversão de amido na faixa de 6,6%, enquanto os açúcares são formados a uma taxa de formação inversamente proporcional, além da formação de água, numa proporção mássica de 1,0197 sobre a quantidade inicial (BARBOSA, 2019).

Nessa etapa, não houve variação de temperatura ao longo do processo de germinação, pois considerou-se para fins de cálculo a quantidade de energia fornecida ao sistema igual à quantidade de energia consumida e/ou armazenada no processo, resultando em uma conservação líquida de energia.

Nesse contexto, o processo de germinação é caracterizado por uma eficiência energética equilibrada, onde a energia fornecida para a ativação das enzimas responsáveis pela conversão do amido em açúcares é igual à energia consumida nesse processo e à energia armazenada nos açúcares formados e na água absorvida pelos grãos.

Tabela 3 - Balanço de massa e energia germinação lager

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 3 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 4 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	14682,92382	0	14972,37214	0
Proteína	2368,211384	0	2368,211384	0
Gorduras totais	473,6422768	0	473,6422768	0
Amido	15156,55286	0	14209,2683	0
Açúcares	236,8211384	0	894,6576339	0
Fibra Alimentar	2841,853661	0	2841,853661	0
Minerais	236,8211384	0	236,8211384	0
Compostos Orgânicos	236,8211384	0	236,8211384	0
Lipídios	473,6422768	0	473,6422768	0
TOTAL	36707,29	0	36707,29	0

Temperatura: 17,8°C	Temperatura: 17,8°C
Fonte: Autoria própria (2023).	

5.1.1.3 Secagem lager

Nesse processo, os grãos chegam com uma alta porcentagem de água, e para inibir a germinação, é necessário reduzir essa porcentagem. Por isso é realizado o processo de secagem desses grãos germinados. Para isso, há uma entrada de corrente de ar (77% ar seco contendo 23% de água devido a sua umidade relativa) que arrasta a umidade das sementes, diminuindo de 40,79% para 7,50%. Foi utilizada como consideração de uma corrente de massa de ar 5 vezes maior que a do grão (razão 5:1) conforme pesquisa de campo e que foi suficiente para garantir uma umidade relativa do ar em 50%.

Com base nas informações fornecidas e considerando que o balanço energético geral é zero, pode-se concluir que a energia fornecida pelo aquecimento da corrente de ar e a energia necessária para evaporar a água dos grãos e aquecer os grãos secos são equilibradas. Isso significa que a energia consumida na secagem é compensada pela energia fornecida pela corrente de ar aquecida. Foi utilizado ferramentas computacionais para estipular a temperatura de entrada necessária do ar para maior eficiência e afins de cálculos do sistema, mantendo um balanço energético equilibrado na secagem para garantir a eficiência do processo e a produção de malte de alta qualidade para a fabricação da cerveja.

Tabela 4 - Balanço de massa e energia secagem lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 4 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 5 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	14972,37	0	42164,91634	1,17722E+11
Ar	0,00	0	141160,8069	18245300604
Proteína	2368,21	0	0	0
Gorduras totais	473,64	0	0	0
Amido	14209,27	0	0	0
Açúcares	894,66	0	0	0
Fibra Alimentar	2841,85	0	0	0
Minerais	236,82	0	0	0
Compostos Orgânicos	236,82	0	0	0
Lipídios	473,64	0	0	0
TOTAL	36707,29	0	183325,72	1,35967E+11

Temperatura: 17,8°C	Temperatura: 145,65°C
Fonte: Aatoria própria (2023).	

Tabela 5 - Balanço de massa e energia secagem lager parte 2

SAÍDA - CORRENTE 6 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 7 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
55375,00	1,31258E+11	1762,29	199933022,2
141160,81	3868804848	0,00	0
0,00	0	2368,21	131432,1969
0,00	0	473,64	26005,70839
0,00	0	14209,27	483807826,7
0,00	0	894,66	95557467,07
0,00	0	2841,85	146254,8215
0,00	0	236,82	20029637,61
0,00	0	236,82	7832345,39
0,00	0	473,64	32523493,23
196535,80	1,35127E+11	23497,21	839987485
Temperatura: 45°C		Temperatura: 45°C	

Fonte: Aatoria própria (2023).

5.1.1.4 Moagem lager

Esse processo é realizado em moinhos e não ocorre variação na massa do produto, pois apesar de gerar resíduos, estes são retirados em um processo de filtragem posterior e aproveitado como subproduto da empresa.

A temperatura no processo é constante (45 °C), sendo assim, também não existe variação no balanço energético dessa etapa.

Tabela 6 - Balanço de massa e energia moagem lager

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 7 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 8 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1762,290633	0	1762,290633	0
Proteína	2368,211384	0	2368,211384	0
Gorduras totais	473,6422768	0	473,6422768	0
Amido	14209,2683	0	14209,2683	0
Açúcares	894,6576339	0	894,6576339	0
Fibra Alimentar	2841,853661	0	2841,853661	0
Minerais	236,8211384	0	236,8211384	0
Compostos Orgânicos	236,8211384	0	236,8211384	0

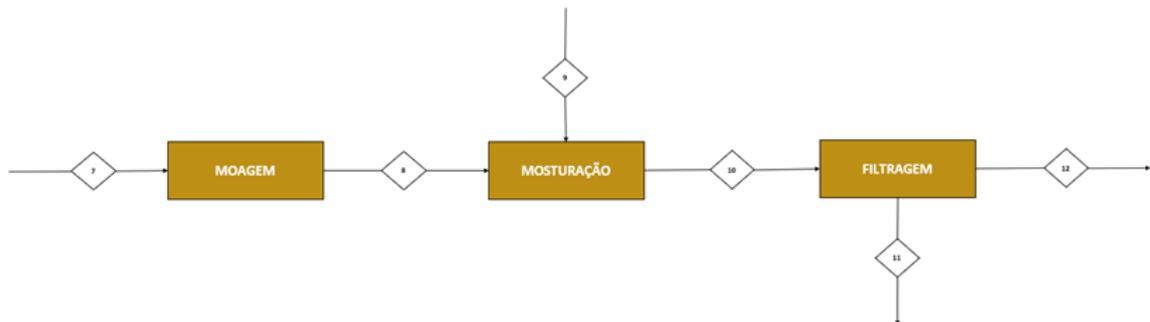
Lipídios	473,6422768	0	473,6422768	0
TOTAL	23497,21	0	23497,21	0
Temperatura: 45°C			Temperatura: 45°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2 Setor 300: Brassagem

Na brasagem a cerveja ganha corpo e ocorre a extração dos sólidos solúveis presentes na cevada e os aromas do lúpulo. Na Figuras 11 é representado os processos envolvendo os materiais maltados e o chá da cerveja que é produzido.

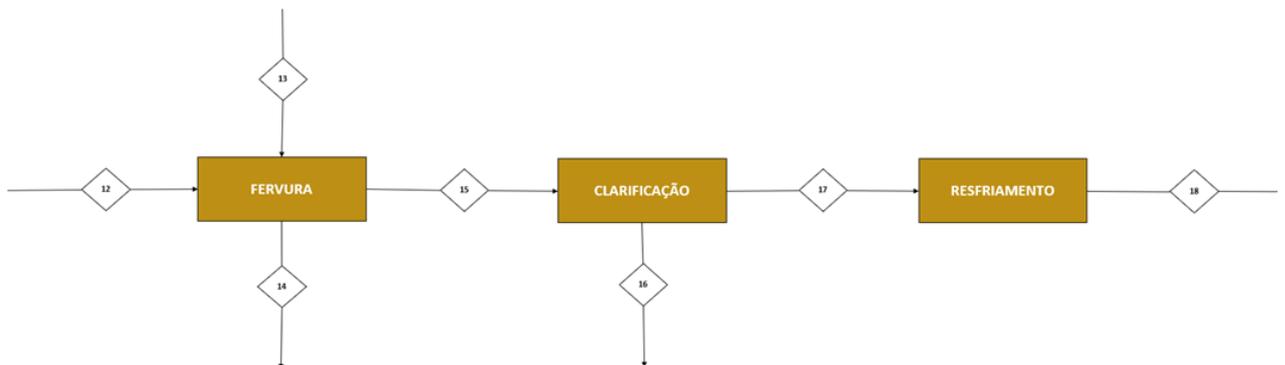
Figura 11 - Fluxograma brassagem lager parte 1



Fonte: Autoria própria (2022).

Na sequência, a Figura 12 contém uma representação dos processos de onde há maior taxa de aquecimento (conhecido como setor quente do processo) e é quando se adiciona o lúpulo na receita.

Figura 12 - Fluxograma brassagem lager parte 2



Fonte: Autoria própria (2022).

5.1.2.1 Mosturação lager

Nessa etapa ocorre a adição de água, para realizar a mistura dos grãos moídos com água, etapa na qual se inicia a formar um tipo de chá de malte. Foi considerado uma razão de 4 kg de água para cada kg de malte alimentado, havendo também uma conversão total de amido em açúcares (GUERREIRO, 1999).

Para o balanço energético foi utilizado o uso de ferramentas computacionais e ajustes energéticos para determinar a temperatura ideal de entrada da água, sendo uma prática importante para garantir que a conversão do amido em açúcares ocorra de forma eficiente. A temperatura da água pode influenciar a atividade das enzimas e, portanto, o rendimento da mosturação.

Para o balanço energético geral foi considerado zero, concluindo que a energia liberada durante a conversão do amido em açúcares é equilibrada pela energia absorvida pela água e pelos grãos, resultando em uma temperatura final de 66°C conforme as Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Balanço de massa e energia mosturação lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 8 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 9 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1762,29	199933022,2	93988,83378	21450908461
Proteína	2368,21	131432,1969	0	0
Gorduras totais	473,64	26005,70839	0	0
Amido	14209,27	483807826,7	0	0
Açúcares	894,66	95557467,07	0	0
Fibra Alimentar	2841,85	146254,8215	0	0
Minerais	236,82	20029637,61	0	0
Compostos Orgânicos	236,82	7832345,39	0	0
Lipídios	473,64	32523493,23	0	0
TOTAL	23497,21	839987485	93988,83	21450908461
	Temperatura: 45°C		Temperatura: 72,34°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 8 - Balanço de massa e energia mosturação lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 10 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)

95751,12	19314629564
2368,21	235104,4905
473,64	46494,07201
0,00	0
15103,93	2868356367
2841,85	262111,1581
236,82	35613002,84
236,82	13926030,22
473,64	57827269,76
117486,04	22290895943

Temperatura: 66°C

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2.2 Filtragem lager

A filtragem do mosto é realizada para que o bagaço do malte possa ser separado do mosto líquido, melhorando a qualidade e os aspectos qualitativos, deixando o mosto límpido com baixa turbidez. Por ser realizada através de um filtro prensa, foi estipulado uma eficiência média de 90% sobre a remoção de sólidos. Neste processo, há principalmente a retirada das 29 fibras alimentares que são resquícios de cascas e sólidos suspensos provenientes do bagaço dos grãos, conforme indicado pelas correntes nas Tabelas 9 e 10.

Para a energia dessa etapa, a temperatura do mosto e dos sólidos permanece constante durante o processo, e se as temperaturas permanecem constantes e não há trocas de calor significativas, o balanço energético pode ser considerado próximo de zero, uma vez que a energia fornecida para operar o filtro prensa é compensada pela energia utilizada na separação dos sólidos.

Tabela 9 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 10 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 11 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	95751,12	19314629564	13606,5849	2744679487
Proteína	2368,21	235104,4905	876,5999809	87024,57613
Gorduras totais	473,64	46494,07201	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	15103,93	2868356367	64,86839859	12319027,84
Fibra Alimentar	2841,85	262111,1581	2557,668295	235900,0423

Minerais	236,82	35613002,84	0	0
Compostos Orgânicos	236,82	13926030,22	0	0
Lipídios	473,64	57827269,76	426,2780491	52044542,78
TOTAL	117486,04	22290895943	17532,00	2809365982
Temperatura: 66°C			Temperatura: 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 10 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 12 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
82144,54	16569950077
1491,61	148079,9143
473,64	46494,07201
0,00	0
15039,06	2856037339
284,19	26211,11581
236,82	35613002,84
236,82	13926030,22
47,36	5782726,976
99954,04	19481529961
Temperatura: 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2.3 Fervura lager

Durante o processo de fervura é esperado a estabilização por coagulação das proteínas, inativando as amilases e proteases, ou seja, esse processo é marcado por vários processos biológicos, sendo importante para o processo de caracterização da cerveja. Essa etapa possui a entrada do lúpulo, a quantidade adicionada varia conforme o estilo de cerveja produzida; para o caso da lager serão adicionados à receita 2,15g de lúpulo para cada litro de mosto. Dentro do processo de fervura, o tanque opera em altas temperaturas, chegando a atingir 100°C, e devido a isso parte da água presente no mosto é evaporada (estimado 15% de perda de água) (BARBOSA, 2019). Na Tabela 6, a corrente 14 representa as perdas por evaporação, enquanto a corrente 15 segue no processo.

Com a ajuda de ferramentas de cálculos computacionais, considerou-se que o balanço energético do processo de fervura é igual a zero, isso significa que a quantidade de energia fornecida para o processo é igual à quantidade de energia

consumida e/ou armazenada no processo. Isso implica que todas as entradas de energia, como a energia fornecida para manter a fervura, a energia liberada durante a coagulação de proteínas e a inativação de enzimas, e a energia liberada pela adição de lúpulo, são equilibradas pelas saídas de energia, incluindo a energia consumida pela evaporação da água. Um balanço energético zero sugere que o processo de fervura está ocorrendo de maneira eficiente, onde todas as mudanças de energia estão se compensando, resultando em uma temperatura final desejada e em um mosto de qualidade para as etapas subsequentes da produção de cerveja.

Tabela 11 - Balanço de massa e energia fervura lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 13 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 15 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	82144,54	23463978932	69822,85859	24019552113
Proteína	1491,61	210853,5486	1491,611403	254886,0664
Gorduras totais	473,64	66139,5698	473,6422768	79876,50102
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	15039,06	4044309104	15039,05754	4870669487
Fibra Alimentar	284,19	37370,01644	284,1853661	45200,93847
Minerais	236,82	50430010,02	236,8211384	60734208,17
Compostos Orgânicos	236,82	19720040,09	236,8211384	23749371,04
Lipídios	47,36	8188665,826	47,36422768	9861828,992
Lúpulo	202,70	27586941116	202,7018084	30691567,3
TOTAL	100156,74	55173882232	87835,06	29015638539
	Temperatura: 86°C		Temperatura: 100°C	

Tabela 12 - Balanço de massa e energia fervura lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 14 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
12321,68	32047546174
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
12321,68	32047546174

Temperatura: 100°C
Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2.4 Clarificação lager

Essa etapa possui grande importância no processo, e é conhecida como Whirlpool, pois nela são removidos os sólidos do mosto, deixando-o mais translúcido, e se faz necessário para que a fermentação ocorra da maneira desejada no processo. A clarificação realizada nesta etapa tem como objetivo decantar alguns componentes presentes no mosto, e apresenta eficiência de remoção de sólidos em torno de 75%, de acordo com pesquisa em campo. Está etapa a temperatura é de 77°C.

Nessa etapa, é feito um tipo de filtração que retira principalmente restos de fibras alimentares, compostos orgânicos, além de remover boa parte dos lipídios presentes e certas quantidades de lúpulo. Para esse processo foi estabelecido 1% de perda de açúcares fermentescíveis e água, além de que o trub retirado apresenta umidade de 60%.

Foi considerado o balanço energético geral igual a zero, implicando que a energia fornecida para a operação do processo (como agitação para formar o whirlpool) é equilibrada pela energia consumida na remoção de sólidos e na perda de açúcares fermentescíveis e água.

Tabela 13 - Balanço de massa e energia clarificação lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 16 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 17 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	69822,86	17309780559	68648,57068	17007820684
Proteína	1491,61	182549,9541	1491,611403	182431,7582
Gorduras totais	473,64	57289,58053	473,6422768	57252,59401
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	15039,06	3510066282	14888,66696	3472751792
Fibra Alimentar	284,19	32337,1722	71,04634152	8079,039716
Minerais	236,82	43768335,51	236,8211384	43740451,62
Compostos Orgânicos	236,82	17115073,55	59,2052846	4276042,475
Lipídios	47,36	7106964,149	11,84105692	1775609,113
Lúpulo	202,70	22117993,39	50,67545211	5525975,621
TOTAL	87835,06	20910227384	85932,08	20536138318
	Temperatura: 77°C		Temperatura: 77°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 14 - Balanço de massa e energia clarificação lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 18 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
1174,2879020	291117641,3
0,0000000	0
0,0000000	0
0,0000000	0
150,3905754	35100662,82
213,1390246	24252,87915
0,0000000	0
177,6158538	12836305,17
35,5231708	5330223,112
152,0263563	16588495,04
1902,98	360997580,3
Temperatura: 77°C	
Fonte: Autoria própria (2023).	

5.1.2.5 Resfriamento lager

Essa etapa, é de extrema importância para o processo, pois o produto sai da clarificação a uma alta temperatura, sendo necessária uma grande redução para que a fermentação ocorra em condições ideais, melhorando assim, a eficiência do processo.

Não ocorrem variações na massa do produto, apenas de temperatura, o que gera uma diferença na entalpia do processo.

Tabela 15 - Balanço de massa e energia resfriamento lager

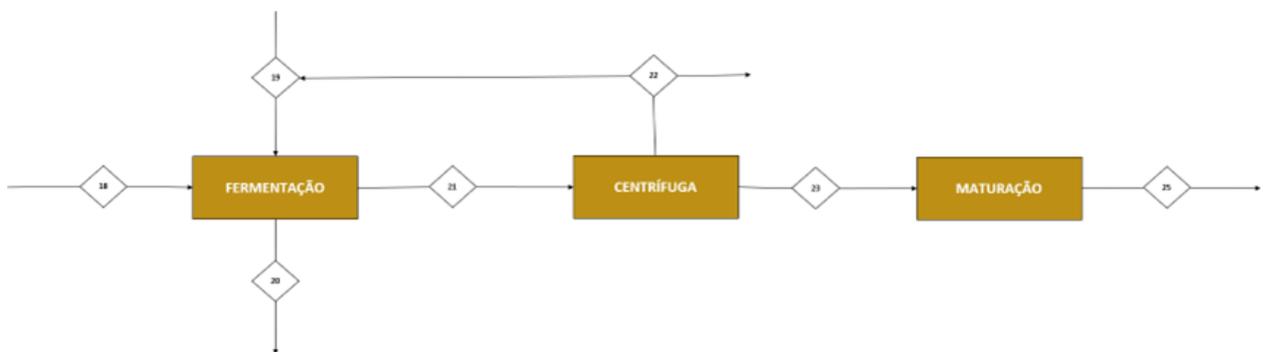
COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 17 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 18 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	68648,57068	17007820684	68648,57068	-3102778098
Proteína	1491,611403	182431,7582	1491,611403	-32604,93206
Gorduras totais	473,6422768	57252,59401	473,6422768	-10239,28784
Amido	0	0	0	0
Açúcares	14888,66696	3472751792	14888,66696	-633542556,6
Fibra Alimentar	71,04634152	8079,039716	71,04634152	-1433,193862
Minerais	236,8211384	43740451,62	236,8211384	-7979676,985
Compostos Orgânicos	59,2052846	4276042,475	59,2052846	-780088,8299
Lipídios	11,84105692	1775609,113	11,84105692	-323928,6895
TOTAL	85881,41	20530612342	85881,41	-3745448626

Temperatura: 77°C	Temperatura: 7°C
Fonte: Aatoria própria (2023).	

5.1.3 Setor 400: Fermentação/Maturação

No setor 400, considerado como fase fria da produção, é a etapa que requer o maior tempo da produção, pois é onde ocorre a formação da cerveja em si. Um esquema deste setor é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma fermentação/maturação lager



Fonte: Aatoria própria (2022).

5.1.3.1 Fermentação lager

Para o processo de fermentação, sabe-se que ocorre reação da levedura em contato com o mosto inoculado, gerando uma taxa de consumo de açúcares fermentescíveis nas reações e respiração celular, produzindo álcool, gás carbônico, água e microcomponentes de baixa proporção calculados. Foram encontrados valores necessários em pesquisa de campo para esse balanço material, como a formação de dióxido de carbono (CO₂) igual a 0,115 L por litro de mosto; volume específico de CO₂ igual a 550 litros por quilograma; uma taxa de crescimento do fermento igual a 0,015; um açúcar residual igual a 31,43 gramas por litro; taxa de conversão dos açúcares igual a 0,82615, solubilidade de CO₂ em água a 0,01 (0,1%). Além dessas variáveis, nesse processo, há uma entrada de fermento (levedura) que terá uma importante função para a fermentação da cerveja. Foi estimado uma entrada de levedura igual a 1,2 gramas por litro, com uma diluição do fermento igual a 10.

Atrelado a esse processo, está ligado um reciclo proveniente de uma centrífuga posterior que faz com que parte dessa levedura seja reaproveitada no processo, fazendo com que diminua a quantidade necessária de entrada de leveduras. Para as correntes de entrada e saída, é visto que há a entrada de lúpulo que posteriormente é retirado em grande parte, tendo que parte reage com o mosto e parte é reciclada por uma centrífuga; na saída temos a corrente de saída de CO₂, partes retiradas de fermento do processo inicial e partes de saída que ficarão anexadas ao mosto fermentado, seguindo junto na corre de entrada da Maturação.

Considerando o balanço energético geral, o processo é afetado pelo calor gerado durante a fermentação, pelo consumo de açúcares, pelo crescimento das leveduras, pela eficiência na reciclagem de levedura e pela entrada e saída de ingredientes como o lúpulo e o CO₂.

Tabela 16 - Balanço de massa e energia fermentação lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 18 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 19 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	69255,69	-3130218705	591,1302132	-26717903,38
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	1491,61	-32604,93206	0	0
Gorduras totais	473,64	-10239,28784	0	0
Fermento	98,02	-1384689,289	60,71199516	-857641,9284
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	14888,67	-633542556,6	0	0
Fibra Alimentar	71,05	-1433,193862	0	0
Minerais	236,82	-7979676,985	0	0
Compostos Orgânicos	59,21	-780088,8299	0	0
Lipídios	11,84	-323928,6895	0	0
Lúpulo	50,68	-1008117,174	0	0
TOTAL	86637,22	-3775282040	651,84	-27575545,3
	Temperatura: 7°C		Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 17 - Balanço de massa e energia fermentação lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE20 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 21 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
0,00	0	77215,63	-3489991840
0,00	0	1491,61	-32604,93206

0,00	0	473,64	0
0,00	0	99,49	-1405459,628
0,00	0	0,00	0
16,17	-137929,3747	0,00	0
0,00	0	2588,18	-110132387,1
0,00	0	4331,48	-120224593,5
0,00	0	71,05	-1433,193862
0,00	0	236,82	-7979676,985
0,00	0	59,21	-780088,8299
0,00	0	11,84	-323928,6895
0,00	0	50,68	-1008117,174
16,17	-137929,3747	86629,62	-3731880130
Temperatura: 7°C		Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.3.2 Centrífuga lager

Nesta etapa do processo haverá o reaproveitamento do fermento, que irá retornar para o processo de fermentação, com uma razão de purga de 50%, conforme pesquisa em campo. Realizando esse reciclo é possível reaproveitar determinada quantidade das leveduras, diminuindo assim a utilização de fermento novo. A reciclagem de fermento é benéfica não apenas do ponto de vista econômico, mas também do ponto de vista ambiental, pois reduz a quantidade de resíduos e a necessidade de produzir fermento novo, economizando recursos.

A eficiência da centrifugação em separar as leveduras dos sólidos é relevante para o balanço energético. Uma centrífuga altamente eficaz pode economizar energia, uma vez que requer menos tempo e potência para realizar a separação. A umidade do fermento a 0,3 indica que parte do fermento retido pela centrífuga contém água. Isso pode afetar o balanço energético, uma vez que a água presente no fermento pode absorver energia durante o processo de centrifugação.

Um balanço de energia zero indica que a energia fornecida para operar a centrífuga e realizar a separação dos sólidos é equilibrada pela energia consumida e/ou armazenada no processo. Isso sugere que a centrífuga opere de maneira eficiente, com a energia total do sistema permanecendo constante. A alta eficiência da centrífuga, combinada com a reciclagem do fermento, permite alcançar um balanço energético zero, o que é positivo tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental.

Tabela 18 - Balanço de massa e energia centrífuga lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 21 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 22 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77215,63	-3489991840	31,97947676	-1445408,391
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	1491,61	-32604,93206	0	0
Gorduras totais	473,64	0	0	0
Fermento	99,49	-1405459,628	74,61877911	-1054094,721
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2588,18	-110132387,1	0	0
Etanol	4331,48	-120224593,5	0	0
Fibra Alimentar	71,05	-1433,193862	0	0
Minerais	236,82	-7979676,985	0	0
Compostos Orgânicos	59,21	-780088,8299	0	0
Lipídios	11,84	-323928,6895	0	0
Lúpulo	50,68	-1008117,174	0	0
TOTAL	86629,62	-3731880130	106,60	-2499503,112
	Temperatura: 7°C		Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 19 - Balanço de massa e energia centrífuga lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 24 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
77183,65	-3494128610
0,00	0
1491,61	-32656,92883
473,64	0
24,87	-351927,1418
0,00	0
0,00	0
2588,18	-110308614,9
4331,48	-120416970,2
71,05	-1435,475677
236,82	-7992445,623
59,21	-781337,0848
11,84	-324447,0223
50,68	-1009730,307
86523,03	-3735348175
Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.3.3 Maturação lager

O processo de maturação se trata de uma etapa complementar da fermentação, visto que se trata de uma fermentação lenta. Durante o processo, não ocorre alteração na vazão mássica do produto, mas ocorrem alterações relacionadas a energia de entrada e saída, visto que se trata de um processo de conversão, onde é preciso um resfriamento do líquido para que ocorra nas melhores condições.

Tabela 20 - Balanço de massa e energia maturação lager

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 24 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 25 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77183,64599	-3494128610	77183,64599	-5426627782
Proteína	1491,611403	-32656,92883	1491,611403	-50623,57741
Gorduras totais	473,6422768	0	473,6422768	-15894,58227
Fermento	24,87292637	-351927,1418	24,87292637	-546567,6333
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açúcares	2588,183566	-110308614,9	2588,183566	-171317046,6
Etanol	4331,481247	-120416970,2	4331,481247	-187016034,3
Fibra Alimentar	71,04634152	-1435,475677	71,04634152	-2223,144222
Minerais	236,8211384	-7992445,623	236,8211384	-12412830,87
Compostos Orgânicos	59,2052846	-781337,0848	59,2052846	-1213471,513
Lipídios	11,84105692	-324447,0223	11,84105692	-503889,0726
Lúpulo	50,67545211	-1009730,307	50,67545211	-1568182,271
TOTAL	86523,03	-3735348175	86523,03	-5801274546
	Temperatura: 7°C		Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.4 Setor 500: Resfriamento/Envase lager

Nessa etapa terá um resfriamento para entrar na ultrafiltração, depois a pasteurização e finalmente ser envasada.

5.1.4.1 Filtração lager

Para a última filtração, na qual se obterá o produto final, é necessário retirar todo o restante dos componentes que iriam afetar no aroma e sabor e aparência da cerveja, além de deixá-la mais límpida e clara, para logo ser pasteurizada e envasada. A filtração é feita por membranas, que possui uma eficiência de 99%, retirando praticamente todos os sólidos totais da cerveja, gerando um produto límpido e cristalino. Para a etapa de filtração foi considerado 1% de perda de açúcares fermentescíveis e água, e uma umidade de saída do trub a 60%. Nesse processo é retirado em grandes partes 34% das gorduras totais, dos restos de fermento, fibras alimentares, minerais, compostos orgânicos, lipídios e lúpulo.

No balanço de energia, a temperatura constante durante a filtração é um aspecto relevante, pois evita variações que poderiam afetar o processo. No entanto, mesmo com uma temperatura constante, a operação das membranas e o fluxo de líquido requerem energia, isso implica que a quantidade de energia fornecida para operar o processo é equilibrada pela quantidade de energia consumida e/ou armazenada no processo. Nesse cenário, a eficiência energética do processo de filtração é otimizada, uma vez que a energia total do sistema permanece constante.

Tabela 21 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 26 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 27 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77183,65	-5426627782	1041,787007	-73245960,86
Proteína	1491,61	-50623,57741	0	0
Gorduras totais	473,64	-15894,58227	468,905854	-15735,63644
Fermento	24,87	-546567,6333	24,62419711	-541101,9569
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2588,18	-171317046,6	25,88183566	-1713170,466
Etanol	4331,48	-187016034,3	0	0
Fibra Alimentar	71,05	-2223,144222	70,3358781	-2200,91278
Minerais	236,82	-12412830,87	234,452927	-12288702,56
Compostos Orgânicos	59,21	-1213471,513	58,61323175	-1201336,798
Lipídios	11,84	-503889,0726	11,72264635	-498850,1818
Lúpulo	50,68	-1568182,271	50,16869759	-1552500,448
TOTAL	86523,03	-5801274546	1986,49	-91059559,82
	Temperatura: 1°C		Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 22 - Balanço de massa e energia filtragem lager - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 28 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
76141,86	-5353381821
1491,61	-50623,57741
4,74	-158,9458227
0,25	-5465,676333
0,00	0
0,00	0
2562,30	-169603876,2
4331,48	-187016034,3
0,71	-22,23144222
2,37	-124128,3087
0,59	-12134,71513
0,12	-5038,890726
0,51	-15681,82271
84536,53	-5710214986
Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.4.2 Pasteurização lager

A pasteurização é a última etapa do processo, sendo que essa, ocorre com a cerveja já finalizada, tendo como funcionalidade a esterilização do produto de possíveis contaminantes.

Portanto, para tal processo não ocorre nenhuma alteração na massa do produto, visto que, essa esterilização ocorre através de alterações na temperatura do líquido, o elevando a 72 °C e após, o reduzindo a 5 °C. Para realizar esses diferenciais, a etapa ocorre com o auxílio de dois trocadores, possibilitando que o processo seja percorível.

Tabela 23 - Balanço de massa e energia pasteurização lager

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 28 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 30 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	76141,85898	-5353381821	76141,85898	-4078767102
Proteína	1491,611403	-50623,57741	1491,611403	-38618,77004
Gorduras totais	4,736422768	-158,9458227	4,736422768	-121,2709842

Fermento	0,248729264	-5465,676333	0,248729264	-4164,324825
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açúcares	2562,301731	-169603876,2	2562,301731	-129222000,9
Etanol	4331,481247	-187016034,3	4331,481247	-142488407,1
Fibra Alimentar	0,710463415	-22,23144222	0,710463415	-16,97019424
Minerais	2,368211384	-124128,3087	2,368211384	-94573,94946
Compostos Orgânicos	0,592052846	-12134,71513	0,592052846	-9245,497243
Lipídios	0,118410569	-5038,890726	0,118410569	-3839,154839
Lúpulo	0,506754521	-15681,82271	0,506754521	-11948,0554
TOTAL	84536,53	-5710214986	84536,53	-4350640038
Temperatura: 1°C			Temperatura: 5°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Os valores da cerveja lager podem ser utilizados como base para as demais produções, visto que, os cálculos são semelhantes.

Os balanços materiais para as cervejas IPA e Pilsen são apresentados abaixo, isso faz-se necessário pelo fato de que ocorrem mudanças nas entradas de matéria prima inicialmente e no decorrer do processo, além da diferença na quantidade produzida, gerando assim, valores diferentes para cada um dos tipos.

Para o balanço energético, não ocorre a necessidade de apresentá-lo para os três tipos de cerveja, pois seus valores são análogos, tendo uma mesma temperatura de referência, que foi utilizada a temperatura média da cidade onde a empresa será instalada (17,8 °C) e para os demais valores de temperatura, foram utilizados os mesmos parâmetros de cálculo, visando sempre, chegar a um valor de zero para o balanço energético.

Assim como citado anteriormente, as etapas que contavam com energia excedente, ou faltante, tiveram esses diferenciais supridos com a integração energética realizada, gerando um menor consumo de energia.

5.2 Cerveja IPA

Conhecida popularmente como IPA, seu diferencial entre as demais está relacionado ao fato de ser mais amarga e aromática, além de possuir um maior teor alcoólico.

Em seu processo de produção, observa-se uma maior quantidade de malte, sendo usados dois tipos diferentes. O majoritário é o malte Pale Ale, que é produzido

através dos processos de maceração, germinação e secagem; o outro é o malte cristal, que é importado para ser utilizado no processo.

Em questão a quantidade de lúpulo usado, a IPA se diferencia das demais, pois os valores utilizados dessa matéria-prima são maiores, o que proporciona como resultado uma cerveja bem encorpada e marcante. No processo da IPA, a INPB produzirá uma demanda de 100 milhões de litros anuais, buscando atender a demanda do mercado por esse estilo de cerveja.

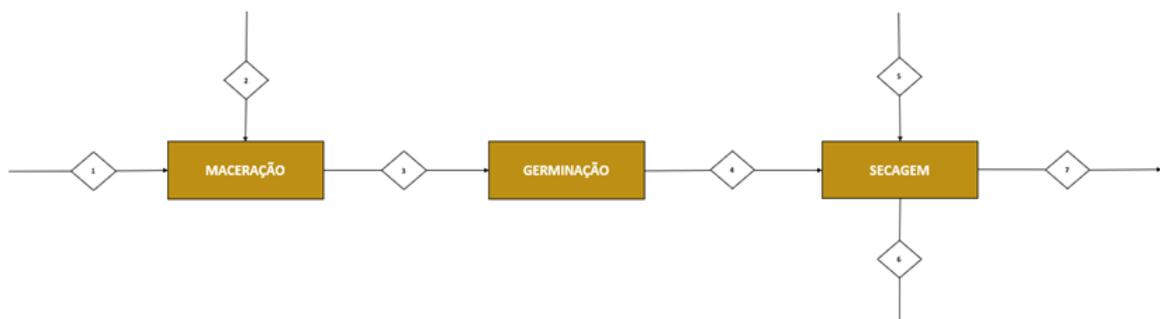
Quadro 3 - Informações da Cerveja IPA

Ingredientes	Perfil médio do produto final
Malte Pale Ale	ABV: 5,2
Malte Cristal	IBU: 41
Lúpulo na fervura (5,3 g/L)	OG: 1,060
Lúpulo na maturação (8,7 g/L)	FG: 1,013
Fermento	

5.2.1 Setor 200: Malteação

Na produção da IPA, a INPB realiza a preparação do malte Pale Ale utilizando de um malte secundário sendo o cristal importado. Na Figura 14, são apresentadas em esquema as correntes de cada processo envolvidas na malteação da cerveja IPA.

Figura 14 - Fluxograma malteação IPA



Fonte: Autoria própria (2022).

5.2.1.1 Maceração IPA

O processo de maceração na cerveja IPA é semelhante ao processo da cerveja Lager, que ocorre através da adição de água ao grão de forma que o teor de água aumenta até 40%.

Tabela 24 - Balanço de massa e energia maceração IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 1 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 2 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1660,86	0	13049,59204	0
Proteína	2372,65	0	0	0
Gorduras totais	474,53	0	0	0
Amido	15184,97	0	0	0
Açúcares	237,27	0	0	0
Fibra Alimentar	2847,18	0	0	0
Minerais	237,27	0	0	0
Compostos Orgânicos	237,27	0	0	0
Lipídios	474,53	0	0	0
TOTAL	23726,52	0	13049,59	0
Temperatura: 17,8°C		Temperatura: 17,8°C		

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 25 - Balanço de massa e energia maceração IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 3 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
14710,45	0
2372,65	0
474,53	0
15184,97	0
237,27	0
2847,18	0
237,27	0
237,27	0
474,53	0
36776,11	0
Temperatura: 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.1.2 Germinação IPA

De forma análoga, a germinação segue os mesmos padrões da Lager, tendo os valores estabelecidos para conversão de amido na casa dos 94%, açúcares formados a uma taxa de 2,78 e formação de água de 1,01971.

Tabela 26 - Balanço de massa e energia germinação IPA

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 3 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 4 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	14710,449	0	15000,43948	0
Proteína	2372,652	0	2372,652172	0
Gorduras totais	474,530	0	474,5304343	0
Amido	15184,974	0	14235,91303	0
Açúcares	237,265	0	896,3352649	0
Fibra Alimentar	2847,183	0	2847,182606	0
Minerais	237,265	0	237,2652172	0
Compostos Orgânicos	237,265	0	237,2652172	0
Lipídios	474,530	0	474,5304343	0
TOTAL	36776,11	0	36776,11	0
	Temperatura: 17,8°C		Temperatura: 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.1.3 Secagem IPA

A secagem foi utilizada para retirar uma parte da água presente no processo, além de promover uma maior conservação do malte e interromper a germinação do grão. Por se tratar de uma cerveja tipo ale, a temperatura média é maior quando comparada a lager, sendo em torno de 95°C; aqui, a umidade pode chegar a 7,5% (GUERREIRO, 1999). Analogamente à secagem na lager, será utilizada uma vazão de ar que retira grande parte da água, tendo uma razão de entrada de ar de 5 vezes.

Tabela 27 - Balanço de massa e energia secagem IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 4 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 5 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	15000,44	0	42292,54126	1,18078E+11

Ar	0,00	0	141588,0729	1830052554 4
Proteína	2372,65	0	0	0
Gorduras totais	474,53	0	0	0
Amido	14235,91	0	0	0
Açúcares	896,34	0	0	0
Fibra Alimentar	2847,18	0	0	0
Minerais	237,27	0	0	0
Compostos Orgânicos	237,27	0	0	0
Lipídios	474,53	0	0	0
TOTAL	36776,11	0	183880,61	1,36378E+11
Temperatura: 17,8°C			Temperatura: 145,65°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 28 - Balanço de massa e energia secagem IPA - parte 2

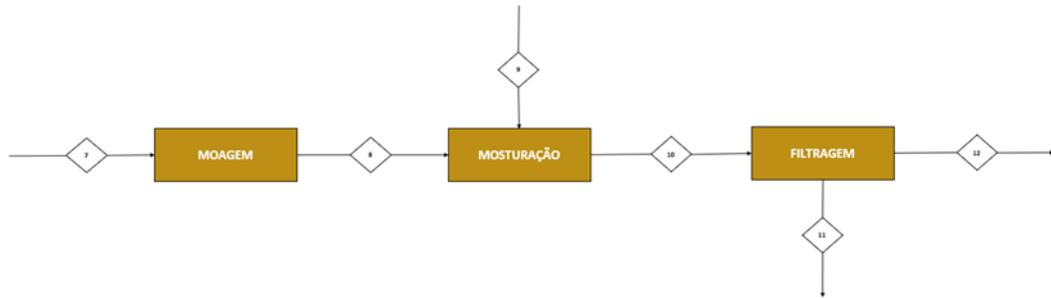
SAÍDA - CORRENTE 6 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 7 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
55527,39	1,31641E+11	1765,60	200981235
141588,07	3893558735	0,00	0
0,00	0	2372,65	132124,7851
0,00	0	474,53	26142,71532
0,00	0	14235,91	486344344
0,00	0	896,34	96058457,66
0,00	0	2847,18	147026,8899
0,00	0	237,27	20134649,39
0,00	0	237,27	7873408,967
0,00	0	474,53	32694008,05
197115,46	1,35534E+11	23541,27	844391397,5
Temperatura: 45°C		Temperatura: 45°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.2 Brassagem IPA

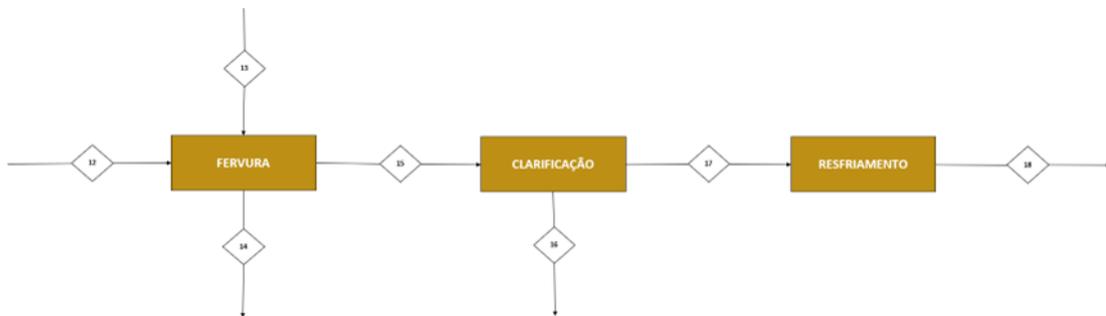
Nas Figuras 15 e 16, são apresentados esquemas contendo as correntes de cada processo na produção da cerveja IPA, e são semelhantes às demais receitas.

Figura 15 - Fluxograma brassagem IPA parte 1



Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 16 - Fluxograma brassagem IPA parte 2



Fonte: Autoria própria (2022).

5.2.2.1 Mosturação IPA

Na mosturação, haverá a mesma razão de água/malte, no valor de 4 kg de água para 1 kg de malte, com o objetivo de aumentar a umidade do grão e levar a formação do chá.

Tabela 29 - Balanço de massa e energia mosturação IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 8 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 9 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1765,60	200981235	94165,07838	0
Proteína	2372,65	132124,7851	0	0
Gorduras totais	474,53	26142,71532	0	0
Amido	14235,91	486344344	0	0
Açúcares	896,34	96058457,66	0	0
Fibra Alimentar	2847,18	147026,8899	0	0
Minerais	237,27	20134649,39	0	0
				2148830366

Compostos Orgânicos	237,27	7873408,967	0	0
Lipídios	474,53	32694008,05	0	0
TOTAL	23541,27	844391397,5	94165,08	2148830366
Temperatura: 45°C			Temperatura: 72,34°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 30 - Balanço de massa e energia mosturação IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 10 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
95930,67	19350847687
2372,65	235545,3503
474,53	46581,25608
0,00	0
15132,25	2873735009
2847,18	262602,6598
237,27	35679783,11
237,27	13952143,83
474,53	57935705,45
117706,35	22332695058
Temperatura: 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.2.2 Filtragem IPA

Na primeira filtragem do processo IPA, será utilizado o mesmo filtro prensa com uma eficiência de 90%, mantendo os mesmos padrões de qualidades e composições dos demais componentes.

Tabela 31 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 10 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 11 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	95930,67	19350847687	13632,0995	2749826215
Proteína	2372,65	235545,3503	878,2437508	87187,7615
Gorduras totais	474,53	46581,25608	0	0
Amido	0,00	0	0	0

Açúcares	15132,25	2873735009	64,99003756	12342128,0 5
Fibra Alimentar	2847,18	262602,6598	2562,464345	236342,393 8
Minerais	237,27	35679783,11	0	0
Compostos Orgânicos	237,27	13952143,83	0	0
Lipídios	474,53	57935705,45	427,0773909	52142134,9
TOTAL	117706,35	22332695058	17564,88	2814634008
Temperatura: 66°C			Temperatura: 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 32 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 12 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
82298,57	16601021472
1494,41	148357,5887
474,53	46581,25608
0,00	0
15067,26	2861392881
284,72	26260,26598
237,27	35679783,11
237,27	13952143,83
47,45	5793570,545
100141,47	19518061050
Temperatura: 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.2.3 Fervura IPA

Nesse processo, para a cerveja IPA, haverá adições de uma variedade de lúpulos. No total, serão adicionados 5,3 gramas de lúpulo por litro de solução. A temperatura média que se pode chegar é de 100°C e por isso 15% de água será evaporada (BARBOSA, 2019).

Tabela 33 - Balanço de massa e energia fervura IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 13 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 15 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	82298,57	23518681770	69953,78799	24064592744
Proteína	1494,41	211346,9032	1494,408421	255364,0199

Gorduras totais	474,53	66294,20028	474,5304343	80026,28266
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	15067,26	4053737820	15067,25826	4879802797
Fibra Alimentar	284,72	37457,5143	284,7182606	45285,69771
Minerais	237,27	50547580,22	237,2652172	60848094,85
Compostos Orgânicos	237,27	19766014,48	237,2652172	23793905,04
Lipídios	47,45	8207756,504	47,45304343	9880321,551
Lúpulo	500,62	75800153,96	500,620517	75800153,96
TOTAL	100642,09	27727056194	88297,31	29115098693
Temperatura: 86°C			Temperatura: 100°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 34 - Balanço de massa e energia fervura IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 14 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
12344,79	32107640621
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
0,00	0
12344,79	32107640621
Temperatura: 100°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.2.4 Clarificação IPA

É o mesmo processo que ocorre nas demais cervejas, que busca remover o *trub* formado após a adição do lúpulo. Nesta etapa, foi considerada uma eficiência de decantação e remoção de sólidos de 75% conforme pesquisa em campo. Novamente foi considerado 1% de perda de açúcares fermentescíveis e água com 60% de umidade de saída do *trub*.

Tabela 35 - Balanço de massa e energia clarificação IPA - parte 1

ENTRADA - CORRENTE 16 (KG/h)	SAÍDA - CORRENTE 18 (Kg/h)
-------------------------------------	-----------------------------------

COMPONENTES	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	69953,79	17342239248	68643,40573	17006541055
Proteína	1494,41	182892,2653	1494,408421	182773,8479
Gorduras totais	474,53	57397,00793	474,5304343	57359,95208
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	15067,26	3516648235	14916,58567	3479263775
Fibra Alimentar	284,72	32397,80972	71,17956515	8094,189251
Minerais	237,27	43850408,35	237,2652172	43822472,2
Compostos Orgânicos	237,27	17147167,14	59,31630429	4284060,761
Lipídios	47,45	7120290,878	11,86326086	1778938,673
Lúpulo	500,62	54625665,98	125,1551292	13647716,29
TOTAL	88297,31	20981903702	86033,71	20549586247
		Temperatura: 77°C	Temperatura: 77°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 36 - Balanço de massa energia clarificação IPA - parte 2

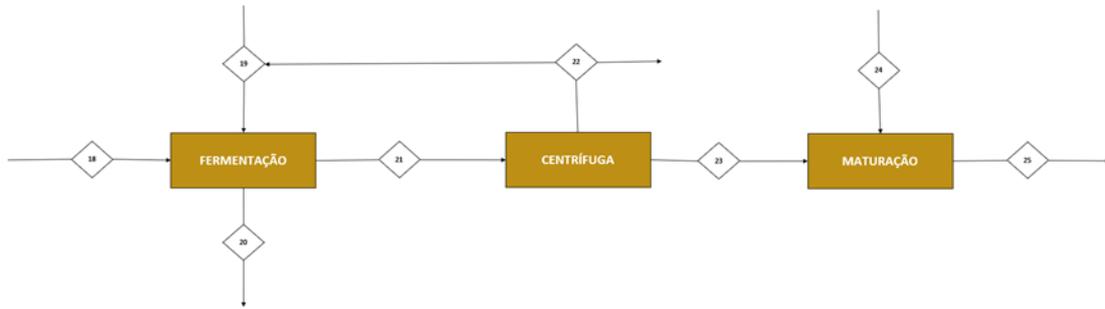
SAÍDA - CORRENTE 17 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
1310,3822601	324856785
0,0000000	0
0,0000000	0
0,0000000	0
150,6725826	35166482,35
213,5386955	24298,35729
0,0000000	0
177,9489129	12860375,35
35,5897826	5340218,158
375,4653877	40969249,48
2263,60	419217408,6
Temperatura: 77°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.3 Setor 400: Fermentação/Maturação

Um diferencial na produção da cerveja IPA, comparado aos demais processos, é que nesse setor ocorre a adição de lúpulo durante a maturação, chamado de *Dry Hop*, que traz a personalidade da IPA, com um amargor e coloração mais intensos. Um esquema deste setor é apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma fermentação/maturação



Fonte: Autoria própria (2022).

5.2.3.1 Fermentação IPA

Neste processo, há duas grandes diferenças por se tratar de cerveja ale, primeiramente, considera-se que ocorre alta fermentação, por isso haverá um aumento da temperatura que ficará entre 19-24°C. Além disso, as leveduras ficarão no topo.

Foi considerada uma entrada de levedura de 1,2 gramas por litro na tina, com uma razão de diluição do fermento igual a 10 na alimentação fresca. Assim, um balanço material para o fermentador é apresentado nas Tabelas 37 e 38.

Tabela 37 - Balanço de massa e energia fermentação IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 18 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 19 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	69251,24	-3130017713	591,8293241	-26749501,79
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	1494,41	-32666,0717	0	0
Gorduras totais	474,53	-10258,4882	0	0
Fermento	98,14	-1386326,917	60,7837973	-858656,2342
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	14916,59	-634730553,6	0	0
Etanol	0,00	0	0	0
Fibra Alimentar	71,18	-1435,881337	0	0
Minerais	237,27	-7994640,199	0	0
Compostos Orgânicos	59,32	-781551,6254	0	0
Lipídios	11,86	-324536,1093	0	0
Lúpulo	125,16	-2489786,079	0	0
TOTAL	86739,69	-3777769468	652,61	-27608158,02

Temperatura: 7°C	Temperatura: 7°C
Fonte: Autoria própria (2023).	

Tabela 38 - Balanço de massa e energia fermentação IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 20 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 21 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
0,00	0	77230,91	-3490682721
0,00	0	0,00	0
0,00	0	1494,41	-32666,0717
0,00	0	474,53	0
0,00	0	99,61	-1407121,821
16,19	-138103,13	0,00	0
0,00	0	0,00	0
0,00	0	2591,24	-110262648,6
0,00	0	4336,60	-120366791,8
0,00	0	71,18	-1435,881337
0,00	0	237,27	-7994640,199
0,00	0	59,32	-781551,6254
0,00	0	11,86	-324536,1093
0,00	0	125,16	-2489786,079
16,19	-138103,1298	86732,09	-3734343899
Temperatura: 7°C		Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.3.2 Centrífuga IPA

Assim como no processo anterior, a quantidade de fermento fresco alimentado no processo se reduz devido ao uso da centrífuga, com um descarte de cerca de 50% do fermento após a reação.

Tabela 39 - Balanço de massa e energia centrífuga IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 21 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 22 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77230,91	-3490682721	32,01729787	-1447117,829
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	1494,41	-32666,0717	0	0
Gorduras totais	474,53	0	0	0
Fermento	99,61	-1407121,821	74,70702837	-1055341,366
CO2	0,00	0	0	0

Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2591,24	-110262648,6	0	0
Etanol	4336,60	-120366791,8	0	0
Fibra Alimentar	71,18	-1435,881337	0	0
Minerais	237,27	-7994640,199	0	0
Compostos Orgânicos	59,32	-781551,6254	0	0
Lipídios	11,86	-324536,1093	0	0
Lúpulo	125,16	-2489786,079	0	0
TOTAL	86732,09	-3734343899	106,72	-2502459,195
Temperatura: 7°C			Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 40 - Balanço de massa e energia centrífuga IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 24 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
77198,89	-3494825641
0,00	0
1494,41	-32718,22901
474,53	0
24,90	-352344,036
0,00	0
0,00	0
2591,24	-110439298,3
4336,60	-120559629,1
71,18	-1438,170198
237,27	-8007448,26
59,32	-782803,7344
11,86	-325056,0425
125,16	-2493774,918
86625,36	-3737820152
Temperatura: 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.3.3 Maturação IPA

Nesse processo de maturação para a IPA, é importante ressaltar que há a segunda entrada de lúpulo, com uma concentração de 8,7 gramas por litro de solução. A Tabela 41 resume o balanço material na maturação, destacando-se basicamente a mudança da composição da corrente após a incorporação do lúpulo.

Tabela 41 - Balanço de massa e energia maturação IPA

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 24 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 25 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77198,89382	-3494825641	77198,89382	-5427699827
Proteína	1494,408421	-32718,22901	1494,408421	-50718,50499
Gorduras totais	474,5304343	0	474,5304343	-15924,38724
Fermento	24,90234279	-352344,036	24,90234279	-547214,0414
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açúcares	2591,244797	-110439298,3	2591,244797	-171519675,6
Etanol	4336,604401	-120559629,1	4336,604401	-187237231,6
Fibra Alimentar	71,17956515	-1438,170198	71,17956515	-2227,312985
Minerais	237,2652172	-8007448,26	237,2652172	-12436106,98
Compostos Orgânicos	59,31630429	-782803,7344	59,31630429	-1215746,973
Lipídios	11,86326086	-325056,0425	11,86326086	-504833,9479
Lúpulo	125,1551292	-2493774,918	125,1551292	-3873000,567
TOTAL	86625,36	-3737820152	86625,36	-5805102507
	Temperatura: 7°C		Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.4 Setor 500: Resfriamento/Envase

Para essa última etapa, há somente remoção de sólidos (como fermento residual) que contribuem para a coloração da cerveja. O resfriamento realizado se faz necessário para cessar a reação de fermentação, e há somente mudanças de temperatura, o que faz seu balanço de massa não se modificar nesta etapa.

5.2.4.1 Filtração IPA

Na última filtração, serão utilizadas membranas para melhorar o aspecto da cerveja, dando brilho e cristalinidade. Foi considerado uma eficiência de 95%, para que assim a IPA consiga manter uma maior concentração de sólidos e outros componentes, comparada aos demais tipos. Assim, é possível obter uma cerveja com maior turbidez e amargor, que são característicos da cerveja IPA. Além disso, foram mantidas as considerações para perdas de açúcares fermentescíveis (que se mantêm após a fermentação) e água como sendo de 1% com umidade de 60%.

Tabela 42 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 26 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 27 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	77198,89	-5427699827	1073,907575	-75504293,8
Proteína	1494,41	-50718,50499	0	0
Gorduras totais	474,53	-15924,38724	450,8039126	-15128,16787
Fermento	24,90	-547214,0414	23,65722565	-519853,3393
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2591,24	-171519675,6	25,91244797	-1715196,756
Etanol	4336,60	-187237231,6	0	0
Fibra Alimentar	71,18	-2227,312985	67,62058689	-2115,947336
Minerais	237,27	-12436106,98	225,4019563	-11814301,63
Compostos Orgânicos	59,32	-1215746,973	56,35048908	-1154959,624
Lipídios	11,86	-504833,9479	11,27009782	-479592,2505
Lúpulo	125,16	-3873000,567	118,8973728	-3679350,539
TOTAL	86625,36	-5805102507	2053,82	-94884792,06
	Temperatura: 1°C		Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 43 - Balanço de massa e energia filtragem IPA - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 28 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
76124,99	-5352195533
1494,41	-50718,50499
23,73	-796,2193618
1,25	-27360,70207
0,00	0
0,00	0
2565,33	-169804478,8
4336,60	-187237231,6
3,56	-111,3656493
11,86	-621805,3488
2,97	-60787,34864
0,59	-25241,69739
6,26	-193650,0284
84571,54	-5710217714
Temperatura: 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.2.4.2 Pasteurização IPA

A pasteurização, assim como no processo da lager, é para que aumente a validade do produto e que não tenha microrganismos presentes.

Tabela 44 - Balanço de massa e energia pasteurização IPA

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 28 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 29 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	76124,98624	-5352195533	76124,98624	-4077863263
Proteína	1494,408421	-50718,50499	1494,408421	-38691,18661
Gorduras totais	23,72652172	-796,2193618	23,72652172	-607,4919369
Fermento	1,245117139	-27360,70207	1,245117139	-20846,2492
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açúcares	2565,332349	-169804478,8	2565,332349	-129374841
Etanol	4336,604401	-187237231,6	4336,604401	-142656938,4
Fibra Alimentar	3,558978258	-111,3656493	3,558978258	-85,01008078
Minerais	11,86326086	-621805,3488	11,86326086	-473756,4562
Compostos Orgânicos	2,965815215	-60787,34864	2,965815215	-46314,17039
Lipídios	0,593163043	-25241,69739	0,593163043	-19231,76944
Lúpulo	6,257756462	-193650,0284	6,257756462	-147542,8788
TOTAL	84571,54	-5710217714	84571,54	-4350642118
	Temperatura: 1°C		Temperatura: 5°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3 Cerveja Pilsen

Essa cerveja possui a maior porcentagem de produção na empresa pelo fato de ser altamente aceita pelos consumidores. Isso se deve ao fato dela ser uma cerveja leve, refrescante e bem límpida. Além das matérias-primas principais utilizadas nos demais estilos de cerveja, a pilsen tem como elemento ímpar na sua produção o milho, que traz suavidade ao produto, além de deixar a cerveja mais clara. Para o processo de produção da cerveja pilsen, a INPB conta com uma demanda de 700 milhões de litros por ano, quando a fábrica estiver operando em sua máxima operação, mas nos primeiros 10 anos será um total de aproximadamente 445,5 milhões de litros anual.

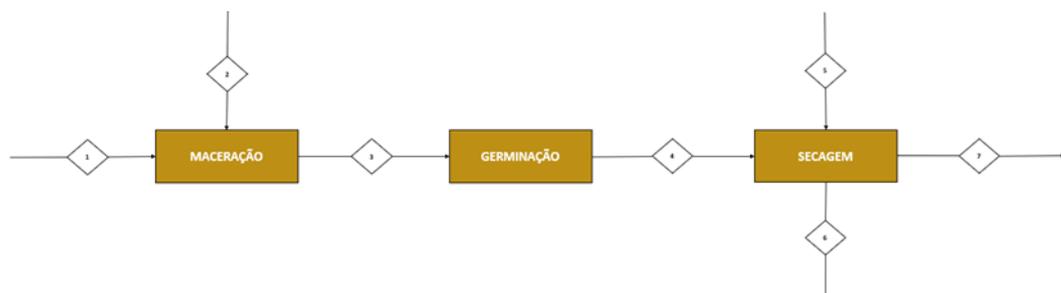
Quadro 4 - Informações da Cerveja Pilsen

Ingredientes	Perfil médio do produto final
Malte Pale Ale	ABV: 4,7
Flocos de milho, na proporção de 0,47 kg/kg de malte	IBU: 13
Lúpulo (2g/L)	OG: 1,053
Fermento	FG: 1,008

5.3.1 Setor 200: Malteação

Nessa receita, seguem-se processos semelhantes a outras receitas de malteação, com produção do malte pale ale. A Figura 18 mostra um esquema do setor de malteação, que compreende as etapas de maceração, germinação e secagem.

Figura 18 – Fluxograma malteação pilsen



Fonte: Autoria própria (2022).

5.3.1.1 Maceração pilsen

Diferentemente dos demais estilos, a quantidade de cevada que é colocada no início do processo se altera, pois para a pilsen, que não será uma Puro Malte, há a entrada de milho na moagem. Assim, um balanço material para o processo de maceração é apresentado nas Tabelas 45 e 46, em que basicamente ocorre aumento do teor de umidade do grão através da adição de água pela corrente 2.

Tabela 45 - Balanço de massa e energia maceração pilsen - parte 1

ENTRADA - CORRENTE 1 (KG/h)

ENTRADA - CORRENTE 2 (Kg/h)

COMPONENTES	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1096,21	0	8613,070418	0
Proteína	1566,01	0	0	0
Gorduras totais	313,20	0	0	0
Amido	10022,48	0	0	0
Açúcares	156,60	0	0	0
Fibra Alimentar	1879,22	0	0	0
Minerais	156,60	0	0	0
Compostos Orgânicos	156,60	0	0	0
Lipídios	313,20	0	0	0
TOTAL	15660,13	0	8613,07	0
	Temperatura 17,8°C		Temperatura 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 46 - Balanço de massa e energia maceração pilsen - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 3 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
9709,28	0
1566,01	0
313,20	0
10022,48	0
156,60	0
1879,22	0
156,60	0
156,60	0
313,20	0
24273,20	0
Temperatura 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.1.2 Germinação pilsen

Na germinação, o processo ocorre semelhante aos demais, com uma porcentagem de conversão de amido em açúcares próprios para a fermentação. Dessa maneira, ocorre um aumento no teor de açúcares disponíveis para a produção de cerveja, conforme apresentado na Tabela 47.

Tabela 47 - Balanço de massa e energia germinação pilsen

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 3 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 4 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	9709,28	0	9900,680955	0
Proteína	1566,012818	0	1566,012818	0
Gorduras totais	313,2025635	0	313,2025635	0
Amido	10022,48203	0	9396,076906	0
Açúcares	156,6012818	0	591,6048422	0
Fibra Alimentar	1879,215381	0	1879,215381	0
Minerais	156,6012818	0	156,6012818	0
Compostos Orgânicos	156,6012818	0	156,6012818	0
Lipídios	313,2025635	0	313,2025635	0
TOTAL	24273,20	0	24273,20	0
	Temperatura 17,8°C		Temperatura 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.1.3 Secagem pilsen

Essa etapa também é realizada de maneira semelhante às demais linhas de produção, ocorrendo a entrada de ar para remover a umidade, reduzindo a umidade para 7,5%. A corrente de ar que entra no secador carrega consigo o maior conteúdo de água presente no material germinado. Nas Tabelas 48 e 49, são apresentados os balanços materiais, assumindo a priori uma razão de 5 kg de ar para cada kg de material a ser seco.

Tabela 48 - Balanço de massa e energia secagem pilsen - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 4 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 5 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	9900,68	0	27914,17838	77934537399
Ar	0,00	0	93451,81459	12078823341
Proteína	1566,01	0	0	0
Gorduras totais	313,20	0	0	0
Amido	9396,08	0	0	0
Açúcares	591,60	0	0	0
Fibra Alimentar	1879,22	0	0	0
Minerais	156,60	0	0	0
Compostos Orgânicos	156,60	0	0	0

Lipídios	313,20	0	0	0
TOTAL	24273,20	0	121365,99	90013360740
	Temperatura 17,8°C		Temperatura 145,64°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 49 - Balanço de massa e energia secagem pilsen - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 6 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 7 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
36649,52	86886190051	1165,34	132652900,6
93451,81	2569850161	0,00	0
0,00	0	1566,01	87205,83289
0,00	0	313,20	17254,87962
0,00	0	9396,08	321000057,2
0,00	0	591,60	63401108,25
0,00	0	1879,22	97041,61395
0,00	0	156,60	13289398,11
0,00	0	156,60	5196656,977
0,00	0	313,20	21578905,12
130101,33	89456040212	15537,86	557320528,6
Temperatura 45°C		Temperatura 45°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.2 Setor 300: Brassagem

O Setor 300 é chamado de brasagem, e corresponde às etapas para obtenção do chá de cerveja que alimenta as tinas de fermentação. Os processos são semelhantes ao dos outros tipos de cerveja.

5.3.2.1 Moagem pilsen

A moagem realizada para a produção da pilsen é o processo com maior diferença entre os produtos da INPB, pois nele, ocorre a entrada de milho como cereal não-maltado, com uma razão de milho para cevada de 0,4713 em massa, seguindo a receita de produção. Na Tabela 50 e 51 observa-se que os teores de amido e açúcares obtidos após a moenda ocorrem devido a contribuição dos dois cereais utilizados, e

com uma umidade final maior comparado aos outros estilos devido à água já contida no grão de milho.

Tabela 50 - Balanço de massa e energia moagem pilsen - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 7 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 7A (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1165,34	132652900,6	516,6422951	0
Proteína	1566,01	87205,83289	1918,957096	0
Gorduras totais	313,20	17254,87962	0	0
Amido	9396,08	321000057,2	2435,599391	0
Açúcares	591,60	63401108,25	959,4785481	0
Fibra Alimentar	1879,22	97041,61395	147,6120843	0
Minerais	156,60	13289398,11	738,0604216	0
Compostos Orgânicos	156,60	5196656,977	0	0
Lipídios	313,20	21578905,12	664,2543794	0
TOTAL	15537,86	557320528,6	7380,60	0
		Temperatura 45°C	Temperatura 17,8°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 51 - Balanço de massa e energia moagem pilsen - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 8 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
1681,98	117172790,5
3484,97	118396,9979
313,20	10527,76648
11831,68	247369412,9
1551,08	101728220,8
2026,83	63780,75491
894,66	46463296,48
156,60	3180279,009
977,46	41213823,35
22918,46	557320528,6
Temperatura 34,44°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.2.2 Mosturação pilsen

A etapa de mosturação ocorre de maneira semelhante às demais, com valores percentuais semelhantes, 40% em massa de água no final, mas apresentando uma maior quantidade de proteínas saindo do processo, devido à adição de milho durante a moagem. A adição de água é apresentada na Tabela 52 e 53, bem como as composições dos demais componentes na saída do tanque de mosturação. Vale destacar que a quantidade de amido presente na corrente de alimentação sai junto aos açúcares devido a sua total conversão.

Tabela 52 - Balanço de massa e energia mosturação - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 8 (KG/h)		ENTRADA - CORRENTE 9 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	1681,98	117172790,5	91673,84448	21079279125
Proteína	3484,97	118396,9979	0	0
Gorduras totais	313,20	10527,76648	0	0
Amido	11831,68	247369412,9	0	0
Açúcares	1551,08	101728220,8	0	0
Fibra Alimentar	2026,83	63780,75491	0	0
Minerais	894,66	46463296,48	0	0
Compostos Orgânicos	156,60	3180279,009	0	0
Lipídios	977,46	41213823,35	0	0
TOTAL	22918,46	557320528,6	91673,84	21079279125
	Temperatura 34°C		Temperatura 72,33°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 53 - Balanço de massa e energia mosturação - parte 2

SAÍDA - CORRENTE 10 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
93355,83	18831457163
3484,97	345970,8375
313,20	30744,85377
0,00	0
13382,76	2541493127
2026,83	186939,286
894,66	134538622,7
156,60	9208781,773
977,46	119338304,6
114592,31	21636599654
Temperatura 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.2.3 Filtragem pilsen

Essa primeira filtragem também é realizada através de filtro prensa, contando com uma eficiência de filtragem de 90% na remoção dos sólidos, conforme pesquisa de campo. A quantidade de material retida no filtro é apresentada na Tabela 54 e 55, além da corrente filtrada que segue para as demais etapas do setor de brasagem.

Tabela 54 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 10 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 11 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	93355,83	18831457163	9704,299829	1957522249
Proteína	3484,97	345970,8375	625,1964843	62066,46159
Gorduras totais	313,20	30744,85377	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	13382,76	2541493127	46,26453984	8786006,232
Fibra Alimentar	2026,83	186939,286	1824,144719	168245,3574
Minerais	894,66	134538622,7	0	0
Compostos Orgânicos	156,60	9208781,773	0	0
Lipídios	977,46	119338304,6	879,7112487	107404474,2
TOTAL	114592,31	21636599654	13079,62	2073943041
	Temperatura 66°C		Temperatura 66°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 55 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 2

SAÍDA - CORRENTE 12 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
83651,53	16873934914
2859,77	283904,3759
313,20	30744,85377
0,00	0
13336,50	2532707120
202,68	18693,9286
894,66	134538622,7
156,60	9208781,773
97,75	11933830,46
101512,69	19562656613
Temperatura 66°C	

12547,73	32635476015
Temperatura 100°C	
Fonte: Autoria própria (2023).	

5.3.2.5 Clarificação pilsen

Realizada com o intuito de remoção dos sólidos (ricos em proteínas coaguladas), por meio de uma pá de *Whirlpool* com decantação, o processo de clarificação, cujo balanço material é apresentado na Tabela 58 e 59, ocorre como uma eficiência de 75% destes sólidos presentes, levando a formação do chá de cerveja rico em açúcares e pronto para o processo fermentativo.

Tabela 58 - Balanço de massa e energia clarificação pilsen - parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 16 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 17 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	71103,80	17621849495	70010,91656	17345344599
Proteína	2859,77	349880,8787	2859,773429	349765,0217
Gorduras totais	313,20	37871,58095	313,2025635	37859,07654
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	13336,50	3111724675	13203,1302	3079603712
Fibra Alimentar	202,68	23055,74497	50,67068664	5762,02069
Minerais	894,66	165296314,2	894,6617034	165242457,8
Compostos Orgânicos	156,60	11314057,29	39,15032044	2827592,743
Lipídios	97,75	14662095,91	24,43642357	3664329,686
Lúpulo	192,89	21040691,84	48,22221644	5258459,103
TOTAL	89157,85	20946298137	87444,16	20602334537
	Temperatura 77°C		Temperatura 77°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 59 - Balanço de massa e energia clarificação pilsen – parte 2

SAÍDA - CORRENTE 18 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
1092,8807267	270851634
0,0000000	0
0,0000000	0
0,0000000	0
133,3649515	31117246,75
152,0120599	17291,80872

0,0000000	0
117,4509613	8485542,97
73,3092707	10996571,94
144,6666493	15780518,88
1713,68	337248806,4
Temperatura 77°C	
Fonte: Autorial própria (2023).	

5.3.3 Setor 400: Fermentação/Maturação

Na fase fria, semelhante ao processo da lager, não ocorre adição de lúpulo. Este setor conta com as etapas de obtenção em si da cerveja, ou seja, fermentação seguida de maturação.

5.3.3.1 Fermentação pilsen

O que diferencia a fermentação da cerveja pilsen das demais está ligada ao fermento utilizado em sua composição, e, portanto, a composição dos produtos obtidos após a fermentação também está diretamente ligada ao fermento escolhido. A pilsen é considerada uma cerveja de baixa fermentação, ou seja, utilizando temperaturas semelhantes a da cerveja puro malte. Novamente, o uso de uma centrífuga para recuperação parcial do fermento reduz a necessidade da incorporação fresca de forma contínua. O balanço material na tina de fermentação é apresentado nas Tabelas 60 e 61, que apresenta o teor de álcool na saída como sendo o especificado para o tipo pilsen. Após a fermentação, ocorre a maturação da cerveja produzida, mas que não gera modificações em sua composição (perda de componentes ou separação). Logo, o balanço material na etapa de maturação é idêntico aos demais estilos, sendo iguais as correntes de entrada e saída.

Tabela 60 - Balanço de massa e energia fermentação pilsen – parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 18 (Kg/h)		ENTRADA - CORRENTE 19 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	70628,72	-3164353407	601,5318959	-27188038,63
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	2859,77	-62511,40088	0	0

Gorduras totais	313,20	-6770,871938	0	0
Fermento	99,75	0	61,7802994	-872733,2214
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	13203,13	-561819596,1	0	0
Fibra Alimentar	50,67	-1022,162655	0	0
Minerais	894,66	-30145583,51	0	0
Compostos Orgânicos	39,15	-515844,6221	0	0
Lipídios	24,44	-668492,5779	0	0
Lúpulo	48,22	-959313,485	0	0
TOTAL	88161,71	-3758532541	663,31	-28060771,85
Temperatura 7°C			Temperatura 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 61 - Balanço de massa e energia fermentação pilsen – parte 2

SAÍDA - CORRENTE20 (Kg/h)		SAÍDA - CORRENTE 21 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
0,00	0	76781,32	-3470362139
0,00	0	0,00	0
0,00	0	2859,77	-62511,40088
0,00	0	313,20	0
0,00	0	101,24	-1430190,466
16,47	-140514,5811	0,00	0
0,00	0	0,00	0
0,00	0	2633,73	-112070475,5
0,00	0	4407,71	-122340282,6
0,00	0	50,67	-1022,162655
0,00	0	894,66	-30145583,51
0,00	0	39,15	-515844,6221
0,00	0	24,44	-668492,5779
16,47	-140514,5811	88105,89	-3737596541
Temperatura 7°C		Temperatura 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.3.2 Centrifuga pilsen

No processo da Pilsen, também ocorreu o uso de uma centrífuga para recuperação parcial do fermento, o que reduz a necessidade da incorporação do fermento fresco de forma contínua. Para isso, foi considerada uma purga de 50%.

Tabela 62 - Balanço de massa e energia centrífuga pilsen – parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 21 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 22 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	76781,32	-3470362139	32,54219605	-1473257,214
Ar	0,00	0	0	0
Proteína	2859,77	-62511,40088	0	0
Gorduras totais	313,20	0	0	0
Fermento	101,24	-1430190,466	75,93179078	-1074404,066
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2633,73	-112070475,5	0	0
Etanol	0,00	0	0	0
Fibra Alimentar	4407,71	-122340282,6	0	0
Minerais	50,67	-1022,162655	0	0
Compostos Orgânicos	894,66	-30145583,51	0	0
Lipídios	39,15	-515844,6221	0	0
Lúpulo	24,44	-668492,5779	0	0
TOTAL	88105,89	-3737596541	108,47	-2547661,28
	Temperatura 7°C		Temperatura 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 63 - Balanço de massa e energia centrífuga pilsen – parte 2

SAÍDA - CORRENTE 24 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
76748,78	-3474587013
0,00	0
2859,77	-62613,69501
313,20	0
25,31	-358134,6887
0,00	0
0,00	0
2633,73	-112254488,7
4407,71	-122541158,2
50,67	-1023,832568
894,66	-30195080,79
39,15	-516691,6088
24,44	-669590,2036
48,22	-960888,6216
88045,64	-3742146683
Temperatura 7°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.3.3 Maturação pilsen

A maturação da pilsen ocorrerá de forma semelhante ao da lager.

Tabela 64 - Balanço de massa e energia maturação pilsen

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 24 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 25 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	76748,77863	-3474587013	76748,77863	-5396053128
Proteína	2859,773429	-62613,69501	2859,773429	-97057,42481
Gorduras totais	313,2025635	0	313,2025635	-10510,51428
Fermento	25,31059693	-358134,6887	25,31059693	-556185,1811
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açucares	2633,729919	-112254488,7	2633,729919	-174331850,8
Etanol	4407,705814	-122541158,2	4407,705814	-190307106,2
Fibra Alimentar	50,67068664	-1023,832568	50,67068664	-1585,560098
Minerais	894,6617034	-30195080,79	894,6617034	-46893129,9
Compostos Orgânicos	39,15032044	-516691,6088	39,15032044	-802424,9677
Lipídios	24,43642357	-669590,2036	24,43642357	-1039877,343
Lúpulo	48,22221644	-960888,6216	48,22221644	-1492265,421
TOTAL	88045,64	-3742146683	88045,64	-5811585121
	Temperatura 7°C		Temperatura 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.4 Setor 500: Resfriamento/Envase

O último setor produção da cerveja pilsen é o de resfriamento, filtração e então envase. Na etapa de resfriamento, por se tratar de modificações somente no conteúdo energético da cerveja, não ocorrem mudanças de composição, e então o balanço material se mantém.

5.3.4.1 Filtração pilsen

Em uma das últimas etapa do processo, a filtração é realizada através de membranas, contando com a mesma eficiência de 99% visto no processo da cerveja lager, com o objetivo de se obter um líquido cristalino, com baixa turbidez. No final,

como apresentado na Tabela 65 e 66, o produto obtido contém 4,86% de álcool, atingindo assim, o que se espera de uma cerveja do tipo pilsen.

Tabela 65 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 1

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 26 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 27 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	76748,78	-5396053128	1410,464243	-99166920
Proteína	2859,77	-97057,42481	0	0
Gorduras totais	313,20	-10510,51428	310,0705379	-10405,40913
Fermento	25,31	-556185,1811	25,05749096	-550623,3293
CO2	0,00	0	0	0
Amido	0,00	0	0	0
Açúcares	2633,73	-174331850,8	26,33729919	-1743318,508
Etanol	4407,71	-190307106,2	0	0
Fibra Alimentar	50,67	-1585,560098	50,16397977	-1569,704497
Minerais	894,66	-46893129,9	885,7150863	-46424198,6
Compostos Orgânicos	39,15	-802424,9677	38,75881724	-794400,7181
Lipídios	24,44	-1039877,343	24,19205934	-1029478,57
Lúpulo	48,22	-1492265,421	47,73999427	-1477342,767
TOTAL	88045,64	-5811585121	2818,50	-151198257,6
	Temperatura 1°C		Temperatura 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 66 - Balanço de massa e energia filtragem pilsen – parte 2

SAÍDA - CORRENTE 28 (Kg/h)	
VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
75338,31	-5296886208
2859,77	-97057,42481
3,13	-105,1051428
0,25	-5561,851811
0,00	0
0,00	0
2607,39	-172588532,3
4407,71	-190307106,2
0,51	-15,85560098
8,95	-468931,299
0,39	-8024,249677
0,24	-10398,77343
0,48	-14922,65421
85227,14	-5660386863
Temperatura 1°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.4.2 Pasteurização Pilsen

A pasteurização é a última etapa do processo, sendo que essa, ocorre com a cerveja já finalizada, tendo como funcionalidade a esterilização do produto de possíveis contaminantes.

Para isso, a etapa ocorre com o auxílio de dois trocadores, possibilitando que o processo seja percorível.

Tabela 67 - Balanço de massa e energia pasteurização pilsen

COMPONENTES	ENTRADA - CORRENTE 28 (KG/h)		SAÍDA - CORRENTE 29 (Kg/h)	
	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)	VAZÃO MÁSSICA (KG/h)	ENTALPIA (J/h)
Água	75338,31438	-5296886208	75338,31438	-4035722825
Proteína	2859,773429	-97057,42481	2859,773429	-74041,35702
Gorduras totais	3,132025635	-105,1051428	3,132025635	-80,19213024
Fermento	0,253105969	-5561,851811	0,253105969	-4237,60138
CO2	0	0	0	0
Amido	0	0	0	0
Açúcares	2607,39262	-172588532,3	2607,39262	-131496024,6
Etanol	4407,705814	-190307106,2	4407,705814	-144995890,5
Fibra Alimentar	0,506706866	-15,85560098	0,506706866	-12,10324664
Minerais	8,946617034	-468931,299	8,946617034	-357280,9897
Compostos Orgânicos	0,391503204	-8024,249677	0,391503204	-6113,71404
Lipídios	0,244364236	-10398,77343	0,244364236	-7922,874997
Lúpulo	0,482222164	-14922,65421	0,482222164	-11369,6413
TOTAL	85227,14	-5660386863	85227,14	-4312675798
	Temperatura 1°C		Temperatura 5°C	

Fonte: Autoria própria (2023).

6 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

Nota-se, que no decorrer dos processos descritos da empresa, em algumas etapas, o seu balanço final energético possui um valor de zero, ou seja, isso significa teoricamente que a quantidade de energia entrando é igual ao valor de energia saindo daquela etapa do processo.

Essa situação não acontece ao acaso, visto que se trata de um ponto de desenvolvimento e diferencial da INPB, pois para que isso pudesse acontecer, foram realizadas integrações energéticas ao longo do processo, viabilizando que a energia excedente em alguns processos, pudesse ser utilizada em locais com energia faltante.

Para que tal adequação fosse instaurada na produção da cerveja, foram instalados em sua linha, trocadores de calor e através desses equipamentos foi possível proporcionar essa troca energética entre as etapas; um exemplo dessa integração é reaproveitar o vapor proveniente da fervura para aquecer a água antes de entrar na mosturação.

Os ganhos para a produção podem ser considerados qualitativos e quantitativos e isso faz-se possível pois essa troca ocasiona uma grande economia de energia na produção da cerveja, o que fornece uma maior rentabilidade para o processo, além de promover uma boa imagem para a INPB, reafirmando as preocupações e cuidados com o meio ambiente, gerando um menor gasto energético do que o esperado para uma empresa desse porte.

Para definir a quantidade de energia trocada em cada uma das etapas onde ocorre a integração energética, foi utilizada uma ferramenta de cálculo denominada de “Diagrama de Pinch”, onde foram definidas as variações de temperatura e a quantidade de energia disponível para ser trocada.

Com os cálculos finalizados, se torna viável o dimensionamento dos trocadores para atender as necessidades para o processo, visto que o investimento nesses equipamentos é menor do que seria gasto em consumo de energia.

O diagrama de fluxo apresentado, bem como os valores de balanço energético, já considera tais alterações no processo produtivo para garantir a economia de energia no processo. Neste formato, a INPB conseguirá alcançar uma economia de até 52,75% no consumo de utilidades quentes, e uma redução de 45,92% em utilidade fria. Vale destacar neste ponto que a redução de utilidades também gera uma redução

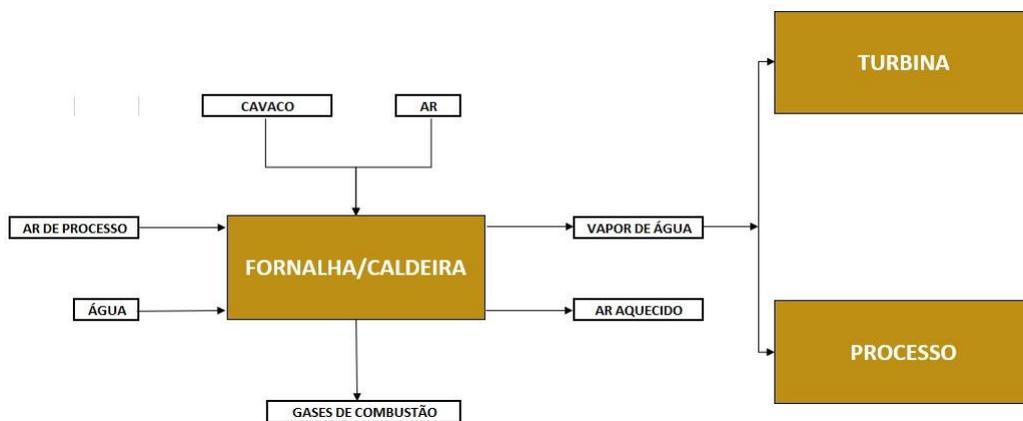
de efluentes, uma vez que a queima de material combustível e os ciclos de refrigeração apresentam uma demanda energética menor.

7 UTILIDADES

As utilidades do processo são divididas em utilidade fria e quente. A parte fria serve para que ocorra a refrigeração das matérias-primas e dos produtos em determinadas etapas do processo, além de garantir que o processo de fermentação do mosto ocorra sem sobreaquecimento, garantindo a atividade ótima do fermento, já as quentes são utilizadas para as etapas de processo que necessitam de aquecimento.

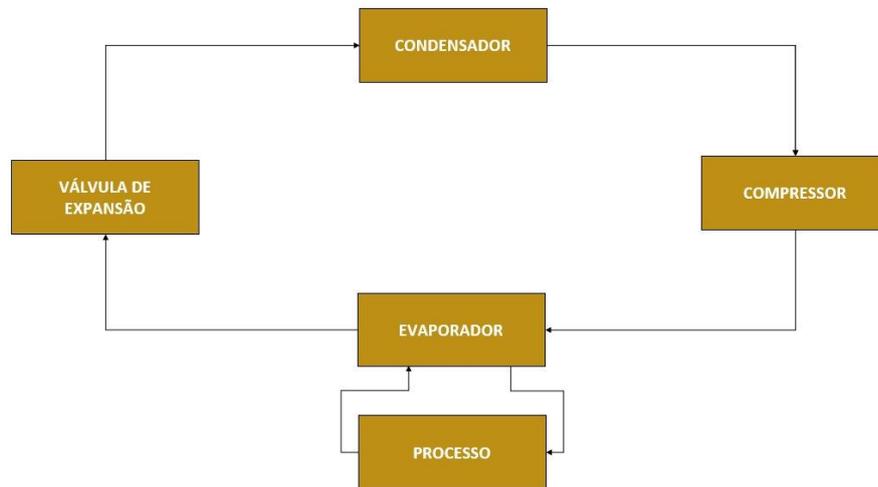
Para a utilidade fria, o fluido escolhido para o processo da INPB foi a amônia, e os motivos de sua escolha foram explicados abaixo. Já para utilidade quente, foi utilizado o vapor d'água, gerado a partir da queima de cavaco de madeira em uma caldeira. Nas Figuras 19 e 20 temos um diagrama de blocos dos setores de utilidade quente e fria.

Figura 19 - Diagrama de blocos para utilidade quente



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 20 - Diagrama de blocos para utilidade fria



Fonte: Autoria própria (2023).

7.1 Ciclo de refrigeração

Na indústria cervejeira, o ciclo de refrigeração desempenha um papel crucial no controle preciso das temperaturas durante o processo de produção. Optou-se pela amônia como fluido refrigerante devido às suas propriedades que melhor se encaixam nas necessidades da INPB. A quantidade de amônia utilizada foi baseada na quantidade que varia de acordo com a escala da produção, sendo um total de 80200,93 kg de amônia para atender todas as trocas térmicas do processo.

As variações de temperatura que ocorrem durante o processo de produção cervejeira se encontram na faixa de 1°C na mínima e 100°C na máxima. A saída da maturação requer um resfriamento preciso para aproximadamente 1°C. Isso é essencial para a clarificação da cerveja e a eliminação de compostos indesejados. Durante o processo de fervura, é atingida temperaturas de cerca de 100°C. Essa etapa é vital para esterilização, extração de sabores e ajuste da composição química da cerveja. A amônia é utilizada, por exemplo durante o resfriamento eficiente na maturação. Essa escolha apresenta várias vantagens, incluindo eficiência energética (baixas vazões de amônia para grandes quantidades de energia), segurança e baixo impacto ambiental, tornando-a uma opção ideal para o ciclo de refrigeração na indústria cervejeira.

7.2 Caldeira

Através do balanço material do processo foi possível definir a quantidade de vapor que é utilizado no processo para aquecimento, uma vazão de 16603,3 kg/h de vapor no processo principal, e com isso foi calculado o valor necessário para ser gerado através de uma caldeira.

A quantidade de cavaco utilizado durante a queima foi definida de uma forma em que a quantidade de energia gerada seja maior do que o necessário para a produção do vapor, a quantidade de cavaco atendeu a uma vazão de 762 kg/h, gerando assim um excedente energético, que será comercializado com a companhia elétrica local, produzindo um excedente energético de 43150266153 J/h atendendo um fator de cogeração de 1,96 em relação a energia necessária.

Gerando uma outra fonte de renda para a indústria, através da cogeração pela expansão do vapor em turbinas de contrapressão, adotando uma eficiência de turbina de 85 %. Durante essa queima, alguns gases são liberados em forma de oxigênio e nitrogênio, que estão presentes na entrada do processo, e de CO₂ que é gerado no processo da queima.

7.3 Tratamento da água de caldeira

É importante haver um tratamento da água de caldeira pois podem conter contaminantes que danificam a utilização do equipamento, como por exemplo, corrosão, incrustações, presença de componentes como SiO₂, Fe²⁺, Ca²⁺, entre outros.

Por isso, é importante regulamentar inspeções periódicas para verificar se água está de acordo para ser utilizada. Alguns dos métodos utilizados para tratar a água podem ser: retirada de cálcio e magnésio, controle de pH, retirar o oxigênio dissolvido na água e o controle de sólidos totais.

8 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

O dimensionamento dos equipamentos foi feito com base no balanço material e energético do processo, no qual verificou-se a vazão mássica que estava fluindo em cada equipamento ou a quantidade de energia trocada com as utilidades, e assim determinou seu volume ou área para poder ser feito o cálculo do custo de cada equipamento. Os equacionamentos estão no Apêndice B.

Para encontrar o custo estimado de alguns equipamentos, utilizamos a Equação 5, sendo os valores encontrados em dólares e que posteriormente transformamos para em reais de acordo com o valor do dólar em 19 de junho de 2023 (TOWLER, 2010).

$$C_e = a + b \cdot S^n \quad (5)$$

Em que

C_e – Custo do equipamento;

a, b – Constantes presentes no Apêndice B;

S – Tamanho do equipamento;

n – Expoente para o tipo de equipamento.

8.1 Setor 200: Malteação

Neste setor, foram utilizados tanques e secadores no qual irão transformar em malte o grão de cevada para ser utilizado nos processos seguintes.

8.1.1 Tanque de maceração

Nessa etapa, a principal função é umidificar o grão, por isso haverá a entrada de cevada e água no tanque. A maceração ocorrerá em 2 dias e com um fator de segurança de 0,8. Assim, as principais informações do tanque estão no Quadro 5.

Quadro 5 – Dimensões do tanque de maceração

Altura (m)	1,50
------------	------

Diâmetro (m)	10,60
Volume (m ³)	132,40
Quantidade	10
Custo unitário (U\$)	14.568,32

Fonte: Autoria própria (2023).

8.1.2 Tanque de germinação

Na germinação foram dimensionados tanques com as mesmas dimensões do processo de maceração, com o mesmo fator de segurança de 0,8. Mas, os processos ocorreram em tanques distintos, sendo nesse processo um tempo de 3 dias.

Quadro 6 – Dimensões do tanque de germinação

Altura (m)	1,50
Diâmetro (m)	10,60
Volume (m ³)	132,40
Quantidade	15
Custo unitário (U\$)	14.568,32

Fonte: Autoria própria (2023).

8.1.3 Secador de tambor rotativo

O secador de tambor rotativo é um equipamento industrial de alta eficiência e com posicionamento inclinado que irá retirar a umidade do grão e evitar contaminações microbiológicas, além de realizar o transporte do grão seco. O tempo necessário para a secagem é de 1,25 minutos, como foi pesquisado em campo (indústrias do ramo que já empregam esse processo), devido à grande quantidade de umidade que irá entrar junto ao grão, além disso, o grão não poderá sofrer torrefação, pois para os tipos de cerveja que será produzido, não é necessária uma torra, e assim, garanta-se as propriedades de aroma e sabor.

Quadro 7 – Dimensões do secador de tambor rotativo

Altura (m)	39,7
------------	------

Diâmetro (m)	4,85
Volume (m³)	722,88
Área (m²)	18,5
Quantidade	3
Custo unitário (U\$)	42.629,85

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2 Setor 300: Brassagem

Na Brassagem serão utilizados moinho de martelo, tanques, trocadores de calor casco tubos e filtro prensa.

8.2.1 Moinho de martelo

O grão precisa ser moído antes de entrar na mosturação, por isso o moinho é constituído por um rotor de martelos que irá diminuir a granulometria do malte sem que haja necessidade de água. A escolha desse equipamento foi baseada em sua grande capacidade e de sua fácil instalação e utilização, além da baixa quantidade de manutenção exigida. Nesta etapa, o moinho foi especificado de acordo com modelos disponíveis no mercado, assim para estimar o custo, foi somente exigido a sua capacidade necessária para trituração, que é de 30 toneladas por hora.

Quadro 8 – Capacidade do moinho de martelos

Capacidade (ton)	30
Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	24.043,32

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.2 Tanque de mosturação

Nesse tanque entrará o malte e água aquecida proveniente do vapor do tanque de fervura que constituirá o mosto e por isso não precisa conter serpentinas. O tempo de mosturação é de 90 minutos.

Quadro 9 – Dimensões do tanque de mosturação

Altura (m)	9,53
Diâmetro (m)	4,77
Volume (m ³)	195,32
Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	604.949,42

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.3 Filtro prensa

O filtro prensa foi o escolhido devido à sua grande capacidade de armazenar o bagaço do malte, fazendo com que o processo seja mais eficiente e rápido. Assim como ele é utilizado nas grandes indústrias de cerveja.

Quadro 10 – Dimensões do filtro prensa

Altura (m)	3
Largura (m)	5
Comprimento (m)	6,15
Comprimento placa (m)	0,1
Número de placas	50
Volume (m ³)	1,4
Quantidade	13
Custo unitário (U\$)	62.120,24

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.4 Tanque de fervura

O tanque de fervura será externamente isolado, ou seja, adiabático e com serpentinas internamente para que mantenha a temperatura elevada. O tempo de fervura será de 90 minutos e o fator de segurança utilizado foi de 0,8.

Quadro 11 – Dimensões do tanque de fervura

Altura (m)	5,37
------------	------

Diâmetro (m)	3
Volume (m ³)	194,70
Área total de troca térmica serpentina (m ²)	303,58
Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	603.435,57

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.5 Trocador de calor casco tubos (integração)

No trocador casco tubos será utilizado o vapor proveniente da fervura que escoará na parte interna dos tubos para poder aquecer a água que irá para a mosturação, sendo que a água escoar no casco. Nesse caso, um coeficiente global de troca térmica de 69,40 W/m².°C foi assumido (ERWIN, 2016), considerando as propriedades dos dois fluidos e do regime de escoamento empregado. A partir disso, foi possível determinar o número de tubos do trocador.

Quadro 12 – Dimensões do trocador de calor casco tubos

Diâmetro (m)	1,48
Comprimento (m)	25
Número de tubos	53
Área (m ³)	1,73
Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	7.483,00

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.6 Trocador de calor casco tubos

Após a filtração, haverá um trocador de calor para que o líquido cervejeiro es quente antes de entrar na fervura, que é realizado através de vapor. O coeficiente global de troca térmica será igual a 69,40 W/m².°C (ERWIN, 2016).

Quadro 13 – Dimensões do trocador de calor casco tubos

Diâmetro (m)	1,52
--------------	------

Comprimento (m)	25
Número de tubos	56
Área (m ³)	871,4
Quantidade	3
Custo unitário (U\$)	55.980,00

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.7 Tanque de clarificação

O tanque de clarificação ou tanque de *whirlpool*, é formado por uma pá que irá circular o líquido para que ele seja clareado, através de uma decantação. Para isso, o tempo de residência necessário é maior e foi adotado como sendo de 20 minutos com um fator de segurança de 0,8 para a ocupação da parte líquida no interior do tanque.

Quadro 14 – Dimensões do tanque de clarificação

Altura (m)	3,55
Diâmetro (m)	3,48
Volume (m ³)	33,12
Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	158.703,45

Fonte: Autoria própria (2023).

8.2.8 Trocador de calor resfriamento

Nessa etapa, será utilizado um trocador casco tubos para que a solução seja resfriada antes de entrar no tanque fermentador. A amônia será o fluido refrigerante e estará na parte externa (casco), e o líquido na parte interna do trocador (tubos).

Quadro 15 – Dimensões do trocador de calor casco tubos

Diâmetro (m)	1,40
Comprimento (m)	10
Número de tubos	48
Área (m ³)	301,83

Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	21.051,50

Fonte: Autoria própria (2023).

8.3 Setor 400: Fermentação/Maturação

Na principal etapa do processo, serão utilizadas dornas de fermentação e de maturação, além de uma centrífuga.

8.3.1 Dorna de fermentação

Nessa etapa do processo, serão utilizadas 7 linhas de fermentação com 5 dornas em cada para que seja possível atender a produção quando a fábrica estiver operando em sua máxima capacidade. A dorna será encamisada para o controle de temperatura e o fluido refrigerante será a amônia. O tempo de fermentação será de 7 dias.

Quadro 16 – Dimensões da dorna de fermentação

Altura (m)	10
Diâmetro (m)	7
Volume (m ³)	384,67
Quantidade	35
Custo unitário (U\$)	29.022,53

Fonte: Autoria própria (2023).

8.3.2 Centrífuga

Haverá uma centrífuga que irá recircular a levedura, para que ela seja reaproveitada ao máximo, pois será necessário adicionar menos leveduras novas ao processo. Para estimar o custo, o parâmetro necessário é a vazão volumétrica que entrará no equipamento

Quadro 17 – Informações da centrífuga

Vazão volumétrica (L/s)	0,03
-------------------------	------

Quantidade	1
Custo unitário (U\$)	2.132,81

Fonte: Autoria própria (2023).

8.3.3 Dorna de maturação

Na maturação, serão utilizadas 5 linhas com 20 dornas por linha para que seja possível atender a produção. O número de tanques é maior, pois o tempo será de 10 dias. Haverá também uma camisa para o controle de temperatura e o fluido refrigerante será amônia.

Quadro 18 – Dimensões da dorna de maturação

Altura (m)	9,8
Diâmetro (m)	5
Volume (m ³)	192,10
Quantidade	100
Custo unitário (U\$)	18.444,67

Fonte: Autoria própria (2023).

8.4 Setor 500: Resfriamento/Envase

Os equipamentos necessários para esse setor serão o filtro de membranas e trocadores de calor para a pasteurização.

8.4.1 Filtro de membranas

No filtro de membranas, foi feita uma coleta de informações junto ao fornecedor para o conhecimento das especificações do equipamento, de maneira a atender a demanda do processo INPB.

Quadro 19 – Especificação do filtro de membranas

Comprimento (m)	1,016
Diâmetro (m)	0,20

Área da membrana (m ²)	33
Pressão máxima de operação (bar)	55
Material da membrana	Polietersulfona

Fonte: Mann Hummel (2021).

8.4.2 Trocadores de calor (pasteurização)

A pasteurização será composta por dois trocadores casco e tubos para que haja um aumento de temperatura, seguida pelo resfriamento da cerveja, além de um integrador (pasteurizador regenerativo). No total, a pasteurização necessitará de uma área de troca térmica total de 911,53 m².

Quadro 20 – Informações dos trocadores de calor

Volume total (m ³)	911,53
Quantidade	3
Custo total (U\$)	70.430,00

Fonte: Autoria própria (2023).

9 VIABILIDADE FINANCEIRA

Empreender oferece a oportunidade de transformar as paixões em realidade, com independência, potencial de crescimento e impacto na comunidade. A jornada de aprendizado constante, a satisfação de atender às necessidades dos clientes e a construção de legados são recompensas. Porém, o empreendedorismo também envolve riscos e desafios, exige resiliência e dedicação. Nesse contexto, a análise financeira desempenha um papel crucial, fornecendo a base para decisões informadas, alocação eficiente de recursos, obtenção de financiamento e sustentabilidade financeira a longo prazo.

Assim, para viabilizar o empreendimento da INPB será apresentada uma análise financeira da empresa, contendo, custos fixos, despesas variáveis e fixas, receita, Demonstração de Resultados no Exercício, Fluxo de Caixa, retorno do investimento ou *payback*, Ponto de Equilíbrio e a atividade do empreendimento.

9.1 Financiamento

Segundo TOWLER (2013), o investimento fixo inicial de processo corresponde à soma dos custos de equipamentos que transformam uma matéria-prima no produto com valor agregado de interesse, sendo os custos dos demais setores calculados a partir de fatores ou correções sobre o custo fixo do processo.

A partir disso, a INPB necessitará de um investimento fixo inicial no valor de R\$25.369.556,10, que corresponde aos custos de todos os equipamentos de processo (apresentados na Tabela 72 do Apêndice onde é listado todos os equipamentos seguidos das quantidades e valores). Destaca-se aqui que este é o valor associado aos equipamentos de processo, e não incluem o projeto dos setores de água e efluentes, cogeração, administrativo e demais.

Além do investimento fixo inicial de processo, será necessário adquirir o valor de R\$ 447.947,79, referente à compra do terreno.

Ainda de acordo com TOWLER (2013), o investimento inicial deve compreender os gastos fixos gerais associados à montagem dos equipamentos, tubulações, construção elétrica e civil, infraestrutura, pintura, entre outros tópicos;

somados tais custos, um fator de seis vezes sobre o custo dos equipamentos do processo deve ser utilizado, o que representa um total de R\$ 151.418.199,84.

O Quadro 21 apresenta o total do investimento fixo inicial a ser realizado pela INPB.

Quadro 21 – Cálculo do Investimento Inicial

Custo com equipamentos	R\$ 25.369.556,10
Custo gerais (tubulações, construção elétrica e civil, infraestrutura, pintura, entre outros)	R\$ 152.217.336,60
Terreno	R\$ 447.947,79
Investimento inicial	R\$ 178.034.840,49

Fonte: Autoria própria (2023).

Esse valor será adquirido junto ao Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), pois é o banco nacional que ajuda grandes empresas a se desenvolverem com valores de taxa de juros mais baixas do mercado, em comparação a outros bancos.

A taxa empregada pelo BNDES será no valor de 12,41% ao ano (BNDES, 2022), levando em consideração 120 meses ou 10 anos para a conclusão da dívida. Para expor de forma clara os valores praticados nesse empréstimo, o Sistema de Amortização Constante (SAC) foi escolhido, devido ao alto valor do empréstimo. O financiamento foi dividido para ser pago em 10 anos, com 1 ano de carência para concluir a construção da empresa, como mostrado na Tabela 68.

Tabela 68 – Tabela SAC

Parcelas	Juros	Amortização	Pagamento	Saldo Devedor
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 178.034.840,49
1	R\$ 22.091.223,52	R\$ -	R\$ -	R\$ 200.126.064,01
2	R\$ 24.832.384,49	R\$ 22.236.229,33	R\$ 47.068.613,82	R\$ 177.889.834,67
3	R\$ 22.073.230,66	R\$ 22.236.229,33	R\$ 44.309.459,99	R\$ 155.653.605,34
4	R\$ 19.314.076,83	R\$ 22.236.229,33	R\$ 41.550.306,16	R\$ 133.417.376,00
5	R\$ 16.554.922,99	R\$ 22.236.229,33	R\$ 38.791.152,33	R\$ 111.181.146,67
6	R\$ 13.795.769,16	R\$ 22.236.229,33	R\$ 36.031.998,50	R\$ 88.944.917,34
7	R\$ 11.036.615,33	R\$ 22.236.229,33	R\$ 33.272.844,66	R\$ 66.708.688,00
8	R\$ 8.277.461,50	R\$ 22.236.229,33	R\$ 30.513.690,83	R\$ 44.472.458,67
9	R\$ 5.518.307,66	R\$ 22.236.229,33	R\$ 27.754.537,00	R\$ 22.236.229,33
10	R\$ 2.759.153,83	R\$ 22.236.229,33	R\$ 24.995.383,17	R\$ -

SOMA R\$146.253.145,97 R\$ 200.126.064,01 R\$ 324.287.986,46

Fonte: Autoria própria (2023).

Dessa forma, haverá um total de juros a serem pagos no valor de R\$ 146.253.145,97, o que resulta em um pagamento final do financiamento o valor de R\$324.287.986,46.

9.2 Custos e despesas

Despesas e custos representam as saídas financeiras da empresa, e é preciso conhecer e relatar tais valores para manter um fluxo de caixa controlado.

A seguir, serão apresentados os gastos fixos de processo, depreciação e obsolescência dos equipamentos, terreno, instalações, veículos, construção civil, bem como os gastos variáveis de produção.

9.2.1 Custos fixos

Para os custos fixos, foi utilizado como base o custo do investimento inicial, adicionando-se um multiplicar ao valor dos equipamentos (TOWLER, 2013).

Foi utilizado um fator de seis vezes o valor dos equipamentos, para gastos de construções das edificações, gastos com utilidades do processo, como construção de caldeira, ciclos de refrigeração, sistema de tratamento de água.

Neste multiplicador, também está incluso todos os gastos fixos da empresa no período de dez anos, sendo eles de limpeza, manutenção dos equipamentos, seguro dos equipamentos e instalações, aquisição de veículos, IPTU e IPVA, equipamentos de proteção individuais e coletivos. Em resumo, todos os gastos fixos e variáveis, sem ser gastos com a produção e funcionários, necessário para o funcionamento da empresa, totalizando em R\$ 152.217.336,60 de gastos fixos gerais.

Somado aos custos fixos, tem-se a folha de pagamento dos funcionários. A partir do valor agregado ao porte da empresa (custos de equipamentos de processo), foi limitado o gasto com funcionários a um total de 8% do custo do investimento inicial mais os gastos gerais, o que representou um gasto anual de R\$ 14.242.787,24, com o valor mensal de R\$ 1.186.898,94, distribuído em todos os níveis de cargos dentro da empresa.

9.2.2 Custos variáveis

Parte dos custos variáveis foi incluído nos gastos gerais, que representa o necessário para o funcionamento da empresa e da produção, capital de giro, como gastos com insumos de laboratório, escritório, alimentação, utensílios da produção, eletricidade, matérias do setor de utilidades entre outros.

Os custos variáveis associados à produção estão listados no Apêndice A, e incluem as despesas que dependem das quantidades para a produção, mais os gastos com utilidade de vapor e tratamento de água. O total obtido sobre os custos variáveis foi de R\$ 1.770.095.355,86.

9.3 Receita e deduções

Levando-se em consideração a produção estima pela INPB, para os primeiros 10 anos, serão obtidos 700 milhões de litros de cerveja por ano, dividido entre 445.454.545 litros para Pilsen, 190.909.091 litros de Lager e 63.636.364 litros da IPA. Somado à receita da produção, a empresa incluirá em sua receita a venda de subprodutos da produção, além da cogeração de energia provinda da turbina através do vapor excedente do setor de utilidades.

Para estimar os valores da produção, foi adotado uma efetividade de produção de 85%, considerando perdas no processo e eventuais acidentes de produção. Assim, totalizou um valor de receita bruta anual pela venda dos produtos e subprodutos de R\$ 2.896.455.841.60, já considerando as perdas de produção. Somado a isso, com a venda da cogeração de energia, somou-se um valor anual de R\$ 52.090.625.46, levando a um valor de receita bruta de R\$ 2.948.546.467,06. Tais valores estão apresentados com mais detalhes das quantidades e valores no Apêndice A.

A produção em grande escala requer muitos intermediários de venda até chegar no consumidor final, assim a INPB busca preços acessíveis, mas apresentando margens de lucro sobre suas vendas. Por se tratar de grandes quantidades, o custo de produção dos produtos Pilsen, Lager, IPA, tornou-se economicamente baixos, possuindo preços mínimos de produção por litro de R\$ 1,96, R\$ 2,02, R\$ 8,08. Com tudo, a empresa pode adotar margens de lucro maiores, e adotou-se um valor de 85% para Pilsen, com valor final de R\$ 3,62 o litro; Lager com

80% de lucro tendo o valor de R\$ 3,63 o litro, e de 50% para a IPA com valor final de R\$ 12,12. Mesmo com grandes margens de lucro, os valores previstos permanecem dentro dos padrões de preços do mercado nacional.

Ainda sobre o estudo de viabilidade econômica, deve-se considerar fatores como impostos de produção e comercialização, aplicados sobre a receita da empresa. Tais valores dependem da classificação e do porte da indústria de bebidas alcoólicas.

Neste sentido, foram considerados tributos diretos nas fontes, sobre o lucro bruto, sendo o ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) com a taxa de 25%, PIS (Programa de Integração Social) com uma taxa de 1,65%, COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) com taxa de 7,60% sobre a receita bruta. (SEF SC, 2023)

Para o cálculo da receita líquida, retira-se o valor dos custos fixos e variáveis, obtendo-se o lucro operacional. Em seguida, desconta-se os juros do financiamento, chegando ao lucro bruto, e logo após desconta-se a depreciação que resulta no lucro tributável.

A depreciação, na qual é a alocação de custo de ativos tangíveis ao longo do tempo, analisando a vida útil e obsolescência de equipamentos, veículos, terrenos, edificações, seguindo as taxas e tempos apresentados pela Receita Federal. (RECEITA FEDERAL, 2023). Foi utilizado como base de gastos nessa categoria 50% dos gastos gerais, que visa a classe investida. Assim, totalizou-se em R\$ 89.017.420,25, que por lei pode ser isenta do imposto tributável sobre lucro líquido.

Do lucro tributável, aplica-se o imposto sobre o lucro real, sendo o IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica) possui uma taxa de 15%, somado ao CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido) 9%. Todos os tributos são considerados com sua taxa anual. Após aplicado os tributos, adiciona a depreciação sobre o valor, e obtém-se o lucro líquido (RECEITA FEDERAL, 2023).

9.4 Demonstração do resultado de exercício (DRE)

A Demonstração de Resultado do Exercício (DRE) é uma ficha resumida das operações financeiras de uma empresa em um determinado período, resumindo as ações contábeis.

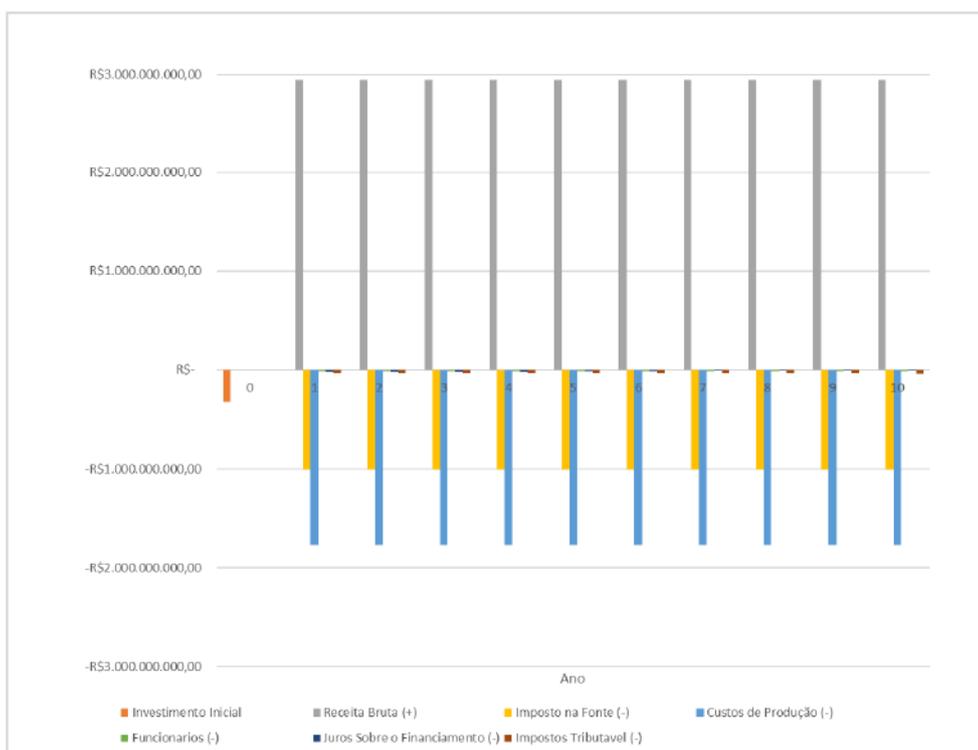
Os resultados da DRE estão apresentados no Apêndice A, com detalhes dos valores e como foram realizados, dos custos, despesas, receitas, impostos,

parcelas e períodos. Cada categoria foi explicada nas descrições anteriores. A projeção de valores, foi estimada para a produção parcial para os primeiros 10 anos de empresa, com redução na produção de 63,64%, de 1,1 bilhões de litros para 700 milhões de litros anuais, na DRE será apresentado somente os primeiros 10 anos.

9.5 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa demonstra as saídas e entrada do caixa da empresa por um período, a fim de se verificar o retorno investido e a receita superior às despesas. Estes dados são obtidos após a construção da DRE da empresa, e estão apresentados na Figura 21 para um período de 10 anos da INPB.

Figura 21 – Fluxo de caixa



Fonte: Autoria própria (2023).

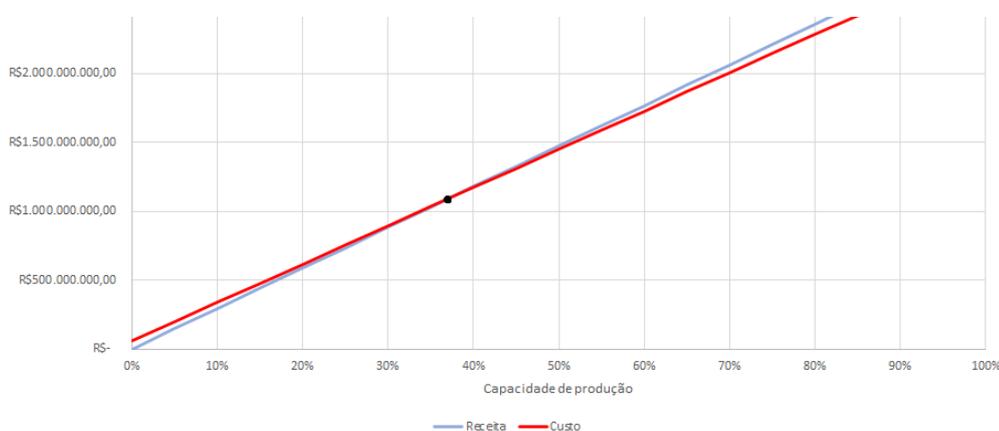
9.6 Ponto de equilíbrio

Para obtenção do ponto de equilíbrio, que indica a quantidade mínima a ser produzida para garantir uma margem de lucro positiva, foi considerando os valores de

custo de produção, custo fixo (relacionado à parcela do financiamento e gastos com funcionários) e receita bruta da INPB. Considerando a capacidade de produção, foi esboçado o gráfico na Figura 22. Ao analisar os dados, obteve a capacidade mínima de produção de 36,4%, o que indica uma grande liberdade sobre margem de produção nominal para garantia de lucro líquido da INPB.

Esse resultado demonstra que para a empresa conseguir um lucro líquido positivo é necessário que sua produtividade esteja na faixa de 36,4 a 100% da capacidade, faixa na qual a receita é superior aos gastos fixos.

Figura 22 - Gráfico do ponto de equilíbrio



Fonte: Autoria própria (2023).

9.7 Taxa interna de retorno

Em um investimento de sucesso, a Taxa Interna de Retorno (TIR) deverá superar a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Por sua vez, a TMA é a taxa mínima a ser considerada para que o investimento de uma empresa seja viável, e indica uma taxa na qual o retorno é suficiente para justificar o investimento no empreendimento.

Para definir a TMA da INPB, foi considerada a taxa de 20%, similar a um rendimento variável de alto risco, superior à taxa SELIC e outros rendimentos disponíveis (BANCO CENTRAL, 2023).

A partir dos dados da DRE, a TIR da empresa calculado foi de 24%, o que certifica que o investimento na empresa é economicamente viável.

9.8 Payback

O *payback* é uma métrica que calcula o tempo necessário para recuperar o investimento inicial em um projeto, com base nos fluxos de caixa gerado, tornando-se o meio de avaliar quando o investimento será recuperado.

No cálculo do *payback*, necessita-se do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), sendo a métrica de viabilidade do fluxo, apresentado na Equação 6. É aplicado sobre o fluxo de caixa líquido, trazendo o valor futuro ao presente descontando a TMA.

$$VPL = \sum_{n=0}^n \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} \quad (6)$$

Na equação, FC representa o fluxo de caixa do período, n como índice temporal, e TMA de 20%. A Tabela 69 apresenta a variação do VPL da INPB ao longo do período de 10 anos de análise, indicando um valor positivo de R\$36.924.382,11.

Tabela 69 – Payback

Ano	Fluxo de caixa		VP		Payback	
0	-R\$	324.287.986,46	-R\$	324.287.986,46	-R\$	324.287.986,46
1	R\$	102.638.769,05	R\$	85.532.307,54	-R\$	238.755.678,92
2	R\$	78.319.257,37	R\$	54.388.373,18	-R\$	184.367.305,74
3	R\$	80.416.214,29	R\$	46.537.161,05	-R\$	137.830.144,69
4	R\$	82.513.171,20	R\$	39.792.231,48	-R\$	98.037.913,21
5	R\$	84.610.128,11	R\$	34.002.912,85	-R\$	64.035.000,36
6	R\$	86.707.085,02	R\$	29.038.027,34	-R\$	34.996.973,02
7	R\$	88.804.041,94	R\$	24.783.578,30	-R\$	10.213.394,72
8	R\$	90.900.998,85	R\$	21.140.667,08	R\$	10.927.272,36
9	R\$	92.997.955,76	R\$	18.023.626,86	R\$	28.950.899,23
10	R\$	95.094.912,67	R\$	15.358.359,30	R\$	44.309.258,53

Fonte: Autoria própria (2023).

Conclui-se segundo os dados que, o investimento aplicado na empresa terá o retorno por volta do oitavo ano de atuação da empresa.

10 TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Os resíduos gerados pelo processo produtivo da INPB se resumem a resíduos líquidos da água utilizada no processo. Isso ocorre devido ao fato de que todo bagaço de malte, trub e leveduras utilizadas saem com um teor de umidade entre 80% e 90%, ou seja, 20 a cada 100 litros de água inseridos no processo saem junto desses subprodutos em diversas etapas. Após serem prensados, liberam uma água que deve ser devidamente tratada para ser enviada de volta ao rio (PRIEST e STEWART, 2006).

Para realizar o tratamento desses resíduos de maneira correta existem diferentes processos que são qualificados para isso, mas o processo de tratamento definido para a INPB foi baseado de acordo com a CONAMA Nº 430/2011, que especifica os padrões, condições, parâmetros e diretrizes corretos para o tratamento e descarte dessas águas.

A INPB vai, portanto, utilizar tratamento primário e secundário para redução da carga orgânica do efluente, gerando um resíduo líquido apto para a ser descartado nos rios receptores. E o lodo adensado obtido pode ser agregado ao subproduto gerado (trub) para comercialização ou destino a empresas do ramo que tratem esse material.

Estima-se que para cada 1000 litros de cerveja produzidos, se gere por volta de 350kg de resíduo úmido de cervejaria. Este resíduo seria enviado para empresas que os utilizam para a nutrição animal, gerando um retorno financeiro para a empresa e ao mesmo tempo encontrando um destino apropriado para o subproduto.(MARTINEZ, 2021).

11 CONCLUSÃO

O objetivo principal discorrido neste projeto foi a tratativa de uma indústria cervejeira que, a partir de diferentes tecnologias no tratamento de água comparado às suas concorrentes, visa entregar ao mercado uma cerveja de qualidade superior. Uma água de qualidade é a primeira etapa para desenvolver boas receitas e obter bebidas com sabores únicos, além disso, no que diz respeito ao processo industrial reduz gastos com incrustações em tubulações e encanamentos, além de diminuir os resquícios de minerais dentro da caldeira que podem diminuir sua eficiência. Situada em Rio do Sul, no estado de Santa Catarina, a Indústria Nacional de Produção de Bebidas, INPB, projeta-se para entregar ao mercado nacional 1,1 bilhões de litros de cerveja por ano, nas modalidades Pilsen, Lager Puro Malte e IPA, atendendo uma demanda de 5% da projetada para o ano de 2040. Com os dados embasados em pesquisas de campo e literatura teórica, foi desenvolvido os balanços para cada tipo de cerveja utilizando de receitas próprias, levando a uma produção de 700 milhões de litros de cerveja pilsen, 300 milhões de litros de cerveja lager puro malte e 100 milhões de litros de IPA; no processo, a proporção de água utilizada gira em torno de 1,20 litros de água por litro de cerveja produzida, valor inferior as principais concorrentes, o que reforça o uso adequado dos recursos e das tecnologias empregadas pela INPB. Por fim, os dados apresentados embasam que há a possibilidade deste projeto ser posto em prática, considerando que houve um consenso de valores dentro dos estipulados como o valor da receita bruta de R\$4,21/L produzido e com um valor final do litro para as cervejas Pilsen, Lager e IPA, respectivamente, R\$3,62; 3,63 e R\$12,12, tanto na análise de mercado, quanto de normativas e legislações vigentes nacionais.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, D. **Consumo de cerveja ‘migra’ para dentro de casa e volume de vendas no Brasil é o maior desde 2014**. G1, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/23/consumo-de-cerveja-migra-para-dentro-de-casa-e-volume-de-vendas-no-brasil-e-o-maior-desde-2014>. Ghtml. Acesso em: 3 set. 2022.

ALVARENGA D.; SILVEIRA, D. **Consumo de cerveja cresce no país mesmo com inflação e movimento ainda é fraco nos bares**. G1, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/06/11/consumo-de-cerveja-cresce-no-pais-mesmo-com-inflacao-e-movimento-ainda-fraco-nos-bares>. Ghtml. Acesso em: 2 set. 2022.

BARROS C. R.; GUESTI, G. F. **Malte: Essência da cerveja**. Edição 1. Brasília, 2016.

BRASIL, B. C. D. **Taxa Selic**. Banco Central do Brasil. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 11 out. 2023.

BUTTRICK, P. K. **Clarification**. 2022. Craft Beer & Brewing. Disponível em: <https://beerandbrewing.com/dictionary/dccejKVKjg/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CAESB. **Como a água é tratada**. 2022. Caesb df. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/como-a-agua-e-tratada.html>. Acesso em: 11 out 2022.

CERVEJA, I. D. **Destaque-se entre os amigos: conheça a história da cerveja no Brasil**. Instituto da Cerveja: 17 jul. 2017.

CHLUP, P. H. **Centrifugation**. 2022. Craft Beer & Brewing. Disponível em: <https://beerandbrewing.com/dictionary/alHTtXjLqJ/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CNA. **Quatro estados concentram quase 70% da produção de grãos do país**. CNA: 19 mai. 2017. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/quatro->

estados-concentram-quase-70-da-producao-de-graos-do-pais#:~:. Acesso em: 25 out. 2022.

COSTA, M. I. C. R. **Implementação e validação da nova sala de brassagem. Caso de estudo desenvolvido na Sociedade Central de Cervejas e Bebidas.** 2014. Tese (Doutorado) — Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, Lisboa, Portugal, 2014.

CRISTINA, L.; KONRADT-MORAES. **Estudo dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável.** 2009. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Jan, 2009.

CRUZ, J. S.; GIRARD, L. **Verificação da potabilidade de água de chuva através de filtro lento e desinfecção ultravioleta.** ResearchGate. 2017.

ERWIN, D. L. **Projeto de Processos Químicos Industriais.** Bookman Editora, 2016.

ESSLINGER, H. M. **Handbook of Brewing.** Freiberg: Wiley-VCH, 2009.

GORZOLKA K. et al. **Metabolite fingerprints of barley whole seed, endosperms, and embryos during industrial malting.** Journal of Biotechnology, v. 159, n. 1, p. 177–187, 2012.

GUERREIRO, L. **Produção de cerveja.** BRT Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Rio de Janeiro, 2007.

IN SRF nº 162/1998. Disponível em:

<<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=15004&visao=original>>. Acesso em: 11 out. 2023

JUNIOR A. A. D.; FERREIRA, T. P. **Processo de produção de cerveja**. 2009.

KUNZE, W. **Technology Brewing & Malting**. Vlb Berlin, 1999.

LOPES, P. F. N. **Produção Artesanal da Cerveja Premium Lager com Adição da Polpa de Abacaxi**. Tese(Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

MACIEL, E. **Instrução Normativa SRF nº 162/1998**. Normas Receita Federal.

Disponível em:

<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=15004&visao=original>. Acesso em: 11 out. 2023

MAFRA, E. **Brasil mostra que é um país cada vez mais cervejeiro**. Forbes Agro: 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/09/brasil-mostra-que-e-um-pais-cada-vez-mais-cervejeiro/>. Acesso em: 28 set. 2022.

MELO, M. J. D. M.; SILVA, D. D. D. **Uso da tecnologia de troca iônica no tratamento de águas de abastecimento do município de Cuité-PB**. Educação, Ciência e Saúde, 2015.

PICCINI ANA RITA; MORESCO, C. M. L. **Legislação Cerveja**: Bebidas alcoólicas fermentadas. BRASIL: UFRGS, 2002.

PINTO, A. R. M. **Avaliação do processo de secagem do fabrico de malte: caso de estudo da Sociedade Central de Bebidas, SA**. 2013. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

PRIEST F. G.; STEWART, G. **Handbook of Brewing**. Flórida, USA: CRC Press and TaylorFrancis Group, 2006.

RAZA, N. D. O. **Avaliação de cerveja com adição de calda de morango**. Repositório UFSC, Florianópolis, 2020.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. Aden Editora e Comunicações Ltda. 1997.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. D. A. **Tratamento de água**. Edição 1. São Paulo: Blucher, 1991.

ROSENBERG, M. **Current and future applications for membrane process in the dairy industry**. Food Science and Technology, v. 6, n. 1, p. 12–19, 1995.

SEF – Secretaria de Estado da Fazenda. Disponível em:
<<https://www.sef.sc.gov.br>>. Acesso em: 11 out. 2023.

SOUZA, A. J. N. **Aceitação de cerveja artesanal tipo ale e lager: produzida artesanalmente, e comparação com cerveja de mercado**. 2018. Dissertação (Mestrado) — Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2018.

TAKANO, N. N. et al. **Projeto: Microcervejaria Offenheit um brinde à pureza!**. Jun. 2019. Tese (Graduação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Jun. 2019.

TANCREDO, J. **Estudo de caso de melhoria na etapa de secagem de uma maltaria no RS**. 2015. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2015.

TELES, J. A. **Estudo da produção de mosto concentrado lupulado a partir de extrato de malte concentrado, xarope de alta maltose e lúpulo**. 2007. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos de Campinas, São Paulo, 2007.

TOWLER, G. P.; SINNOTT, R. K. **Chemical engineering design: principles, practice, and economics of plant and process design**. Edição 2. Boston: Butterworth-Heinemann, 2013.

TSCHOPE, E.C.; NOHEL, F. **A malteação da cevada**. Vassouras: Senai-RJ, 1999. 272p. TUNES, L.V.M. **Atributos fisiológicos de qualidade de sementes de cevada sobre diferentes épocas de colheitas e durante o armazenamento**. 100f, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. 2009.

ZSCHOERPER, Otto Paulo. **Apostila curso cervejeiro e malteador – AMBEV**. Porto Alegre: Ambev, 2009. 71p

ZUMACH, R. **Enquadramento de curso de água: rio Itajaí-Açu e seus principais afluentes em Blumenau**. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

APÊNDICE A – Tabelas de Viabilidade Financeira

Tabela 70 - Receita da empresa

Produto		Quantidade	valor por produto	Valor Total
Cerveja Litros	Pilsen	445454545,45	R\$ 3,62	R\$ 1.611.421.509,95
	Lager	190909090,91	R\$ 3,63	R\$ 693.005.156,25
	IPA	63636363,64	R\$ 12,12	R\$ 771.080.755,88
Cogeração de energia eficiência da turbina em 85% (KWh)		88289195,7	R\$ 0,59	R\$ 52.090.625,46
Subproduto - Trub quente, whirpool, fermentação, trub frio (KG)	Pilsen	97136033,30	R\$ 2,00	R\$ 332.087.685,69
	Lager	51018361,86		
	IPA	17889447,69		
TOTAL				R\$ 3.459.685.733,23
Considerando uma taxa de eficiencia de 85% do processo				R\$ 2.948.546.467,06

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 71 – Tabela SAC de investimento

Parcela	Juros	Amortização	Pagamento	Saldo Devedor
0	R\$	- R\$	- R\$	- R\$ 178.034.840,49
1	R\$ 22.091.223,52	R\$	- R\$	- R\$ 200.126.064,01
2	R\$ 24.832.384,49	R\$ 22.236.229,33	R\$ 47.068.613,82	R\$ 177.889.834,67
3	R\$ 22.073.230,66	R\$ 22.236.229,33	R\$ 44.309.459,99	R\$ 155.653.605,34
4	R\$ 19.314.076,83	R\$ 22.236.229,33	R\$ 41.550.306,16	R\$ 133.417.376,00
5	R\$ 16.554.922,99	R\$ 22.236.229,33	R\$ 38.791.152,33	R\$ 111.181.146,67
6	R\$ 13.795.769,16	R\$ 22.236.229,33	R\$ 36.031.998,50	R\$ 88.944.917,34
7	R\$ 11.036.615,33	R\$ 22.236.229,33	R\$ 33.272.844,66	R\$ 66.708.688,00
8	R\$ 8.277.461,50	R\$ 22.236.229,33	R\$ 30.513.690,83	R\$ 44.472.458,67
9	R\$ 5.518.307,66	R\$ 22.236.229,33	R\$ 27.754.537,00	R\$ 22.236.229,33
10	R\$ 2.759.153,83	R\$ 22.236.229,33	R\$ 24.995.383,17	R\$ -
SOMA	R\$ 146.253.145,97	R\$ 200.126.064,01	R\$ 324.287.986,46	

Fonte: Aatoria própria (2023).

Tabela 70 – Custo dos equipamentos

Equipamento	Quantidade	Custo Fixo Unitário	Custo Ajustado	Custo Total (U\$)	Custo Total (reais)
Tanque	25	\$54.714,76	\$14.568,38	\$364.209,48	R\$ 1.739.136,68
Secador	3	\$160.105,79	\$42.629,85	\$127.889,55	R\$ 610.685,40
Moinho de Martelo	1	\$90.300,00	\$24.043,32	\$24.043,32	R\$ 114.809,28
Tanque Mosturação	1	\$2.266.335,14	\$603.435,57	\$603.435,57	R\$ 2.881.465,19
Filtro prensa	13	\$233.306,22	\$62.120,24	\$807.563,06	R\$ 3.856.194,36
Trocador – Casco Tubo	3	\$210.244,67	\$55.979,85	\$167.939,56	R\$ 801.928,20
Tanque Fervura	1	\$69.875,35	\$18.605,05	\$18.605,05	R\$ 88.840,96
Trocador – Casco Tubo (VAPOR)	2	\$28.103,97	\$7.482,98	\$7.482,98	R\$ 35.731,96
Tanque Clarificação	1	\$596.045,75	\$158.703,45	\$158.703,45	R\$ 757.824,85
Trocador Casco Tubo (Amônia)	1	\$79.063,54	\$21.051,50	\$21.051,50	R\$ 100.523,02
Tanque Fermentação	35	\$109.000,50	\$29.022,53	\$1.015.788,55	R\$ 4.850.491,89
Tambor giratório	1	\$8.010,22	\$2.132,81	\$2.132,81	R\$ 10.184,36
Tanque Maturação	100	\$69.273,02	\$18.444,67	\$1.844.466,93	R\$ 8.807.514,04
Filtro por Membrana	1	\$192.483,25	\$51.250,69	\$51.250,69	R\$ 244.727,17
Trocador casco tubo (integração)	1	\$197.943,02	\$52.704,41		R\$ 251.668,84
Trocador Casco Tubo (Vapor)	1	\$30.631,73	\$8.156,02		R\$ 38.945,82
Trocador casco Tubo (Amônia)	1	\$35.939,80	\$9.569,35		R\$ 45.694,61
Total					R\$ 25.369.556,10

Fonte: Aatoria própria (2023).

Tabela 71 – DRE parte 1

ANO	0	1	2	3
-----	---	---	---	---

Investimento Inicial	-R\$			
	324.287.986,46			
Receita Bruta (+)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	2.948.546.467,06	2.948.546.467,06	2.948.546.467,06
Imposto na Fonte (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	1.009.877.164,97	1.009.877.164,97	1.009.877.164,97
Custos de Produção (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	1.770.095.355,86	1.770.095.355,86	1.770.095.355,86
Funcionarios (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	14.242.787,24	14.242.787,24	14.242.787,24
Lucro Operacional (=)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	154.331.158,99	154.331.158,99	154.331.158,99
Juros Sobre o Financiamento (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	22.091.223,52	24.832.384,49	22.073.230,66
Lucro Bruto (=)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	132.239.935,48	129.498.774,50	132.257.928,34
Depreciação (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	8.901.742,02	8.901.742,02	8.901.742,02
Lucro Tributavel (=)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	123.338.193,45	120.597.032,48	123.356.186,31
Impostos Tributavel (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	29.601.166,43	28.943.287,79	29.605.484,71
Depreciação (+)		R\$	R\$	R\$
		8.901.742,02	8.901.742,02	8.901.742,02
Lucro liquido (=)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	102.638.769,05	100.555.486,71	102.652.443,62
Fluxo de cx. Bruto	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	102.638.769,05	100.555.486,71	102.652.443,62
Amortização do financiamento (-)	R\$	R\$	R\$	R\$
	-	-	22.236.229,33	22.236.229,33
Fluxo de cx. Líquido	-R\$	R\$	R\$	R\$
	324.287.986,46	102.638.769,05	78.319.257,37	80.416.214,29
Fluxo de cx. Acumulado	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$
	324.287.986,46	221.649.217,41	143.329.960,03	62.913.745,75

Tabela 75 – DRE parte 2

ANO	4	5
Investimento Inicial		
Receita Bruta (+)	R\$ 2.948.546.467,06	R\$ 2.948.546.467,06
Imposto na Fonte (-)	R\$ 1.009.877.164,97	R\$ 1.009.877.164,97
Custos de Produção (-)	R\$ 1.770.095.355,86	R\$ 1.770.095.355,86
Funcionários (-)	R\$ 14.242.787,24	R\$ 14.242.787,24
Lucro Operacional (=)	R\$ 154.331.158,99	R\$ 154.331.158,99
Juros Sobre o Financiamento (-)	R\$ 19.314.076,83	R\$ 16.554.922,99
Lucro Bruto (=)	R\$ 135.017.082,17	R\$ 137.776.236,00
Depreciação (-)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro Tributável (=)	R\$ 126.115.340,14	R\$ 128.874.493,98
Impostos Tributável (-)	R\$ 30.267.681,63	R\$ 30.929.878,55
Depreciação (+)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro Líquido (=)	R\$ 104.749.400,53	R\$ 106.846.357,45
Fluxo de cx. Bruto	R\$ 104.749.400,53	R\$ 106.846.357,45
Amortização do financiamento (-)	R\$ 22.236.229,33	R\$ 22.236.229,33
Fluxo de cx. Líquido	R\$ 82.513.171,20	R\$ 84.610.128,11
Fluxo de cx. Acumulado	R\$ 19.599.425,45	R\$ 104.209.553,56

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 76 – DRE parte 3

ANO	6	7	8
Investimento Inicial			
Receita Bruta (+)	R\$ 2.948.546.467,06	R\$ 2.948.546.467,06	R\$ 2.948.546.467,06
Imposto na Fonte (-)	R\$ 1.009.877.164,97	R\$ 1.009.877.164,97	R\$ 1.009.877.164,97
Custos de Produção (-)	R\$ 1.770.095.355,86	R\$ 1.770.095.355,86	R\$ 1.770.095.355,86
Funcionários (-)	R\$ 14.242.787,24	R\$ 14.242.787,24	R\$ 14.242.787,24

Lucro Operacional (=)	R\$ 154.331.158,99	R\$ 154.331.158,99	R\$ 154.331.158,99
Juros Sobre o Financiamento (-)	R\$ 13.795.769,16	R\$ 11.036.615,33	R\$ 8.277.461,50
Lucro Bruto (=)	R\$ 140.535.389,83	R\$ 143.294.543,66	R\$ 146.053.697,50
Depreciação (-)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro Tributável (=)	R\$ 131.633.647,81	R\$ 134.392.801,64	R\$ 137.151.955,47
Impostos Tributável (-)	R\$ 31.592.075,47	R\$ 32.254.272,39	R\$ 32.916.469,31
Depreciação (+)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro líquido (=)	R\$ 108.943.314,36	R\$ 111.040.271,27	R\$ 113.137.228,18
Fluxo de cx. Bruto	R\$ 108.943.314,36	R\$ 111.040.271,27	R\$ 113.137.228,18
Amortização do financiamento (-)	R\$ 22.236.229,33	R\$ 22.236.229,33	R\$ 22.236.229,33
Fluxo de cx. Líquido	R\$ 86.707.085,02	R\$ 88.804.041,94	R\$ 90.900.998,85
Fluxo de cx. Acumulado	R\$ 190.916.638,59	R\$ 279.720.680,53	R\$ 370.621.679,37

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 77 – DRE parte 4

ANO	9	10
Investimento Inicial		
Receita Bruta (+)	R\$ 2.948.546.467,06	R\$ 2.948.546.467,06
Imposto na Fonte (-)	R\$ 1.009.877.164,97	R\$ 1.009.877.164,97
Custos de Produção (-)	R\$ 1.770.095.355,86	R\$ 1.770.095.355,86
Funcionários (-)	R\$ 14.242.787,24	R\$ 14.242.787,24
Lucro Operacional (=)	R\$ 154.331.158,99	R\$ 154.331.158,99
Juros Sobre o Financiamento (-)	R\$ 5.518.307,66	R\$ 2.759.153,83
Lucro Bruto (=)	R\$ 148.812.851,33	R\$ 151.572.005,16
Depreciação (-)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro Tributável (=)	R\$ 139.911.109,30	R\$ 142.670.263,14
Impostos Tributável (-)	R\$ 33.578.666,23	R\$ 34.240.863,15

Depreciação (+)	R\$ 8.901.742,02	R\$ 8.901.742,02
Lucro líquido (=)	R\$ 115.234.185,10	R\$ 117.331.142,01
Fluxo de cx. Bruto	R\$ 115.234.185,10	R\$ 117.331.142,01
Amortização do financiamento (-)	R\$ 22.236.229,33	R\$ 22.236.229,33
Fluxo de cx. Líquido	R\$ 92.997.955,76	R\$ 95.094.912,67
Fluxo de cx. Acumulado	R\$ 463.619.635,14	R\$ 558.714.547,81

Fonte: Autoria própria (2023).

APÊNDICE B – Informações para dimensionamento dos equipamentos

Quadro 22 – Valores para calcular preço estimado dos equipamentos

Equipamento	Unidade	a	b	n
Tanque	volume, m ³	5800	1600	0,7
Reator agitado encamisado	volume, m ³	61500	32500	0,8
Moinho de martelos	ton/h	68400	730	1
Trocador casco tubos	área, m ²	28000	54	1,2
Filtro prensa	capacidade, m ³	128000	89000	0,5
Trocador bitubular	área, m ²	1900	2500	1

Fonte: Towler (2010).

Para calcular o volume de um tanque, temos:

$$V = \rho \cdot \dot{m} \cdot \tau \quad (7)$$

Em que:

ρ = densidade;

\dot{m} = vazão mássica;

τ = tempo de residência.

Para calcular a área de transferência de calor, temos:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_{ln}} \quad (8)$$

Na qual,

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{maior} - \Delta T_{menor}}{\ln \left[\frac{\Delta T_{maior}}{\Delta T_{menor}} \right]} \quad (9)$$

E podemos calcular também a área de um trocador de calor:

$$A = n \cdot \pi \cdot D_t \cdot L \quad (10)$$

Em que,

n = número de tubos;
D_t = diâmetro dos tubos;
L = comprimento dos tubos.

Para calcular o diâmetro do casco em um trocador de calor casco tubos, temos:

$$D_c = \sqrt{\frac{A_c \cdot 4}{\pi}} \quad (11)$$

Na qual,

A_c = área do casco (transversal).