



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
EMULSÕES COSMÉTICAS UTILIZANDO FONTES RESIDUAIS  
COMO FASE OLEOSA**

**GABRIELA CRIVOI FIORI**

Foz do Iguaçu  
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
EMULSÕES COSMÉTICAS UTILIZANDO FONTES RESIDUAIS  
COMO FASE OLEOSA**

**GABRIELA CRIVOI FIORI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dra. Renata Braga Soares  
Coorientador: Prof. Dr. Luís Antonio Lourenço

Foz do Iguaçu  
2022

**GABRIELA CRIVOI FIORI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
EMULSÕES COSMÉTICAS UTILIZANDO FONTES RESIDUAIS COMO FASE  
OLEOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

**BANCA EXAMINADORA**



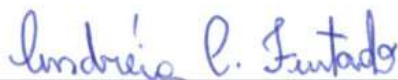
---

Orientador: Prof. Dra. Renata Braga Soares  
UNILA



---

Coorientador: Prof. Dr. Luís Antonio Lourenço



---

Prof. Dra. Andréia Cristina Furtado  
UNILA

Foz do Iguaçu, 22 de dezembro de 2022.

## TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Gabriela Crivoi Fiori

Curso: Engenharia Química

	Tipo de Documento
( x ) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(.....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....)

Título do trabalho acadêmico: Estudo da viabilidade técnica e econômica da produção de emulsões cosméticas utilizando fontes residuais como fase oleosa

Nome do orientador(a): Renata Braga Soares

Nome do Coorientador: Luís Antonio Lourenço

Data da Defesa: 22/12/2022.

### Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 22 de dezembro de 2022.

---

Assinatura do Responsável

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus e à Nossa Senhora por serem instrumentos em minha vida, por me guiarem e serem meu sustento em cada dia.

Ao amor da minha vida, meu esposo e companheiro de toda essa jornada, Fagner Monteiro. Seu apoio foi essencial para que eu terminasse o curso e entregasse o TCC. Sou eternamente grata a Deus por ter você em minha vida, sem você eu não seria eu, te amo muito.

À minha família, pai Mario, mãe Marlene e minha irmã Juliana, por serem sempre os meus incentivadores e nunca terem desistido de mim, amo vocês.

Agradeço imensamente a minha querida amiga Pâmela, por ter sido meu apoio durante todos esses anos de faculdade. Pam, obrigada pela sua parceria de sempre em trabalhos, projetos, provas, estudos na madrugada e por todo aprendizado que tive com você. Você é especial.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, sempre vou lembrar de vocês: Vitor, Bruna, Álvaro, Letícia, Juliana, Carol, Ana Paula, Loise, Cristian, Vinicius, Gustavo, Donald e tantos outros, muito obrigada por compartilharem essa jornada comigo.

Aos meus queridos professores, sem o empenho de vocês e dedicação, isso não seria possível. Agradeço imensamente a Prof. Renata e ao Prof. Luis por aguentarem esse processo junto comigo, por me ajudar quando necessário, por fazerem reuniões quando eu estava perdida, lembrarei e serei eternamente grata a vocês por tanto. Aos professores Leonardo, Kátya, Marlei, Andréia, Priscila Ferri, Priscila Gleden, Dafni, Marcela Boroski, Gilcélia, Caroline Gonçalves, Márcio, vocês marcaram minha vida pra sempre, obrigada por serem exemplos de profissionais e seres humanos.

Por fim, obrigada a Unila por me acolher durante esses anos.

*Fazei tudo por amor.  
Assim não há coisas pequenas: tudo é grande.  
A perseverança nas pequenas coisas, por amor, é  
heroísmo.*

**São Josemaria Escrivá**

## RESUMO

A indústria de abate de animais é crescente e relevante para o mercado de proteína animal no Brasil. Com o aumento do número de abate, mais resíduos são gerados deste processamento sendo que em torno de 48 a 66% da massa do animal, são resíduos. Em consequência, indústrias de reciclagem animal são instaladas para poder gerir esses resíduos. Óleos e gorduras, provenientes destas indústrias, são potencialmente valiosos e abundantes, mas ainda são pouco explorados. Esses resíduos têm um elevado potencial para aplicação em cosméticos, pois é um ramo que cresce a cada ano. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica e econômica da obtenção de resíduos oleosos do abate de animais para aplicação em emulsões cosméticas, bem como, avaliar rotas tecnológicas, aplicar regras heurísticas para obter um fluxograma base do processo, realizar o balanço mássico e energético, dimensionar equipamentos e fazer uma análise econômica preliminar. Para isso, definiu-se a matéria-prima, sendo os resíduos oleosos de aves e peixe, estabeleceu-se os subsistemas de extração e separação, construiu-se a árvore de estados para obtenção da gordura residual, obteve-se o fluxograma base, eleito pelas regras heurísticas e fez-se uso da análise econômica aplicando o critério do lucro do empreendimento, o qual faz uma comparação com um outro empreendimento de taxa de retorno positivo e risco zero. A árvore de estados possibilitou 8 oportunidades de obtenção do óleo residual. Aplicou-se regras heurísticas para estimar o fluxograma base, escolhido por ela: resíduos de aves, extração com digestor batelada e separação com prensa. A partir do fluxograma base, foi realizado o balanço de massa e energia, o dimensionamento dos equipamentos para uma indústria de renderização animal com o processamento de resíduo de 50 mil aves diárias, sendo realizado duas bateladas por dia. A análise econômica preliminar realizada estimou um valor negativo para o lucro do empreendimento (LE), o qual infere-se que o investimento no processo não apresenta vantagem em comparação a outro empreendimento com uma taxa de retorno positiva e com risco zero. Portanto, realizou-se um novo cálculo para LE, considerando-se que o investimento inicial do processo já tivesse sido quitado a partir de um certo período de operação industrial. Assim, obteve-se um valor positivo de LE com lucratividade de R\$1,66 milhões anual. Conclui-se que a rota tecnológica escolhida pelas regras heurísticas é viável tecnicamente, para a obtenção do óleo residual. Enquanto a análise econômica só se mostrou viável após o investimento inicial ser quitado e dessa forma, é possível estudar aplicações do óleo residual em emulsões cosméticas.

**Palavras-chave:** reciclagem animal; árvore de estados; regras heurísticas; cosméticos; análise econômica preliminar.

## RESUMEN

La industria del sacrificio de animales está creciendo y es relevante para el mercado de proteína animal en Brasil. Con el aumento del número de sacrificios, se generan más residuos de este procesamiento, siendo residuos alrededor del 48 al 66% de la masa del animal. Como resultado, las industrias de reciclaje de animales se establecen para gestionar estos residuos. Los aceites y grasas de estas industrias son potencialmente valiosos y abundantes, pero aún están poco explorados. Estos residuos tienen un alto potencial de aplicación en cosmética, ya que es una rama que crece cada año. Así, el objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad técnica y económica de la obtención de residuos oleosos del sacrificio de animales para su aplicación en emulsiones cosméticas, así como evaluar rutas tecnológicas, aplicar reglas heurísticas para obtener un diagrama de flujo base del proceso, realizar el balance de masa y energía, dimensionando los equipos y realizando un análisis económico preliminar. Para esto se definió la materia prima siendo los residuos oleosos de aves y pescado, se establecieron los subsistemas de extracción y separación, se construyó el árbol de estados para la obtención de la grasa residual, se obtuvo el diagrama de flujo base, elegido por las reglas heurísticas y económicas. Se utilizó el análisis aplicando el criterio de utilidad empresarial, que hace una comparación con otra empresa con una tasa de retorno positiva y riesgo cero. El árbol estatal permitió 8 oportunidades para obtener aceite residual. Se aplicaron reglas heurísticas para estimar el diagrama de flujo base, elegido por ella: desecho avícola, extracción con digestor discontinuo y separación con prensa. A partir del diagrama de flujo base se realizó el balance de masa y energía, dimensionando el equipo para una industria de desove animal con el procesamiento de desechos de 50 mil aves diarias, realizándose dos lotes por día. El análisis económico preliminar realizado estimó un valor negativo para la utilidad de la empresa (LE), lo que infiere que la inversión en el proceso no tiene ventaja frente a otra empresa con tasa de retorno positiva y riesgo cero. Por lo tanto, se hizo un nuevo cálculo para LE, considerando que la inversión inicial en el proceso ya había sido pagada luego de cierto período de operación industrial. Así, se obtuvo un valor LE positivo con una rentabilidad anual de R\$ 1,66 millón. Se concluye que la ruta tecnológica elegida por las reglas heurísticas es técnicamente factible para la obtención de aceite residual. Si bien el análisis económico solo fue factible después de que se pagó la inversión inicial, fue posible estudiar aplicaciones de aceite residual en emulsiones cosméticas.

**Palabras clave:** reciclaje de animales; árbol de estado; reglas heurísticas; productos cosméticos; análisis económico preliminar.

## ABSTRACT

The animal slaughter industry is growing and relevant to the animal protein market in Brazil. With the increase in the number of slaughters, more waste is generated from this processing, with around 48 to 66% of the animal's mass being waste. As a result, animal recycling industries are set up to manage this waste. Oils and fats from these industries are potentially valuable and abundant, but are still little explored. These residues have a high potential for application in cosmetics, as it is a branch that grows every year. Thus, the objective of this work is to study the technical and economic viability of obtaining oily residues from the slaughter of animals for application in cosmetic emulsions, as well as to evaluate technological routes, apply heuristic rules to obtain a base flowchart of the process, perform the mass balance and energy, sizing equipment and carrying out a preliminary economic analysis. For this, the raw material was defined, being the oily residues of poultry and fish, the extraction and separation subsystems were established, the state tree was built to obtain the residual fat, the base flowchart was obtained, chosen by the heuristic rules and economic analysis was used applying the enterprise profit criterion, which makes a comparison with another enterprise with a positive rate of return and zero risk. The state tree allowed 8 opportunities to obtain residual oil. Heuristic rules were applied to estimate the base flowchart, chosen by her: poultry waste, extraction with batch digester and separation with press. From the base flowchart, the mass and energy balance was carried out, the equipment sizing for an animal rendering industry with the processing of waste of 50 thousand birds daily, being carried out two batches per day. The preliminary economic analysis carried out estimated a negative value for the enterprise's profit (LE), which infers that the investment in the process has no advantage compared to another enterprise with a positive rate of return and zero risk. Therefore, a new calculation was made for LE, considering that the initial investment in the process had already been paid after a certain period of industrial operation. Thus, a positive LE value was obtained with annual profitability of R\$1.66 million. It is concluded that the technological route chosen by the heuristic rules is technically feasible for obtaining residual oil. While the economic analysis was only feasible after the initial investment was paid off, it was possible to study applications of residual oil in cosmetic emulsions.

**Key words:** animal rendering; state tree; heuristic rules; cosmetics; preliminary economic analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Representação das emulsões simples e múltiplas.....	27
<b>Figura 2</b> – Representação esquemática dos processos de desestabilização de emulsões.....	29
<b>Figura 3</b> – Representação da árvore de estados.....	31
<b>Figura 4</b> – Fluxograma ilustrativo do lucro do empreendimento.....	33
<b>Figura 5</b> – Metodologia aplicada para obtenção da gordura residual animal....	41
<b>Figura 6</b> – Fluxograma embrião para obtenção da gordura residual animal.....	42
<b>Figura 7</b> – Subsistemas da árvore de estados.....	45
<b>Figura 8</b> – Representação da árvore de estados do projeto.....	46
<b>Figura 9</b> – Rota tecnológica para obtenção da gordura animal.....	49
<b>Figura 10</b> – Fluxograma do processo de obtenção da gordura das vísceras de aves.....	50
<b>Figura 11</b> – Composição de vísceras de aves.....	51
<b>Figura 12</b> – Caixa Receptora dos resíduos.....	51
<b>Figura 13</b> – Triturador de vísceras e ossos.....	52
<b>Figura 14</b> – Tanque pulmão para armazenamento das vísceras.....	52
<b>Figura 15</b> – Digestor Batelada de vísceras.....	53
<b>Figura 16</b> – Tambor Rotativo de Gordura.....	55
<b>Figura 17</b> – Prensa expeller.....	55
<b>Figura 18</b> – Tanque de armazenamento de óleo bruto.....	56
<b>Figura 19</b> – Centrífuga a disco.....	56
<b>Figura 20</b> – Tanque de armazenamento de óleo limpo.....	57
<b>Figura 21</b> – Composição da carcaça de aves.....	79
<b>Figura 22</b> – Balanço de Massa na caixa de recebimento dos resíduos.....	81
<b>Figura 23</b> – Balanço de Massa no triturador de vísceras e ossos.....	81
<b>Figura 24</b> – Balanço de Massa no tanque pulmão.....	82

<b>Figura 25</b> – Balanço de massa no digestor batelada.....	83
<b>Figura 26</b> – Balanço de massa no tambor rotativo de gordura.....	85
<b>Figura 27</b> – Balanço de massa na prensa expeller.....	86
<b>Figura 28</b> – Balanço de massa no tanque de armazenamento de óleo bruto...	88
<b>Figura 29</b> – Balanço de massa na centrífuga a disco.....	88
<b>Figura 30</b> – Gráfico do fator de potência em relação ao ângulo de inclinação..	103
<b>Figura 31</b> – Disposição das tubulações da corrente 7.....	125
<b>Figura 32</b> – Disposição das tubulações da corrente 9.....	129
<b>Figura 33</b> – Disposição das tubulações da corrente 11.....	131
<b>Figura 34</b> – Disposição das tubulações da corrente 12.....	134

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Pesquisas e aplicações de resíduos agroindustriais.....	24
<b>Quadro 2</b> – Estimativa dos investimentos.....	43
<b>Quadro 3</b> – Estimativa dos custos.....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Fator de Lang para diferentes tipos de processamentos.....	34
<b>Tabela 2</b> – Valores típicos de taxa de retorno sobre o investimento.....	38
<b>Tabela 3</b> – Valores típicos para taxa de risco.....	39
<b>Tabela 4</b> – Composição e vazões de cada corrente do processo.....	58
<b>Tabela 5</b> – Resultado do balanço de energia.....	59
<b>Tabela 6</b> – Dimensionamento dos equipamentos e tubulações.....	60
<b>Tabela 7</b> – Cálculo do ISBL.....	64
<b>Tabela 8</b> – Cálculo estimado dos investimentos.....	64
<b>Tabela 9</b> – Receita gerada com as vendas do óleo e da farinha de vísceras..	65
<b>Tabela 10</b> – Custos Relacionados à Matéria Prima.....	66
<b>Tabela 11</b> – Custo relacionado à utilidades e insumos.....	66
<b>Tabela 12</b> – Estimativa dos custos do empreendimento.....	66
<b>Tabela 13</b> – Dados obtidos da lucratividade do empreendimento.....	67
<b>Tabela 14</b> – Composição das vísceras após digestão.....	84
<b>Tabela 15</b> – Composição das vísceras após remoção do óleo ( $O_{BTR}$ ).....	86
<b>Tabela 16</b> – Propriedades térmicas dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.....	90
<b>Tabela 17</b> – Resultado do Calor específico no intervalo de temperatura requerido.....	91
<b>Tabela 18</b> – Massa específica dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.....	93
<b>Tabela 19</b> – Resultado da massa específica dos componentes das vísceras.....	94
<b>Tabela 20</b> – Relação da capacidade do transporte, comprimento do transportador, rotação máxima e a diferença dos materiais.....	101
<b>Tabela 21</b> – Resumo do dimensionamento das roscas transportadoras.....	108
<b>Tabela 22</b> – Resumo do dimensionamento das tubulações.....	124
<b>Tabela 23</b> – Resumo do dimensionamento das bombas de engrenagem.....	136
<b>Tabela 24</b> – Investimentos e depreciação mensal dos equipamentos.....	137

<b>Tabela 25</b> – Custo energético dos Equipamentos.....	138
<b>Tabela 26</b> – Custo Energético por batelada, dia e ano.....	139
<b>Tabela 27</b> – Consumo de vapor e seus custos associados.....	139

## LISTA DE SIGLAS

$I_{total}$	Investimento total (R\$/ano)
$C_{total}$	Custos totais da produção (R\$/ano)
R	Receita (R\$/ano)
LB	Lucro Bruto (R\$/ano)
D	Depreciação (R\$/ano)
LA	Lucro Líquido antes do imposto de renda (R\$/ano)
IR	Imposto de renda (R\$/ano)
LD	Lucro Líquido após imposto de renda (R\$/ano)
RI	Retorno sobre investimento alternativo (R\$/ano)
LL	Lucro Líquido após retorno (R\$/ano)
CR	Compensação pelo risco (R\$/ano)
RIR	Retorno sobre o investimento com risco (R\$/ano)
LE	Lucro do empreendimento (R\$/ano)
ISBL	<i>InSide Battery Limits</i> (R\$/ano)
OSBL	<i>OutSide Battery Limits</i> (R\$/ano)
$f_D$	Fator de atualização de preço
$f_L$	Fator de Lang
$f_T$	Fator de transferência do equipamento
$I_{Ei}$	Investimento em equipamentos do processo
e	Taxa de depreciação [(R\$/ano)/ R\$ investidos]
$D_f$	Depreciação Fiscal (R\$/ano)
t	Taxa anual do imposto de renda [(R\$/ano)/ R\$ investidos]
i	Taxa de retorno sobre investimento alternativo [(R\$/ano)/ R\$ investidos]
h	Taxa de Riso [(R\$/ano)/ R\$ investidos]
RF	Resíduo oleoso de Frango

RP	Resíduo oleoso de Peixe
DB	Digestor Batelada
DC	Digestor Contínuo
PRE	Prensa
CEN	Centrífuga
RT	Resíduos Totais (kg)
PM	Peso médio da ave (kg)
PRT	Percentual de resíduos totais por ave (%)
RV	Resíduos Viscerais (kg)
PRV	Percentual de resíduos viscerais por ave (%)
RVR	Resíduos viscerais recebidos por dia (kg)
AAD	Aves abatidas por dia (aves/dia)
$M_{vin}$	Massa de vísceras <i>in natura</i> (kg)
$M_{vint}$	Massa de vísceras transportadas (kg)
$M_{VT}$	Massa de vísceras trituradas (kg)
$M_{VTD}$	Massa de vísceras trituradas que abastecem o digestor (kg)
Vap 1	Consumo de vapor no digestor (kg)
Vap 2	Vapor liberado após digestão (kg)
$m_{vap}$	Massa de água removida na digestão (kg)
$M_{SGA}$	Massa visceral após digestão (kg)
$O_{BTR}$	Óleo bruto obtido no tambor rotativo (kg)
$R_S$	Resíduo sólido para prensa expeller (kg)
$O_{BPE}$	Óleo bruto obtido na prensa expeller (kg)
$R_{SF}$	Resíduo sólido para produção de farinha (kg)
$O_B$	Óleo bruto armazenado no tanque (kg)
$R_{SC}$	Resíduo sólido obtido na centrífuga (kg)
$O_L$	Óleo limpo após a centrifugação (kg)
$Q_{sens}$	Calor sensível (kJ)

$Q_{lat}$	Calor latente (kJ)
$C_p$	Capacidade calorífica (kJ/kg°C)
$\Delta T$	Variação de temperatura (°C)
$\dot{q}$	Taxa de calor (kJ/h)
$\rho$	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
$\dot{m}$	Vazão mássica (kg/h)
$\dot{Q}$	Vazão volumétrica (m <sup>3</sup> /h)
D	Diâmetro (mm)
L	Comprimento (m)
N	Rotação (rpm)
F	Fator de potência
Re	Número de Reynolds
$\Delta P$	Perda de Carga (bar)
A	Área da seção transversal (m <sup>2</sup> )
v	Velocidade de escoamento (m/s)
$D_t$	Diâmetro teórico (m)
$\mu$	Viscosidade do fluido (Pa.s)
f	Fator de atrito
H	Altura manométrica total (mca)
Hg	Altura geométrica (mca)
Hv	Perda de carga mp sistema (mca)
ki	Perda de carga equivalente para o acessório i
g	Aceleração da gravidade (m/s <sup>2</sup> )
CCR-01	Caixa Coletora de Resíduos
TV-01	Triturador de Vísceras
TP-01	Tanque Pulmão
DB-01	Digestor Batelada

TR-01	Tambor Rotativo
PE-01	Prensa Expeller
TAOB-01	Tanque de Armazenamento de Óleo Bruto
CD-01	Centrífuga a Disco
TAOL-01	Tanque de Armazenamento de Óleo Limpo
RT-01	Rosca Transportadora
P-01	Bomba de Engrenagem Interna

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1 OBJETIVOS.....	22
1.1.1 Objetivos Gerais.....	22
1.1.2 Objetivos Específicos.....	22
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.....	23
2.2 EMULSÕES.....	25
2.3 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.....	30
2.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PRELIMINAR.....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	41
<b>4 RESULTADOS</b> .....	45
4.1 CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE ESTADOS.....	45
4.2 MÉTODO HEURÍSTICO.....	46
4.2.1 Regras Heurísticas para a Matriz Graxa.....	47
4.2.1.1 <i>Análise do óleo de peixe</i> .....	47
4.2.1.2 <i>Análise da gordura de aves</i> .....	48
4.2.2 Regras Heurísticas para a Extração Sólido-Líquido.....	48
4.2.3 Regras Heurísticas para a Separação Sólido-Líquido.....	49
4.3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO.....	50
4.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	50
4.5 ANÁLISE ECONÔMICA.....	63
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	69
<b>6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	70
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
<b>APÊNDICES</b> .....	78
<b>APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO</b> .....	79
A – 1 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO.....	79

A – 1.1 Cálculo da Quantidade de Resíduo Processado.....	79
A – 1.2 Balanço de Massa dos Equipamentos por Batelada.....	80
A – 2 BALANÇO DE ENERGIA .....	89
A – 3 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS.....	93
A – 3.1 Caixa Coletora dos Resíduos.....	93
A – 3.2 Triturador de Vísceras.....	95
A – 3.3 Tanque Pulmão.....	96
A – 3.4 Digestor Batelada.....	96
A – 3.5 Tambor Rotativo de Gordura.....	97
A – 3.6 Prensa Expeller.....	98
A – 3.7 Tanque de Armazenamento de Óleo Bruto.....	98
A – 3.8 Centrífuga a Disco.....	99
A – 3.9 Tanque de Armazenamento de Óleo Limpo.....	100
A – 4 DIMENSIONAMENTO DAS ROSCAS TRANSPORTADORAS.....	101
A – 4.1 Roscas Transportadoras RT-01/ RT-02/ RT-03.....	101
A – 4.2 Rosca Transportadora RT-04.....	104
A – 4.3 Rosca Transportadora RT-05.....	106
A – 5 - DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES.....	108
A – 5.1 Tubulação Corrente 7.....	110
A – 5.2 Tubulação Corrente 9.....	113
A – 5.3 Tubulação Corrente 11.....	117
A – 5.4 Tubulação Corrente 12.....	120
A – 6 DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS.....	124
A – 6.1 Bomba P-01.....	124
A – 6.2 Bomba P-02.....	129
A – 6.3 Bomba P-03.....	131
A – 6.4 Bomba P-04.....	133
<b>APÊNDICE B – INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS.....</b>	<b>137</b>

<b>APÊNDICE C – CUSTOS DE UTILIDADE E INSUMOS.....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE D – CÁLCULOS DO LUCRO DO EMPREENDIMENTO.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXO A – CATÁLOGOS.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO A.1 – TRITURADOR DE VÍSCERAS FORNECIDO PELA HAARSLEV.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO A.2 – TANQUE DE ARMAZENAMENTO FORNECIDO PELA FOOD MACHINERY.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO A.3 – DIGESTOR BATELADA FORNECIDO PELA KONTINUER.....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO A.4 – TAMBOR ROTATIVO FORNECIDO PELA HAARSLEV.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO A.5 – PRENSA EXPELLER FORNECIDO PELA KONTINUER.....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO A.6 – CENTRÍFUGA A DISCO FORNECIDO PELA FLOTTWEG....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO A.7 – ROSCA TRANSPORTADORA FORNECIDO PELA KONTINUER.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO A.8 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-2.200-CVA.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO A.9 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-250-CVA.....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO A.10 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-900-CVA.....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO B – TABELAS.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXO B.1 – TABELA DE ESPECIFICAÇÕES DE TUBULAÇÕES.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXO B.2 – VELOCIDADE ECONÔMICA.....</b>	<b>162</b>
<b>ANEXO B.3 – TABELA DO COMPRIMENTO EQUIVALENTE.....</b>	<b>163</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de abate de animais é crescente e muito relevante para o mercado de proteína animal no país. Segundo a ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), em 2021 o Brasil registrou cerca de 14,329 bilhões de toneladas de produção de aves, sendo o Brasil o maior exportador desta proteína e o terceiro maior produtor mundial. Além das aves, outros setores como a piscicultura, suinocultura e os animais ruminantes apresentam relevância de produção no país.

Em contrapartida, com o aumento do abate de animais, tem-se um aumento significativo nos resíduos que são gerados a partir deste processamento. Os resíduos gerados deste processamento representam em torno de 48 a 66% da massa total do animal, causando um grande impacto ambiental se não forem gerenciados corretamente. Desse modo, além dos aspectos de odor e agentes patogênicos, também há grande risco de contaminação do solo e águas, pois são potencialmente tóxicos, quando destinados de maneira incorreta (SANCHES, 2019).

Assim, com o aumento de resíduos provenientes destas indústrias, mais unidades de reciclagem animal são implantadas no país de modo que possam gerir esses resíduos, produzindo a partir deles: farinhas de ossos, penas, vísceras, sangue e de pescado, como também óleos e gorduras. Dessa maneira, o setor de reciclagem animal é importante para o país, pois, além de minimizar os impactos ambientais e gerar lucro para os frigoríficos, também é economicamente significativo para o país, referindo um PIB de 18,05 bilhões no ano de 2020 (ABRA, 2020).

Os óleos e gorduras provenientes das graxarias são potencialmente valiosos e abundantes, porém ainda pouco explorados. O Brasil no ano de 2020 produziu mais de 2 milhões de toneladas de óleos e gorduras residuais de origem animal. Hoje, a maioria desses óleos são destinados à produção de biodiesel, ração, higiene e limpeza, mas há um enorme potencial para implementá-los em formulações cosméticas como: sabonete, shampoo, cremes hidratantes entre outros. Assim, ao estudar a viabilidade técnica e econômica dos resíduos agroindustriais, pode-se agregar valor a este resíduo, destinando-o para incorporar em emulsões cosméticas, já que este setor é crescente e está sempre em busca por diferentes formulações (ABRA, 2020; OLIVO, 2018).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Estudar a viabilidade técnica e econômica da obtenção de óleo residual do abate de animais para futuramente implementar em emulsões cosméticas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar e definir os resíduos agroindustriais;
- Criar a árvore de estados para o processo de obtenção do óleo residual;
- Aplicar regras heurísticas para eleger uma rota tecnológica;
- Obter o fluxograma base do processo;
- Realizar o balanço de massa e energia do processo;
- Dimensionar os equipamentos utilizados;
- Realizar a análise econômica preliminar.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

O setor agroindustrial no Brasil vem crescendo a cada ano e sempre apresenta destaque entre os países que mais produzem e exportam alimentos. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o país teve um aumento do PIB do agronegócio de 5,35% no primeiro trimestre do ano de 2021. Esse aumento resulta no aumento da produção dos alimentos e consequente aumento da geração de resíduos agroindustriais (CONTINI; ARAGÃO, 2021; COSTA FILHO, 2017).

Esses resíduos são advindos de várias fontes e podem ser derivados do processamento de vegetais (girassol, soja, milho, canola, coco), abate de carnes (aves, gados, suínos e peixes), laticínios, dentre outros. A problemática referente a esses resíduos é que a maioria deles produzem águas residuárias com elevado teor de lipídios, sejam eles de origem animal ou vegetal. Esses lipídios são compostos por óleos, graxas, gorduras ou ácido graxo de cadeia longa e isso dificulta e aumenta significativamente o custo do tratamento de águas residuais provenientes dessas indústrias (MULINARI *et al.*, 2020; ALENCAR *et al.*, 2020; COSTA FILHO, 2017).

Além disso, esses resíduos oleosos, quando dispostos ou tratados inadequadamente, são potencialmente tóxicos ao meio ambiente, como também apresentam risco patogênicos. As empresas, sabendo do potencial tóxico destes resíduos, buscam constantemente serem mais sustentáveis e são motivadas, principalmente, pelas certificações da série ISO 14000, como também, seguem as legislações ambientais vigentes regido pela CONAMA n°430/11, que estabelece padrões de descarte dos efluentes de óleos vegetais ou gorduras animais (PRATA, 2018; ROBERTO *et al.*, 2020).

A preocupação ambiental e a busca pela sustentabilidade, faz com que as empresas estejam em constante evolução para destinar, de maneira eficaz, esses resíduos oleosos, agregando valor e desenvolvendo novos produtos a partir deles. Com isso, além de diminuir significativamente os impactos ambientais, o custo do tratamento dessas águas residuárias, são consideravelmente menores. Nesse sentido, várias pesquisas são realizadas para encontrar destinações plausíveis para esses resíduos, que geram valor para a indústria e benefícios à população. Em sua

maioria, os resíduos oleosos são destinados para produção de biodiesel, sabão, alimentação animal, cosméticos, dentre outros (ROBERTO *et al.*, 2020).

O Quadro 1 traz algumas pesquisas que aplicam resíduos agroindustriais para elaboração de novos produtos.

**Quadro 1** - Pesquisas e aplicações de resíduos agroindustriais[continua].

REFERÊNCIA	TÍTULO	RESÍDUO	APLICAÇÃO
PETENUCCI, 2013	Caracterização de resíduo gorduroso agroindustrial e estudos de sua aplicação na produção de biodiesel e refino químico	Resíduo oleoso do processamento de carne suína	Biodiesel
ARRUDA, 2004	Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da Tilápia do Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos.	Resíduo de Tilápia do Nilo	Ração para peixes
BALADINCZ; HANCSÓK, 2015	<i>Fuel from waste animal fats</i> (Combustível de resíduos de gorduras animais)	Banha de Porco	Bio gasóleo
FERNANDES <i>et al.</i> , 2002	Resíduo gorduroso da indústria de óleos vegetais em substituição ao óleo de soja em rações para frangos de corte	Resíduo de óleo vegetal	Ração de Frango
ARAÚJO <i>et al.</i> , 2016	Borra ácida do processamento do óleo de soja: processos reacionais e caracterizações	Resíduo do óleo de soja	Produção de sabão
OLIVO <i>et al.</i> , 2018	Aplicação de resíduos do processamento de carne de aves em produtos de higiene e cosméticos	Resíduos de gordura e plasma sanguíneo de aves	Produção de sabonete

Fonte: A autora, 2022.

**Quadro 1** - Pesquisas e aplicações de resíduos agroindustriais [fim].

DHUSHANE; DHULXSHANA, 2022	<i>Isolation and Physicochemical Characterization of Gelatin from Chicken Waste</i> (Isolamento e Caracterização Físico-Química de Gelatina de Resíduos de Frango)	Resíduo de pele e osso de aves	Produção de gelatina de aves para aplicação em indústrias farmacêuticas, alimentícias e cosméticas
CAETANO; SILVA, 2017	Gordura de frango como matéria prima na produção de biodiesel	Resíduo de gordura de frango	Produção de biodiesel
JANA <i>et al.</i> , 2020	<i>Keratinase Biosynthesis from Waste Poultry Feathers for Proteinaceous Stain Removal</i> (Biossíntese de queratinase de resíduos de penas de aves para remoção de manchas proteicas)	Resíduo de pena de aves	Produção de queratinase para inserir em detergentes que aumentam o poder de remoção de manchas protéicas de tecidos

Fonte: A autora, 2022.

Assim, segundo a pesquisa realizada na base de dados da Scopus no dia 26 de dezembro de 2022, com as palavras chaves: *emulsions e rendering*, obteve-se apenas 56 resultados de artigos para esta pesquisa, afirmando que pesquisas no ramo de aplicação de resíduos da renderização animal em emulsões são pouco exploradas.

## 2.2 EMULSÕES

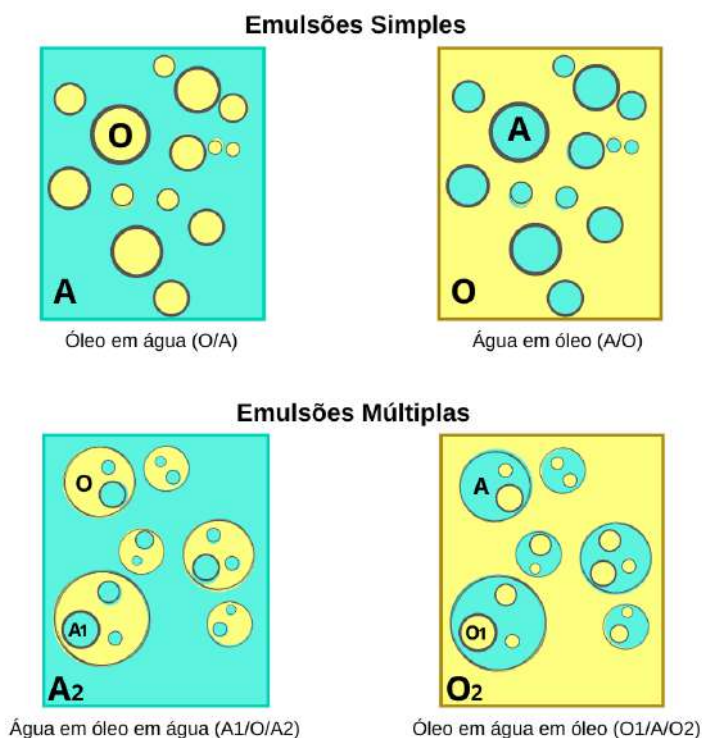
A palavra emulsão é originada do latim *emulgeo*, que significa “ordenhar”. Essa etimologia é utilizada para representar os sistemas de aspecto leitoso, que são compostos por dois líquidos imiscíveis, que não se mantêm em dispersão por muito tempo. Por definição, emulsões são sistemas heterogêneos, termodinamicamente instáveis, que apresentam gotículas dispersas na ordem de 0,1-100 µm e são compostas por três fases: fase aquosa, fase oleosa e a fase

surfactante (emulsionante) a qual torna a emulsão homogênea e estável (MADAAN *et al*, 2014; GUPTA *et al*, 2016; YUKUYAMA, 2015).

Essas emulsões são elaboradas de diversas formas e podem ser denominadas por emulsões simples (sistema bifásico) e emulsões múltiplas (sistemas trifásicos). Esses diferentes tipos de emulsões advêm da natureza do surfactante utilizado, sendo ele hidrofílico, que têm afinidade com a fase aquosa ou lipofílico, que possui afinidade com a fase oleosa. Nas emulsões simples, o sistema bifásico pode ser compreendido como emulsões óleo em água (O/A), em que a fase oleosa encontra-se dispersa na fase contínua aquosa e as emulsões água em óleo (A/O), a fase aquosa está dispersa na fase contínua oleosa (PEREIRA; GARCIA-ROJAS, 2015; FARLEY *et al.*, 2021).

Os sistemas de emulsões múltiplas são mais complexos, em relação às emulsões simples. Nestas emulsões, as partículas são encapsuladas umas nas outras por meio de um processo de reemulsificação da emulsão, para ter duas fases em dispersão. A vantagem desse tipo de emulsão é encapsular simultaneamente ativos hidrofóbicos e hidrofílicos em um mesmo produto. Nesses sistemas trifásicos, as emulsões mais comuns são (água-óleo-água) (A/O/A) e a (óleo-água-óleo) (O/A/O), em que por exemplo, as emulsões (A/O/A) são formadas por gotículas de água, dispersa em uma gota de óleo, presente em uma fase circundante de água. A representação esquemática dessas emulsões simples e múltiplas, estão dispostas na (Figura 1) (PEREIRA; GARCIA-ROJAS, 2015; HUANG *et al.*, 2021; FARLEY *et al.*, 2021).

**Figura 1** - Representação das emulsões simples e múltiplas.



Fonte: Adaptado de PEREIRA; GARCIA-ROJAS, 2015.

Essas emulsões não são formadas espontaneamente e para que ocorra a dispersão entre as fases oleosa e aquosa é necessário aplicar uma energia mecânica, como a agitação. Quando essa agitação cessa, há uma grande energia entre as fases em dispersão, que tendem a se separar e voltar ao seu estado original ao longo do tempo. Para aumentar a estabilidade entre as fases é adicionado um agente emulsificante que tem como função diminuir a tensão interfacial entre as fases e formar uma película interfacial líquido-líquido que proporciona um aumento da estabilidade física e retarda a separação dessas fases (MORAIS, 2006; GUPTA *et al.*, 2016; OLIVEIRA, 2017; REIS *et al.*, 2018).

Uma emulsão estável é considerada aquela que mantém suas propriedades e características, desde a sua fabricação, período de armazenamento até seu prazo de validade. Por isso, produtos advindos de emulsões, precisam entregar uma certa estabilidade e que assegurem suas propriedades físico-químicas ao longo do tempo (BARZOTTO *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2017).

Desse modo, as instabilidades das emulsões podem ser dadas de diversas maneiras, sejam elas físicas ou químicas. Em geral essa instabilidade é ocasionada pela separação das fases, perda da aparência, consistência e ação do

produto. As instabilidades físicas podem ser provocadas por diferentes fenômenos como a floculação, coalescência, cremação e a sedimentação. Enquanto as instabilidades químicas, se dão pela variação do pH, reações de oxirredução, contaminação microbiana, processos fotoquímicos e hidrólise dos tensoativos. Esses comportamentos influenciam na instabilidade e aceleram a separação de fases da emulsão (MORAIS, 2006; BARZOTTO, 2009).

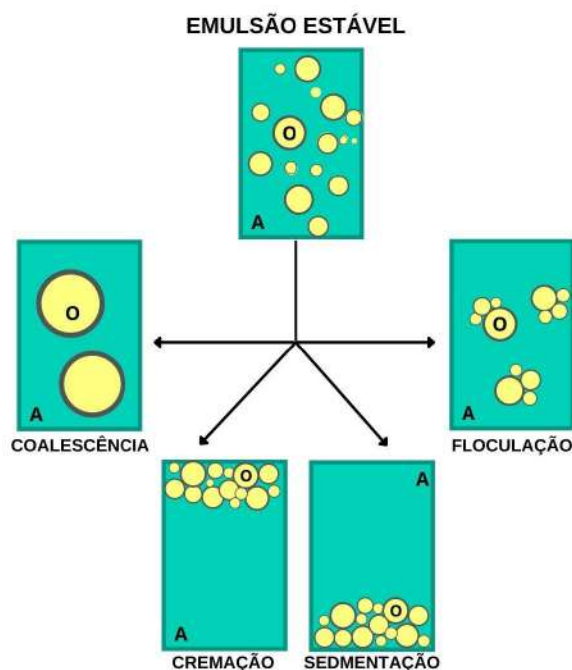
Dentre as instabilidades físicas, entende-se por floculação a associação de glóbulos (fase dispersa) para formação de flocos. Esse processo pode ser revertido ao aplicar uma força mecânica, como a agitação. Um dos fatores que pode ocasionar a floculação é o uso excessivo de emulsionantes na fase contínua (KHAN *et al.*, 2011).

Enquanto a coalescência é um processo em que os glóbulos da fase dispersa se unem, quando a barreira entre as fases, é rompida. Em consequência, glóbulos maiores são formados e ocorre a separação de fases (PEREIRA; GARCIA-ROJAS, 2015).

Já a sedimentação e a cremação são fenômenos que ocorrem por meio da ação da gravidade e tendem a ocasionar a separação da fase dispersa e da fase contínua. Esse processo é chamado de cremação quando a densidade dos glóbulos é menor que a da fase contínua. Enquanto a sedimentação ocorre quando a densidade dos glóbulos da fase dispersa é maior que a fase contínua (AHMAD *et al.*, 2017).

Os processos de desestabilização de emulsões estão representados na Figura 2.

**Figura 2** - Representação esquemática dos processos de desestabilização de emulsões.



Fonte: Adaptado de McCLEMENTS, 2005.

Nesse contexto, as emulsões são aplicadas em diversos processos industriais tais como na área farmacêutica, cosmética, alimentícia, tintas e de petróleo. Segundo uma pesquisa realizada na base de dados da Scopus no dia 26 de dezembro de 2022 com a palavra chave “*emulsion*” e limitando a pesquisa para o ano de 2022, as áreas de maiores pesquisas neste ano foram na área química, engenharia química e ciência dos materiais.

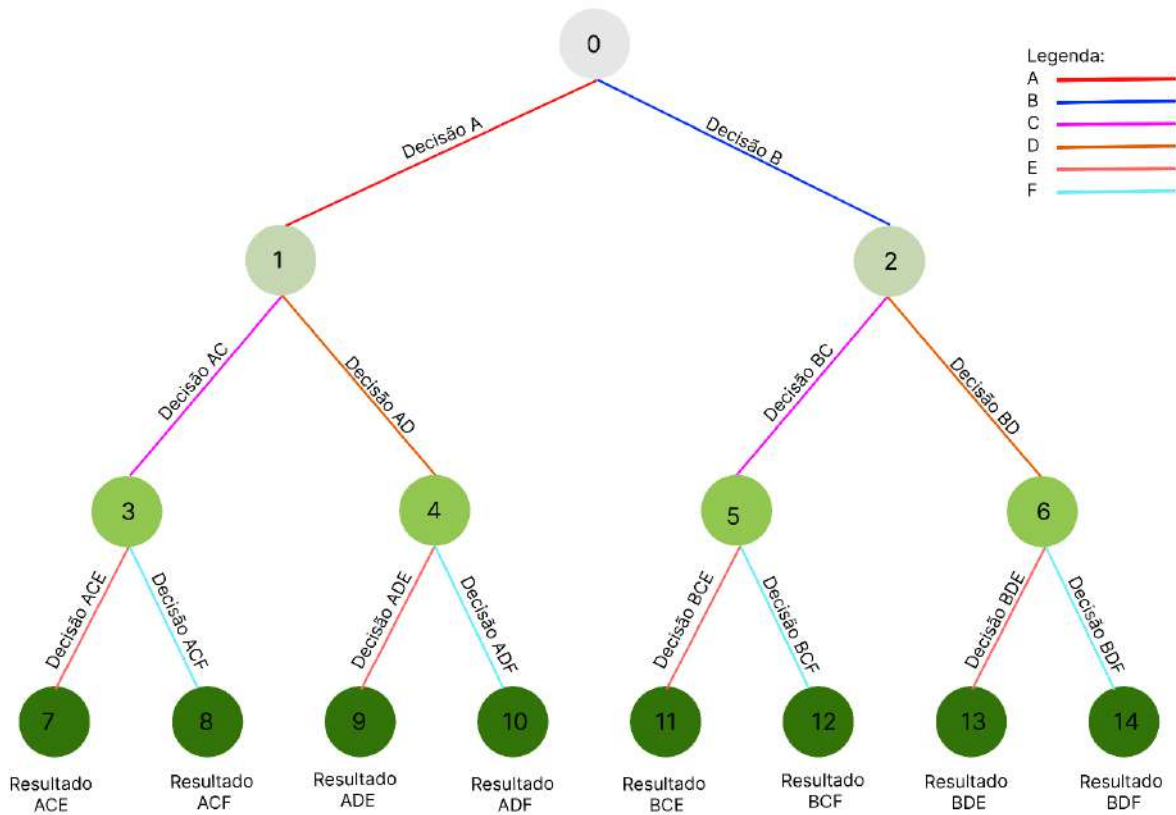
De acordo com Florêncio e Campos (2019), o mercado de cosméticos é dinâmico e está sempre pronto para se reinventar. Empresas, a todo tempo, procuram inovações para desenvolver novos produtos e modificar alguns processos de fabricação, aumentando significativamente a competitividade comercial. Além disso, a importância de desenvolver produtos nesta área de cosméticos é identificar maneiras de produzi-los com embasamentos sustentáveis que proporcionam a redução de riscos ambientais e o reaproveitamento de resíduos.

## 2.3 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Para desenvolver novos produtos é necessário realizar um estudo de viabilidade econômica, comercial e de inovação, antes de inseri-lo no mercado. Segundo Perlingeiro (2005), o desenvolvimento de novos produtos é um projeto complexo de se resolver. Para facilitar tal resolução, é sugerido que se decomponha o projeto em subproblemas mais simples, como as rotas químicas, a síntese e a análise do processo. O direcionamento para rota química proposta, é realizado por métodos empíricos, como as regras heurísticas.

Nesse sentido, o processo de desenvolvimento do projeto inicia-se com a etapa criativa, que é a síntese. Esta etapa estabelece fluxogramas alternativos que direcionam para a produção do produto estudado. Este subproblema é de caráter combinatório, pois diferentes equipamentos ou matéria-prima podem levar ao desenvolvimento de um mesmo produto, porém, se diferenciam no custo de produção e nas características físicas e químicas. Esta etapa é considerada a mais desafiadora do projeto, pois torna visível todas as soluções possíveis. A resolução desta etapa é direcionada por meio de uma representação escolhida, como a árvore de estado, representada pela Figura 3, em que cada nível da árvore consiste em um dos subsistemas de reação, separação, integração e de controle (PERLINGEIRO, 2005).

**Figura 3 - Representação da árvore de estados.**



Fonte: Adaptado de PERLINGEIRO, 2005.

O problema gerado por meio da etapa de síntese pode ser solucionado com a utilização de alguns métodos. O método de busca exaustiva, faz uma varredura em todos os ramos da árvore de estados e sempre conduz a uma solução ótima para o problema, porém é um método desgastante e impraticável no dia a dia. No entanto, com os métodos que fazem uso dos princípios da inteligência artificial (IA), a solução para a etapa de síntese é facilitada. Um desses métodos, são as regras heurísticas que são criadas com base em conhecimentos teóricos e experimentais e são aplicadas em cada subsistema da árvore de estado com o objetivo de encontrar um fluxograma próximo do ótimo. O método evolutivo avalia os vizinhos estruturais, os quais diferem um do outro por apenas um único elemento estrutural e obtém-se a partir deste, o fluxograma ótimo com o melhor custo benefício (PERLINGEIRO, 2005).

O método heurístico consiste em descrever regras baseadas em experimentação e artigos científicos, e aplicá-las em cada ramificação da árvore de

estado, na etapa da síntese preliminar do processo. Em sua maioria, este método é de fácil aplicação e isso agiliza a formação de fluxogramas plausíveis, com pouco esforço, além de substituir a necessidade de cálculos extensos para avaliar equipamentos, condições operacionais, desempenho dos equipamentos e decidir a rota que apresenta o melhor custo benefício (TURTON, 2009; SEIDER, 2009; TOWLER, 2013).

A etapa seguinte é a análise do projeto, que verifica os fluxogramas que foram gerados na etapa de síntese. Cada ramificação da árvore de estado precisa ser analisada e com esta análise, pode-se notar a previsão e a avaliação econômica e física do projeto. Esta avaliação prevê, por meio de modelos matemáticos, o comportamento da operação do projeto, como as dimensões dos equipamentos, consumo de matéria-prima, condições de correntes e ainda podem simular a capacidade de operação em condições diversas. Com isso é possível analisar se o comportamento previsto do projeto atende as suas especificações, bem como, prevê a viabilidade de instalação e lucro gerado (PERLINGEIRO, 2005).

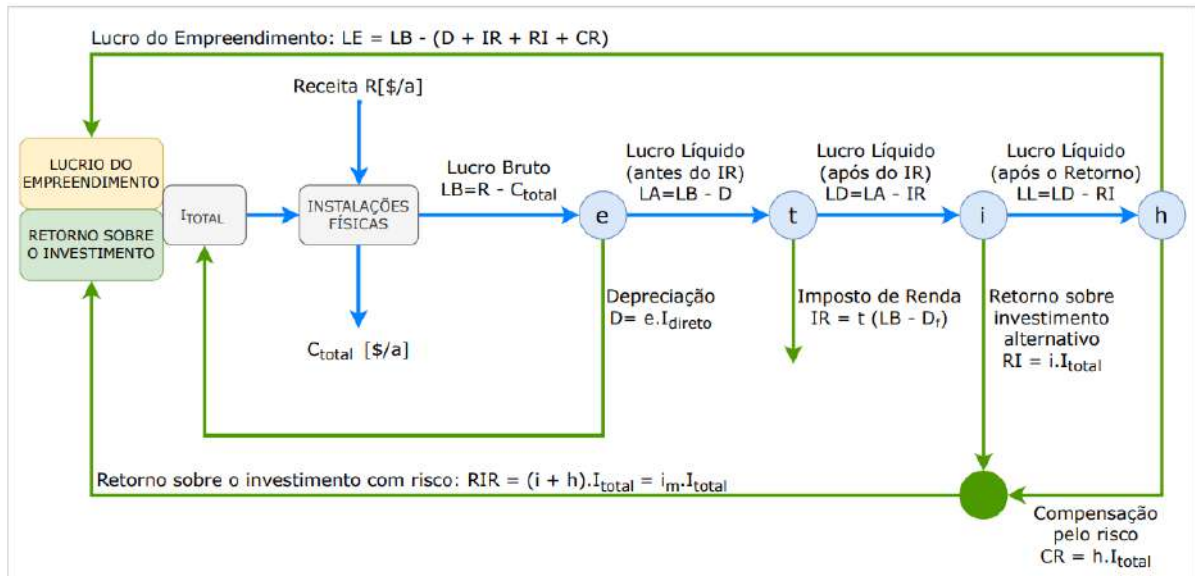
## 2.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PRELIMINAR

Para avaliar a viabilidade do projeto, é necessário estipular o desempenho econômico de um processo em fase de projeto, o qual avalia as funções do tipo lucro ou custo, que são aplicadas em simulações e/ou dimensionamento do projeto. Nesse sentido, para que o investimento em uma nova instalação industrial valha a pena, é preciso que o lucro do empreendimento seja maior que o capital investido e quanto maior esse lucro, mais atraente é o empreendimento (PERLINGEIRO, 2005; SEIDER, 2009).

Em fase preliminar de projeto, utilizam-se medidas mais simples para calcular a sua rentabilidade, os quais ignoram o efeito da inflação e usam depreciação linear. O critério mais utilizado neste caso é o de Lucro do Empreendimento (*Venture Profit*) (PERLINGEIRO, 2005).

O lucro do empreendimento é um lucro relativo que estima a viabilidade de investimento em novos processos industriais, o qual considera estar submetido a um risco comercial, em detrimento de um outro investimento que dispõe uma taxa de retorno garantida e com risco zero. O fluxograma ilustrativo do Lucro do empreendimento é representado pela Figura 4.

**Figura 4 - Fluxograma ilustrativo do lucro do empreendimento.**



Fonte: Adaptado de PERLINGEIRO, 2005.

De acordo com Perlingeiro (2005), a compreensão do fluxograma inicia-se com o total de investimentos ( $I_{total}$ ) (R\$) que foram utilizados para a implantação e o início de produção do processo, uma vez que, ao final da vida útil das instalações, este valor investido deverá ser recuperado pela empresa. Assim, o  $I_{total}$  pode ser descrito pela Equação 1.

$$I_{total} = I_{fixo} + I_{giro} + I_{partida} \quad (1)$$

Em que,  $I_{giro}$  (R\$) é o capital de giro da empresa,  $I_{partida}$  (R\$) são investimentos relacionados a custos antes e durante a partida do processo, esse investimento é destinado a contratação antecipada de alguns colaboradores e a operação ineficiente do processo na fase primogênita e o  $I_{fixo}$  (R\$) corresponde aos recursos financeiros para a construção do processo e pode ser compreendido pela Equação 2.

$$I_{fixo} = I_{direto} + I_{indireto} \quad (2)$$

O Investimento Indireto ( $I_{indireto}$ ) (R\$) é caracterizado pelos gastos

com o projeto como a construção do empreendimento, como em gastos eventuais.

Enquanto o investimento direto ( $I_{\text{direto}}$ ) (R\$) é compreendido pelos recursos utilizados para montagem das instalações e pode ser descrito pela Equação 3.

$$I_{\text{direto}} = ISBL + OSBL \quad (3)$$

Em que o ISBL (*InSide Battery Limits*) corresponde aos investimentos realizados na aquisição, transporte e instalação dos equipamentos que estão relacionados diretamente com o processo. Esse tipo de investimento inclui os gastos com suporte estruturais, isolamento, pintura, instrumentação, tubulações, válvulas, equipamentos e materiais elétricos. O cálculo do ISBL pode ser estimado por meio da soma do preço dos equipamentos, multiplicando-o por três fatores experimentais, conforme a Equação 4.

$$ISBL = f_t \cdot f_D \cdot f_L \cdot \sum I_{Ei} \quad (4)$$

Em que  $I_{Ei}$  é o preço de compra dos equipamentos  $i$ ,  $f_L$  é um fator experimental da aquisição de itens necessários para a instalação dos equipamentos, geralmente pode ser estipulado pelo fator de Lang (Tabela 1).

**Tabela 1** - Fator de Lang para diferentes tipos de processamentos.

TIPO DE PROCESSAMENTO	$f_L$
Sólidos	3,9
Sólidos e Fluído	4,1
Fluído	4,8

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

Enquanto o  $f_D$  é um fator que atualiza os preços dos equipamentos de acordo com o ano vigente e pode ser calculado por meio da Equação 5. Os valores dos índices podem ser encontrados na revista Chemical Engineering.

$$f_D = \frac{\text{Valor do índice no ano A}}{\text{Valor do índice no ano base}} \quad (5)$$

E o  $f_T$  é um fator experimental de transferência da região, na qual foi estimado o preço, para a região, onde será erguida a instalação. O  $f_T$  pode ser estimado por meio da Equação 6.

$$f_T = p_i f_i + p_b f_b \quad (6)$$

Em que  $p_i$  é porcentagem do valor do equipamento que deve ser importado,  $f_i$  é fator que considera as despesas com a importação,  $p_b$  é porcentagem do valor do equipamento nacional e  $f_b$  fator que relaciona o preço de compra do país que será instalada a planta industrial com o preço do país o qual foi estimado o valor do equipamento.

O investimento em OSBL (*OutSide Battery Limits*) corresponde aos itens que estão relacionados com o processo, mas estão fora da área de processamento como as edificações para abrigo dos equipamentos, refeitório, área administrativa, serviços de utilidades, armazenamento de produtos, investimentos no terreno, dentre outros.

A planta industrial em estudo deve gerar uma receita (R) (R\$/ano) em detrimento da venda do produto. O cálculo para a estimativa da receita por ser realizada de acordo com a Equação 7.

$$R = p \cdot Prod \quad (7)$$

No qual  $p$  é o preço de venda do produto (R\$/ton) e  $Prod$  é a taxa de produção prevista no ano (ton/ano). Enquanto ocorre as vendas dos produtos, a empresa investe simultaneamente em custos diversos com matérias-primas e insumos para a produção.

Assim, com os valores estabelecidos dos custos com matéria prima e a receita gerada com a venda dos produtos é possível calcular a Margem Bruta (MB) (R\$/ano), conforme a Equação 8.

$$MB = R - C_{matprim} \quad (8)$$

O cálculo do MB permite realizar a primeira avaliação do potencial econômico, sendo  $MB > 0$ , o projeto pode prosseguir com o dimensionamento e inclusão dos demais custos que, somados, resultam no Custo Total do projeto ( $C_{total}$ ) (R\$/ano). O  $C_{total}$  pode ser estabelecido pela Equação 9.

$$C_{total} = C_{produção} + C_{gerais} \quad (9)$$

$$C_{produção} = C_{diretos} + C_{fixos} \quad (10)$$

$$C_{diretos} = C_{matprim} + C_{util} + C_{manut} + C_{supri} + C_{mobra} + C_{adm} + C_{lab} \quad (11)$$

$$C_{fixos} = C_{imposto} + C_{seguro} + C_{aluguel} + C_{juros} \quad (12)$$

Desta maneira, ao obter o  $C_{total}$  do empreendimento, é possível calcular o Lucro Bruto ( $LB$ ) (R\$/ano), que pode ser descrito pela Equação 13.

$$LB = R - C_{total} \quad (13)$$

O cálculo do LB não faz uma avaliação definitiva do desempenho do empreendimento, uma vez que não retorna integralmente para o caixa da empresa, pois instalações físicas se deterioram e o investimento realizado para implantação precisa ser restituído durante a vida útil do processo. Essa parcela corresponde a Depreciação ( $D$ ) (R\$/ano) dos bens, que pode ser descrita pela Equação 14.

$$D = e \cdot I_{direto} \quad (14)$$

No qual ( $e$ ) é a taxa de depreciação [(R\$/ano)/R\$ investido] e  $I_{direto}$

(R\$) corresponde ao Investimentos Direto (R\$) realizados nos bens.

Desse modo a forma mais simples de depreciação a ser considerada é a depreciação linear, o qual faz a consideração que  $(e = \frac{1}{n})$ , em que  $(n)$  são os anos previsto como vida útil do processo, ou seja, após  $n$  anos, o investimento direto já estará integralmente no caixa da empresa.

Com isso, pode-se estimar o Lucro Líquido antes do Imposto de Renda (LA) (R\$/ano), o qual pode ser definido pela Equação 15.

$$LA = LB - D \quad (15)$$

O cálculo do LA também não corresponde ao desempenho definitivo do empreendimento, uma vez que deve-se considerar o Imposto de Renda (IR) (R\$/ano) (Equação 16).

$$IR = t. (LB - D_f) \quad (16)$$

No qual,  $t$  é a taxa anual de imposto de renda [(R\$/ano)/R\$ investido], aplicada sobre o Lucro Tributável  $(LB - D_f)$ , em que este corresponde à diferença entre o Lucro Bruto e a Depreciação Fiscal  $(D_f)$ . Esta depreciação é calculada com uma taxa  $d$  [(R\$/ano)/R\$ investido], estimada por meio de autoridade tributárias.

Sendo assim, pode-se calcular o Lucro Líquido após o Imposto de Renda (LD) (R\$/ano) (Equação 17).

$$LD = LA - IR \quad (17)$$

Dessa forma, para que o investimento no empreendimento seja rentável, o LD precisa ser positivo.

Com estas definições, inicia-se a descrição do Lucro do Empreendimento, como critério comparativo. Este critério, faz uma comparação de uma fração equivalente que a empresa lucraria com um outro empreendimento que

lhe garanta uma Taxa de Retorno ( $i$ ) [(R\$/a)/R\$ investido], sobre o  $I_{total}$  que seria investido no processo. Isso pode ser chamado como Retorno sobre o Investimento Alternativo (RI) (R\$/ano) (Equação 18).

$$RI = i \cdot I_{total} \quad (18)$$

A taxa de retorno sobre o investimento alternativo ( $i$ ) é tabelada e algumas indústrias possuem valores típicos para  $i$ , como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores típicos de taxa de retorno sobre o investimento.

TIPO DE INDÚSTRIA	$i$ [(R\$/ano)/ R\$ investido]
Papel e Celulose, Borracha	0,08 - 0,10
Fibras Sintéticas, Produtos Químicos, Petróleo	0,11 - 0,13
Produtos Farmacêuticos, Extração, Mineração	0,16 - 0,18

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

Com essas definições, pode-se estimar o Lucro Líquido após o Retorno do Investimento (LL) (R\$/ano), o qual pode ser descrito pela Equação 19.

$$LL = LD - RI \quad (19)$$

Por fim, precisa-se estimar o risco comercial que a empresa está sujeita a correr com o empreendimento. Esse risco é denominado como Compensação pelo risco (CR) (R\$/ano), que pode ser calculada por meio da Equação 20.

$$CR = h \cdot I_{total} \quad (20)$$

Em que  $h$  corresponde a Taxa de Risco [(R\$/ano)/ R\$ investido]. Essa taxa de risco é tabelada e valores típicos são descritos na Tabela 3.

**Tabela 3** - Valores típicos para taxa de risco.

TIPO DE RISCO	$h$ (R\$/ano) / R\$ investido	TIPO DE PROJETO
Elevado	0,20 - 1,00	Projetos que compreendem grande novidade ou baseados em informações incertas sobre vendas, produtos e matérias-primas
Razoável	0,10 - 0,20	Projetos um pouco fora do campo de atividade da empresa, ou produtos ou processos relativamente novos ainda não devidamente comprovados
Médio	0,05 - 0,10	Projetos dentro do campo da atividade da empresa, porém com algumas novidades ou com informações indefinidas quanto ao mercado
Bom	0,01 - 0,05	Expansão de atividades existentes num mercado conhecido
Excelente	0,00 - 0,01	Redução de custos em processo existente, num ambiente estável

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

As taxas  $i$  e  $h$  podem ser somadas gerando a Taxa de Retorno com Risco ( $i_m$ ) [( $\$/a$ ) /  $\$$  investido], conforme a Equação 21.

$$i_m = i + h \quad (21)$$

Assim, pode-se estimar a Taxa de Retorno sobre o Investimento com Risco (RIR) (R\$/ano), descrita pela Equação 22.

$$RIR = i_m I_{total} \quad (22)$$

As parcelas RI e CR retornam ao caixa da empresa.

Dessa forma, o Lucro do Empreendimento (LE) (R\$/ano) pode ser definido como o Lucro Bruto subtraindo a Depreciação (D), o Imposto de Renda (IR), o Retorno sobre o Investimento Alternativo (RI) e a Compensação pelo Risco (CR), e pode ser descrito pela Equação 23.

$$LE = LB - (D + IR + RI + CR) \quad (23)$$

Com isso pode-se estimar a viabilidade do projeto, uma vez que o ( $LE$ ) tenha um valor positivo, isso significa que o investimento no processo, com uma taxa de risco  $h$ , deverá ser mais vantajoso do que o investimento alternativo que oferece uma taxa de retorno  $i$  e risco zero.

Uma forma mais usual para descrever o Lucro do Empreendimento é expressa pela Equação 24.

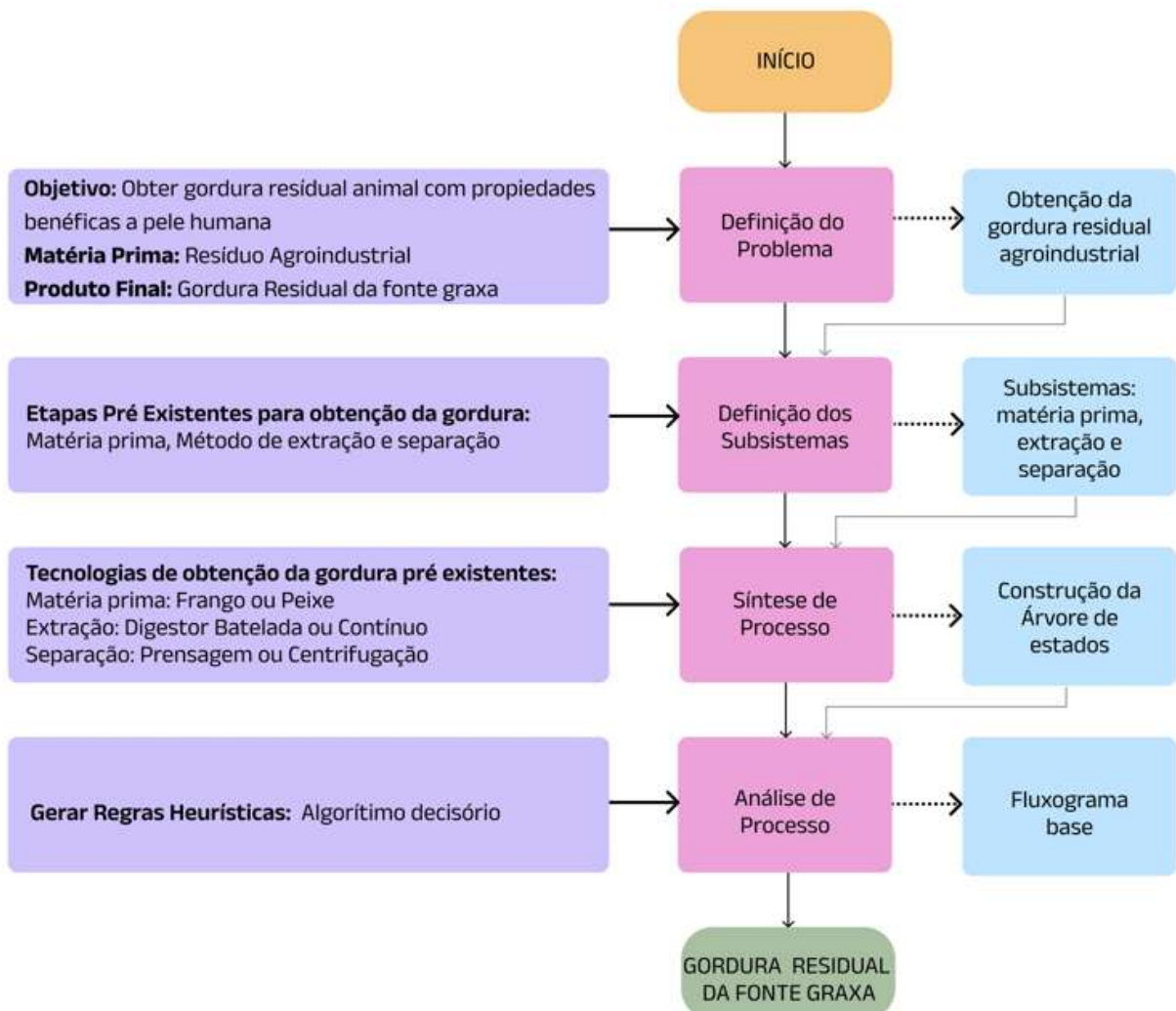
$$LE = a.R - b.(C_{matprim} + C_{util}) - c.ISBL \quad (24)$$

Em que  $R$  é a Receita,  $C_{matprim}$  é o custo com matérias-primas,  $C_{util}$  é o custo com utilidades e insumos e  $ISBL$  corresponde ao investimento nos equipamentos. Os coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  dependem de cada processamento e a forma que são estipuladas as estimativas econômicas.

### 3 METODOLOGIA

A obtenção de gordura animal a partir de resíduos agroindustriais é um processo que depende do desprendimento desse óleo da matriz graxa. Esse processo pode ser realizado por diversas etapas e diferentes equipamentos. Nesse sentido, para analisar as rotas tecnológicas de obtenção da gordura, realizou-se um estudo com base nas técnicas de síntese de processo. A Figura 5 representa a metodologia utilizada, de acordo com a abordagem de Dal-Bó *et al.* (2021).

**Figura 5** - Metodologia aplicada para obtenção da gordura residual animal.



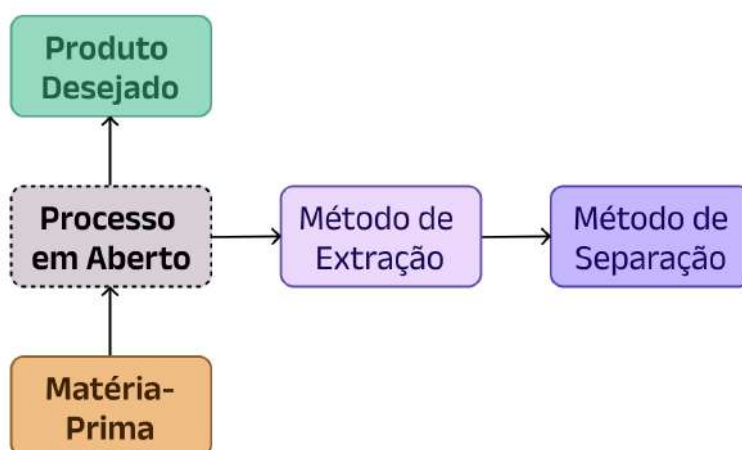
Fonte: A autora, 2022.

Para a aplicação da metodologia proposta, foi necessário, primeiramente, realizar a definição do problema estudado, o qual apresenta o

objetivo, a matéria-prima e o produto desejado. Posteriormente, estabeleceu-se os subsistemas do projeto, embasado nas etapas pré existentes para a obtenção da gordura residual agroindustrial. A terceira etapa, consistiu-se na construção da árvore de estados, iniciando-se pelo topo (nível 0) e seguida pelos ramos, os quais representam as diferentes etapas e equipamentos do processo industrial para obtenção da gordura. Os níveis propostos representam um subsistema ou uma etapa do processo e cada vértice corresponde a um estágio do problema.

Com base nas etapas iniciais, foi possível obter os ramos da árvore de estados por meio do fluxograma embrião, que representa graficamente o problema proposto (Figura 6). Enquanto, os subsistemas foram estabelecidos pelo método de extração e separação para a obtenção da gordura.

**Figura 6** - Fluxograma embrião para obtenção da gordura residual agroindustrial.



Fonte: A Autora, 2022.

A partir da árvore de estados, diferentes fluxogramas podem ser criados por meio da etapa de síntese e que levam a obtenção da gordura proveniente da renderização animal. Uma análise dos subsistemas foi realizada para identificar aquele que possui as melhores características e viabilidade, com base nas características do material estudado e em pesquisas na literatura. Com isso, definiu-se regras heurísticas para cada subsistema a fim de obter um fluxograma base próximo do ótimo (PERLINGEIRO, 2005).

Para realizar a análise econômica de viabilidade do projeto utilizou-se a metodologia proposta por Perlingeiro (2005), em que analisa-se a

empresa em fase de projeto, o qual considera-se uma análise econômica preliminar, aplicando o critério do Lucro do Empreendimento.

Para tanto, inicialmente realizou-se a estimativa de investimentos totais ( $I_{total}$ ) da planta industrial, sejam eles, Investimentos Fixos ( $I_{fixo}$ ) (diretos e indiretos), Investimentos em Capital de Giro ( $I_{giro}$ ) e Investimentos de Partida ( $I_{partida}$ ).

Definido esses investimentos, pode-se estimar o Lucro Bruto do processo, o qual relaciona a Receita (R) (R\$/ano) - estimada com as vendas do produto final -, descontando o Custo Total ( $C_{total}$ ) para o processamento, sejam eles de produção ou gerais. Para obter a estimativa dos investimentos totais e dos custos da implantação da indústria, realizou-se algumas estimativas que foram propostas por Perlingeiro (2005), as quais estão descritas nos Quadros 2 e 3.

**Quadro 2** - Estimativa dos investimentos.

<b>ESTIMATIVA DOS INVESTIMENTOS</b>
$I_{total} = 2,34 \times ISBL$
$I_{direto} = 1,45 \times ISBL$
$I_{indireto} = 0,25 \times I_{direto}$
$I_{fixo} = 1,81 \times ISBL$
$I_{giro} = 0,15 \times I_{total}$
$I_{partida} = 0,10 \times I_{fixo}$
$OSBL = 0,45 \times ISBL$

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

**Quadro 3** - Estimativa dos custos.

<b>ESTIMATIVA DOS CUSTOS</b>
$C_{manut} = 0,04 \times I_{fixo}$
$C_{supr} = 0,15 \times C_{manut}$
$C_{adm} = 0,20 \times C_{mobra}$
$C_{lab} = 0,15 \times C_{mobra}$
$C_{direto} = (C_{matprim} + C_{util}) + 0,046 \times I_{fixo} + 0,27 \times C_{total}$
$C_{mobra} = 0,20 \times C_{total}$
$C_{fixo} = 0,03 \times I_{fixo}$
$C_{gerais} = 0,025 \times Receita$
$C_{total} = 1,37 \times (C_{matprim} + C_{util}) + 0,104 \times I_{fixo} + 0,034 \times R$

Fonte: PERLINGEIRO, 2005

Com os valores dos investimentos e custos do processamento, realizou-se o cálculo do Lucro Líquido antes do Imposto de Renda (LA), que leva em consideração a depreciação dos bens.

Ao obter o valor de LA, calculou-se o Lucro Líquido após o Imposto de Renda (LD), que leva em consideração a Taxa Anual do Imposto de Renda (t) e a Depreciação Fiscal ( $D_f$ ). Estabelecido o valor de LD, o passo seguinte foi obter o valor do Retorno sobre Investimento Alternativo (RI) e com isso, calcular o Lucro Líquido após Retorno (LL).

Após obter o valor de LL, estimou-se a Compensação de Risco (CR) a uma certa Taxa de Risco (h). Logo em seguida, calculou-se o Retorno sobre Investimento com Risco (RIR), levando em consideração a taxa de retorno (i) somada com a taxa de risco (h), multiplicados pelo investimento total. E por fim, calculou-se o Lucro do Empreendimento (LE), considerando o Lucro Bruto (LB) descontando a Depreciação Linear (D), o Imposto de Renda (IR), o Retorno sobre o Investimento Alternativo (RI) e a Compensação de Risco (CR).

## 4 RESULTADOS

O presente estudo realiza uma avaliação técnica e econômica sobre a rota de obtenção da gordura residual animal, de modo a obter processos mais produtivos e com valor agregado. Neste sentido, para realizar a extração da gordura residual disponível na indústria de alimentos, necessitou-se estabelecer uma análise do processo, realizando-a por meio da árvore de estados, com a escolha de equipamentos e subsistemas de extração e separação.

### 4.1 CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE ESTADOS

Os subsistemas da árvore de estados compõem as diferentes etapas do projeto em estudo. Para a obtenção da gordura residual animal foram estabelecidos os subsistemas representados por: nível I (resíduo oleoso agroindustrial), nível II (método de extração sólido-líquido) e o nível III (método de separação sólido-líquido), conforme apresentado na Figura 7. Os demais equipamentos que participam do processo já estão consolidados, e por isso não foram inseridos na construção da árvore de estados.

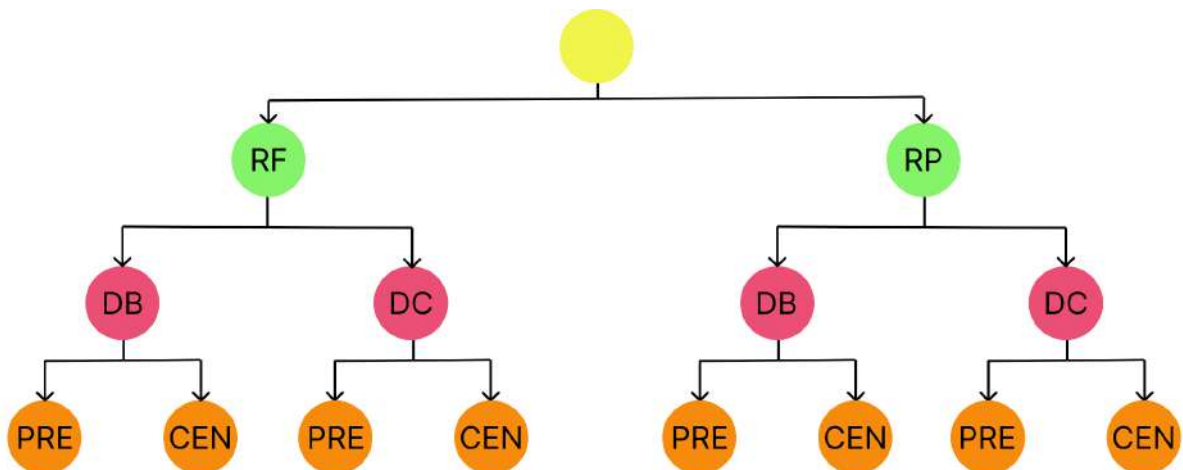
**Figura 7** - Subsistemas da árvore de estados.



Fonte: A autora, 2022.

Dentro de cada nível, diversas possibilidades compõem os subsistemas, de maneira que o nível I da árvore é composto pelas matérias primas, que são os resíduos oleosos de origem animal, representados pelos resíduos de frango (RF) e resíduos de peixe (RP). Enquanto o nível II, é composto pelo método de extração graxa mais utilizado em processo de renderização animal, que é a digestão a seco e pode ser realizado tanto em digestores em batelada (DB), como em digestores contínuos (DC). E o nível III, é constituído pelos métodos de separação sólido-líquido mais utilizados, que são a prensagem (PRE) e centrifugação (CEN). Dessa maneira, a Figura 8 representa a árvore de estados construída neste projeto.

**Figura 8** - Representação da árvore de estados do projeto.



Fonte: A autora, 2022.

Com a estrutura da árvore de estado foi possível notar que esta é composta por 3 subsistemas, com 8 possibilidades de rotas tecnológicas. A definição do fluxograma base foi escolhida por meio da aplicação das regras heurísticas.

#### 4.2 MÉTODO HEURÍSTICO

A análise do processo foi realizada a partir das regras heurísticas. Para tanto, fez-se a varredura em todos os níveis da árvore de estado, e a escolha da rota tecnológica foi determinada por meio de métodos empíricos ou literários.

Em primeiro instante, analisou-se o primeiro nível da árvore que são os resíduos das matrizes graxas propostas, sejam eles de frango ou peixe. A

escolha do resíduo foi baseada nos benefícios que os óleos residuais entregam à pele humana, bem como sua disponibilidade no país. No próximo nível (II), elegeu-se o método de extração da gordura, por meio do portfólio literário e do tamanho da indústria de renderização, elegendo o que possui melhor custo-benefício e que atende a demanda de produção. Em sequência, o nível (III) avalia o método de separação sólido-líquido que será definido pelas características do material a ser processado.

#### 4.2.1 Regras Heurísticas para a Matriz Graxa

As matrizes graxas em estudo são oriundas de resíduos de frango e de peixe. Para uma análise mais profunda sobre esses resíduos oleosos e suas propriedades específicas – para a aplicação em cosméticos – foi necessário realizar um estudo da composição da gordura dos animais, bem como a sua disponibilidade no país.

##### 4.2.1.1 Análise do óleo de peixe

O óleo de peixe é rico em ácidos graxos (são muitos e variados) e em sua maioria eles se associam ao fator de proteção da pele, melhoram a função de barreira lipídica que impedem a perda de água cutânea, possuem características antiinflamatórias, diminui a hiperpigmentação da pele, tem ação hidratante, diminui a irritação e coceira provocada por dermatite, previne o câncer de pele, além de minimizar as linhas de expressão e manter as proporções de colágeno e elastina na pele, prevenindo o envelhecimento (HUANG *et al.*, 2018; COPPOLA *et al.*, 2021; PARK *et al.*, 2021).

As propriedades do óleo de peixe são positivas para o uso em cosméticos, porém no Brasil - em comparação com a disponibilidade residual de outros animais - o resíduo de peixe é o que possui menor proporção de resíduo oleoso, apenas 14,8 mil toneladas de óleo de peixe foram produziram no ano de 2020 (ABRA, 2020).

#### 4.2.1.2 Análise da gordura de aves

Segundo Chiu *et al.* (2007), a da gordura de aves é composta, em sua maioria, por ácido oléico (43,4%), ácido palmítico (24,7%) e ácido linoléico (17,2%).

O ácido oléico possui propriedades relevantes quando aplicado em cosméticos pois atua como antioxidante, melhora a textura dos produtos, além de possuir propriedades antiinflamatórias e nutritivas. Esse ácido é muito utilizado em hidratantes para peles secas e maduras, pois penetra facilmente na pele, fornece uma barreira de proteção evitando a perda de água cutânea, trata os sinais de envelhecimento, retarda o aparecimento de novos vincos de expressão e atua contra os radicais livres (CORREA *et al.*, 2013; NAIK *et al.*, 1995).

O ácido palmítico, possui propriedades antioxidantes e emolientes que auxiliam na proteção cutânea e retenção de água na pele e também atua como surfactante e emulsificante que melhora a textura e a estabilidade das formulações cosméticas (MAC LEMAN, 2021; JOHN, 2019). Já o ácido linoléico, auxilia na elasticidade e prevenção a rugas da pele e proporciona uma pele mais luminosa, tonificada e livre de manchas (KANLAYAVATTANAKUL *et al.*, 2021; ANDO *et al.*, 1998).

Além dos aspectos de propriedades da composição da gordura, o resíduo industrial do abate de aves é abundante e ainda é pouco explorado. No Brasil, no ano de 2020 foram produzidas cerca de 496,8 mil toneladas de gordura de aves provenientes das indústrias de renderização animal (ABRA, 2020).

Dessa maneira, aplicando a regra heurística para a matriz graxa disponível, levando em consideração as propriedades e benefícios que entregam à pele humana, bem como, a sua disponibilidade no país, a matriz graxa escolhida pelo método heurístico foi o resíduo de aves.

#### 4.2.2 Regras Heurísticas para a Extração Sólido-Líquido

Com base nos artigos e trabalhos lidos, os métodos de extração mais utilizados em processo de renderização animal são digestores a seco em batelada ou contínuo. O método de extração da gordura animal escolhido pela regra heurística foi a extração em digestores batelada, pois digestores contínuos, apesar

de serem mais eficientes, são utilizados em indústrias de processamento de grande porte, devido ao valor elevado na aquisição do equipamento (FERROLI, 1999; BARROS, 2007; LABOISSIÈRE, 2008; HUYER, 2011).

O processo em estudo, se refere a uma indústria de processamento de pequeno porte, por isso elegeu-se digestores em batelada para a rota tecnológica de obtenção da gordura de aves.

#### 4.2.3 Regras Heurísticas para a Separação Sólido-Líquido

Segundo Barros (2007), o processo de separação sólido-líquido pode ser realizado em prensas ou centrifugas. Utiliza-se prensas quando os resíduos de aves são moles, e centrifugas, quando os resíduos possuem ossos duros. Nesse sentido, elegeu-se a utilização de prensas expeller para separação da gordura da matriz sólida, pois além de ter um menor custo de processamento em relação às centrifugas, apresentam um melhor rendimento de extração.

Assim, o fluxograma base para a obtenção da gordura animal pode ser considerado a partir da rota escolhida, como na Figura 9.

**Figura 9** - Rota tecnológica para obtenção da gordura animal.

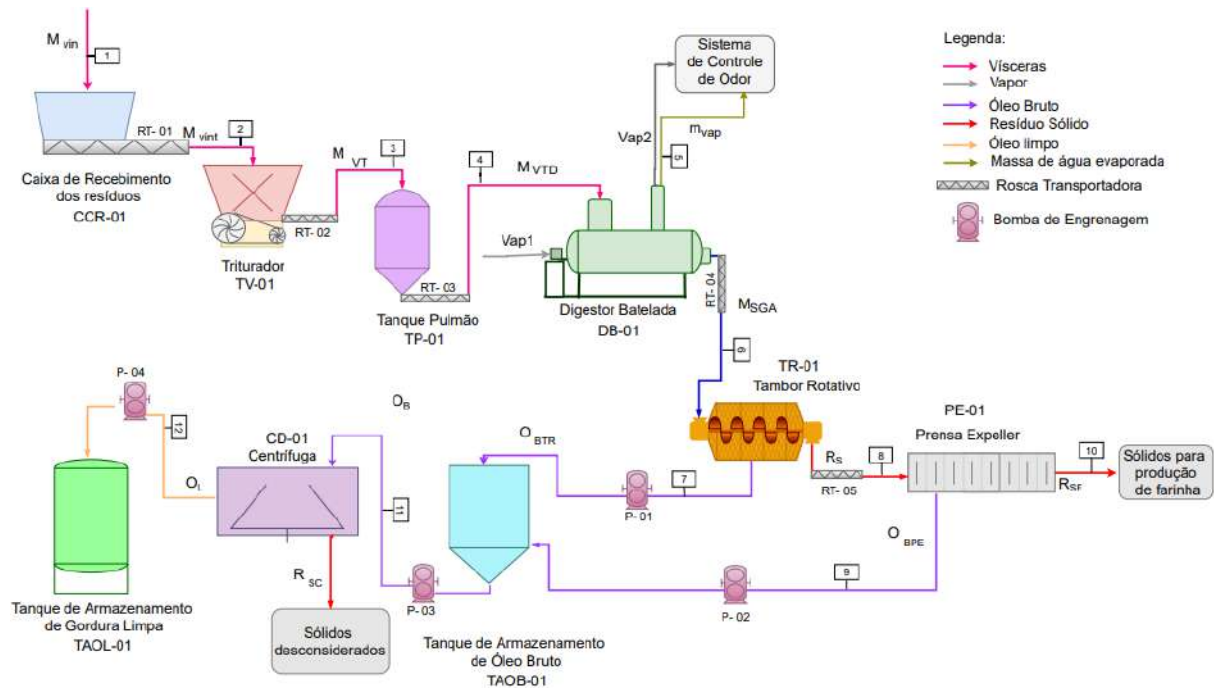


Fonte: A autora, 2022.

### 4.3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Para a produção de óleo residual industrial de aves foi considerado o fluxograma do processo representado pela Figura 10.

**Figura 10** - Fluxograma do processo de obtenção da gordura das vísceras de aves.



Fonte: Adaptado de BARROS, 2007.

### 4.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A obtenção da gordura de aves em processos de renderização se dá por meio de um processo paralelo ao ciclo de abate de aves. Para tal processamento, utiliza-se vísceras, as quais são compostas por rim, fígado, moela e intestino. Em sua maioria, o material visceral é composto por: água, proteína, gordura, carboidrato e cinzas, conforme descrito na Figura 11.

**Figura 11** - Composição de vísceras de aves.



Fonte: Adaptado de OLAWOYIN, 2008.

No setor de renderização de aves, o processo é iniciado com a etapa de recebimento das vísceras *in natura* (Corrente 1), em temperatura ambiente. A caixa receptora dos resíduos (CCR-01) é abastecida por meio de uma tubulação carregada de matéria prima (Figura 12).

**Figura 12** - Caixa receptora dos resíduos.



Fonte: DHEYTÉCNICA, 2022.

Após seu recebimento, as vísceras são enviadas por roscas transportadoras (Corrente 2) para um sistema de trituração (TV-01) (Figura 13), o

qual está regulado para obter partículas menores que 50 mm para que a esterilização do material seja completa, de acordo com a IN15 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (HUYER, 2011; VOLPATO, 2021).

**Figura 13** - Triturador de vísceras e ossos.



Fonte: HAARSLEV, 2022.

Em seguida, a matéria prima triturada é enviada, por meio da corrente 3, ao tanque pulmão (TP-01) (Figura 14). O tanque tem a função de receber as vísceras trituradas e armazená-las até serem transportadas ao digester batelada por via da corrente 4.

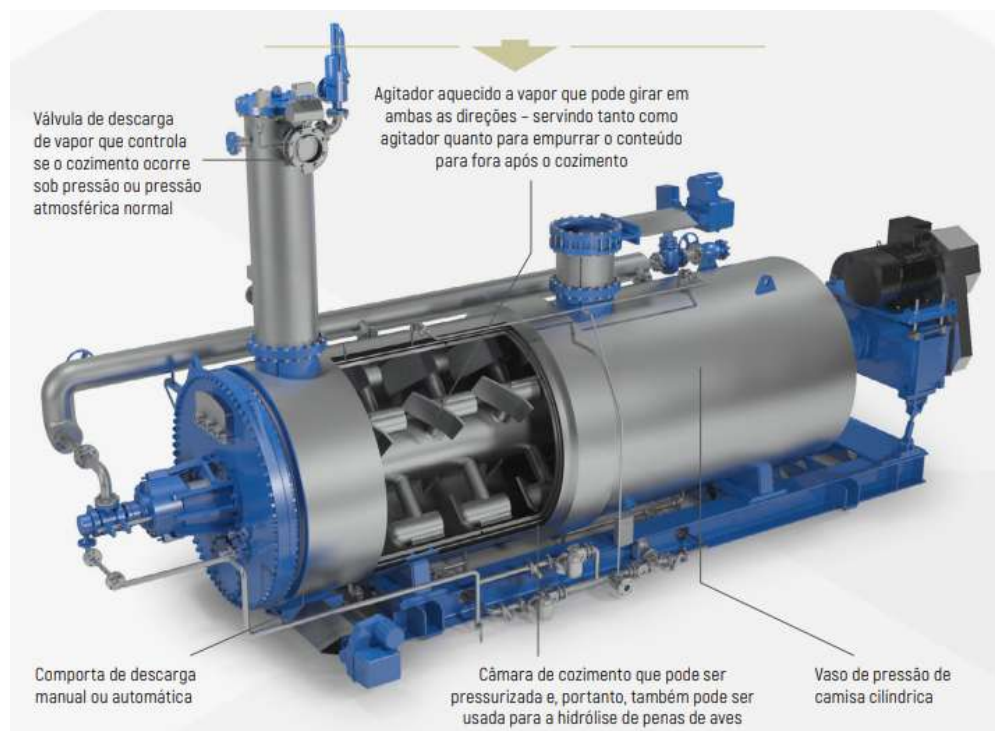
**Figura 14** - Tanque pulmão para armazenamento das vísceras.



Fonte: RICEFER, 2022.

O digestor batelada (DB-01) (Figura 15) é um vaso de pressão horizontal e cilíndrico, constituído por tanque encamisado duplamente, em que vapor seco é circulado pela camisa, pelo eixo central e também pelas paletas do agitador. Além disso, o sistema de digestão também apresenta um sistema de válvulas, purgadores e filtros, os quais possibilitam uma melhor manutenção da pressão exigida no processo, bem como, monitorar o vapor que é formado no interior do equipamento (BARROS, 2007; FILHO, 2017).

**Figura 15** - Digestor batelada de vísceras.



Fonte: HAARSLEV, 2022.

A digestão das vísceras é a principal etapa do processo de renderização, pois nele ocorre a desidratação da matéria prima, bem como o desprendimento da gordura que estava incutida nas vísceras, resultando em um produto com umidade reduzida, mas rico em proteínas e lipídios. O material visceral que entra no digestor possui em média 76,15% de umidade e ao final do processo apresenta apenas 5% de umidade (FILHO, 2017; OLAWOYIN, 2018).

Quando realiza-se a batelada, o digestor é alimentado com  $\frac{2}{3}$  da sua capacidade total e em seguida é fechado. Logo após o fechamento, vapor saturado indireto saem das paredes internas, do eixo central e das paletas do agitador e

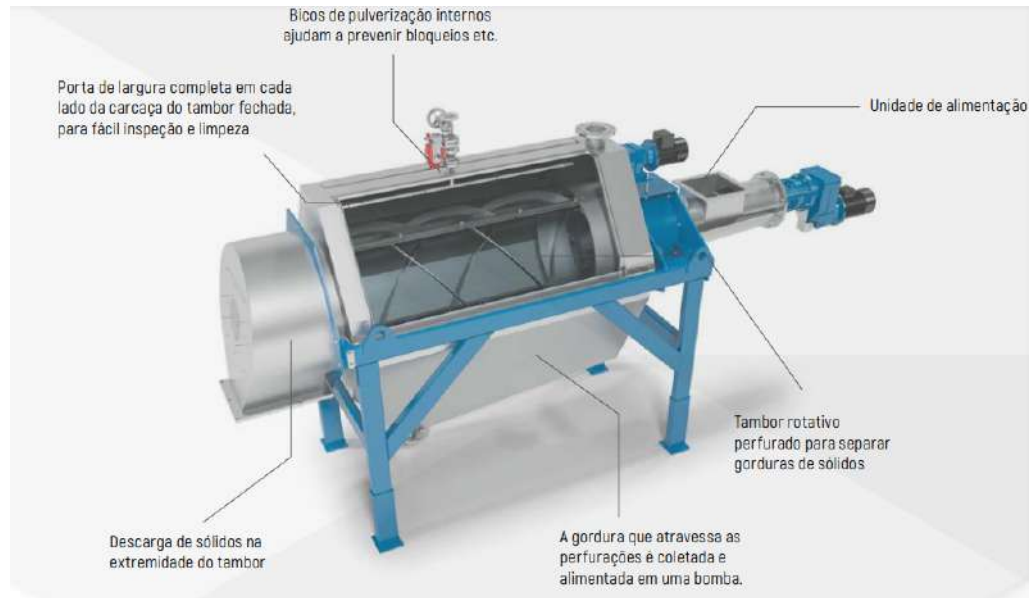
começam a realizar o processo de cozimento e desidratação dos resíduos, obtendo um aquecimento homogêneo em todo material (FERROLI, 1999; BARROS, 2007).

O processo de digestão ocorre em duas etapas, a primeira é o cozimento e a segunda a desidratação. A primeira etapa inicia-se com pressão interna de 3,5 a 4 atm, até que a temperatura interna do digestor chegue na faixa de 121 a 135 °C e permanece nestas condições por cerca de 30 minutos. Nesta etapa, ocorre o desprendimento da gordura e da água em forma de vapor ( $m_{vap}$ ) (corrente 5), que estavam nas vísceras. Após este período, inicia-se a segunda etapa do processo, em que as válvulas de purga do digestor são abertas e os vapores que foram formados no interior do digestor são liberados e enviados para o sistema de controle de odor. No digestor, a pressão interna se estabiliza próxima à pressão atmosférica e a pressão da camisa e do eixo permanece em torno de 3,5 a 4 atm, para manter a temperatura contínua na faixa de 121 a 135°C por cerca de 2,5h (BARROS, 2007).

A descarga das vísceras (corrente 6) ocorre diretamente no tambor rotativo (TR-01) (Figura 16), por meio da inversão da rotação do eixo central e abertura dianteira do digestor batelada. De acordo com o fabricante, o tambor rotativo passou a substituir os percoladores de óleo, pois eram equipamentos arcaicos e robustos, e o tambor rotativo foi desenvolvido especialmente para realizar a função de percolação de óleo bruto. No tambor rotativo ocorre a primeira separação sólido-líquido, em que o óleo será escoado por meio de uma chapa perfurada e será recebido por uma bandeja e logo após será bombeado por meio de tubulações (corrente 7) ao tanque de armazenamento de óleo bruto (TAOB-01) (BARROS, 2007).

O sólido retido no tambor rotativo é removido por roscas extratoras e seguidamente é destinado à prensa expeller (PE-01) representado pela corrente 8. O rendimento estipulado para este processo é de obtenção de 77% de resíduos sólidos e 23% de óleo bruto do tambor rotativo (BARROS, 2007; LABOISSIÈRE, 2008).

**Figura 16 - Tambor rotativo de gordura.**



Fonte: HAARSLEV, 2022.

Quando os resíduos sólidos são enviados à prensa expeller (Figura 17), obtém-se um produto com teor de 8% de gordura o qual será destinado a produção de farinha de vísceras (corrente 10) (BARROS, 2007).

**Figura 17 - Prensa expeller.**



Fonte: KONTINUER, 2022.

Os resíduos oleosos provenientes do tambor rotativo e da prensa expeller, representado pelas correntes 7 e 9, respectivamente, são enviados ao tanque de armazenamento de óleo bruto (Figura 18).

**Figura 18** - Tanque de armazenamento de óleo bruto.



Fonte: ULLEREV, 2022.

Após o armazenamento, o óleo bruto é bombeado por meio de tubulações (corrente 11) para a etapa de centrifugação a disco (CD-01) (Figura 19) para retirar as impurezas de resíduos sólidos que ainda restam no óleo bruto e assim ser estocado para a comercialização.

**Figura 19** - Centrífuga a disco.



Fonte: FLOTTWEG, 2022.

A separação sólido-líquido da centrífuga ocorre dentro do sistema de discos. A força centrífuga exercida sobre o óleo bruto, faz com que os sólidos, ainda presentes, sejam depositados na câmara de sólidos do tambor da centrífuga. O sólido obtido na etapa de centrifugação, podem ser enviados à prensa expeller. Enquanto o óleo clarificado circula o sistema a disco e é impulsionado centripetamente até que seja descarregado, por meio da corrente 12, no tanque de armazenamento de óleo limpo (TAOL-01) (Figura 20).

**Figura 20** - Tanque de armazenamento de óleo limpo.



Fonte: FOOD MACHINERY, 2022.

Definido o fluxograma do processo de obtenção da gordura de aves, a etapa seguinte consiste na análise do processamento. Essa análise é realizada por meio dos cálculos do balanço mássico e energético, dimensionamento dos equipamentos e, por fim, a análise econômica preliminar.

A Tabela 4 sumariza os resultados obtidos por meio do balanço de massa realizado, considerando as variáveis com as respectivas vazões e composição de cada corrente. O memorial de cálculo do balanço de massa está disposto no Apêndice A-1.

**Tabela 4** - Composição e vazões de cada corrente do processo [continua].

<b>CORRENTE</b>	<b>VARIÁVEIS</b>	<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>VAZÃO</b>
1	$M_{vin}$	Água: 76,15% Proteína: 12,73% Gordura: 7,85 % Carboidrato: 2,83 % Cinzas: 0,44%	3250 kg vísceras/bat
2	$M_{vint}$	Água: 76,15% Proteína: 12,73% Gordura: 7,85 % Carboidrato: 2,83 % Cinzas: 0,44%	3250 kg vísceras/bat
3	$M_{VT}$	Água: 76,15% Proteína: 12,73% Gordura: 7,85 % Carboidrato: 2,83 % Cinzas: 0,44%	3250 kg/bat
4	$M_{VTD}$	Água: 76,15% Proteína: 12,73% Gordura: 7,85 % Carboidrato: 2,83 % Cinzas: 0,44%	3250 kg/bat
5	$m_{vap}$	Água: 100%	2434,08 kg/bat
6	$M_{SGA}$	Água: 5% Proteína: 51% Gordura: 31 % Carboidrato: 11% Cinzas: 2%	815,92 kg/bat
7	$O_{BTR}$	Óleo residual: 98% Sólidos: 2%	187,66 kg/bat
8	$R_s$	Água: 6% Proteína: 66% Gordura: 11 % Carboidrato: 15% Cinzas: 2%	628,26 kg/bat
9	$O_{BPE}$	Óleo residual: 98% Sólidos: 2%	18,85 kg/bat

Fonte: A autora, 2022.

**Tabela 4** - Composição e vazões de cada corrente do processo [fim].

10	R <sub>SF</sub>	Água: 7% Proteína: 68% Gordura: 8 % Carboidrato: 15% Cinzas: 2%	609,41 kg/bat
11	O <sub>B</sub>	Óleo residual: 98% Sólidos: 2%	206,51 kg/bat
12	O <sub>L</sub>	Óleo residual: 100%	202,38 kg/bat

Fonte: A autora, 2022.

O balanço de energia (Tabela 5) foi realizado somente para o digestor batelada, pois é o único equipamento que utiliza calor em sua operação, com aquecimento de 25 a 135°C. Os cálculos referente a este balanço estão dispostos no Apêndice A - 2.

**Tabela 5** - Resultado do balanço de energia.

CALOR	RESULTADO (kJ)
$Q_{sens\ 1}$ (25-100°C)	$6,65 \times 10^7$
$Q_{sens\ 2}$ (100-135°C)	$8,60 \times 10^6$
$Q_{latA}$ (100°C)	$5,49 \times 10^6$
$Q_{total}$	$8,06 \times 10^7$

Fonte: A autora, 2022.

Com os dados do balanço de massa, realizou-se o dimensionamento dos equipamentos, incluindo as tubulações e bombas. A Tabela 6, resume os dados obtidos no dimensionamento e os cálculos com mais detalhes estão dispostos no Apêndice A - 3.

**Tabela 6** - Dimensionamento dos equipamentos e tubulações [continua].

<b>TAG</b>	<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>INFORMAÇÕES</b>
CCR-01	Caixa Coletora de Resíduos Conteúdo: Vísceras <i>in natura</i>	V= 7,5 m <sup>3</sup> L= 5450 mm A= 2070 mm C= 1600 mm Potência= 1,5 kW
TV-01	Triturador de Vísceras Conteúdo: Vísceras <i>in natura</i>	$\dot{m}$ = 8 ton/h A = 900 mm C= 1450 mm Potência= 30 kW
TP-01	Tanque Pulmão Conteúdo: Vísceras <i>in natura</i> trituradas	V= 4000 L D= 1600 mm A= 2500 mm
DB-01	Digestor Batelada Conteúdo: Vísceras <i>in natura</i> trituradas	V= 5000 L L= 1990 mm A= 2650 mm C= 5200 mm Potência= 37 kW
TR-01	Tambor Rotativo de Gordura Conteúdo: Vísceras digeridas	$\dot{m}$ = 4 ton/h L= 1050 mm A= 2200 mm C= 3900 mm Potência= 0,37 kW
PE-01	Prensa Expeller Conteúdo: Resíduo sólidos das vísceras digeridas	$\dot{m}$ = 1,5 ton/h L=1650 mm A= 2000 mm C= 3400 mm Potência: 55 kW

Fonte: A autora, 2022.

**Tabela 6** - Dimensionamento dos equipamentos e tubulações [continua].

TAOB-1	Tanque de Armazenamento de Óleo Bruto Conteúdo: Óleo residual bruto	V= 1000 L D= 900 mm A= 2000 mm
CD-01	Centrífuga à Disco Conteúdo: Óleo residual bruto	$\dot{Q}$ = 10000 L/h L= 600 mm A= 1000 mm C=1100 mm Potência= 5,5 kW
TAOL-01	Tanque de Armazenamento de Óleo Limpo	V= 4000 L D= 1600 mm A= 2500 mm
RT-01 RT-02 RT-03	Rosca Transportadora Conteúdo: Vísceras <i>in natura</i>	$\dot{Q}$ = 7,22 m <sup>3</sup> /h D= 0,15 m L= 3,00 m N= 100 rpm
RT-04	Rosca Transportadora Conteúdo: Vísceras digeridas	$\dot{Q}$ = 16,7 m <sup>3</sup> /h D= 0,20 m L= 3,00 m N= 90 rpm
RT-05	Rosca Transportadora Conteúdo: Resíduo sólidos das vísceras digeridas	$\dot{Q}$ = 7,22 m <sup>3</sup> /h D= 0,15 m L= 3,00 m N= 100 rpm
P-01	Bomba de Engrenagem Conteúdo: Óleo residual bruto	$\dot{Q}$ = 41,83 L/min N= 1160 rpm Potência= 1,17 kW Pressão= 2 bar

Fonte: A autora, 2022.

**Tabela 6** - Dimensionamento dos equipamentos e tubulações [continua].

P-02	Bomba de Engrenagem Conteúdo: Óleo residual bruto	$\dot{Q}$ = 4,2 L/min N= 1000 rpm Potência= 0,058 kW Pressão= 2 bar
P-03	Bomba de Engrenagem Conteúdo: Óleo residual bruto	$\dot{Q}$ = 24 L/min N= 1320 rpm Potência= 0,22 kW Pressão= 2 bar
P-04	Bomba de Engrenagem Conteúdo: Óleo residual limpo	$\dot{Q}$ = 23,5 L/min N= 1280 rpm Potência= 0,22 kW Pressão= 2 bar
Tubulação 7	Conteúdo: Óleo residual bruto	Sucção D = 2" $\Delta P$ = 0,02 bar
		Recalque D = 1 ¼ " $\Delta P$ = 0,08 bar
Tubulação 9	Conteúdo: Óleo residual bruto	Sucção D = ¾ " $\Delta P$ = 0,06 bar
		Recalque D = ¾ " $\Delta P$ = 0,06 bar

Fonte: A autora, 2022.

**Tabela 6** - Dimensionamento dos equipamentos e tubulações [fim].

Tubulação 11	Conteúdo: Óleo residual bruto	Sucção D = 1 ½ ” ΔP = 0,01 bar
		Recalque D = 1 ¼ ” ΔP = 0,04 bar
Tubulação 12	Conteúdo: Óleo residual limpo	Sucção D = 1 ½ ” ΔP = 0,03 bar
		Recalque D = 1 ¼ ” ΔP = 0,04 bar

Fonte: A autora, 2022.

#### 4.5 ANÁLISE ECONÔMICA

A partir do dimensionamento dos equipamentos foi possível realizar análise econômica do projeto. A análise utilizada foi a do Lucro do Empreendimento, proposto por Perlingeiro (2005). Para a obtenção do resultado foi necessário calcular a receita gerada por meio desse processamento, como também, realizar estimativas de custos e investimento para o projeto.

Inicialmente, foram calculados os investimentos para a implantação e início do processamento das vísceras. Para a obtenção dos valores realizou-se primeiramente o cálculo do ISBL, conforme disposto na Tabela 7. Os valores relacionados aos custos dos equipamentos estão apresentados mais detalhadamente no Apêndice B. O fator de lang ( $f_L$ ), foi considerado para o tipo de processamento de sólidos e os fatores  $f_D$  e  $f_T$  foram considerados iguais a 1 conforme apresentado por Perlingeiro (2005).

**Tabela 7 - Cálculo do ISBL.**

<b>FATORES</b>	<b>VALOR</b>
$f_L$	3,9
$f_D$	1
$f_T$	1
Custos com Equipamentos ( $\sum I_{Ei}$ ) (Milhões R\$)	4,66
ISBL (Milhões R\$)	18,18

Fonte: A autora, 2022.

Com o valor de ISBL, foi possível realizar a estimativa dos outros investimentos, como proposto por Perlingeiro (2005), descrito no Quadro 2 da seção da metodologia. Assim, obtém-se os seguintes valores para os Investimentos do projeto, apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 - Cálculo estimado dos investimentos.**

<b>INVESTIMENTOS</b>	<b>VALORES (Milhões R\$)</b>
$I_{total} = 2,34 \times ISBL$	42,54
$I_{direto} = 1,45 \times ISBL$	26,36
$I_{fixo} = 1,81 \times ISBL$	32,90
$OSBL = 0,45 \times ISBL$	8,18
$I_{indireto} = 0,25 \times I_{direto}$	6,59
$I_{partida} = 0,10 \times I_{fixo}$	3,29
$I_{giro} = 0,15 \times I_{total}$	6,38

Fonte: A autora, 2022.

Estabelecidos os valores estimados do investimento, calculou-se a Receita anual do processamento. Para o cálculo da Receita (R\$/ano), foram consideradas as vendas dos produtos obtidos do processamento das vísceras de aves *in natura* que são: óleo de vísceras e farinha de vísceras. A quantidade de óleo e de farinha de vísceras produzidas por batelada é de 206,51 kg e 609,41 kg, respectivamente. Para o cálculo, considerou-se duas bateladas diárias e a operação de 360 dias no ano. Os valores da venda do óleo e da farinha de vísceras foram cotados dia 02/12/2022, por meio do site da Editora Stilo. O valor de receita do processamento está disposto na Tabela 9.

**Tabela 9** - Receita gerada com as vendas do óleo e da farinha de vísceras.

<b>PRODUTOS</b>	<b>VALOR (R\$/kg)</b>	<b>PRODUÇÃO (kg/ano)</b>	<b>RECEITA (Milhões R\$/ano)</b>
Óleo de Vísceras	6,20	$1,45 \cdot 10^5$	0,90
Farinha de Vísceras	5,25	$4,38 \cdot 10^5$	2,30
<b>TOTAL</b>			<b>3,20</b>

Fonte: A autora, 2022.

À medida que a empresa gera uma receita, decorrente da venda dos produtos, há um custo de processamento inserido simultaneamente na empresa. Para tanto, calculou-se os custos relacionados à matéria prima ( $C_{matprim}$ ), como também, os custo com utilidades e insumos ( $C_{util}$ ).

Os custos relacionados à matéria-prima, foram apenas os valores das vísceras *in natura*. De acordo com uma consulta realizada informalmente no dia 05 de dezembro de 2022, com uma indústria de ração animal da região noroeste do Paraná, o preço das vísceras compradas do frigorífico são de R\$0,15/kg de vísceras. Assim, a Tabela 10, relaciona esses custos.

**Tabela 10** - Custos Relacionados à Matéria Prima.

<b>VÍSCERAS PROCESSADAS (kg/ano)</b>	<b>PREÇO DAS VÍSCERAS (R\$/kg)</b>	$C_{matprim}$ <b>(Milhões R\$/ano)</b>
2,28.10 <sup>6</sup>	0,15	0,34

Fonte: A autora, 2022.

Os custos relacionados às utilidades e insumos, estão resumidamente, dispostos na Tabela 11. As considerações mais detalhadas, referentes a esses custos, estão presentes no Apêndice C.

**Tabela 11** - Custo relacionado à utilidades e insumos.

<b>Utilidades</b>	<b>VALOR (Milhões R\$/ano)</b>
Vapor	0,05
Energia	0,19
$C_{util}$	0,24

Fonte: A autora, 2022.

Com os valores obtidos do  $C_{matprim}$  e do  $C_{util}$ , calcula-se os outros custos que incorrem no empreendimento. Assim, as estimativas relacionadas a esses custos estão dispostas na Tabela 12.

**Tabela 12** - Estimativa dos custos do empreendimento [continua].

<b>ESTIMATIVA DOS CUSTOS</b>	<b>VALORES (Milhões R\$/ano)</b>
$C_{total} = 1,37 \times (C_{matprim} + C_{util}) + 0,104 \times I_{fixo} + 0,034 \times R$	4,33
$C_{direto} = (C_{matprim} + C_{util}) + 0,046 \times I_{fixo} + 0,27 \times C_{total}$	3,27
$C_{gerais} = 0,025 \times Receita$	0,08
$C_{manut} = 0,04 \times I_{fixo}$	1,32
$C_{fixo} = 0,03 \times I_{fixo}$	0,99
$C_{supr} = 0,15 \times C_{manut}$	0,20

Fonte: A autora, 2022.

**Tabela 12** - Estimativa dos custos do empreendimento [fim].

$C_{mobra} = 0,20 \times C_{total}$	0,87
$C_{adm} = 0,20 \times C_{mobra}$	0,17
$C_{lab} = 0,15 \times C_{mobra}$	0,13
$C_{prod} = C_{gerais} + C_{fixo}$	1,07

Fonte: A autora, 2022.

Com os dados obtidos dos custos e investimentos do processo, calculou-se os lucros referentes ao empreendimento. Esses valores estão presentes na Tabela 13. Os cálculos detalhados encontram-se no Apêndice D.

**Tabela 13** - Dados obtidos da lucratividade do empreendimento.

<b>LUCROS DO EMPREENDIMENTO</b>	<b>VALORES (Milhões R\$/ano)</b>
Margem Bruta (MB)	2,87
Lucro Bruto (LB)	-1,12
Depreciação (D)	2,64
Lucro Antes do Imposto de Renda (LA)	- 3,76
Imposto de Renda (IR)	-1,03
Lucro Depois do Imposto de Renda (LD)	- 2,73
Retorno sobre Investimento Alternativo (RI)	6,81
Lucro Líquido Após Retorno do Investimento (LL)	-9,53
Compensação pelo Risco (CR)	2,13
Retorno sobre Investimento com Risco (RIR)	8,93
Lucro do Empreendimento (LE)	-11,66

Fonte: A autora, 2022.

Com os resultados obtidos, analisou-se que o valor obtido para o Lucro do Empreendimento (LE), é negativo. Segundo Perlingeiro (2005), um valor negativo de LE, significa que o investimento no processo, com uma taxa de risco (h), não é vantajoso em comparação a um investimento alternativo que ofereça taxa de

retorno (i) e com risco zero. Ou seja, o projeto em questão não atrai investimentos, pois será mais vantajoso deixar o dinheiro, que seria investido na empresa, na poupança ou em algum outro tipo de rentabilidade.

Porém, uma outra análise foi considerada neste projeto. A consideração realizada, foi estimar a lucratividade da empresa, quando o valor investido em equipamentos e maquinários do projeto, sejam inteiramente quitados.

Dessa maneira, recalculou-se o Lucro do Empreendimento e obteve-se um valor de:

$$LE_{\text{após quitação}} = 1,66 \text{ milhões R\$/ano}$$

Assim, pode-se afirmar que, durante um certo período, a empresa operou no negativo. Assim, o Lucro do Empreendimento após o investimento inicial ser quitado ( $LE_{AQ}$ ), obtido pela indústria, foi de R\$ 1,66 milhões por ano.

Sendo assim, pode-se inferir que, após a quitação do investimento inicial da planta industrial, o lucro obtido anualmente pela indústria é satisfatório, trazendo em torno de R\$139 mil reais mensais. Com isso, a indústria de obtenção do óleo residual de aves, mostra-se vantajosa, após esse período de retorno, porém ainda pouco explorada, apesar de apresentar grande potencial de aplicação em formulações cosméticas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi avaliado a viabilidade técnica e econômica dos resíduos agroindustriais. Rotas tecnológicas foram avaliadas para obtenção da gordura residual agroindustrial, especificamente de animais como: peixe e aves. Os resíduos provenientes do processamento desses animais, são muitos, mas ainda são pouco explorados, principalmente, em formulações cosméticas.

Para tanto, verificou-se que a metodologia de síntese estrutural, aplicada por meio da árvore de estado, é eficiente e apresentou 8 possibilidades para a obtenção da gordura residual. Analisou-se os subsistemas da árvore, fazendo uso de regras heurística, os quais foram estabelecidos com o estudo em trabalhos científicos. Dessa forma, foi possível obter um fluxograma base para este fim. A rota tecnológica elegida pelas regras heurísticas foi o estudo com o resíduo de aves, extração sólido-líquido com o digestor batelada e separação sólido-líquido com a prensagem.

Após, realizou-se o balanço de mássico e energético do processo, como também, analisou-se a viabilidade econômica preliminar do projeto com a aplicação do método lucro do empreendimento. Os resultados obtidos na análise econômica preliminar, não mostraram ser vantajosos para investimentos neste processo, pois obteve-se um valor negativo para o lucro do empreendimento. Entretanto, realizou-se um novo cálculo para o lucro do empreendimento, considerando que o valor investido inicialmente no projeto seja inteiramente quitado durante um certo período de operação industrial. Dessa maneira, o lucro do empreendimento após a quitação dos equipamentos foi de R\$ 1,66 milhões anual.

Assim, avaliou-se que a rota tecnológica para a obtenção da gordura residual de aves é economicamente viável somente após a quitação dos equipamentos, sendo possível obter o óleo residual de aves e futuramente implementá-lo em emulsões cosméticas.

## **6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Estudar a viabilidade da aplicação da gordura residual de aves em emulsões cosméticas para peles maduras;
- Estimar a lucratividade do processo, substituindo a fase oleosa - que geralmente apresenta um custo elevado - pelo óleo de vísceras.

## REFERÊNCIAS

ABPA. **Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal**. São Paulo - SP, 2022.

ABRA. **Anuário ABRA setor de reciclagem animal**. Brasília - DF, 2020.

AHMAD, H. *et al.* Efficacy of a Synthetic Antioxidant Treatment in Stabilizing Poultry Byproduct Meal and Subsequent Impact of the Treated Meal on Selected Growth Parameters of Broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Brasil, v. 19, n. 3, p. 471-480, 5 maio 2017.

ALENCAR, V. N. S. *et al.* Resíduos agroindustriais: uma alternativa promissora e sustentável na produção de enzimas por microrganismos. **International Agribusiness Congress - Science, technology and innovation: from the field to the meal**, Recife - PE, p. 1-16, 25 set. 2020.

ANDO, H. *et al.* Linoleic acid and alpha-linolenic acid lightens ultraviolet-induced hyperpigmentation of the skin. **Arch Dermatol Res**, Japão, v. 290, n. 7, p. 375-381, jul. 1998.

ARAÚJO, A. M. *et al.* Borra ácida do processamento do óleo de soja: processos reacionais e caracterizações. **XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste**, Brasília - DF, p. 417-423, 5 out. 2016.

ARRUDA, L. F. **Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos**. Orientador: Marília Oetterer. 2004. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2004.

BALADINCZ, P.; HANCSÓK, J. Fuel from waste animal fats. **Chemical Engineering Journal**, Veszprém - Hungria, v. 282, 8 abr. 2015, p. 152-160.

BARROS, F. D. **Reciclagem de resíduos de origem animal: um estudo qualitativo entre processos contínuos e descontínuos e a geração de odores fugitivos**. 2007. 137 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul - SP, 2007.

BARZOTTO, I. L. M. *et al.* ESTABILIDADE DE EMULSÕES FRENTE A DIFERENTES TÉCNICAS DE HOMOGENEIZAÇÃO E RESFRIAMENTO. **Visão Acadêmica**, Curitiba - PR, v. 10, n. 2, p. 36-42, 1 jun. 2009.

CAETANO, N.A.U; SILVA, T.A.R. GORDURA DE FRANGO COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL. **SECITec**, Itumbiara - GO, p. 1-5, 17 out. 2017.

CATÁLOGO DO FABRICANTE KWS. **Dimensional Layout of a Screw Conveyor**. Disponível em:

<<https://www.kwsmfg.com/engineering-guides/screw-conveyor/dimensional-layout-of-conveyor/#>>. Acesso em 28 de outubro de 2022.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2013. 1018 p.

CHIU, M. C *et al.* Fracionamento a seco da gordura de frango em escala piloto. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Campinas - SP, v. 43, n. 3, p. 422-434, jul./set. 2007.

CNA. Impulsionado por ramo agrícola, PIB do agronegócio cresce 5,35% no 1º trimestre de 2021. **PIB do agronegócio**, São Paulo, p. 1-17, 10 jun. 2021

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. Estudos socioeconômicos e ambientais. **Embrapa**, p. 1-9, 4 mar. 2021.

COPPOLA, D. *et al.* Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. **Marine Drugs**, Itália, v. 19, n. 2, p. 1-39, 19 fev. 2021.

CORREA, M. C. M. *et al.* Molecular interactions of plant oil components with stratum corneum lipids correlate with clinical measures of skin barrier function. **Experimental Dermatology**, Nova Jersey - USA, v. 23, n. 1, p. 39-44, 29 nov. 2013.

COSTA FILHO, D. V. *et al.* Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. **II Congresso Internacional de Ciências Agrárias - COINTER - PDVAgro 2017**, Pernambuco, p. 1-8, 2017.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. São Paulo: Blucher, 2012.

DAL-BÓ, V. **Estudo da secagem da polpa do abacate (*Persea americana*)**. 2021. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos) - Centro de ciências exatas e de tecnologia departamento de engenharia química programa de pós-graduação em engenharia química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2021.

DHEYTÉCNICA. **Moega para Recepção e Dosagem de Produtos in natura**. Disponível

em: <<https://www.dheytecnica.com.br/equipamentos/moega-para-recepcao-de-residuos-carneos/>>. Acesso em: 29 de Novembro de 2022.

DHUSHANE, S.; DHULXSHANA, S. Isolation and Physicochemical Characterization of Gelatin from Chicken Waste. **Proceedings of the 26th International Forestry and Environment Symposium**, Sri Lanka, v. 26, n. 69, 7 jun. 2022. Waste Management and Pollution Control.

EDITORA STILO. **Cotações farinhas e gorduras animais**. Disponível em: <<https://www.editorastilo.com.br/cotacoes/>>. Acesso em: 2 de dezembro de 2022.

FARLEY, S. *et al.* A plug-and-play modular microcapillary platform for the generation of multicompartmental double emulsions using glass or fluorocarbon capillaries. **Lab Chip**, Victoria, Canada, v. 21, p. 2781–2790, 2 jun. 2021.

FERNANDES, J.I.M. Resíduo gorduroso da indústria de óleos vegetais em substituição ao óleo de soja em rações para frangos de corte: (soybean oil replaced by acidulated soapstock in broiler diets). **Archives of Veterinary Science**, Palotina - PR, ano 2002, v. 7, n. 2, p. 135-141, 2002.

FERROLI, P. C. M. **Balanceamento do sistema produtivo de farinhas e óleos: fábricas de subprodutos de origem animal**. 1999. 115 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção na Área de Concentração: Gestão do Design e do Produto - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis - SC, 1999.

FILHO, R. A. S. **Dimensionamento de um sistema de reaproveitamento de gases e vapor para pré-aquecimento da água de entrada da caldeira**. 2017. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia de Energia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, 2017.

FLORENCIO, J. A.; CAMPOS, R. R. Estratégias competitivas na indústria de cosméticos. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga - SP, p. 653-666, 2019.

FLOTTWEG. **Centrífuga de Disco Flottweg AC**. Disponível em: <[https://www.flottweg.com/fileadmin/user\\_upload/data/pdf-downloads/Separator-ES.pdf](https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Separator-ES.pdf)>. Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

FOOD MACHINERY. **Tanque de armazenamento de una sola capa**. Disponível em: <<http://www.foodmachinery.es/3a-stainless-storage-tank-1.html>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

GOMES, M. A. **Obtenção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos obtidos de gordura animal – vísceras de frango**. 2010. 55 p. Dissertação (Mestre em Ciências na Área de Conversão de Biomassa. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena - SP, 2010.

GOMIDE, R. **Operações unitárias**: operações com sistemas sólidos granulares. 1. ed. São Paulo: CIP - Brasil, 1983. 298 p. v. 1.

GOMIDE, R. **Operações unitárias**. São Paulo: CIP - Brasil, 1980. v.4.

GUPTA, A. *et al.* Nanoemulsions: formation, properties and applications. **Royal Society of Chemistry**, v. 12, 17 fev. 2016. Soft Matter, p. 2826-2841.

HAARSLEV. **Digestor Batelada**. Disponível em: <<https://pt.haarslev.com/products/batch-cooker/>>. Acesso em: 21 de Outubro de 2022.

HAARSLEV. **Tambor Rotativo de Gordura**. Disponível em: <<https://pt.haarslev.com/products/rotative-fat-drainer/>>. Acesso em: 03 de Novembro de 2022.

HAARSLEV. **Triturador Contínuo de Rápido**. Disponível em: <<https://pt.haarslev.com/products/high-speed-crusher/>>. Acesso em: 29 de Novembro de 2022.

HUANG, Z *et al.* Fabrication and characterization of the W/O/W multiple emulsion through oleogelation of oil. **Food Chemistry**, China, v. 358, p. 1-8, 11 abr. 2021.

HUANG, T. H. *et al.* Cosmetic and Therapeutic Applications of Fish Oil's Fatty Acids on the Skin. **Marine Drugs**, Taiwan, v. 16, n. 8, p. 1-20, 30 jul. 2018.

HUYER, B. H. **Melhoria de processo para o reaproveitamento térmico nas indústrias de matérias-primas para ração e biodiesel**. 2011. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Produção e Logística) - Unidade acadêmica de educação continuada mba em gestão da produção e logística, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre - RS, 2011.

JANA, A. *et al.* Keratinase Biosynthesis from Waste Poultry Feathers for Proteinaceous Stain Removal. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, Guthenburg, v. 8, p. 17651–17663, 19 nov. 2020.

JOHN, T. M. **Palmitic Acid in Coconut Oil Is More Important Than You Think**. 3 set. 2019. Disponível em: <<https://www.livestrong.com/article/521518-palmitic-acid-health-benefits/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

KANLAYAVATTANAKUL, M. *et al.* Valorization of spent coffee grounds as the specialty material for dullness and aging of skin treatments. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Tailândia, v. 8, n. 55, p. 1-12, 27 out. 2021.

KHAN, B. A. *et al.* Basics of pharmaceutical emulsions: A review. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, Pakistan, v. 5, n. 25, p. 2715-2725, 30 dez. 2011.

KONTINUER. **Digestor Batelada**. Disponível em: <<https://www.kontinuer.com/pt/equipamentos/digestores-batelada/>>. Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

KONTINUER. **Prensa Contínua**. Disponível em: <<https://www.kontinuer.com/pt/equipamentos/prensas-continuas/>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

KONTINUER. **Roscas Transportadoras**. Disponível em: <<https://www.kontinuer.com/pt/equipamentos/roscas-transportadoras/>>. Acesso em: 26 de Outubro de 2022.

LABOISSIÈRE, M. **Farinhas de resíduos de abatedouros avícolas em diferentes graus de processamento em rações pré-iniciais e iniciais de frangos de corte**. 2008. 88 p. Dissertação (Mestre em Medicina Veterinária) - Escola De Veterinária Programa De Pós-Graduação Em Ciência Animal, Universidade Federal De Goiás, Goiânia - GO, 2008.

MAC LEMAN, E. **Palmitic Acid – Is Palmitic Acid Bad for the Environment and Your Skin?**. 9 ago. 2021. Disponível em: <<https://thederreview.com/palmitic-acid/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MADAAN, V. *et al.* Emulsion technology and recent trends in emulsion applications. **International Research Journal of Pharmacy**, Sriranganagar - India, v. 5, n. 7, p. 533-542, 7 jul. 2014.

MCCLEMENTS, D.J. **Food emulsions: principles, practice, and techniques**. Washington: CRC Press, 2005.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil). Instrução Normativa nº 34 de 28/05/2008. **Regulamento Técnico da Inspeção Higiénico-Sanitária e Tecnológica do Processamento de Resíduos de Animais**, Brasil, 28 mai. 2008.

MORAIS, G. G. **Desenvolvimento e avaliação da estabilidade de emulsões O/A com cristais líquidos acrescidas de xantina para tratamento da hidrolipodistrofia ginóide (celulite)**. 2006. 181 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas, Área de concentração: Medicamentos e Cosméticos.) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto - SP, 2006.

MULINARI, J. *et al.* Valorization and treatment of oily wastewaters from agroindustries using lipases: an overview. **International Agribusiness Congress - Science, technology and innovation: from the field to the meal**, Recife - PE, p. 1-20, 25 set. 2020.

NAIK, A. *et al.* Mechanism of oleic acid-induced skin penetration enhancement in vivo in humans. **Journal of Controlled Release**, v. 37, p. 299-306, 13 jun. 1995.

OLAWOYIN, O. O. Poultry viscera as a complementary source of protein in human diet. **African Journal of Medical and Biomedical Sciences**, Calabar - Nigeria, v. 3, n. 1, p. 6-9, jan. 2008.

OLIVEIRA, F. S. **Revisão da importância do estudo do equilíbrio hidrófilolipófilo (ehl) e determinação do ehl do óleo de pracaxi (pentaclethra macroloba)**. 2017. 45 p. Monografia (Bacharel em Farmácia) - Escola de Farmácia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2017.

OLIVEIRA, G. A. **Propriedades termofísicas de mistura protéica resultante da hidrólise de subprodutos da indústria frigorífica**. 2010. 74 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2010.

OLIVEIRA, P. C. **Síntese e análise do processo de obtenção de ácidos graxos a partir de resíduos de abate de aves utilizando o método fuzzy**. 2021. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu-PR, 2021.

OLIVO, A. P *et al.* Aplicação de resíduos do processamento de carne de aves em produtos de higiene e cosméticos. **XXII - COBEQ e XVII - ENBEQ**, São Paulo - SP, p. 1-4, 27 set. 2018.

PARK, J. E *et al.* Mackerel-derived fermented fish oil protects skin against UVB-induced cellular damage by inhibiting oxidative stress. **Journal of Functional Foods**, Coreia, v. 46, p. 147-158, jul. 2018.

PEREIRA, L. J. B.; GARCIA-ROJAS, E.E. Emulsões múltiplas: formação e aplicação em microencapsulamento de componentes bioativos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 155-162, jan. 2015.

PERLINGEIRO, C. A. G. **Engenharia de processos: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos**. São Paulo: Blucher, 2005. 198 p. v. 1.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J.O. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

PETENUCCI, M. E. **Caracterização de resíduo gorduroso agroindustrial e estudos de sua aplicação na produção de biodiesel e refino químico**. Orientador: Gustavo Graciano Fonseca. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados - MS, 2013.

PRATA, L. C. **Reciclagem de óleos e gorduras vegetais residuais**. Orientadora: Márcia Gonçalves Coelho. 2018. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia - MG, 2018

REIS, Y. L. Desenvolvimento e estabilidade de emulsões formuladas a partir do óleo de piqui (*Caryocar coriaceum*). **Ciências e Tecnologia**, Mossoró - RN, p. 1-12, 19 abr. 2018.

RICEFER. **Tanque Pulmão**. Disponível em: <<https://www.ricefer.com.br/produto/tanque-pulmao/>>. Acesso em: 21 de Outubro de 2022.

ROBERTO, C. D. *et al.* **Tópicos especiais em: ciências e tecnologia de alimentos**. Vitória - ES: EDUFES, 2020. 334 p. v. 1.

RZR BOMBAS POSITIVAS. **Bombas de Engrenagem**. Disponível em: <<https://www.rzrbombas.com.br/bombas-engrenagem/>>. Acesso em: 8 de Dezembro de 2022.

SANCHES, C. **Automação de Fábrica de Farinha e Óleo Animal**. 2019. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau - SC, 2019.

SEIDER, W. D. **Product and process design principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation**. 3. ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2009. 728 p.

SOUZA, W. J. **Estudo da estabilidade de emulsões água-óleo: efeito do teor de fase dispersa na velocidade de sedimentação da emulsão**. 2014. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Tiradentes, Aracaju - SE, 2014.

TOWLER, G. P. **Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design**. 2. ed. United States of America: Butterworth-Heinemann, 2013. 1436 p.

TURTON, R. **Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes**. 3. ed. Boston: Prentice Hall, 2009. 198 p. v. 1144.

ULLEREV. **Tanques de Estocagem** Disponível em: <<https://www.ullerev.com.br/tanques-de-estocagem>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2022.

VAPORTEC. **Digestor de Penas e Vísceras**. Disponível em: <<https://www.vaportec.com.br/ind/2020/06/08/digestores-de-penas-e-visceras/>>. Acesso em: 21 de Outubro de 2022.

VOLPATO, J. A. **Fatores que afetam a produção da farinha de vísceras de aves e avaliação de métodos rápidos para o controle da qualidade**. 2021. 108 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição Animal) - Programa de pós-graduação em zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon - PR, 2021.

YUKUYAMA, D. D. M *et al.* Nanoemulsion: process selection and application in cosmetics – a review. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 12, p. 1-12, 30 jun. 2015.

.

## APÊNDICES

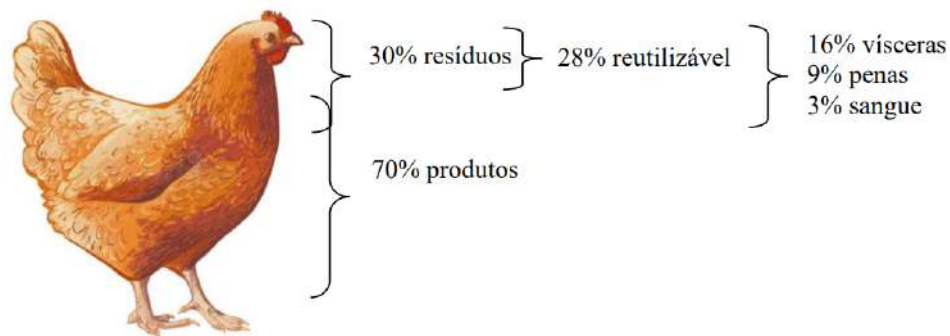
## APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

### A – 1 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO

#### A – 1.1 Cálculo da Quantidade de Resíduo Processado.

Para realizar o balanço de massa do processo, primeiramente precisa-se da quantidade de matéria prima a ser processada para obter a gordura residual de aves. Cada ave processada apresenta uma massa média de 2,7 kg, em que 30% correspondem aos resíduos e destes, 16% são vísceras, conforme apresentado na Figura 21.

**Figura 21** - Composição da carcaça de aves



Fonte: OLIVEIRA, 2021.

Com estes dados, a quantidade de Resíduo Total (RT) por ave processada se dá pela equação da regra de três (Equação 25).

$$RT = \frac{PM \times PRT}{100} \quad (25)$$

$$RT = \frac{2,7 \text{ kg} \times 30}{100}$$

$$RT = 0,81 \text{ kg}$$

Em que, *PM* é o peso médio da ave e *PRT* é o percentual de resíduo total por ave. Assim, os resíduos totais correspondem a 0,81 kg por ave abatida. Com esse valor, é possível obter a quantidade de Resíduos Viscerais (RV) por ave, conforme os cálculos a seguir (Equação 26).

$$RV = \frac{RT \times PRV}{100} \quad (26)$$

$$RV = \frac{0,81 \text{ kg} \times 16}{100}$$

$$RV = 0,13 \text{ kg de vísceras}$$

Em que *PRV* é o percentual de resíduos viscerais por ave. O valor correspondente de *RV* por carcaça processada é de aproximadamente 0,13 kg. Desse modo, pode-se estimar a quantidade total de resíduos processados em cada batelada de extração. Para tanto, considerando-se uma indústria de renderização de pequeno porte, com duas bateladas diárias e com processamento de resíduo de 50 mil aves por dia, é possível estimar a quantidade de vísceras que entram na caixa coletora de resíduos para serem processados. O cálculo da quantidade de Resíduos Viscerais Recebidos na caixa (*RVR*) por dia é dada pela Equação 27:

$$RVR = RV \times AAD \quad (27)$$

$$RVR = 0,13 \text{ kg/ave} \times 50000 \text{ aves/dia}$$

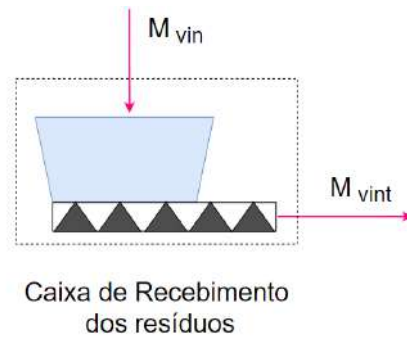
$$RVR = 6500 \text{ kg de vísceras por dia}$$

Em que, *RV* são os resíduos viscerais por ave e *AAD* é a quantidade de aves abatidas por dia. Assim, a quantidade de vísceras processadas em cada batelada é de 3250 kg.

#### A – 1.2 Balanço de Massa dos Equipamentos por Batelada

O processo de renderização inicia-se com a etapa de recebimento das vísceras *in natura* na caixa receptora dos resíduos, que é abastecida por meio de uma tubulação carregada de matéria prima. O balanço de massa relacionado à caixa (Figura 22) é realizado de maneira simples, em que a entrada ( $M_{vin}$ ) é igual a saída ( $M_{vint}$ ), desconsiderando as pequenas perdas durante este processo.

**Figura 22** - Balanço de massa na caixa de recebimento dos resíduos



Fonte: A autora, 2022.

O balanço de massa realizado considera a matéria prima do processamento de apenas uma batelada, ou seja, serão descarregados 3250 kg de vísceras na caixa de recebimento. Nesse sentido, o cálculo do balanço material é dado pela Equação 28.

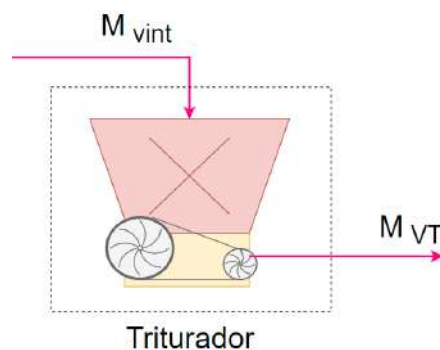
$$M_{vin} = M_{vint} \quad (28)$$

$$M_{vin} = M_{vint} = 3250 \text{ kg de vísceras}$$

Em que  $M_{vin}$  é Massa das vísceras in natura e  $M_{vint}$  corresponde às vísceras que percorreram a rosca transportadora e que seguirão para o triturador de vísceras.

No triturador (Figura 23) apenas ocorre a diminuição do tamanho das vísceras a serem processadas no digestor. Assim, o balanço material será conforme apresentado na Equação 29.

**Figura 23** - Balanço de massa no triturador de vísceras.



Fonte: A autora, 2022.

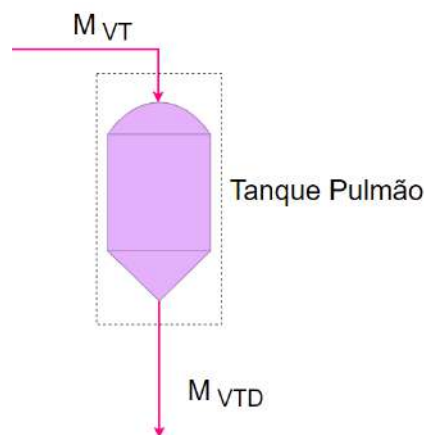
$$M_{vint} = M_{VT} \quad (29)$$

$$M_{vint} = M_{VT} = 3250 \text{ kg de vísceras}$$

O triturador recebe as vísceras transportadas ( $M_{vint}$ ) e por ele saem as partículas de vísceras trituradas ( $M_{VT}$ ), menores que 50 mm. Após a trituração, o material residual é transportado para o tanque pulmão por meio de roscas transportadoras. O tanque tem a função de receber as vísceras trituradas, armazená-las e homogeneizar a carga antes de abastecer os digestores batelada.

O cálculo de balanço material realizado no tanque pulmão (Figura 24) também é feito de maneira simples, pois não houve adição de outro material ou até mesmo transformação física, pois a sua função é apenas de armazenamento

**Figura 24 - Balanço de Massa no Tanque Pulmão.**



Fonte: A autora, 2022.

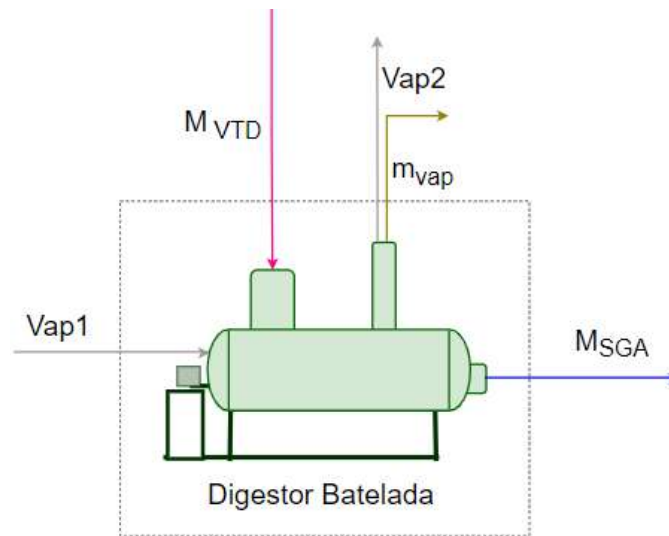
O balanço de massa considerado é descrito conforme a Equação 30.

$$M_{VT} = M_{VTD} \quad (30)$$

$$M_{VT} = M_{VTD} = 3250 \text{ kg de vísceras}$$

Em que,  $M_{VT}$  é o material visceral que saiu do triturador para o tanque pulmão e  $M_{VTD}$  é o material triturado que abastece o digestor batelada (Figura 25).

**Figura 25-** Balanço de massa no digestor batelada.



Fonte: A autora, 2022.

Para realizar o balanço de massa para o digestor, foi necessário realizar o cálculo da quantidade de água que foi evaporada do processo de digestão e a quantidade de vapor consumida pelo processo. Para tanto, foi considerado que o material visceral que abastece o digestor tenha umidade inicial de 76,15% e que ao final da digestão, o material apresenta 5% de umidade (FILHO, 2017; OLAWOYIN, 2018).

Assim, a massa de água que foi evaporada ( $m_{vap}$ ) do processo é dada pela Equação 31.

$$m_{vap} = M_{VTD} \times \left( 1 - \frac{1-0,7615}{1-0,05} \right) \quad (31)$$

$$m_{vap} = 3250 \text{ kg} \times \left( 1 - \frac{0,2385}{0,95} \right)$$

$$m_{vap} = 2434,08 \text{ kg de vapor}$$

Com a eliminação da água que estava nas vísceras, precisa-se reconsiderar a nova composição das vísceras, como apresentado na Tabela 14.

**Tabela 14** - Composição das vísceras após digestão.

COMPONENTES	PORCENTAGEM MÁSSICA (%)
Água	5
Proteína	51
Gordura	31
Carboidrato	11
Cinzas	2

Fonte: A autora, 2022.

O consumo de vapor, segundo o site Vaportec, especialista em automação industrial, para um digestor batelada de 5000L é de 900 kg de vapor por hora, em média. Considerando que a batelada completa com as etapas de cozimento e desidratação dure em torno de 3h, o consumo de vapor (Vap1) por batelada é dado pela Equação 32.

$$Vap1 = 3 \times 900 \text{ kg de vapor} \quad (32)$$

$$Vap1 = 2700 \text{ kg de vapor}$$

Nesse sentido, o balanço de massa para o digestor batelada é dado pela Equação 33.

$$M_{SGA} = M_{VTD} - m_{vap} \quad (33)$$

$$M_{SGA} = 3250 \text{ kg} - 2434,08 \text{ kg}$$

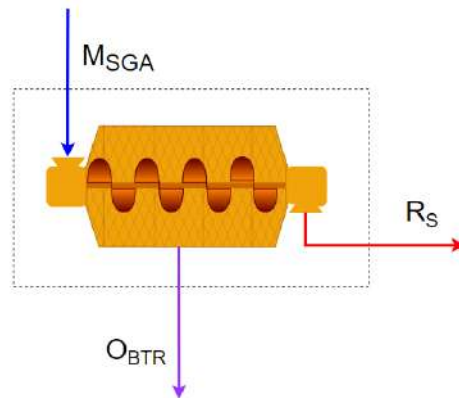
$$M_{SGA} = 815,92 \text{ kg de vísceras digeridas}$$

Em que,  $M_{VTD}$  é o material triturado que abastece o digestor,  $m_{vap}$  é a massa de água evaporada das vísceras e  $M_{SGA}$  é o material após a digestão, no qual é composto majoritariamente por sólidos protéicos e gordura.

Após a digestão do material, o resíduo visceral apresenta cerca de 31% de gordura e é lançado diretamente para o tambor rotativo, para que aconteça

a separação grosseira sólido-líquido. Neste projeto, será considerado que o rendimento nesta etapa de processamento é de 77% resíduos sólidos ( $R_S$ ) e 23% de óleo bruto do tambor rotativo ( $O_{BTR}$ ), óleo bruto é aquele que ainda possui uma pequena porcentagem de resíduo em sua composição (BARROS, 2007; LABOISSIÈRE, 2008). Desse modo, o cálculo do balanço de massa no tambor rotativo (Figura 26), pode ser obtido por meio da Equação 34.

**Figura 26** - Balanço de massa no tambor rotativo de gordura.



Fonte: A autora, 2022.

$$M_{SGA} = O_{BTR} + R_S \quad (34)$$

Com os dados obtidos na literatura, pode-se estipular a quantidade de óleo bruto obtido no tambor rotativo, conforme apresentado na Equação 35.

$$O_{BTR} = M_{SGA} \times 23\% \quad (35)$$

$$O_{BTR} = 815,92 \text{ kg} \times 23\%$$

$$O_{BTR} = 187,66 \text{ kg de óleo bruto}$$

Além disso, para obter a quantidade de resíduo sólido retido no tambor rotativo, foi necessário realizar os cálculos de acordo com a equação 36.

$$R_S = M_{SGA} \times 77\% \quad (36)$$

$$R_S = 815,92 \text{ kg} \times 77\%$$

$$R_S = 628,26 \text{ kg de resíduos sólidos}$$

O óleo bruto produzido no tambor rotativo, segue para o tanque de armazenamento de óleo bruto e os resíduos sólidos são enviados para a prensa expeller. Desse modo, com a remoção do óleo na etapa do tambor rotativo, considerou-se uma nova composição do resíduo visceral, conforme apresentado na Tabela 15.

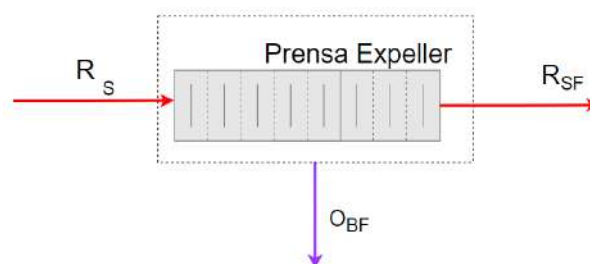
**Tabela 15** - Composição das vísceras após remoção do óleo ( $O_{BTR}$ ).

COMPONENTES	PORCENTAGEM MÁSSICA (%)
Água	6
Proteína	66
Gordura	11
Carboidrato	15
Cinzas	2

Fonte: A autora, 2022.

O resíduo sólido ( $R_S$ ) enviado para a prensa expeller apresenta um teor de 11% de gordura, conforme a nova composição das vísceras. Desse modo, o balanço de massa para a prensa expeller (Figura 27) pode ser realizado de acordo com a Equação 37.

**Figura 27** - Balanço de massa na prensa expeller.



Fonte: A autora, 2022.

$$R_S = O_{BPE} + R_{SF} \quad (37)$$

Em que  $O_{BPE}$  é o óleo bruto que sai do processo de prensagem e  $R_{SF}$  é o resíduo sólido para a produção de farinha de vísceras.

Sabendo que o  $R_{SF}$  possui 8% de gordura, pode-se dizer que 3% do resíduo ( $R_S$ ) que adentrou na prensa expeller, foi extraído na forma de gordura ( $O_{BPE}$ ) neste equipamento, pois a porcentagem de gordura que estava presente no ( $R_S$ ) era de 11%. Assim, a quantidade de ( $O_{BPE}$ ) que se desprende da prensa é dada pela Equação 38.

$$O_{BPE} = R_S \times 3\% \quad (38)$$

$$O_{BPE} = 628,26 \text{ kg} \times 3\%$$

$$O_{BPE} = 18,85 \text{ kg de óleo bruto que sai da prensa}$$

E a quantidade de resíduos sólidos para produção de farinha é descrita conforme a equação 39.

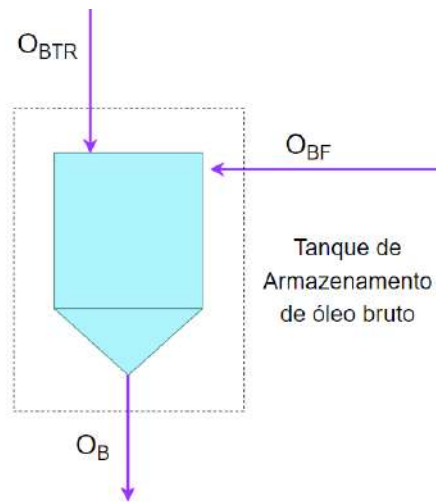
$$R_{SF} = R_S - O_{BF} \quad (39)$$

$$R_{SF} = 628,26 \text{ kg} - 18,85 \text{ kg}$$

$$R_{SF} = 609,41 \text{ kg de resíduo sólido p/ farinha}$$

Os resíduos oleosos provenientes do tambor rotativo e do filtro prensa, são enviados a um tanque de armazenamento de óleo bruto ( $O_B$ ). O cálculo do balanço neste equipamento (Figura 28) é dado pela Equação 40.

**Figura 28** - Balanço de massa no tanque de armazenamento de óleo bruto.



Fonte: A autora, 2022.

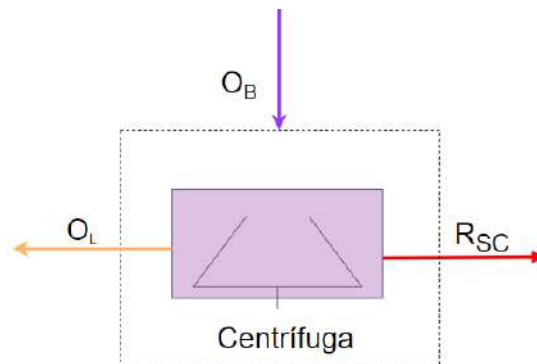
$$O_{BTR} + O_{BPE} = O_B \quad (40)$$

$$O_B = 187,66 \text{ kg} + 18,85 \text{ kg}$$

$$O_B = 206,51 \text{ kg de óleo bruto}$$

Após o armazenamento, o óleo bruto segue para a etapa de centrifugação para retirar as impurezas de resíduos sólidos ainda presentes e assim ser estocado para a comercialização. Considerando que o óleo bruto que adentra a centrífuga ainda apresenta cerca de 2% dos resíduos sólidos ( $R_{SC}$ ), o balanço de massa para esta etapa de centrifugação (Figura 29) é dado pela Equação 41.

**Figura 29** - Balanço de massa na centrífuga a disco.



Fonte: A autora, 2022.

$$O_B = O_L + R_{SC} \quad (41)$$

$$O_B = O_L + (O_B \times 2\%)$$

$$O_L = 206,51 \text{ kg} - (206,51 \text{ kg} \times 2\%)$$

$$O_L = 206,51 - 4,13$$

$$O_L = 202,38 \text{ kg de óleo limpo}$$

Em que  $O_L$  é o óleo limpo obtido depois da centrifugação e  $R_{SC}$  são os resíduos recuperados por meio desta etapa do processamento e que são desconsiderados para o cálculo deste projeto, pois apresenta uma massa muito pequena de 4,13 kg de resíduo sólido. Após a etapa de centrifugação o óleo é encaminhado para um tanque de armazenamento de óleo limpo para ser armazenado e pronto para ser comercializado.

## A – 2 BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia do processo foi realizado apenas para o digestor batelada pois é o único equipamento que utiliza calor. Para realizar o cálculo do balanço de energia é necessário determinar a quantidade de calor fornecido para eliminar 2434,08 kg de água do material visceral e isso é possível por meio das Equações 42 e 52. O processo envolve o calor sensível ( $Q_{sens}$ ), com aumento da temperatura de 25°C a 135°C, acompanhado da mudança de estado físico da água, de líquido para vapor na temperatura de 100°C e por isso utilizou-se calor latente ( $Q_{lat}$ ) para complementar e realizar o cálculo de calor necessário.

$$Q_{sens} = M_{VTD} \times Cp \times \Delta T \quad (42)$$

Em que,  $M_{VTD}$  é massa de vísceras que entrará no digestor (kg),  $Cp$  é a capacidade calorífica das vísceras (kJ/ kg.°C) e  $\Delta T$  é a variação de temperatura em (°C);

Para calcular o calor específico das vísceras foi necessário utilizar uma tabela de propriedades termofísicas dos principais componentes dos alimentos que são: água, proteína, gordura, carboidrato, fibras e cinzas, pois não foram encontrados dados das propriedades específicas para as vísceras. Nesse sentido, utilizou-se a tabela apresentada por Oliveira (2010) para realizar este cálculo. A Tabela 16 estabelece a variação do calor específico dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.

**Tabela 16** – Propriedades térmicas dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.

PRO- PRI- EDA- DE	COMPO- NENTE	EQUAÇÃO	Nº DA EQUA- ÇÃO
Cp (kJ/ kg°C)	Carboidrato	$C_p = 1,5488 + 1,9625 \times 10^{-3}T - 5,9399 \times 10^{-6}T^2$	43
	Cinzas	$C_p = 1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3}T - 3,6817 \times 10^{-6}T^2$	44
	Fibras	$C_p = 1,8459 + 1,8306 \times 10^{-3}T - 4,6509 \times 10^{-6}T^2$	45
	Gordura	$C_p = 1,9842 + 1,4733 \times 10^{-3}T - 4,8008 \times 10^{-6}T^2$	46
	Proteína	$C_p = 2,0082 + 1,2089 \times 10^{-3}T - 1,3129 \times 10^{-6}T^2$	47
	Água	$C_p = 4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5}T + 5,4731 \times 10^{-6}T^2$ ( $0 < T < 150^\circ\text{C}$ )	48

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2010.

Para tanto, o cálculo do Cp médio foi realizado utilizando as equações da Tabela 16 e obtendo os resultados descritos na Tabela 17, o qual estipula o Cp para as vísceras por meio da sua composição. Desse modo, o resultado foi obtido por meio da integral definida nas temperaturas Cp1 de (25 a 100°C) e Cp2 de (100 a 135°C). Para o cálculo do Cp1 utilizou-se a composição das vísceras inicial (Figura 11) e Cp2 utilizou-se a composição das vísceras após a eliminação de água no digestor, conforme apresentado na Tabela 14.

**Tabela 17** - Resultado do Calor específico no intervalo de temperatura requerido.

COMPO- NENTES	CONSTANTES DA INTEGRAL			Cp1 médio (kJ/kg°C) (25-100°C)	Cp2 médio (kJ/kg°C) (100-135°C)
	A	B/2	C/3		
Carboidrato	1,5488	0,000981	0,000002	123,41	59,39
Cinzas	1,0926	0,000945	0,000001	89,59	44,228
Gordura	1,9842	0,000737	0,000002	154,15	73,17
Proteína	2,0082	0,000604	0,000000	155,85	74,62
Água	4,1762	-0,000045	-0,000002	310,99	149,20
<b>Cp médio (kJ/kg°C)</b>				<b>272,65</b>	<b>75,61</b>

Fonte: A autora, 2022.

O cálculo do calor sensível ( $Q_{sens1}$ ) para elevar a temperatura das vísceras (25 a 100°C) é realizado por meio da Equação 49.

$$Q_{sens1} = 3250 \text{ kg} \times 272,65 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (100 - 25)^\circ\text{C} \quad (49)$$

$$Q_{sens1} = 3250 \text{ kg} \times 272,65 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (75)^\circ\text{C}$$

$$Q_{sens1} = 6,65 \times 10^7 \text{ kJ}$$

Para calcular o calor sensível ( $Q_{sens2}$ ) para elevar a temperatura das vísceras (100 a 135°C) foi utilizado a Equação 50. O Cp2 calculado foi desconsiderado a participação da água na mistura, pois a mesma foi evaporada e o calor é considerado no cálculo do calor latente.

$$Q_{sens2} = 3250 \text{ kg} \times 75,61 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (135 - 100)^\circ\text{C} \quad (50)$$

$$Q_{sens2} = 3250 \text{ kg} \times 75,61 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (35)^\circ\text{C}$$

$$Q_{sens2} = 8,6 \times 10^6 \text{ kJ}$$

O calor latente da água ( $Q_{latA}$ ), para transformar a massa de água em vapor, é dado pela Equação 51. Para realizar o cálculo, utilizou-se o calor latente de vaporização da água como sendo 2257,5 kJ/kg segundo a tabela de vapor d' água saturado (Çengel, 2013) e a massa de água evaporada ( $m_{vap}$ ) foi de 2434,08 kg. Assim tem-se que:

$$Q_{latA} = m_{vap} \cdot h_{vap} \quad (51)$$

Em que,  $h_{vap}$  é calor latente de vaporização da água (kJ/kg) e  $m_{vap}$  é a massa de água que foi evaporada (kg). Assim:

$$Q_{latA} = 2434,08 \text{ kg} \times 2257,5 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{latA} = 5,49 \times 10^6 \text{ kJ}$$

Assim, o calor total necessário para desidratar o material visceral no digestor é dado pela Equação 52.

$$Q_{total} = Q_{sens1} + Q_{sens2} + Q_{lat} \quad (52)$$

$$Q_{total} = 6,65 \times 10^7 \text{ kJ} + 8,6 \times 10^6 \text{ kJ} + 5,49 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$Q_{total} = 8,06 \times 10^7 \text{ kJ}$$

A taxa de calor ( $\dot{q}$ ) que entra no sistema é dada pela Equação 53, considerando que em uma batelada de produção tem-se 3 horas de operação no digestor. Assim, o cálculo da taxa é:

$$\dot{q} = \frac{Q_{total}}{\text{horas}} \quad (53)$$

$$\dot{q} = \frac{8,06 \times 10^7 \text{ kJ}}{3 \text{ h}}$$

$$\dot{q} = 2,67 \times 10^7 \text{ kJ/h}$$

## A – 3 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

### A – 3.1 Caixa Coletora dos Resíduos

A caixa é responsável por receber as vísceras in natura do frigorífico. Nela são descarregados em média 3250 kg de material visceral ( $M_{vin}$ ) por batelada. Para calcular o volume de vísceras que entram na caixa coletora, é necessário determinar a massa específica do resíduo. Como não se encontra os dados específicos para as vísceras, realizou-se o cálculo mediante a Tabela 18, em que utiliza-se a massa específica dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.

**Tabela 18** – Massa específica dos principais componentes dos alimentos em função da temperatura.

PRO- PRI- EDA- DE	COMPO- NENTE	EQUAÇÃO	Nº DA EQUA- ÇÃO
$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )	Carboidrato	$\rho = 1,5991 \times 10^3 - 0,31046 T$	54
	Cinzas	$\rho = 2,4238 \times 10^3 - 0,28063 T$	55
	Fibras	$\rho = 1,3115 \times 10^3 - 0,36589 T$	56
	Gordura	$\rho = 9,2559 \times 10^2 - 0,41757 T$	57
	Proteína	$\rho = 1,3299 \times 10^3 - 0,51840 T$	58
	Água	$\rho = 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} - 3,7574 \times 10^{-3} T^2$	59

Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Desse modo, considerando que as vísceras adentrem ao tanque em uma temperatura de 25°C e que as porcentagens correspondentes aos componentes das vísceras sejam de: água (76,15%), proteína (12,73%), gordura (7,85%), carboidrato (2,83%) e cinzas (0,44%), a massa específica das vísceras foi determinada a partir da média ponderada para a mistura dos componentes. Assim, obteve-se os resultados conforme apresentado na Tabela 19.

**Tabela 19** - Resultado da massa específica dos componentes das vísceras.

COMPONENTE	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Carboidrato	1591
Cinzas	2417
Gordura	915
Proteína	1317
Água	995
Vísceras	1051,81

Fonte: A autora, 2022.

Dessa maneira, a massa específica estimada para as vísceras de aves ( $\rho_{vis}$ ) é de aproximadamente 1051,81 kg/m<sup>3</sup> ou 1,052 kg/L. Com este dado, é possível calcular o volume de vísceras ( $V_C$ ) que entram na caixa coletora de resíduos conforme apresentado na Equação 60.

$$V_C = \frac{M_{Vin}}{\rho_{vis}} \quad (60)$$

$$V_C = \frac{3250 \text{ kg}}{1,052 \text{ kg/L}}$$

$$V_C = 3090 \text{ L}$$

Para calcular o volume útil ( $V_{UC}$ ), considera-se 15% a mais do volume real, utilizado como um fator de segurança do projeto. Assim, o cálculo do volume é dado pela Equação 61.

$$V_{UC} = V_C + (V_C \times 15\%) \quad (61)$$

$$V_{UC} = 3090 \text{ L} + (3090 \text{ L} \times 15\%)$$

$$V_{UC} = 3553,5 \text{ L}$$

Considerando que as vísceras advindas do abatedouro fazem o carregamento da caixa receptora duas vezes ao dia, o volume de vísceras que

podem ser acumuladas na caixa receptora será de:

$$V_{UC} = 3553,5 \times 2 = 7107 L$$

Assim, de acordo com o fabricante, a caixa coletora que atende essas especificações é o modelo ASTM A-36 da Dheytécnica.

Potência do motor: 1,5 kW

Capacidade de produção: 7,5 m<sup>3</sup>

Largura: 5450 mm

Altura: 2070 mm

Profundidade: 1600 mm

Os dados foram fornecidos com um contato por telefone com a empresa Dheytécnica, no dia 29 de novembro de 2022.

#### A – 3.2 Triturador de Vísceras

O triturador de vísceras é responsável por diminuir o tamanho das vísceras que serão inseridas no digestor batelada para que a digestão seja feita de forma homogênea e eficaz.

A massa de vísceras que entram no triturador ( $M_{vint}$ ) é de 3250 kg. Considerando que o processo de trituração do material visceral dure em torno de 30 min (0,5 h), tem-se que a vazão mássica corresponde a este processamento é:

$$\dot{m}_{Mvint} = \frac{3250 \text{ kg}}{0,5 \text{ h}} = 6500 \text{ kg de vísceras por hora}$$

De acordo com o catálogo do fabricante Haarslev (Anexo A.1), para esta capacidade de produção, pode-se utilizar o modelo TRC-20, que possui capacidade de até 8 toneladas por hora (que equivale a 8000 kg/h).

Potência: 30 kW

Dimensões do triturador:

Comprimento: 1450 mm

Altura: 900 mm

### A – 3.3 Tanque Pulmão

O tanque pulmão utilizado no processo recebe as vísceras advindas do triturador. O equipamento deve possuir capacidade suficiente para armazenar o volume necessário para alimentar o digestor batelada. Assim, considerando a massa de vísceras que saem do triturador,  $M_{VT} = 3250 \text{ kg}$ , e sabendo que a massa específica média das vísceras é  $\rho_{vis} = 1,052 \text{ kg/L}$  (Tabela 19), o volume do tanque pulmão ( $V_{TP}$ ) é dado pela Equação 62:

$$V_{TP} = \frac{M_{vin}}{\rho_{vis}} \quad (62)$$

$$V_{TP} = \frac{3250 \text{ kg}}{1,052 \text{ kg/L}}$$

$$V_{TP} = 3090 \text{ L de vísceras}$$

Para calcular o volume útil ( $V_{UTP}$ ), considera-se 15% a mais do volume real, o cálculo é dado pela Equação 63.

$$V_{UTP} = V_{TP} + (V_{TP} \times 15\%) \quad (63)$$

$$V_{UTP} = 3090 \text{ L} + (3090 \text{ L} \times 15\%)$$

$$V_{UTP} = 3553,5 \text{ L de vísceras}$$

De acordo com o catálogo do fornecedor Food Machinery (Anexo A.2), para este volume útil pode-se utilizar um tanque de 4000 L, modelo CYG-4000.

Volume: 4000 L

Dimensões do tanque:

Diâmetro: 1600 mm

Altura: 2500 mm

### A – 3.4 Digestor Batelada

O digestor batelada é o principal equipamento do processo de obtenção da gordura de aves, nele ocorre o cozimento e a desidratação das vísceras. Para dimensionar este equipamento utilizou-se o volume útil que foi calculado para o tanque pulmão. Assim, tem-se que o volume útil para o digestor batelada ( $V_{DB}$ ) é:

$$V_{DB} = 3553,5 L$$

Assim, de acordo com o catálogo do fornecedor Kontinuer (Anexo A.3), para este volume de material, pode-se utilizar o digestor batelada BCP-50, que possui volume de 5 m<sup>3</sup> (capacidade de produção de até 5000 L).

Potência: 37 kW

Dimensões do digestor:

Comprimento: 5200 mm

Largura: 1990 mm

Altura: 2650 mm

### A – 3.5 Tambor Rotativo de Gordura

A massa residual que sai do digestor ( $M_{SGA}=815,92$  kg), alimenta o tambor rotativo que faz a separação sólido-líquido de forma grosseira, pois o material sólido ainda contém uma porcentagem significativa de gordura. Dessa maneira, considerando que o processo de separação no tambor dure em torno de 20 min (0,33h), a vazão mássica será:

$$\dot{m}_{TR} = \frac{815,92 \text{ kg}}{0,33 \text{ h}} = 2472,48 \text{ kg/h}$$

De acordo com o fornecedor Haarslev (Anexo A.4), o modelo que atende as especificações é o TR050.

Capacidade de entrada: 1-4 t/h  
 Potência para separador: 0,37 kW  
 Dimensões:  
 Comprimento: 3900 mm  
 Altura: 2200 mm  
 Largura: 1050 mm

### A – 3.6 Prensa Expeller

A prensa expeller é responsável por extrair a gordura que ainda estava incutida nas vísceras após a etapa da separação grosseira no tambor rotativo. A quantidade de resíduo sólido gorduroso que entrará na prensa é  $R_s = 628,26 \text{ kg}$ . Considerando que o tempo de processamento seja de 30 minutos, tem-se que a vazão mássica para este equipamento é dado por:

$$\dot{m}_{RS} = \frac{628,26 \text{ kg}}{0,5 \text{ h}} = 1250,52 \text{ kg/h}$$

Desse modo, de acordo com o catálogo do fornecedor Kontinuer (Anexo A.5), para esta capacidade de produção, a prensa necessária é PCH/PCS-365.

Capacidade: 1,2 a 1,5 ton/h  
 Potência: 45-55 kW  
 Dimensões da prensa:  
 Comprimento: 3400 mm  
 Largura: 1650 mm  
 Altura: 2000 mm

### A – 3.7 Tanque de Armazenamento de Óleo Bruto

O tanque de armazenamento de óleo bruto, recebe a gordura proveniente do tambor rotativo e do filtro prensa. Em uma batelada a quantidade de óleo armazenada ( $O_B$ ) é de  $206,51 \text{ kg}$ .

Segundo Caetano e Silva (2017), a massa específica da gordura de

aves é  $\rho_{gord} = 0,894 \text{ kg/L}$ . Assim, o volume ocupado pelo óleo bruto no tanque de armazenamento ( $V_{OB}$ ) será de 231 L.

O volume útil para o armazenamento ( $V_{UOB}$ ), considerando 15% a mais do volume real, é dado por:

$$V_{UOB} = 231 \text{ L} + (231 \text{ L} \times 15\%)$$

$$V_{UOB} = 265,65 \text{ L}$$

De acordo com o catálogo do fabricante Food Machinery (Anexo A2.), o modelo CYG-1000 atende as especificações do volume necessário.

Volume: 1000 L

Dimensões do tanque:

Diâmetro: 900 mm

Altura: 2000 mm

### A – 3.8 Centrífuga a Disco

A centrífuga é responsável por remover pequenas partículas sólidas retidas no óleo bruto e deixá-lo limpo e pronto para ser comercializado.

Para tanto, a vazão volumétrica ( $V_{Cen}$ ) que será processada em 10 minutos (0,16 horas) na centrífuga é dada por:

$$\dot{V}_{Cen} = \frac{V_{UOB}}{h} = \frac{265,65 \text{ L}}{0,16 \text{ h}} = 1660,31 \text{ L/h}$$

Desse modo, de acordo com o fornecedor Flottweg (Anexo A.6), o modelo que atende a essa especificação é o AC 1000, em que possui as seguintes características:

Vazão volumétrica 10000 L/h

Volume máximo do tambor: 4 L

Volume máximo de sólidos: 1,5 L  
 Capacidade máxima do motor: 5,5 kW  
 Dimensões da centrífuga:  
 Comprimento: 1100 mm  
 Altura: 1000 mm  
 Largura: 600 mm

### A – 3.9 Tanque de Armazenamento de Óleo Limpo

O tanque de armazenamento de óleo limpo recebe a gordura proveniente da centrífuga, após a retirada de sólidos remanescentes, estando pronto para ser comercializado. O óleo limpo obtido por uma batelada,  $O_L$ , é igual a 202,38 kg.

Considerando que seja estocado óleo de 12 bateladas, até a sua retirada para comercialização, tem-se que a massa de óleo correspondente é de:

$$O_{L12} = 202,38 \times 12$$

$$O_{L12} = 2428,56 \text{ kg de óleo a serem estocados}$$

A partir da massa específica da gordura de aves (CAETANO; SILVA, 2017), pode-se determinar o volume ocupado pelo óleo limpo no tanque de armazenamento ( $V_{OL}$ ) que será igual a 2716,51 L.

O volume útil para o armazenamento ( $V_{UOL}$ ), considerando 15% a mais do volume real, será de 3123,98 L.

De acordo com o catálogo do fabricante Food Machinery (Anexo A.2), o modelo CYG-4000, atende as especificações do volume necessário.

Volume: 4000 L  
 Dimensões do tanque:  
 Diâmetro: 1600 mm  
 Altura: 2500 mm

## A – 4 DIMENSIONAMENTO DAS ROSCAS TRANSPORTADORAS

As roscas transportadoras são utilizadas para transportar o material de um equipamento para outro. Segundo Gomide (1983), existem três metodologias para dimensionar transportadores helicoidais. O método escolhido consiste em estipular o diâmetro do helicóide a partir da Tabela 20, que relaciona a diferença dos materiais e sua abrasividade, comprimento do transportador, rotação máxima e a capacidade do transporte.

**Tabela 20** - Relação da capacidade do transporte, comprimento do transportador, rotação máxima e a diferença dos materiais e sua abrasividade.

D DIÂME- TRO (m)	L COMPRI- MENTO PADRÃO (m)	MATERIAIS LEVES E NÃO ABRASIVOS		MATERIAIS PESADOS E NÃO ABRASIVOS		MATERIAIS PESADOS E ABRASIVOS	
		C (m <sup>3</sup> /h)	N (rpm)	C (m <sup>3</sup> /h)	N (rpm)	C (m <sup>3</sup> /h)	N (rpm)
0,10	2,50	4,84	220	2,44	110	1,30	90
0,15	3,00	14,2	200	7,22	100	8,32	80
0,20	3,00	33,4	180	16,7	90	8,50	75
0,25	3,00	58,1	160	29,2	80	14,6	65
0,30	3,50	93,5	150	47,0	75	23,2	60
0,35	3,50	113	140	56,6	70	34,0	55
0,4	3,50	198	130	96,3	65	46,2	50

Fonte: GOMIDE, 1983.

### A – 4.1 Roscas Transportadoras RT-01/ RT-02/ RT-03

As roscas RT-01, RT-02 e RT-03 possuem a mesma vazão volumétrica, assim terá o mesmo dimensionamento.

A rosca RT-01 é responsável por transportar o material visceral da caixa coletora para o triturador de vísceras, enquanto a RT-02 realiza o transporte do triturador para o tanque pulmão e a RT-03 transporta do tanque pulmão para o digestor batelada.

Assim, o dimensionamento para este tipo de transportadores tem o objetivo de estabelecer a capacidade de transporte e potência necessária para realizar determinado trabalho.

Para estipular o diâmetro do helicóide é necessário obter primeiramente a vazão volumétrica ( $\dot{Q}_{RT01}$ ) ( $m^3/h$ ) que pode ser dada pela Equação 64.

$$\dot{Q}_{RT01} = \frac{C_{RT01}}{\rho} \quad (64)$$

Considerando que  $C_{RT01}$  (t/h) é a capacidade de transporte para os transportadores RT-01/RT-01/RT-03,  $\rho$  é a massa específica das vísceras ( $t/m^3$ ) e que o transporte seja realizado em 30 min (0,5 h), tem-se que:

$$C_{RT01} = \frac{M_{vint}}{t} = \frac{3250 \text{ kg}}{0,5 \text{ h}} = 6500 \text{ kg/h} = 6,5 \text{ t/h}$$

Da Tabela 19,

$$\rho = 1,05 \text{ t/m}^3$$

Assim:

$$\dot{Q}_{RT01} = \frac{6,5 \text{ t/h}}{1,05 \text{ t/m}^3} = 6,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Outro detalhe a ser levado em consideração é a característica do material visceral (pesado e não abrasivo). Assim, pode-se determinar a rotação, o diâmetro do helicóide e o comprimento do transportador, por meio da Tabela 20. A capacidade volumétrica que mais se aproxima do valor obtido ( $6,18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) é a capacidade de  $7,22 \text{ m}^3/\text{h}$ . Desse modo, obtém-se as dimensões e a rotação da rosca:

$$N = 100 \text{ rpm}$$

$$D = 0,15 \text{ m}$$

$$L = 3,00 \text{ m}$$

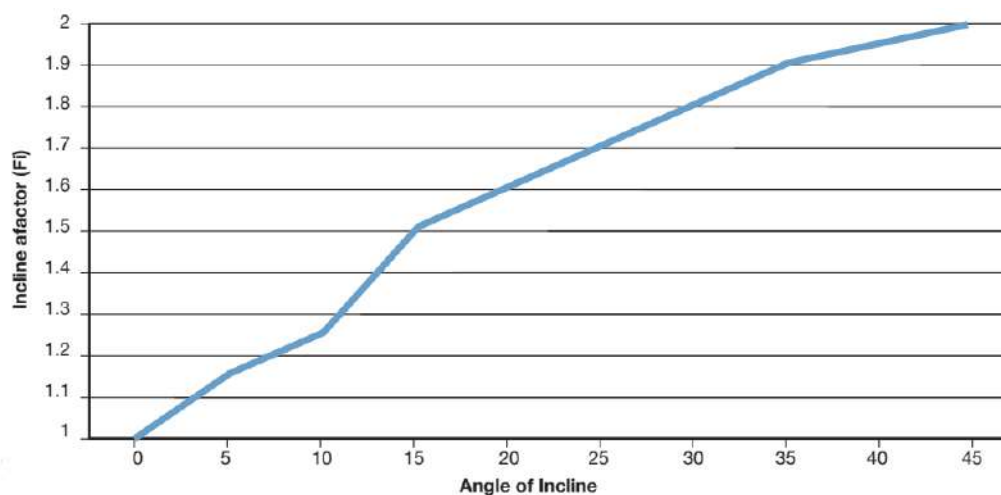
Segundo Gomide (1983) a potência requerida para um transportador helicoidal pode ser estimada por meio da Equação 65.

$$P = C \cdot \left( \frac{L \cdot F}{273} + \frac{H}{152} \right) \quad (65)$$

Em que, P é a potência requerida (HP), C é a capacidade do transportador (t/h), L é o comprimento do transportador (m), F é o fator de potência e H é a elevação (m). De acordo com o autor, se o resultado encontrado para a potência for menor do que 2 HP, multiplica-se por 2 e se for inferior a 4 HP, multiplica-se o resultado por 1,5.

O requisito de potência para transportadores helicoidais inclinados aumenta conforme o grau de inclinação. O fator de potência (F) é incorporado aos cálculos de potência do transportador helicoidal para compensar a potência adicional necessária para superar a gravidade. Nesse sentido, o fator de potência (F), pode ser estipulado por meio do gráfico exposto (Figura 30).

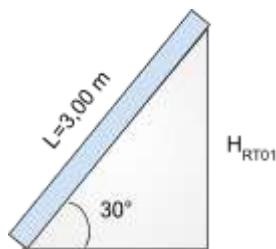
**Figura 30** - Gráfico do fator de potência em relação ao ângulo de inclinação.



Fonte: Catálogo do fabricante KWS, 2022.

Considerando que a rosca transportadora esteja a 30° em relação a horizontal, tem-se que o valor de (F) corresponde a 1,8.

O cálculo da altura da rosca transportadora em relação a horizontal pode ser dada por:



Assim tem-se que:

$$\text{Sen } 30^\circ = \frac{H_{RT01}}{3,00} = \frac{1}{2}$$

$$H_{RT01} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m}$$

E a potência então pode ser calculada como:

$$P_{RT01} = 6,5 \text{ t/h} \cdot \left( \frac{3,00 \text{ m} \cdot 1,8}{273} + \frac{1,5 \text{ m}}{152} \right)$$

$$P_{RT01} = 0,19 \text{ HP}$$

Como a potência é inferior a 2 HP, multiplica-se o valor por 2 (GOMIDE, 1983). Assim a potência requerida para a rosca é dada por:

$$P_{RT01} = 0,19 \times 2 = 0,39 \text{ HP}$$

$$P_{RT01} = 0,29 \text{ kW}$$

De acordo com o fabricante Kontinuer (Anexo A.7), o modelo que segue as especificações das roscas transportadoras RT-01, RT-02 e RT-03, é o modelo RSC-203-SS.

#### A – 4.2 Rosca Transportadora RT-04

A rosca RT-04 é responsável por transportar o material visceral cozido do digestor batelada para o tambor rotativo. Considerando que o processo de

transporte ocorra em 20 min (0,33 h), tem-se que a capacidade de transporte para RT-04 pode ser dado por:

$$C_{RT04} = \frac{M_{SGA}}{t} = \frac{815,92 \text{ kg}}{0,33 \text{ h}} = 2472 \text{ kg/h} = 2,47 \text{ t/h}$$

A massa específica do material irá se modificar, pois a água foi liberada do sistema no processo de digestão, restando apenas uma umidade de 5% (FILHO, 2017). Assim, calculando a massa específica do material que sai do digestor por meio da Tabela 19, tem-se que:

$$\rho = 0,34 \text{ t/m}^3$$

Assim, a vazão volumétrica pode ser dada por:

$$\dot{Q}_{RT04} = \frac{2,47 \text{ t/h}}{0,34 \text{ t/m}^3} = 7,26 \text{ m}^3/\text{h}$$

De acordo com a Tabela 20, a capacidade volumétrica que mais se aproxima do valor obtido (7,26 m<sup>3</sup>/h) é a capacidade de 16,7 m<sup>3</sup>/h. Desse modo, tem-se que:

$$N = 90 \text{ rpm}$$

$$D = 0,20 \text{ m}$$

$$L = 3,00 \text{ m}$$

O valor do fator de potência para a rosca com 30° em relação a horizontal é de 1,8, de acordo com o Figura 30. Desse modo, a altura da rosca transportadora em relação a horizontal também será de 1,5m.

Então, o cálculo da potência requerida de um transportador helicoidal pode ser dado por:

$$P_{RT04} = 2,47 \text{ t/h} \cdot \left( \frac{3 \text{ m} \cdot 1,8}{273} + \frac{1,5 \text{ m}}{152} \right)$$

$$P_{RT04} = 0,07 \text{ HP}$$

Como o valor de potência deu inferior a 2 HP, segundo recomendação de Gomide (1983), esse valor deve ser multiplicado por 2. Assim a potência requerida para a rosca é dada por:

$$P_{RT04} = 0,07 \times 2 = 0,14 \text{ HP}$$

$$P_{RT04} = 0,11 \text{ kW}$$

De acordo com o fabricante Kontinuer (Anexo A.7), o modelo que segue as especificações da rosca transportadora RT-04, é o modelo MSC-203-SS.

#### A – 4.3 Rosca Transportadora RT-05

A rosca RT-05 é responsável por transportar o material sólido do tambor rotativo para a prensa expeller. Considerando que o processo de transporte ocorra em 20 min (0,33 h), tem-se que a capacidade de transporte para RT-05 pode ser dado por:

$$C_{RT05} = \frac{R_s}{t} = \frac{628,26 \text{ kg}}{0,33 \text{ h}} = 1903,81 \text{ kg/h} = 1,90 \text{ t/h}$$

$$\rho = 0,34 \text{ t/m}^3$$

A vazão volumétrica pode ser dada por:

$$\dot{Q}_{RT05} = \frac{1,90 \text{ t/h}}{0,34 \text{ t/m}^3} = 5,59 \text{ m}^3/\text{h}$$

De acordo com a Tabela 20, a capacidade volumétrica que mais se aproxima do valor obtido (5,59 m<sup>3</sup>/h) é a capacidade de 7,22 m<sup>3</sup>/h. Desse modo, obtém-se que:

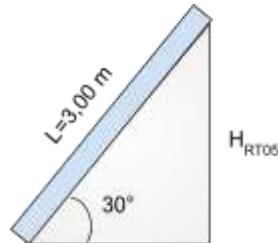
$$N = 100 \text{ rpm}$$

$$D = 0,20 \text{ m}$$

$$L = 3,00 \text{ m}$$

O valor do fator de potência para a rosca com  $30^\circ$  em relação a horizontal é de 1,8 , de acordo com o Figura 30.

O cálculo da altura da rosca transportadora em relação a horizontal pode ser dada por:



Assim tem-se que:

$$\text{Sen } 30^\circ = \frac{H_{RT05}}{2,50} = \frac{1}{2}$$

$$H_{RT05} = \frac{2,50}{2} = 1,25 \text{ m}$$

Assim, a potência requerida para este transportador helicoidal pode ser dado por:

$$P_{RT04} = 1,90 \text{ t/h} \cdot \left( \frac{3 \text{ m} \cdot 1,8}{273} + \frac{1,5 \text{ m}}{152} \right)$$

$$P_{RT04} = 0,06 \text{ HP}$$

Como o valor de potência é inferior a 2 HP, segundo recomendação do Gomide (1983), precisa-se multiplicar o valor por 2. Assim a potência requerida para a rosca é dada por:

$$P_{RT04} = 0,06 \times 2 = 0,12 \text{ HP}$$

$$P_{RT04} = 0,09 \text{ kW}$$

De acordo com o fabricante Kontinuer (Anexo A.7), o modelo que segue as especificações da rosca transportadora RT-03, é o modelo MSC-203-SS.

Para facilitar a visualização do dimensionamento das roscas transportadoras, foi elaborada a Tabela 21 com os principais dados.

**Tabela 21** - Resumo do dimensionamento das roscas transportadoras.

EQUIPAMENTO	CAPACIDADE DO PROJETO (m <sup>3</sup> /h)	CAPACIDADE TABELADA (m <sup>3</sup> /h)	N (rpm)	D (m)	L (m)
RT-01/ RT-02/ RT-03	6,18	7,22	100	0,15	3,00
RT-04	7,26	16,7	90	0,20	3,00
RT-05	5,59	7,22	100	0,15	3,00

Fonte: A autora, 2022.

## A – 5 - DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

Na indústria, o transporte de fluidos é feito por tubulações. Elas realizam o transporte de matérias-primas do processo de um equipamento para outro. No dimensionamento de tubulações, o layout e os materiais de construção são desconhecidos. Conhecidos os parâmetros associados ao dimensionamento da tubulação, pode-se descrever o procedimento para dimensionar a tubulação, de acordo com Gomide (1980).

Inicialmente, deve-se conhecer a velocidade teórica, ou velocidade econômica, para o fluido em análise, sendo este o ponto de partida. Com a velocidade teórica, calcula-se o diâmetro teórico da tubulação, conforme a Equação 68.

$$Q = A \cdot v \quad (66)$$

$$Q = \pi \frac{D_t^2}{4} v \quad (67)$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (68)$$

Em que:

$Q$  = vazão volumétrica ( $m^3/s$ );

$A$  = área da seção transversal ( $m^2$ );

$v$  = velocidade de escoamento ( $m/s$ );

$D_t$  = diâmetro teórico ( $m$ ).

Utilizando a tabela de especificações de tubulações (Anexo B.1), é possível determinar o diâmetro nominal a partir do diâmetro teórico. Com o diâmetro nominal, usa-se o diâmetro interno para calcular a velocidade real de escoamento. Com esta velocidade, calcula-se o número de Reynolds, classificando o escoamento em laminar ou turbulento, utilizando a Equação 69.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (69)$$

em que:

$Re$  = número de Reynolds (adimensional);

$\rho$  = massa específica ( $kg/m^3$ );

$D$  = diâmetro interno ( $m$ );

$\mu$  = viscosidade ( $Pa.s$ ).

Com a análise do número de Reynolds, calcula-se a perda de carga (Equação 70) considerando uma tubulação de 10 metros ( $\Delta P_{10}$ ), em função do fator de atrito.

$$\Delta P_{10} = \frac{2 f v^2 \rho L}{D} \quad (70)$$

Para o cálculo do fator de atrito, pode-se utilizar uma série de correlações. Se o escoamento for laminar, ou seja,  $Re$  menor que 2300, o fator de atrito pode ser calculado conforme equação de Hagen-Poiseuille (Equação 71) .

$$f = \frac{16}{Re} \quad (71)$$

Para escoamento turbulento, com  $Re$  maior que 2300, pode-se utilizar a equação proposta por McAdams para o cálculo do fator de atrito (Equação 72).

$$f = 0,046 Re^{-0,2} \quad (72)$$

### A – 5.1 Tubulação Corrente 7

A tubulação da corrente 7 é responsável por carrear o óleo bruto ( $O_{BTR}$ ) que sai do tambor rotativo para o tanque de armazenamento de óleo bruto.

As propriedades da gordura de aves de acordo com Caetano e Silva (2017) e Gomes (2010) são:

$$\begin{aligned} \rho_{gord} &= 894 \text{ kg/m}^3 \\ \mu_{gord} &= 42,19 \text{ cP} = 0,04219 \text{ Pa}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

Considerando que o transporte do óleo bruto seja realizado em 5 min (0,083 h), a vazão mássica da corrente 7 pode ser dada por:

$$\dot{m}_{OBTR} = \frac{O_{BTR}}{\text{tempo de transporte}} = \frac{187,66}{0,083} = 2260,96 \text{ kg/h}$$

E a vazão volumétrica da corrente 7:

$$\dot{Q}_7 = \frac{\dot{m}_{OBTR}}{\rho_{gord}} = \frac{2260,96 \text{ kg/h}}{894 \text{ kg/m}^3} = 2,51 \text{ m}^3/\text{h}$$

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de sucção, está na faixa de 0,1 – 0,4 m/s (Anexo B.2). Adotando um valor médio para a velocidade econômica, tem-se que:

$$ve_{s7} = 0,25 \text{ m/s} = 900 \text{ m/h}$$

Assim, o diâmetro teórico da tubulação é:

$$D_{ts7} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_7}{\pi \cdot v_{e_{s7}}}}$$

$$D_{ts7} = 0,060 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações (Anexo B.1), disponível no Anexo A.1, a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 2,375" (60,33 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{is7} = 2,067 \text{ in} = 0,052 \text{ m}$$

A velocidade de escoamento:

$$v_{s7} = \frac{\dot{Q}_7}{\pi \frac{D_{is7}^2}{4}} = \frac{2,51}{\pi \left(\frac{0,052}{4}\right)} = 1181,90 \text{ m/h} = 0,33 \text{ m/s}$$

Cálculo do número de Reynolds:

$$Re_{s7} = \frac{\rho_{gord} v_{s7} D_{is7}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{s7} = \frac{894 \times 0,33 \times 0,052}{0,04219} = 361,75$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{s7} = \frac{16}{Re_{s7}} = \frac{16}{363,62} = 0,044$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10_{s7}} = \frac{2 f_{s7} v_{s7}^2 \rho_{gord} L_{s7}}{D_{is7}}$$

$$\Delta P_{10_{s7}} = \frac{2 \times 0,044 \times 0,33^2 \times 894 \times 10}{0,052} = 0,016 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de recalque, está na faixa de 0,2 – 1,2 m/s (Anexo B.2).

$$ve_{r7} = 0,7 \text{ m/s} = 2520 \text{ m/h}$$

Cálculo do diâmetro teórico:

$$D_{t\ r7} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_7}{\pi \cdot ve_{r7}}}$$

$$D_{t\ r7} = 0,036 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações (Anexo B.1) a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 1,660" (42,16 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{i\ r7} = 1,380 \text{ in} = 0,035 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento:

$$v_{r7} = \frac{\dot{Q}_7}{\pi \frac{D_{ir7}^2}{4}} = \frac{2,51}{\pi \left( \frac{0,035^2}{4} \right)} = 2608,84 \text{ m/h} = 0,72 \text{ m/s}$$

Cálculo do Número de Reynolds:

$$Re_{r7} = \frac{\rho_{gord} v_{r7} D_{ir7}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{r7} = \frac{894 \times 0,72 \times 0,035}{0,04219} = 537,45$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{r7} = \frac{16}{Re_{s7}} = \frac{16}{537,45} = 0,03$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10r7} = \frac{2 f_{r7} v_{r7}^2 \rho_{gord} L_{r7}}{D_{ir7}}$$

$$\Delta P_{10r7} = \frac{2 \times 0,03 \times 0,72^2 \times 894 \times 10}{0,035} = 0,080 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

Deste modo, a tubulação da corrente 10, para a região de sucção, tem 2" de diâmetro nominal, Schedule 40. Para a região de recalque, tem 1  $\frac{1}{4}$ " de diâmetro, Schedule 40.

#### A – 5.2 Tubulação Corrente 9

A tubulação da corrente 9 realiza o transporte do óleo bruto ( $O_{BPE}$ ) que sai da prensa expeller para o tanque de armazenamento de óleo bruto.

As propriedades da gordura são:

$$\rho_{gord} = 894 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{gord} = 42,19 \text{ cP} = 0,04219 \text{ Pa.s}$$

A Massa de óleo que deve ser adicionada ao tanque de armazenamento de óleo bruto é de:

$$O_{BPE} = 18,85 \text{ kg}$$

Assim a vazão mássica correspondente a esse processo considerando que o transporte ocorra em 5 min (0,083h) é de:

$$\dot{m}_{OBPE} = \frac{18,85 \text{ kg}}{0,083 \text{ h}} = 227,12 \text{ kg/h}$$

A vazão volumétrica da corrente 9 é dada por:

$$\dot{Q}_9 = \frac{\dot{m}_{OBPE}}{\rho_{gord}} = \frac{227,12 \text{ kg/h}}{894 \text{ kg/m}^3} = 0,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de sucção, está na faixa de 0,1 – 0,4 m/s.

$$ve_{s9} = 0,15 \text{ m/s} = 540 \text{ m/h}$$

Adotou-se esse valor de 0,15 m/s para que a perda de carga esteja dentro da faixa aceitável.

Assim, o diâmetro teórico da tubulação será:

$$D_{ts9} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_9}{\pi \cdot ve_{s9}}}$$

$$D_{ts9} = 0,024 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações (Anexo B.1), a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 1,050" (26,67 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{is9} = 0,824 \text{ in} = 0,021 \text{ m}$$

A velocidade de escoamento:

$$v_{s9} = \frac{\dot{Q}_9}{\pi \frac{D_{is9}^2}{4}} = \frac{0,25}{\pi \left(\frac{0,021^2}{4}\right)} = 721,79 \text{ m/h} = 0,20 \text{ m/s}$$

Cálculo do número de Reynolds:

$$Re_{s9} = \frac{\rho_{gord} v_{s9} D_{is9}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{s9} = \frac{894 \times 0,20 \times 0,021}{0,04219} = 89,22$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{s9} = \frac{16}{Re_{s9}} = \frac{16}{89,22} = 0,18$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10s9} = \frac{2 f_{s9} v_{s9}^2 \rho_{gord} L_{s9}}{D_{is9}}$$

$$\Delta P_{10s9} = \frac{2 \times 0,18 \times 0,20^2 \times 894 \times 10}{0,021} = 0,062 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de recalque, está na faixa de 0,2 – 1,2 m/s. Considerou-se a velocidade econômica como 0,2 m/s para garantir que a perda de carga esteja dentro do limite aceitável.

$$ve_{r9} = 0,2 \text{ m/s} = 720 \text{ m/h}$$

Cálculo do diâmetro teórico:

$$D_{t\ r9} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_9}{\pi \cdot v_{e\ r9}}}$$

$$D_{t\ r9} = 0,021\ m$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações (Anexo B.1), a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 0,840" (21,33 mm). No entanto, ao utilizar essa tubulação, a perda de carga não ficou dentro do limite aceitável, por isso, utilizou-se um diâmetro maior para que fique dentro do aceitável, considerando o próximo diâmetro externo da tabela no valor de 1,050" (26,67 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{i\ r9} = 0,021\ m$$

Velocidade de escoamento:

$$v_{r9} = \frac{\dot{Q}_9}{\pi \frac{D_{i\ r9}^2}{4}} = \frac{0,25}{\pi \left( \frac{0,021^2}{4} \right)} = 721,8\ m/h = 0,20\ m/s$$

Cálculo do Número de Reynolds:

$$Re_{r9} = \frac{\rho_{gord} v_{r9} D_{i\ r9}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{r9} = \frac{894 \times 0,20 \times 0,021}{0,04219} = 89,22$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{r9} = \frac{16}{Re_{r9}} = \frac{16}{89,22} = 0,18$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10_{r9}} = \frac{2 f_{r9} v_{r9}^2 \rho_{gord} L_{r9}}{D_{ir20}}$$

$$\Delta P_{10_{r9}} = \frac{2 \times 0,18 \times 0,20^2 \times 894 \times 10}{0,021} = 0,061 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

Deste modo, a tubulação da corrente 9, para a região de sucção, tem ¾" de diâmetro nominal, Schedule 40. Para a região de recalque, tem ¾" de diâmetro, Schedule 40.

#### A – 5.3 Tubulação Corrente 11

A tubulação da corrente 11 realiza o transporte do óleo bruto ( $O_B$ ) que sai do tanque de armazenamento e o envia para a centrífuga a disco.

As propriedades da gordura são:

$$\rho_{gord} = 894 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{gord} = 42,19 \text{ cP} = 0,04219 \text{ Pa.s}$$

A Massa de óleo ( $O_B$ ) que sai do tanque de armazenamento e será adicionado à centrífuga é de:

$$O_B = 206,51 \text{ kg}$$

Assim a vazão mássica correspondente a esse processo, considerando que o transporte ocorra em 10 min (0,16 h) é de:

$$\dot{m}_{OB} = \frac{206,51 \text{ kg}}{0,16 \text{ h}} = 1290,69 \text{ kg/h}$$

A vazão volumétrica da corrente 11 é dada por:

$$\dot{Q}_{11} = \frac{\dot{m}_{OB}}{\rho_{gord}} = \frac{1290,69 \text{ kg/h}}{894 \text{ kg/m}^3} = 1,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de sucção, está na faixa de 0,1 – 0,4 m/s. Adotando um valor médio:

$$ve_{s11} = 0,25 \text{ m/s} = 900 \text{ m/h}$$

O diâmetro teórico da tubulação:

$$D_{ts11} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_{11}}{\pi \cdot ve_{s11}}}$$

$$D_{ts11} = 0,045 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações, a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 1,900" (48,26 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{is11} = 1,500 \text{ in} = 0,038 \text{ m}$$

A velocidade de escoamento:

$$v_{s11} = \frac{\dot{Q}_{11}}{\pi \frac{D_{is11}^2}{4}} = \frac{1,44}{\pi \left( \frac{0,038^2}{4} \right)} = 678,06 \text{ m/h} = 0,19 \text{ m/s}$$

Cálculo do número de Reynolds:

$$Re_{s11} = \frac{\rho_{gord} v_{s11} D_{is11}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{s11} = \frac{894 \times 0,19 \times 0,038}{0,04219} = 207,54$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{s11} = \frac{16}{Re_{s11}} = \frac{16}{207,54} = 0,077$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10\ s11} = \frac{2 f_{s11} v_{s11}^2 \rho_{gord} L_{s11}}{D_{ts30}}$$

$$\Delta P_{10\ s11} = \frac{2 \times 0,077 \times 0,19^2 \times 894 \times 10}{0,038} = 0,01 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de recalque, está na faixa de 0,2 – 1,2 m/s. Considerou-se essa velocidade para garantir que a perda de carga esteja dentro do aceitável.

$$ve_{r11} = 0,3 \text{ m/s} = 1080 \text{ m/h}$$

Cálculo do diâmetro teórico:

$$D_{t\ r11} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_{11}}{\pi \cdot ve_{r11}}}$$

$$D_{t\ r11} = 0,041 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 1,660" (42,16 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{i\ r11} = 0,035 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento:

$$v_{r11} = \frac{\dot{Q}_{11}}{\pi \frac{D_{ir11}^2}{4}} = \frac{1,44}{\pi \left(\frac{0,035^2}{4}\right)} = 1496,71 \text{ m/h} = 0,42 \text{ m/s}$$

Cálculo do Número de Reynolds:

$$Re_{r11} = \frac{\rho_{gord} v_{r11} D_{ir11}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{r11} = \frac{894 \times 0,42 \times 0,035}{0,04219} = 308,34$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{r11} = \frac{16}{Re_{r11}} = \frac{16}{308,34} = 0,052$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10} = \frac{2 f_{r11} v_{r11}^2 \rho_{gord} L_{r11}}{D_{ir11}}$$

$$\Delta P_{10} = \frac{2 \times 0,052 \times 0,42^2 \times 894 \times 10}{0,035} = 0,04 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação é aceitável (menor que 0,1 bar).

Deste modo, a tubulação da corrente 11, para a região de sucção, tem 1 ½” de diâmetro nominal, Schedule 40. Para a região de recalque, tem 1 ¼” de diâmetro, Schedule 40.

#### A – 5.4 Tubulação Corrente 12

A tubulação da corrente 12 realiza o transporte do óleo limpo (O<sub>L</sub>) que sai da centrífuga para o tanque de armazenamento de óleo limpo.

As propriedades da gordura são:

$$\rho_{gord} = 894 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{gord} = 42,19 \text{ cP} = 0,04219 \text{ Pa.s}$$

A Massa de óleo ( $O_L$ ) que sai da centrífuga e que será adicionado ao tanque de armazenamento de óleo limpo é de:

$$O_L = 202,38 \text{ kg}$$

Assim a vazão mássica correspondente a esse processo, considerando que o transporte ocorra em 10 min (0,16 h) é de:

$$\dot{m}_{OL} = \frac{202,38 \text{ kg}}{0,16 \text{ h}} = 1264,88 \text{ kg/h}$$

A vazão volumétrica da corrente 12 é dada por:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{\dot{m}_{OL}}{\rho_{gord}} = \frac{1264,88 \text{ kg/h}}{894 \text{ kg/m}^3} = 1,41 \text{ m}^3/\text{h}$$

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de sucção, está na faixa de 0,1 – 0,4 m/s. Adotando um valor médio:

$$ve_{s12} = 0,25 \text{ m/s} = 900 \text{ m/h}$$

O diâmetro teórico da tubulação:

$$D_{ts12} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_{12}}{\pi \cdot ve_{s12}}}$$

$$D_{ts12} = 0,045 \text{ m}$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações, a tubulação que

apresenta diâmetro mais próximo é de 1,900" (48,26 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{i\,s12} = 1,500 \text{ in} = 0,038 \text{ m}$$

A velocidade de escoamento:

$$v_{s12} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\pi \frac{D_{i\,s12}^2}{4}} = \frac{1,41}{\pi \left( \frac{0,038^2}{4} \right)} = 1243,26 \text{ m/h} = 0,34 \text{ m/s}$$

Cálculo do número de Reynolds:

$$Re_{s12} = \frac{\rho_{gord} v_{s12} D_{i\,s12}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{s12} = \frac{894 \times 0,34 \times 0,038}{0,04219} = 278,08$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{s12} = \frac{16}{Re_{s12}} = \frac{16}{278,08} = 0,058$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10\,s12} = \frac{2 f_{s12} v_{s12}^2 \rho_{gord} L_{s12}}{D_{i\,s12}}$$

$$\Delta P_{10\,s12} = \frac{2 \times 0,058 \times 0,34^2 \times 894 \times 10}{0,038} = 0,03 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação está dentro do aceitável (menor que 0,1 bar).

A velocidade econômica para líquidos viscosos (acima de 10 cP), para região de recalque, está na faixa de 0,2 – 1,2 m/s.

$$ve_{r12} = 0,3 \text{ m/s} = 1080 \text{ m/h}$$

Cálculo do diâmetro teórico:

$$D_{t\ r12} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}_{12}}{\pi \cdot v_{e\ r12}}}$$

$$D_{t\ r12} = 0,041\ m$$

Segundo a tabela de especificação de tubulações a tubulação que apresenta diâmetro mais próximo é de 1,660 " (42,16 mm).

Diâmetro interno:

$$D_{i\ r12} = 0,035\ m$$

Velocidade de escoamento:

$$v_{r12} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\pi \frac{D_{i\ r12}^2}{4}} = \frac{1,41}{\pi \left(\frac{0,035^2}{4}\right)} = 1465,52\ m/h = 0,41\ m/s$$

Cálculo do Número de Reynolds:

$$Re_{r12} = \frac{\rho_{gord} v_{r12} D_{i\ r12}}{\mu_{gord}}$$

$$Re_{r12} = \frac{894 \times 0,41 \times 0,035}{0,04219} = 301,91$$

Cálculo do fator de atrito:

$$f_{r12} = \frac{16}{Re_{s12}} = \frac{16}{301,91} = 0,053$$

Cálculo da perda de carga para 10 m de tubulação:

$$\Delta P_{10\ r12} = \frac{2 f_{r12} v_{r12}^2 \rho_{gord} L_{r12}}{D_{i\ r12}}$$

$$\Delta P_{10 r12} = \frac{2 \times 0,053 \times 0,41^2 \times 894 \times 10}{0,035} = 0,04 \text{ bar}$$

A perda de carga na tubulação é aceitável (menor que 0,1 bar).

Deste modo, a tubulação da corrente 12, para a região de sucção, tem 1 ½” de diâmetro nominal, Schedule 40. Para a região de recalque, tem 1 ¼ ” de diâmetro, Schedule 40.

Para facilitar a visualização dos dados obtidos no dimensionamento das tubulações, foi elaborada a Tabela 22, a qual resume esses dados.

**Tabela 22** - Resumo do dimensionamento das tubulações.

EQUIPAMENTO	DIÂMETRO SUCÇÃO (in)	$\Delta P$ SUCÇÃO (bar)	DIÂMETRO RECALQUE (in)	$\Delta P$ RECALQUE (bar)	Sch
Tubulação 7	2	0,02	1 ¼	0,08	40
Tubulação 9	¾	0,06	¾	0,06	40
Tubulação 11	1 ½	0,01	1 ¼	0,04	40
Tubulação 12	1 ½	0,03	1 ¼	0,04	40

Fonte: A autora, 2022.

## A – 6 DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS

### A – 6.1 Bomba P-01

A bomba P-01 é responsável por transportar o óleo residual bruto que sai do tambor rotativo para o tanque de armazenamento de óleo bruto. Segundo o site RZR Bombas Positivas, para o bombeamento de óleos ou gorduras utiliza-se bombas de deslocamento positivo do tipo engrenagem interna, que geralmente é usada para líquidos viscosos e pode-se trabalhar com vazões baixas, como é o caso do projeto em estudo.

Para dimensionar este tipo de bomba, é necessário inicialmente calcular a altura manométrica total, com os dados de pressão, vazão e viscosidade.

A partir desses dados, estima-se, por meio do catálogo do fornecedor, a velocidade de rotação e a potência absorvida.

Dessa maneira, a altura manométrica total (H) pode ser calculada conforme a Equação 73:

$$H = H_g + H_v \quad (73)$$

em que:

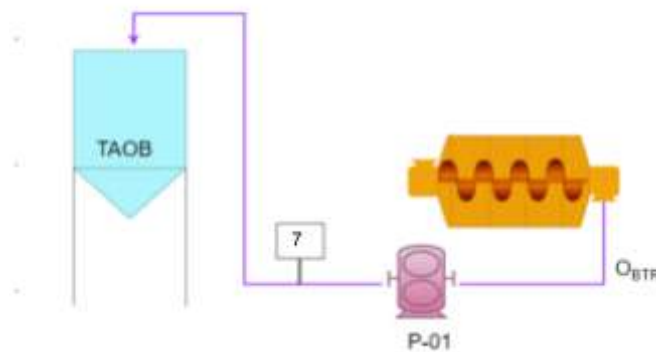
$H_g$  = altura geométrica;

$H_v$  = perdas de carga no sistema.

As perdas de carga no sistema serão calculadas somando-se as perdas de carga por atrito na tubulação e as perdas de carga nos acessórios.

Considerando o comprimento da tubulação de sucção ( $L_{s7} = 3\text{m}$ ) e a de recalque ( $L_{r7} = 6\text{ m}$ ), os acessórios que serão considerados neste trabalho serão apenas os joelhos de  $90^\circ$ , conforme apresentado na Figura 31.

**Figura 31** - Disposição das tubulações da corrente 7.



Fonte: A autora, 2022.

Dessa maneira, a perda de carga para a região de sucção é dada pela Equação 74.

$$\Delta P_{tub} = \frac{\Delta P_{10_{s7}} \times L_{s7}}{10 m} \quad (74)$$

Considerando que o comprimento ( $L_{s7}$ ) seja de 3m e que 1 bar = 10,2 mca, tem-se:

$$\Delta P_{10_{s7}} = 0,016 \text{ bar} = 0,163 \text{ mca}$$

Assim, a perda de carga no na tubulação de sucção pode ser dada por:

$$\Delta P_{tub7} = \frac{0,163 \text{ mca} \times 3 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,049 \text{ mca}$$

A perda de carga nos acessórios pode ser calculada conforme a Equação 75.

$$\Delta P_{aces} = \frac{v^2}{2g} \sum ki \quad (75)$$

onde:

$ki$  = perda de carga equivalente para o acessório  $i$ ;

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

$v$  = velocidade do escoamento.

Os acessórios considerados no cálculo foram apenas joelhos de  $90^\circ$ . Para a tubulação de sucção tem-se apenas um joelho de  $90^\circ$ , como exposto na figura anterior. De acordo com a tabela de comprimento equivalente dos acessórios (Anexo B.3), tem-se que para uma tubulação de 2" o comprimento equivalente para a joelho de  $90^\circ$  metálico é de:

$$ki_7 = 1,7$$

Assim a perda de carga nos acessórios na tubulação de sucção é:

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{s7}^2}{2 \times 9.8} (1,7)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,33^2}{2 \times 9.8} (1,7) = 0,009 \text{ mca}$$

Dessa maneira, a perda de carga para a região de sucção da bomba P-01 é:

$$H_{suc} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{suc} = 0,049 + 0,009 = 0,058 \text{ mca}$$

Para a região de recalque:

Considerando que ( $L_{r7}$ ) seja de 6m tem-se:

$$\Delta P_{10_{r7}} = 0,08 \text{ bar} = 0,82 \text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub7} = \frac{0,82 \text{ mca} \times 6 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,49 \text{ mca}$$

A perda de carga nos acessórios foram calculadas com o comprimento equivalente de 3 joelhos de 90°, com diâmetro de 1 ¼", assim o  $ki$  da tubulação de recalque, pode ser dado por:

$$ki_7 = 1,1 \times 3 = 3,3$$

E a perda de carga nos acessórios na tubulação de recalque é:

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{r7}^2}{2 \times 9.8} (3,3)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,72^2}{2 \times 9.8} (3,3) = 0,087 \text{ mca}$$

Dessa maneira, a perda de carga para a região de recalque da bomba P-01 é:

$$H_{rec} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{rec} = 0,49 + 0,087 = 0,577 \text{ mca}$$

Assim:

$$H_v = H_{suc} + H_{rec}$$

$$H_v = 0,058 + 0,577 = 0,64 \text{ mca}$$

Considerando a altura geométrica como a altura do tanque de armazenamento, tem-se que:

$$H_g = 3 \text{ mca}$$

Dessa maneira, a altura manométrica total é:

$$H = 3 + 0,64 = 3,64 \text{ mca}$$

$$H = 3,64 \text{ mca} = 0,364 \text{ bar}$$

Para a seleção da bomba, os dados de entrada foram:

$$\text{Vazão: } \dot{Q}_7 = 2,51 \text{ m}^3/\text{h} = 41,83 \text{ L/min}$$

Pressão: 2 bar (a mais próxima da calculada, disponível no catálogo)

Viscosidade: 150 cP (a viscosidade do óleo de vísceras é de 42,19 cP, porém, os gráficos disponíveis mais próximos deste valor são apenas para 20 cP e 150 cP, por isso elegeu-se o gráfico com maior viscosidade).

Assim, de acordo com o catálogo da RZR Bombas Positivas (Anexo A.8), pode-se utilizar o modelo RZR-2.200-150 cP.

Os dados obtidos por meio do gráfico foram:

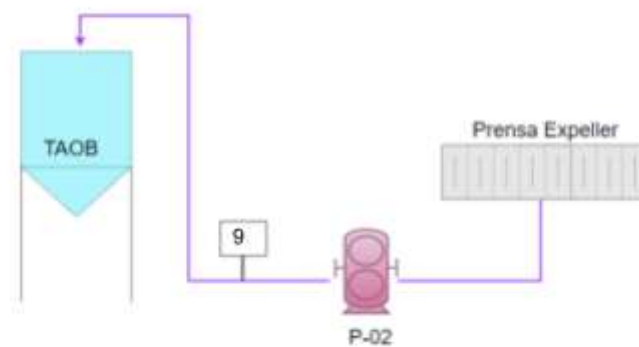
Potência do motor: 1,6 cV = 1,17 kW;

Velocidade de rotação: 1160 rpm.

#### A – 6.2 Bomba P-02

A bomba P-02 é responsável por transportar o óleo residual bruto que sai da prensa expeller para o tanque de armazenamento de óleo bruto. Para esta operação utiliza-se uma bomba de deslocamento positivo do tipo engrenagem interna, conforme apresentado na Figura 32.

**Figura 32** - Disposição das tubulações da corrente 9.



Fonte: A autora, 2022.

Considerando que  $L_{s9}=3\text{ m}$  e  $L_{r9}= 6\text{ m}$ , tem-se que:

Região de sucção:

$$\Delta P_{10_{s9}} = 0,062\text{ bar} = 0,63\text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub\ 9} = \frac{\Delta P_{10_{s9}} \times L_{s9}}{10\text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub\ 9} = \frac{0,63\text{ mca} \times 3\text{ m}}{10\text{ m}} = 0,19\text{ mca}$$

$$k_{i_9} = 0,7\text{ (Anexo B.3)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{s9}^2}{2 \times 9.8} (0,7)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,20^2}{2 \times 9.8} (0,7) = 0,001 \text{ mca}$$

$$H_{suc} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{suc} = 0,19 + 0,001 = 0,19 \text{ mca}$$

Para região de recalque:

$$\Delta P10_{r9} = 0,061 \text{ bar} = 0,62 \text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub9} = \frac{\Delta P10_{r9} \times L_{r9}}{10 \text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub9} = \frac{0,62 \text{ mca} \times 6 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,37 \text{ mca}$$

$$ki_9 = 0,7 \times 3 = 2,1 \text{ (Anexo B.3)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{r9}^2}{2 \times 9.8} (2,1)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,20^2}{2 \times 9.8} (2,1) = 0,004 \text{ mca}$$

$$H_{rec} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{rec} = 0,37 + 0,004 = 0,37 \text{ mca}$$

Assim:

$$H_v = 0,19 + 0,37 = 0,56 \text{ mca}$$

$$H_g = 3 \text{ mca (considerado a altura do tanque de}$$

armazenamento)

$$H = 3 + 0,56 = 3,56 \text{ mca}$$

$$H = 3,56 \text{ mca} = 0,35 \text{ bar}$$

Para a seleção da bomba, os dados de entrada foram:

$$\text{Vazão: } \dot{Q}_g = 0,25 \text{ m}^3/\text{h} = 4,2 \text{ L/min}$$

Pressão: 2 bar

Viscosidade: 150 cP

Assim, de acordo com o catálogo da RZR Bombas Positivas (Anexo A.9), pode-se utilizar o modelo (RZR- 250 - CVA - 150 cP).

Os dados obtidos do gráfico foram:

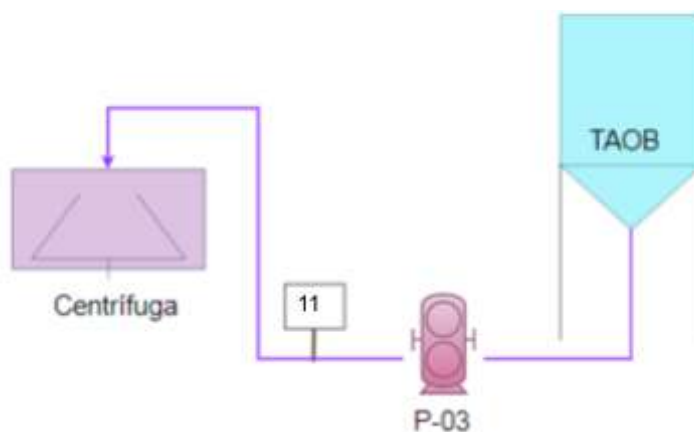
Potência do motor: 0,08 cV = 0,058 kW;

Velocidade de rotação: 1000 rpm.

### A – 6.3 Bomba P-03

A bomba P-03 é responsável por transportar o óleo residual bruto do tanque de armazenamento para a centrífuga a disco. Para esta operação utiliza-se uma bomba de deslocamento positivo do tipo engrenagem interna, conforme apresentado na Figura 33.

**Figura 33** - Disposição das tubulações da corrente 11.



Fonte: A autora, 2022.

Considerando que  $L_{s11}=3 \text{ m}$  e  $L_{r11}= 6 \text{ m}$ , tem-se que:

Região de sucção:

$$\Delta P_{10_{s11}} = 0,01 \text{ bar} = 0,10 \text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub 11} = \frac{\Delta P_{10_{s11}} \times L_{s11}}{10 \text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub 11} = \frac{0,10 \text{ mca} \times 3 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,03 \text{ mca}$$

$$ki_{s11} = 1,3 \text{ (Anexo B.3)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{s11}^2}{2 \times 9.8} (1,3)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,19^2}{2 \times 9.8} (1,3) = 0,002 \text{ mca}$$

$$H_{suc} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{suc} = 0,03 + 0,002 = 0,03 \text{ mca}$$

Para região de recalque:

$$\Delta P_{10_{r11}} = 0,041 \text{ bar} = 0,41 \text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub 11} = \frac{\Delta P_{10_{r11}} \times L_{r11}}{10 \text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub 11} = \frac{0,41 \text{ mca} \times 6 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,25 \text{ mca}$$

$$ki_{r11} = 1,1 \times 3 = 3,3 \text{ (Anexo B.3)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{r11}^2}{2 \times 9.8} (3,3)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,42^2}{2 \times 9.8} (3,3) = 0,03 \text{ mca}$$

$$H_{rec} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{rec} = 0,25 + 0,03 = 0,28 \text{ mca}$$

Assim:

$$H_v = 0,03 + 0,28 = 0,31 \text{ mca}$$

$$H_g = 2 \text{ mca (considerado a altura da centrífuga)}$$

$$H = 2 + 0,31 = 2,31 \text{ mca}$$

$$H = 2,31 \text{ mca} = 0,23 \text{ bar}$$

Para a seleção da bomba, os dados de entrada foram:

$$\text{Vazão: } \dot{Q}_{11} = 1,44 \text{ m}^3/\text{h} = 24 \text{ L/min}$$

Pressão: 2 bar

Viscosidade: 150 cP

Assim, de acordo com o catálogo da RZR Bombas Positivas (Anexo A.10), pode-se utilizar o modelo RZR-900 - CVA - 150 cP..

Os dados obtidos por meio do gráfico foram:

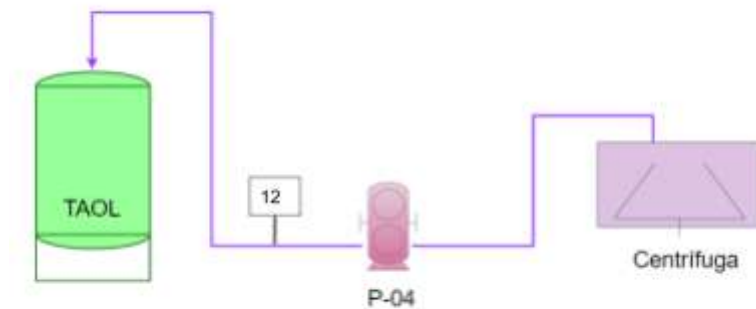
Potência do motor: 0,3 cV = 0,22 kW;

Velocidade de rotação: 1320 rpm.

#### A – 6.4 Bomba P-04

A bomba P-04 é responsável por transportar o óleo limpo que sai da centrífuga a disco para o tanque de armazenamento de óleo limpo. Para esta operação utiliza-se uma de deslocamento positivo do tipo engrenagem interna, conforme exibido na Figura 34.

**Figura 34** - Disposição das tubulações da corrente 12.



Fonte: A autora, 2022.

Considerando que  $L_{s12}=3\text{ m}$  e  $L_{r12}= 8\text{ m}$ , tem-se que:

Região de sucção:

$$\Delta P_{10_{s12}} = 0,03\text{ bar} = 0,31\text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub\ 12} = \frac{\Delta P_{10_{s12}} \times L_{s12}}{10\text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub\ 12} = \frac{0,31\text{ mca} \times 3\text{ m}}{10\text{ m}} = 0,09\text{ mca}$$

$$k_{i_{s12}} = 1,3 \times 2 = 2,6\text{ (Anexo B.3)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{s12}^2}{2 \times 9,8}\text{ (2,6)}$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,34^2}{2 \times 9,8}\text{ (2,6)} = 0,01\text{ mca}$$

$$H_{suc} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{suc} = 0,09 + 0,01 = 0,10\text{ mca}$$

Para região de recalque:

$$\Delta P_{10_{r12}} = 0,04\text{ bar} = 0,41\text{ mca}$$

$$\Delta P_{tub\ 12} = \frac{\Delta P_{10_{r12}} \times L_{r12}}{10\text{ m}}$$

$$\Delta P_{tub\ 12} = \frac{0,41\ mca \times 8\ m}{10\ m} = 0,33\ mca$$

$$ki_{r12} = 1,1 \times 3 = 3,3\ (\text{Anexo B.3})$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{v_{r12}^2}{2 \times 9,8} (3,3)$$

$$\Delta P_{aces} = \frac{0,41^2}{2 \times 9,8} (3,3) = 0,03\ mca$$

$$H_{rec} = \Delta P_{tub} + \Delta P_{aces}$$

$$H_{rec} = 0,33 + 0,03 = 0,36\ mca$$

Assim:

$$H_v = 0,10 + 0,36 = 0,46\ mca$$

$$H_g = 5\ mca\ (\text{altura do tanque de armazenamento})$$

$$H = 5 + 0,46 = 5,46\ mca$$

$$H = 5,46\ mca = 0,55\ bar$$

Para a seleção da bomba, os dados de entrada foram:

$$\text{Vazão: } \dot{Q}_{12} = 1,41\ m^3/h = 23,5\ L/min$$

Pressão: 2 bar

Viscosidade: 150 cP

Assim, de acordo com o catálogo da RZR Bombas Positivas (Anexo A.10), pode-se utilizar o modelo (RZR- 900 - CVA - 150 cP).

Os dados obtidos por meio do gráfico foram:

Potência do motor: 0,3 cV = 0,22 kW;

Velocidade de rotação: 1280 rpm.

Para tanto, elaborou-se a Tabela 23 para visualizar o dimensionamento realizado para as bombas de engrenagem do processo. Utilizando o gráfico do catálogo com viscosidade de 150 cP à uma pressão de 2 bar.

**Tabela 23** - Resumo do dimensionamento das bombas de engrenagem.

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>VAZÃO VOLUMÉTRICA (L/min)</b>	<b>VELOCIDADE DA BOMBA (rpm)</b>	<b>POTÊNCIA DO MOTOR (kW)</b>	<b>MODELO</b>
P-01	41,83	1160	1,17	RZR-2200
P-02	4,20	1000	0,058	RZR-250
P-03	24,00	1320	0,22	RZR-900
P-04	23,50	1280	0,22	RZR-900

Fonte: A autora, 2022.

## APÊNDICE B – INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS

Os investimentos relacionados a equipamentos e maquinários para a produção de óleo de aves estão dispostos na Tabela 24. As cotações foram realizadas em contato telefônico ou e-mail com os fornecedores. O cálculo da depreciação, foi realizado como depreciação linear, com taxa de 10% ao ano.

**Tabela 24** – Investimentos e depreciação mensal dos equipamentos.

EQUIPAMENTO	TAG	PREÇO (Mil R\$)	DEPRECIÇÃO ANUAL (Mil R\$)
Caixa coletora de resíduos	CCR-01	70,00	7,00
Triturador de vísceras	TV-01	200,00	20,00
Tanque Pulmão	TP-01	21,12	2,11
Digestor Batelada	DB-01	1316,00	131,00
Tambor Rotativo	TR-01	200,00	20,00
Prensa Expeller	PE-01	865,00	86,50
Tanque A. de Óleo Bruto	TAOB-01	10,60	1,06
Centrífuga a Disco	CD-01	550,00	55,00
Tanque A. de Óleo Limpo	TAOL-01	26,40	2,64
Rosca Transportadora	RT-01	279,00	2,79
Rosca Transportadora	RT-02	279,00	2,79
Rosca Transportadora	RT-03	279,00	2,79
Rosca Transportadora	RT-04	279,00	2,79
Rosca Transportadora	RT-05	279,00	2,79
Bomba de Engrenagem	P-01	2,00	0,2
Bomba de Engrenagem	P-02	1,50	0,15
Bomba de Engrenagem	P-03	2,00	0,2
Bomba de Engrenagem	P-04	2,00	0,2
<b>TOTAL</b>		<b>4661,00</b>	<b>466,00</b>

Fonte: A autora, 2022.

## APÊNDICE C – CUSTOS DE UTILIDADE E INSUMOS

Os cálculos referentes às utilidades do processamento são apresentados pelas Tabelas 25, 26 e 27.

Na Tabela 25, estão descritos os equipamentos, suas potências individuais, bem como o valor referente à uma batelada de produção. De acordo com o site da Copel (Companhia Paranaense de Energia), o custo da energia por kWh para indústrias é de R\$0,65/ kWh.

**Tabela 25** - Custo energético dos Equipamentos.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA (kW)	TEMPO POR BATELADA (h)	POTÊNCIA (kWh)	VALOR (R\$/kWh)
Caixa coletora de resíduos	1,5	0,33	112,12	73,23
Triturador de vísceras	37,00	0,50	74,00	48,33
Digestor Batelada	37,00	3,00	12,33	8,06
Tambor Rotativo	0,37	0,33	1,12	0,73
Prensa Expeller	75	0,50	150,00	97,97
Centrífuga a Disco	5,50	0,16	34,38	22,45
Rosca Transportadora	0,5	0,5	1,00	0,65
Rosca Transportadora	0,5	0,5	1,00	0,65
Rosca Transportadora	0,5	0,42	1,19	0,78
Rosca Transportadora	0,5	0,33	1,52	0,99
Rosca Transportadora	0,5	0,33	1,52	0,99
Bombas de Engrenagem	1,17	0,083	14,10	9,21
Bombas de Engrenagem	0,22	0,083	0,7	0,45
Bombas de Engrenagem	0,44	0,16	1,38	0,89
Bombas de Engrenagem	0,43	0,16	1,38	0,89
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 269,32</b>

Fonte: A autora, 2022.

Sendo assim, a Tabela 26 apresenta os custos energéticos por: batelada, dia e ano.

**Tabela 26** - Custo Energético por batelada, dia e ano.

<b>Custos Energéticos</b>	<b>VALOR R\$/kWh</b>
Batelada	265,02
Dia	530,03
Ano	190.811,42

Fonte: A autora, 2022.

Para o cálculo referente ao consumo de vapor, utilizou-se a estimativa de R\$27,00/ ton de vapor produzido. Nesse sentido, o consumo de vapor, bem como, o custo associado a esta utilidade estão apresentados na Tabela 27.

**Tabela 27** - Consumo de vapor e seus custos associados.

<b>CONSUMO DE VAPOR</b>	<b>VAPOR (ton)</b>	<b>CUSTO DO VAPOR R\$</b>
Batelada	2,70	72,90
Dia	5,40	145,80
Ano	1944,00	52.488,00

Fonte: A autora, 2022.

## APÊNDICE D – CÁLCULOS DO LUCRO DO EMPREENDIMENTO

### Cálculo da Margem Bruta

$$MB = R - C_{matprim}$$

$$MB = 3,20 - 0,34$$

$$MB = 2,87 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### Cálculo da Lucro Bruto

$$LB = R - C_{total}$$

$$LB = 3,20 - 4,33$$

$$LB = -1,12 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### Cálculo da Depreciação

Para o cálculo da depreciação utilizou-se a taxa de depreciação dos equipamentos e maquinários como sendo 10% ao ano. Assim, o valor de  $e = 0,10$ .

$$D = e \times I_{direto}$$

$$D = 0,10 \times 26,36$$

$$D = 2,64 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### Cálculo da Lucro Líquido Antes do IR

$$LA = LB - D$$

$$LA = -1,12 - 2,64$$

$$LA = -3,76 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo do Imposto de Renda**

Para o cálculo do Imposto de Renda utilizou-se a taxa anual do imposto de renda ( $t$ ) sendo 27,5%, pois, de acordo com a Receita Federal, uma faixa de renda mensal acima de R\$4.664,68, utiliza-se essa alíquota para estipular o cálculo. Além disso, utilizou-se a depreciação fiscal ( $D_f$ ) sendo igual a depreciação contábil ( $D$ ).

$$IR = t \times (LB - D_f)$$

$$IR = 0,275 \times (-1,12 - 2,64)$$

$$IR = -1,03 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo da Lucro Líquido Depois do IR**

$$LD = LA - IR$$

$$LD = -3,76 - (-1,03)$$

$$LD = -2,73 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo do Retorno sobre Investimento Alternativo**

Para o Cálculo do RI, utilizou-se a taxa de retorno sobre investimento ( $i$ ) da Tabela 2, como sendo  $i = 0,16 \text{ (R\$/ano) / R\$ investido}$ .

$$RI = i \times I_{total}$$

$$RI = 0,16 \times 42,54$$

$$RI = 6,81 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo da Lucro Líquido Após Retorno de Investimento**

$$LL = LD - RI$$

$$LL = -2,73 - 6,81$$

$$LL = -9,53 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo da Compensação pelo Risco**

Para o cálculo da compensação pelo risco, utilizou-se a taxa de risco (h) como sendo boa, de acordo com a Tabela 3. Em que  $h = 0,05$  (R\$/ano)/ R\$ investido.

$$CR = h \times I_{total}$$

$$CR = 0,05 \times 42,54$$

$$CR = 2,13 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo do Retorno sobre Investimento com Risco**

Para o cálculo do RIR, utilizou-se as taxas do retorno sobre investimento (i) somado com a taxa de risco (h). A somatória dessas taxas é denominada por (im). Em que  $i_m = 0,16 + 0,05 = 0,21$ .

$$RIR = i_m \times I_{total}$$

$$RIR = 0,21 \times 42,54$$

$$RIR = 8,93 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

### **Cálculo da Lucro do Empreendimento**

$$LE = LB - (D + IR + RIR)$$

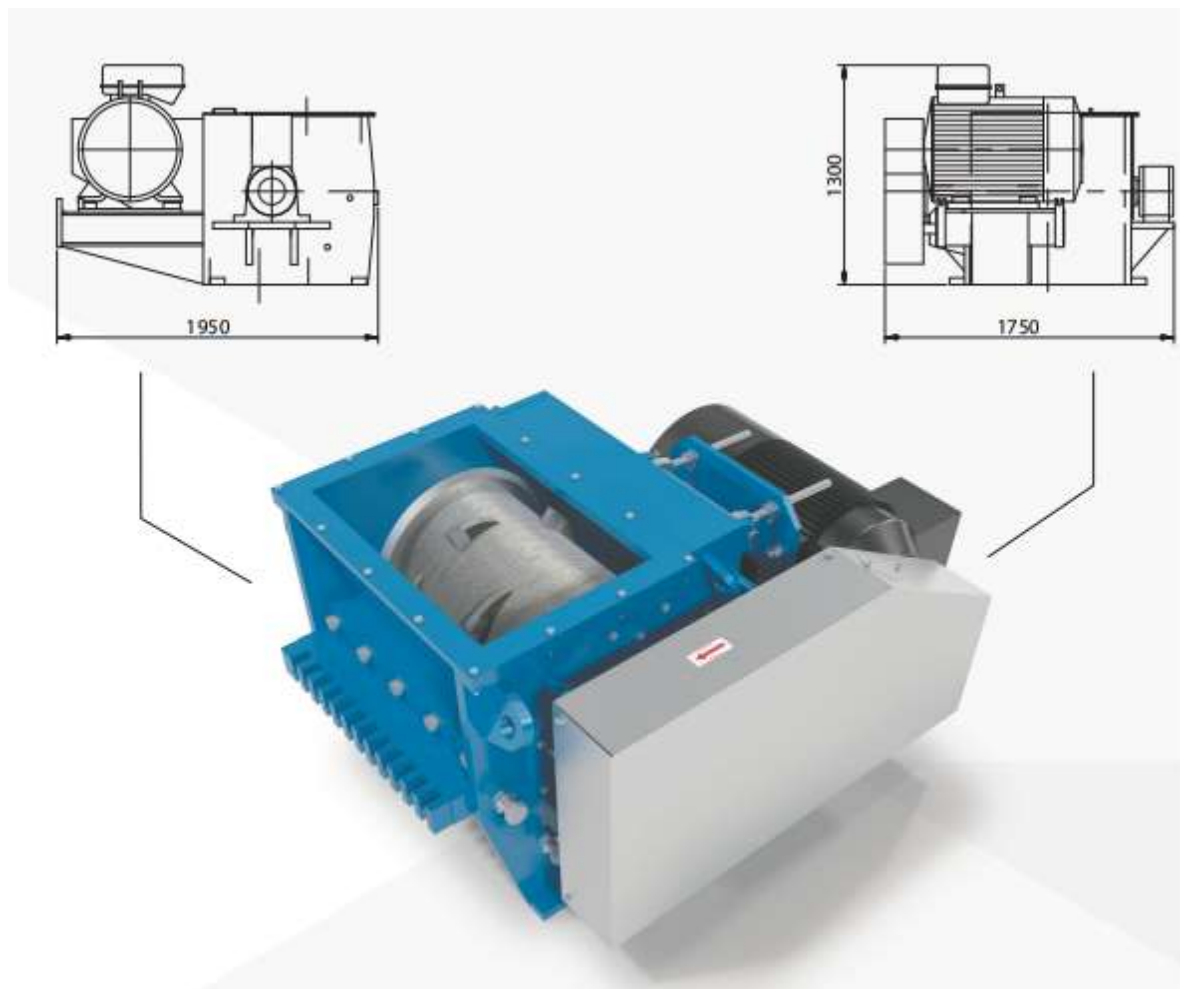
$$LE = -1,12 - (2,64 - 1,03 + 8,93)$$

$$LE = -11,66 \text{ (Milhões R\$/ ano)}$$

## ANEXOS

## ANEXO A - CATÁLOGOS

### ANEXO A.1 – TRITURADOR DE VÍSCERAS FORNECIDO PELA HAARSLEV



TIPO	CAPACIDADE (t/h)	LACUNA DA BIGORNA (mm)	POTÊNCIA (kW)	PESO	DIMENSÕES (mm)			
					Altura (A)	Comprimento (C)	Entrada	Saída
TCR-20	5-8	30	15-30	1400	900	1450	464 x 461	510 x 461
TCR-40-1/2	8-17	30	37-55	2.200	900	1.750	706 x 465	706 x 462
TCR-75-1/2	15-27	30	75-110	3.850	1300	1.950	924 x 656	924 x 593

## ANEXO A.2 – TANQUE DE ARMAZENAMENTO FORNECIDO PELA FOOD MACHINERY

### Tanque para armazenamento

Este tanque para almacenamiento es adecuado para la industria farmacéutica, química y biológica. Está equipado con boquillas rotativas totalmente automático, lo que hace la limpieza a fondo. Nuestro tanque para almacenamiento también cuenta con una alta eficiencia y la operación conveniente. Está hecho de acero inoxidable 304, que se ajusta a las normas GMP. El tanque para almacenamiento está diseñado con una capacidad de 1000L-15000L.

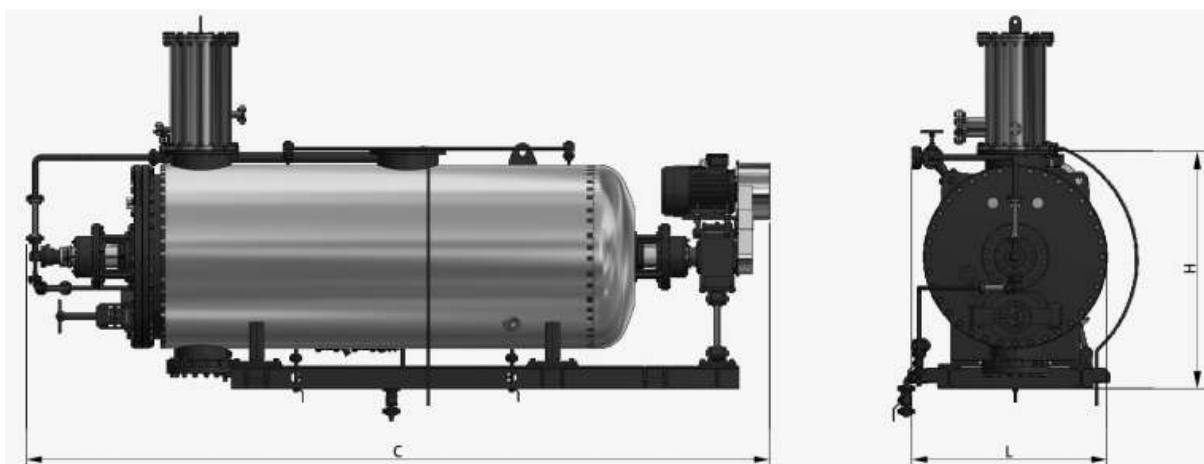
 CONSULTA



### Parámetros técnicos de tanque para almacenamiento

Modelo \ Ítem	CYG- 1000	CYG- 2000	CYG- 3000	CYG- 4000	CYG- 5000	CYG- 6000	CYG- 10000
Volumen (L)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
Peso (Kg)	335	470	705	1060	1320	1550	2650
Dimensiones (mm)	Φ	900	1200	1500	1600	1600	2000
	Altura	2000	2800	2200	2500	2900	3900

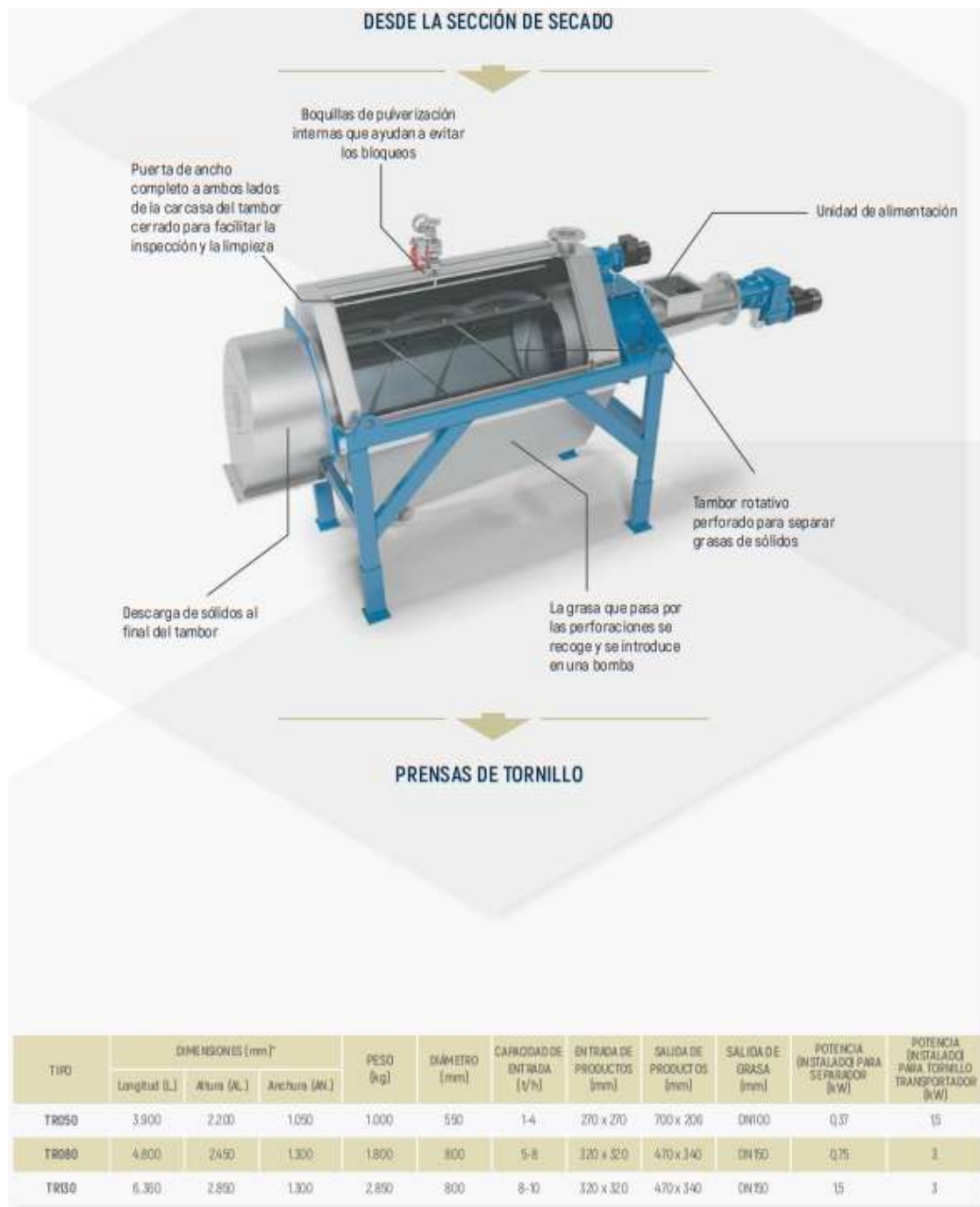
### ANEXO A.3 – DIGESTOR BATELADA FORNECIDO PELA KONTINUER



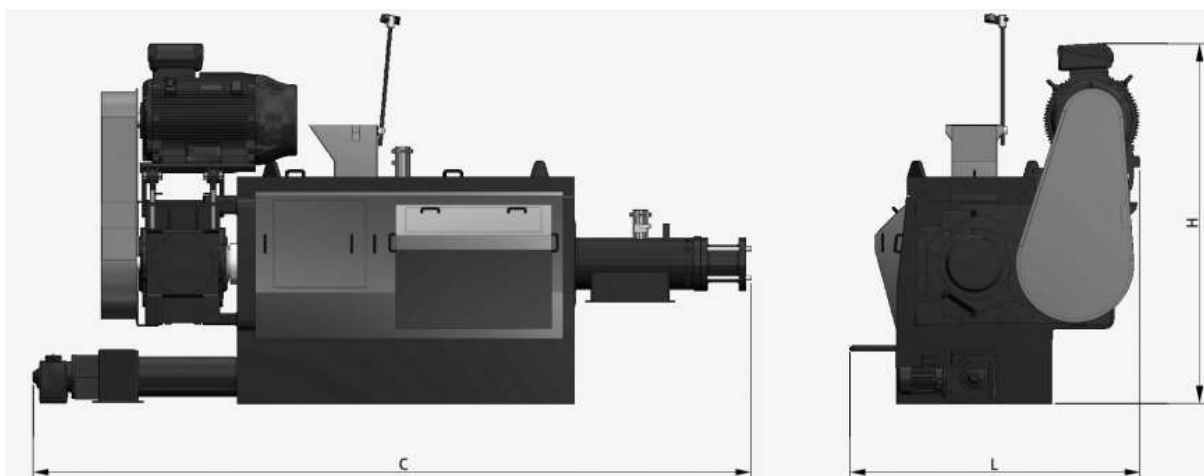
MODELO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	POTÊNCIA (kW)	PESO (ton)	DIMENSÕES GERAIS (mm)		
				C	L	H
BCP-50	5,00	37	12,5	5200	1990	2650
BCP-65	6,50	45-55	13	6800	1990	2800
BCP-85	8,50	55	18,7	7600	2000	3000
BCP-100	10,00	75	22,3	8530	2000	3000
BCP-130	13,00	90	27,5	9500	2000	3000
BCP-160	16,00	110	35	9500	2150	3400

Kontinuer reserva o direito de alterar qualquer informação sem prévio aviso

## ANEXO A.4 – TAMBOR ROTATIVO FORNECIDO PELA HAARSLEV



## ANEXO A.5 – PRENSA EXPELLER FORNECIDO PELA KONTINUER



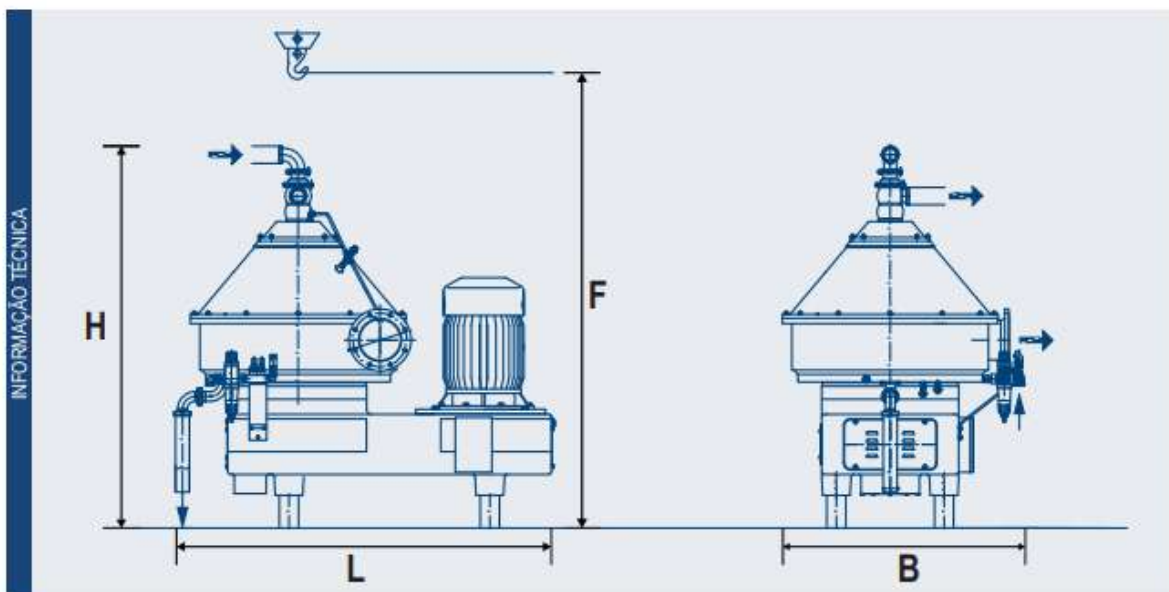
MODELO	CAPACIDADE DE SAÍDA (ton/h)	POTÊNCIA (kW)	DIMENSÕES GERAIS (mm)		
			C	L	H
PCH/PCS-360	1,0-1,2	45-55	3200	1500	1700
PCH/PCS-365	1,2-1,5	45-55	3400	1650	2000
PCH/PCS-370	1,6-1,8	75	4000	1700	2300
PCH/PCS-470	2,0-2,5	75-90	4500	1700	2300
PCH/PCS-480	3,5-4,5	90-150	5000	2000	2500

## ANEXO A.6 – CENTRÍFUGA A DISCO FORNECIDO PELA FLOTTWEG

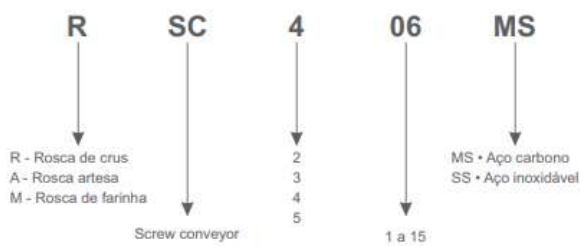
DADOS TÉCNICOS DA LINHA AC FLOTTWEG				
Tipo	AC 1000	AC 1500	AC 2000	AC 2500
Volume máximo do tambor (litros)	4	14	25	58
Volume máximo de sólidos (litros)	1,5	7	11,5	22,5
Capacidade máxima do motor (kW)	5,5	18,5	37	55
Dimensões (L x B x H x F)*	1 100 x 600 x 1 000 x 1 500 mm	1 500 x 1 000 x 1 700 x 2 400 mm	2 000 x 1 100 x 2 000 x 2 750 mm	2 100 x 1 300 x 2 100 x 2 800 mm
Peso total**	390 kg	1 550 kg	2 900 kg	3 750 kg
Volume hidráulico de produção*	10 000 l/h	20 000 l/h	45 000 l/h	85 000 l/h

\* Os dados fornecidos entendem-se como valores de referência.

\*\* Separador com tambor e motor



## ANEXO A.7 – ROSCA TRANSPORTADORA FORNECIDO PELA KONTINUER



Exemplo: MSC-312-SS	
Rosca transportadora de farinha	
Ø 300mm	
12m	
Aço inox	

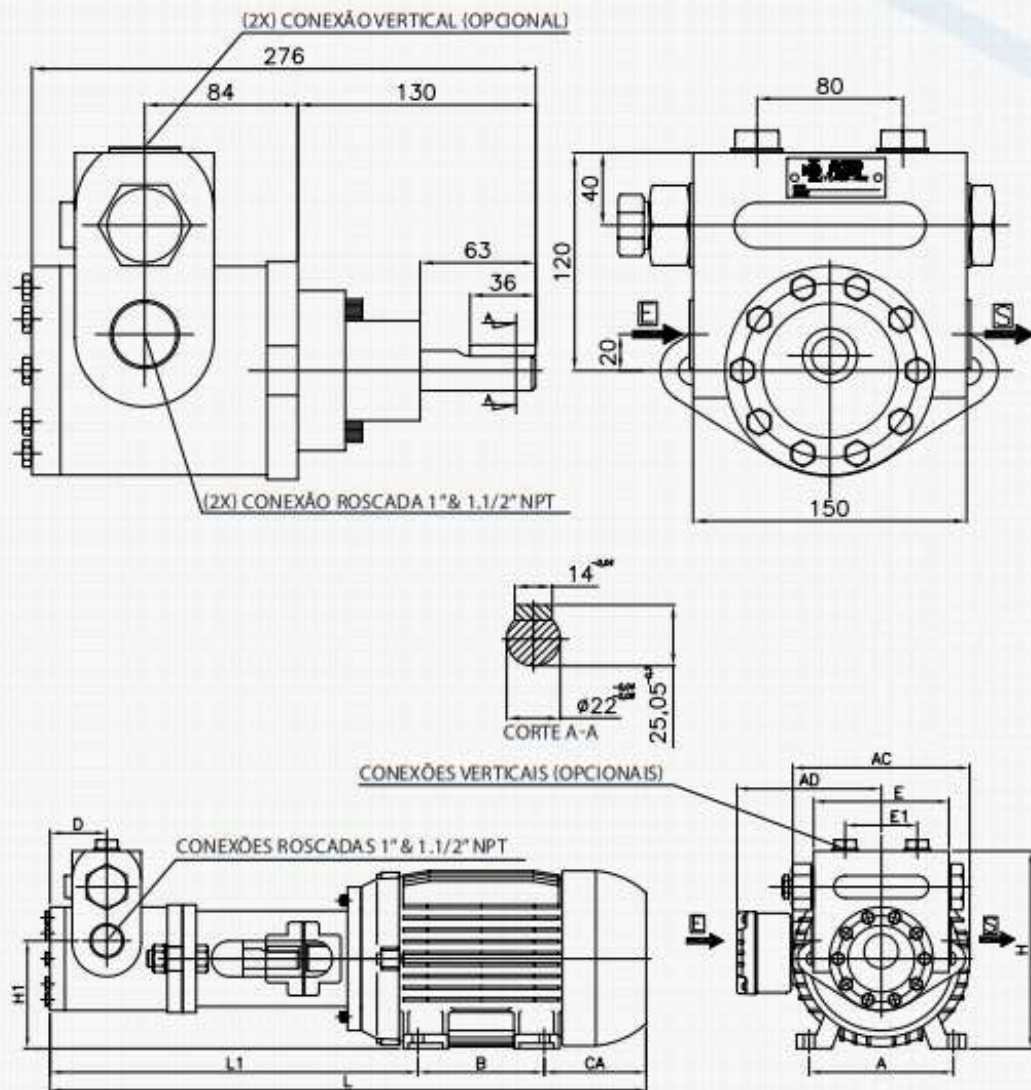
Modelo de Rosca Transportadora	
<b>R</b>	Matéria-prima
<b>A</b>	Artesã para matéria-prima com grande dimensão (carcaças e ossos grandes)
<b>M</b>	Material cozido e farinha
Rosca transportadora	
<b>SC</b>	Screw conveyor
Diâmetro do helicóide da rosca transportadora	
<b>2</b>	Rosca com Ø 250mm
<b>3</b>	Rosca com Ø 300mm
<b>4</b>	Rosca com Ø 400mm
<b>5</b>	Rosca com Ø 500mm
Comprimento da rosca transportadora	
	1 a 15m
Material empregado na construção da rosca	
<b>MS</b>	Aço carbono
<b>SS</b>	Aço inoxidável

**ANEXO A.8 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-2.200-CVA****BOMBA DE ENGRENAGENS INTERNAS****MODELO:  
RZR-2.200-CVA****Especificações:**

- *Deslocamento por Rotação: 35 cm<sup>3</sup>*
- *Capacidade: 1.500 l/h até 3.600 l/h  
(25 l/min até 60 l/min)*
- *Pressão Admissível na Sucção:  
0,5 Kgf/cm<sup>2</sup> (ABS) até 10 Kgf/cm<sup>2</sup>*
- *Pressão de Recalque:  
Até 27 Kgf/cm<sup>2</sup> (400 psi)*
- *Viscosidade: 5 cP até 40.000 cP*
- *Temperatura de Operação:  
-10°C to 240°C*



## DIMENSIONAL



## MEDIDAS (mm)

MODELO MOTOR	L	L1	A	B	AC	AD	CA	D	E	E1	H
90s	598	400	140	100	179	150	98	62	150	80	210
90l	623	400	140	125	179	150	98	62	150	80	210
100l	660	407	160	140	199	160	113	62	150	80	220
112m	677	414	190	140	222	180	123	62	150	80	232
132s	732	449	216	140	270	207	143	62	150	80	252
132m	770	449	216	178	270	207	143	62	150	80	252



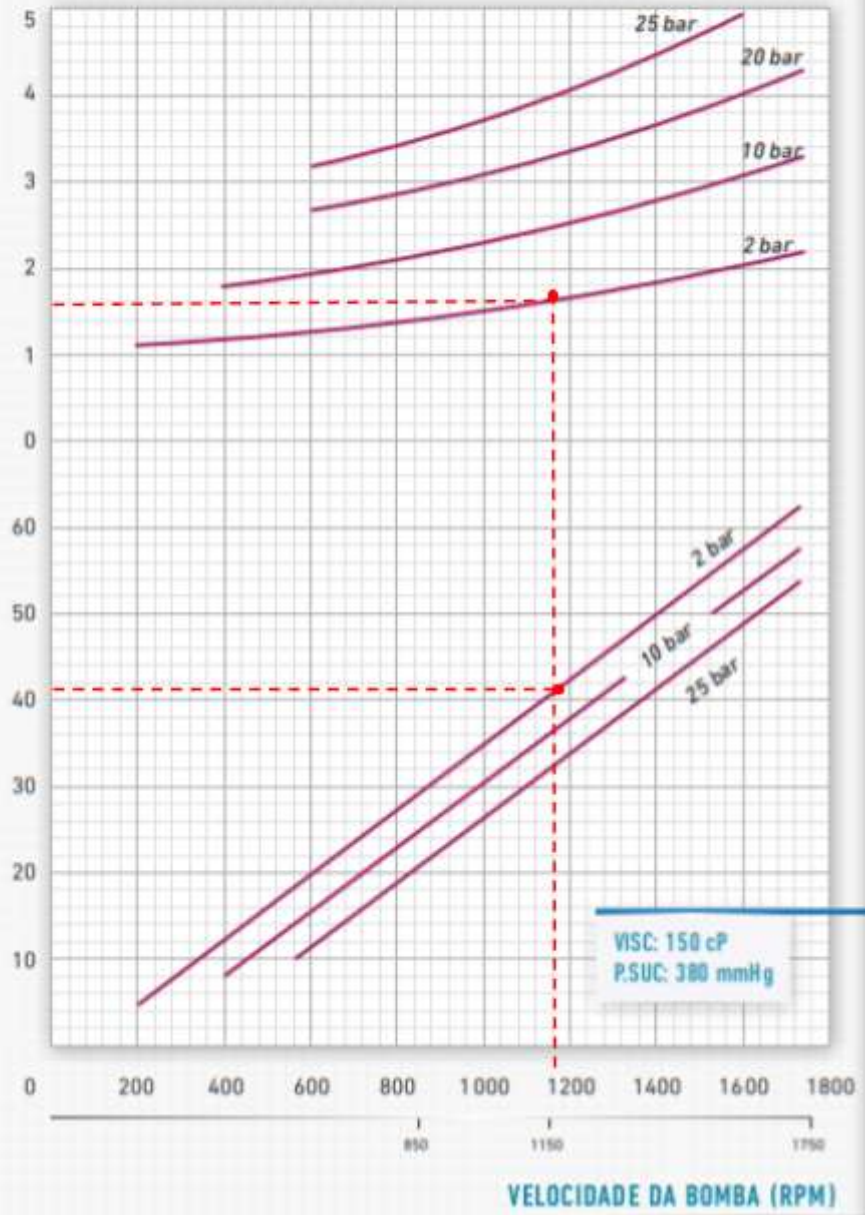
RZR 2.200 - 150 cP

POTÊNCIA DO MOTOR

POTÊNCIA ABSORVIDA (CV)

CAPACIDADE (l/min.)

ROTAÇÕES DE ACIONAMENTO

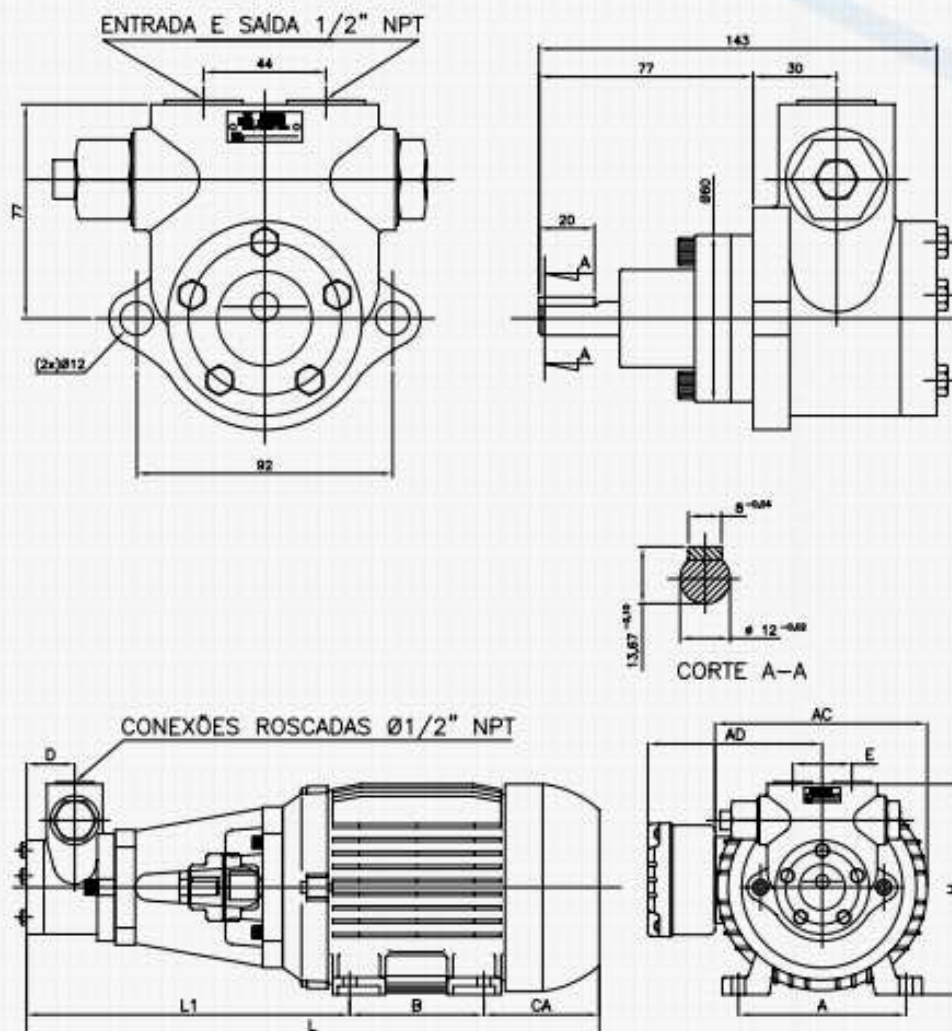


**ANEXO A.9 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-250-CVA****BOMBA DE ENGRENAGENS INTERNAS****MODELO:  
RZR-250-CVA****Especificações:**

- *Deslocamento por Rotação: 4 cm<sup>3</sup>*
- *Capacidade: 10 l/h até 420 l/h  
(0.16 l/min até 7 l/min)*
- *Pressão Admissível na Sucção:  
0,5Kgf/cm<sup>2</sup>(ABS) até 10Kgf/cm<sup>2</sup>*
- *Pressão de Recalque:  
Até 25Kgf/cm<sup>2</sup> (400psi)*
- *Viscosidade: 1cP até 5.000cP*
- *Temperatura de Operação:  
-10°C to 240°C*



## DIMENSIONAL



## MEDIDAS (mm)

MODELO MOTOR	L	L1	A	B	AC	AD	CA	D	E	H
71	396	223	112	90	141	121	83	36	44	148
80	427	241	125	100	159	130	86	36	44	157
90s	455	257	140	100	179	150	98	36	44	167
90l	480	257	140	125	179	150	98	36	44	167



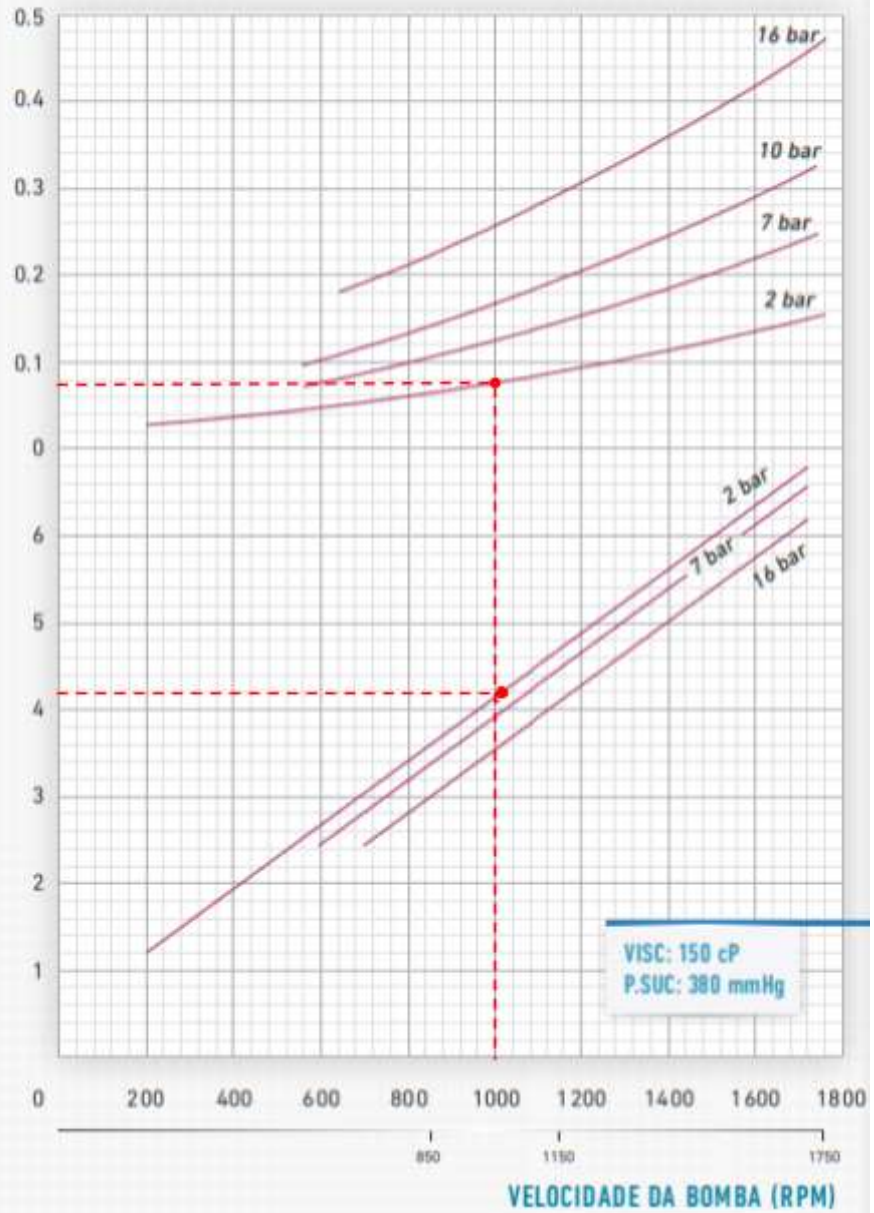
### RZR 250 - 150 cP

POTÊNCIA DO MOTOR

POTÊNCIA ABSORVIDA (CV)

CAPACIDADE (l/min.)

ROTAÇÕES DE ACIONAMENTO



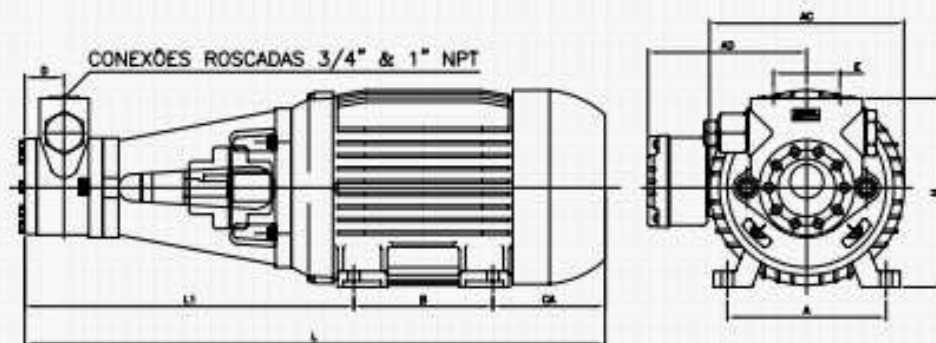
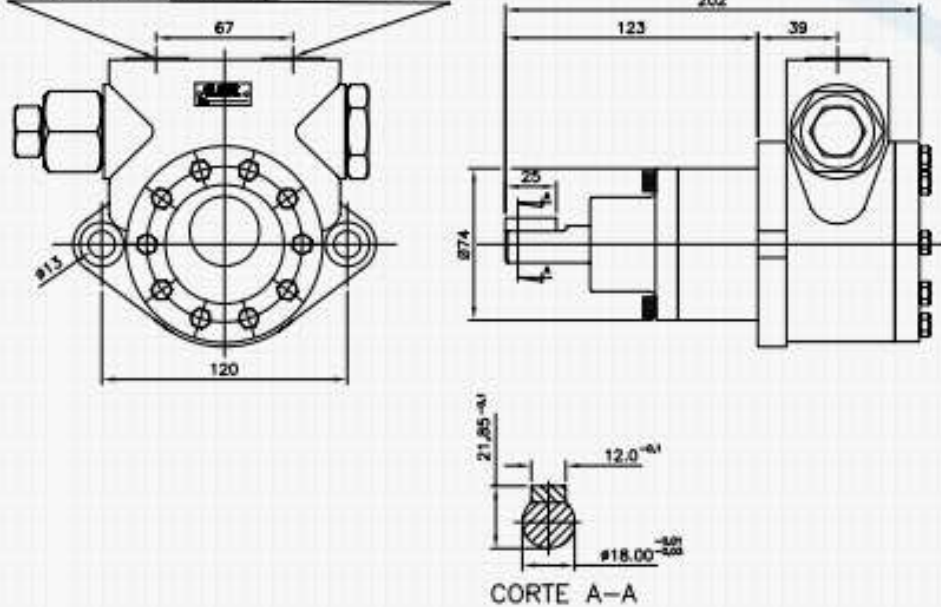
**ANEXO A.10 – BOMBAS DE ENGRENAGEM MODELO RZR-900-CVA****BOMBA DE ENGRENAGENS INTERNAS****MODELO:  
RZR-900-CVA****Especificações:**

- *Deslocamento por Rotação: 18 cm<sup>3</sup>*
- *Capacidade: 500 l/h até 1.800 l/h  
(8 l/min até 30 l/min)*
- *Pressão Admissível na Sucção:  
0,5Kgf/cm<sup>2</sup> (ABS) até 10Kgf/cm<sup>2</sup>*
- *Pressão de Recalque:  
Até 25 Kgf/cm<sup>2</sup> (400psi)*
- *Viscosidade: 1 cP até 20.000 cP*
- *Temperatura de Operação:  
-10°C to 240°C*



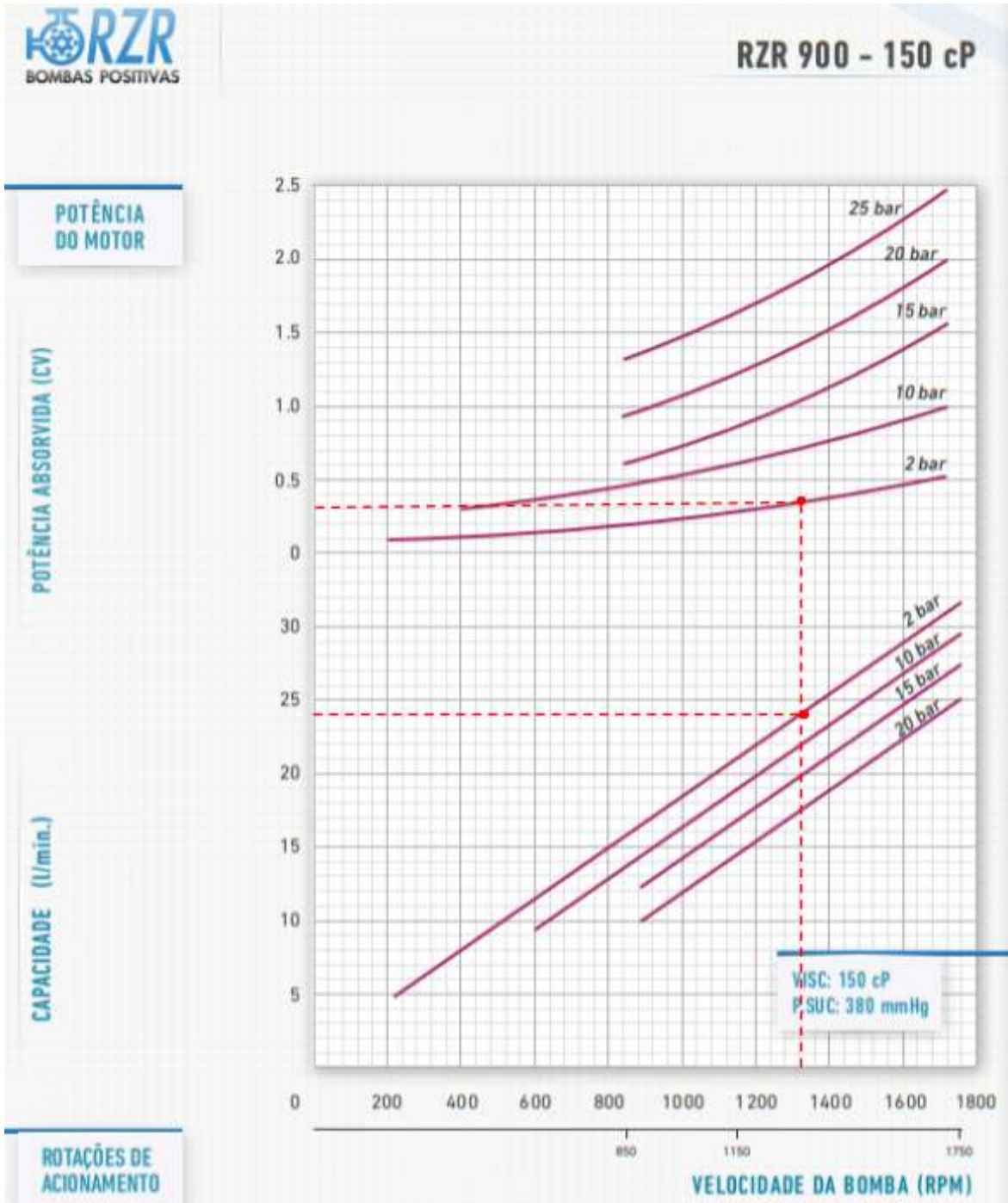
## DIMENSIONAL

ENTRADA E SAÍDA 3/4" & 1" NPT



## MEDIDAS (mm)

MODELO MOTOR	L	L1	A	B	AC	AD	CA	D	E	H
90s	513	325	140	100	164	150	101	40	67	180
90l	538	325	140	125	164	150	101	40	67	180
100l	585	332	160	140	199	160	113	40	67	190
112m	605	339	190	140	222	180	123	40	67	202



## ANEXO B – TABELAS

### ANEXO B.1 - TABELA DE ESPECIFICAÇÕES DE TUBULAÇÕES.

TAMANHO DO TUBO NOMINAL (in)	DIÂMETRO EXTERNO (in)	SCHEDULE	DIÂMETRO INTERNO (in)
½	0,840	10S	0,545
		40ST, 40S	0,493
		80XS, 80S	0,423
¾	1,050	10S	0,884
		40ST, 40S	0,824
		80XS, 80S	0,742
		160	0,612
1	1,315	10S	1,097
		40ST, 40S	1,049
		80XS, 80S	0,957
		160	0,815
1 ¼	1,660	10S	1,442
		40ST, 40S	1,380
		80XS, 80S	1,278
		160	1,160
1 ½	1,900	10S	1,682
		40ST, 40S	1,610
		80XS, 80S	1,500
		160	1,338
2	2,375	10S	2,157
		40ST, 40S	2,067
		80XS, 80S	1,939
		160	1,687

2 ½	2,875	10S	2,635
		40ST, 40S	2,469
		80XS, 80S	2,323
		160	2,125
3	3,500	10S	3,260
		40ST, 40S	3,068
		80XS, 80S	2,900
		160	2,624





Fonte: Adaptado de PERRY, 1980.

## ANEXO B.2 – VELOCIDADE ECONÔMICA

SERVIÇO/FLUIDO	VELOCIDADE m/s
<b>Sucção de bombas</b>	
Líquidos Finos (água, álcool)	0,4 - 2
Líquidos viscosos (acima de 0,01 Pa.s)	0,1 - 0,4
<b>Recalque e linhas de uso geral</b>	
Líquidos finos	1,2 - 3
Líquidos Viscosos	0,2 - 1,2
<b>Escoamento por gravidade</b>	
<b>Água industrial e de serviço</b>	1,7 - 3,5
<b>Vapor</b>	
Saturado	12 - 40
Superaquecido	25 - 60
De alta pressão	50 - 100

Fonte: Adaptado de GOMIDE, 1980.

**ANEXO B.3 – TABELA DO COMPRIMENTO EQUIVALENTE.**

Conexão		Diâmetro nominal x Equivalência em metros de canalização						
		Material	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4
		METAL	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
		METAL	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7
		METAL	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7
		METAL	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9

Fonte: Adaptado de CREMASCO, 2012.