

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Beatriz Buratto Marcilio

**Metodologia de Formulação & Implementação de Balanço de Massa e Energia  
Utilizando Plataforma Industrial de Base de Dados, COMOS: Estudo de Caso do  
Processo de Degomagem de Óleos Vegetais**

Florianópolis

2019

Beatriz Buratto Marcilio

**Metodologia de Formulação & Implementação de Balanço de Massa e Energia  
Utilizando Plataforma Industrial de Base de Dados, COMOS: Estudo de Caso do  
Processo de Degomagem de Óleos Vegetais**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr., Acácio Antônio Ferreira Zielinski  
Coorientador: M. Eng. José Octávio Sierra Fernandez

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Marcílio, Beatriz Buratto

Metodologia de Formulação & Implementação de Balanço de Massa e Energia Utilizando Plataforma Industrial de Base de Dados, COMOS: Estudo de Caso do Processo de Degomagem de Óleos Vegetais / Beatriz Buratto Marcílio ; orientador, Acácio Antônio Ferreira Zielinski, coorientador, . José Octávio Sierra Fernandez, 2019.

112 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Balanço de massa e de energia. 3. Fluxograma. 4. COMOS. I. Zielinski, Acácio Antônio Ferreira . II. Fernandez, . José Octávio Sierra. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Beatriz Buratto Marcilio

**Metodologia de Formulação e Implementação de Balanço de Massa e Energia Utilizando  
Plataforma Industrial de Base de Dados, COMOS: Estudo de Caso do Processo de  
Degomagem de Óleos Vegetais**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos.

Florianópolis, 02 de dezembro de 2019.

---

Prof. Dr. João Borges Laurindo  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Acácio Antônio Ferreira Zielinski  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Agenor De Noni Junior  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe e aos amigos que sempre estiveram comigo.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial a mulher mais forte que já conheci e que tornou a realização de todos os meus sonhos, até aqui, possíveis, minha mãe Marta Buratto. À minha avó Delícia Nieiro Buratto (*in memoriam*) e à minha irmã Rosângela Menegaz Marcilio por serem exemplos de grandes mulheres. Às irmãs que a vida me deu Ketlen Possoli e Paula Cechella, aos presentes que vieram em forma de amigos Sarah Torres, Laura Nazari, Anderson Ernesto e Giovanna Luz, aos 14.2 que tornaram a graduação um pouco mais leve Rafaela de Oliveira, Larissa Wainstein, Sofia Grechi e Maiara Azevedo.

Às entidades estudantis que me fizeram crescer como pessoa e como profissional, CONAQ, SAEQA e FEJESC, nas quais eu tive minhas primeiras experiências de trabalho e de liderança.

Aos dois grandes professores que tornaram este trabalho possível, Prof. Dr. Acácio Antônio Ferreira Zielinski e ao Engenheiro Químico José Octávio Sierra Fernandez, idealizador deste e suporte nos diversos momentos de dúvidas.

À GreyLogix pela oportunidade de me aproximar um pouco mais da indústria e colocar em prática tudo que aprendi nos anos de graduação, em especial ao líder da *Business Unit* de Florianópolis, Rafael Gonçalves d'Ávila da Silva.

## RESUMO

Para auxiliar na elaboração dos documentos que são de responsabilidade de um Engenheiro de Processos dentro de uma empresa foi proposta uma metodologia para o desenvolvimento dos balanços de massa e de energia de uma unidade industrial, essa foi resumida em um fluxograma e posteriormente aplicada ao processo de degomagem de óleo de soja para a verificação da sua eficácia. Inicialmente foi feito um estudo do processo, e com base nele foi definida a físico-química tanto o processo quanto das substâncias envolvida. A construção do diagrama de bloco foi realizada na plataforma de base de dados COMOS, e a partir dele foi feito o descritivo de processo. Os balanços de massa e de energia dos equipamentos foram escritos a partir de equações genéricas de conservação. Para a resolução deste foi feita uma análise de graus de liberdade, especificado as incógnitas necessárias e então utilizou-se o software Excel através da função Solver. Os resultados foram adicionados as correntes do diagrama de blocos e no fluxograma. Tal metodologia proposta foi aplicada a um processo de degomagem de óleo de soja de uma indústria real, sendo realizadas todas as etapas propostas. Verificou-se que é possível utilizar a metodologia para elaborar e resolver os balanços de uma unidade industrial, assim como a integração dos resultados obtidos com o software em questão, de forma a se ter uma única base de dados de processo para a unidade de processamento.

**Palavras-chave:** Balanço de massa e de energia. Fluxograma. COMOS.

## **ABSTRACT**

To assist in the elaboration of the documents that are responsibility of a Process Engineer within a company, a methodology was proposed for the development of the mass and energy balances of an industrial unit, which was summarized in a flowchart and later applied to a soybean oil degumming process to verify its effectiveness. Initially was made a study of the process and based on it, was defined the physicochemical of both process and involved substances. The construction of the block flow diagram was performed in COMOS database platform, and from it the process description was made. Mass and energy balances of the equipment were written from generic conservation equations. For the resolution of it was done an analysis of degrees of freedom, specified the necessary incognitos and then used the Excel software with the Solver function. The results were added to the block diagram and flowcharts chains. The proposed methodology was applied to a real industry soybean degumming process and all proposed steps were performed. It was verified that it is possible to use the methodology to elaborate and solve the balances of an industrial unit, as well as the integration of the results obtained with the software in order to have a single process database for the processing unit.

Keywords: Mass and energy balance. Flowchart. COMOS.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão da hierarquia de pastas na aba Units do COMOS. ....	26
Figura 2 – Esquema de degomagem com água do óleo. ....	28
Figura 3 – Tela de input de dados das substâncias no COMOS. ....	32
Figura 4 – Composição das correntes no COMOS. ....	33
Figura 5 – Integração de dados entre PFD e BFD.....	45
Figura 6 - Fluxograma de ações para rota executiva do método.....	47
Figura 7 – Representação por Bloco do Tanque de Óleo Bruto.....	74
Figura 8– Representação por Bloco do Resfriador 1. ....	75
Figura 9– Representação por Bloco do Aquecedor de Água. ....	76
Figura 10– Representação por Bloco do Misturador Estático.....	77
Figura 11– Representação por Bloco do Tanque de Hidratação. ....	77
Figura 12– Representação por Bloco da Centrífuga. ....	78
Figura 13– Representação por Bloco do Economizador. ....	79
Figura 14– Representação por Bloco do Aquecedor.....	80
Figura 15– Representação por Bloco do Secador. ....	81
Figura 16– Representação por Bloco do Resfriador 2. ....	82
Figura 17- Criação da unidade de processo no COMOS. ....	91
Figura 18– Pastas da unidade de processo. ....	92
Figura 19 – Tela da construção do fluxograma. ....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Locais para armazenamento de dados no COMOS.....	43
Quadro 2 – Documentos de engenharia de processos utilizados na aplicação deste trabalho.....	46
Quadro 3 - Tagueamento das correntes e suas componentes .....	56
Quadro 4 – Síntese das equações de balanço de massa e energia .....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da matéria-Prima utilizada neste trabalho. ....	50
Tabela 2 – Especificações das Utilidades e Água de Torre. ....	51
Tabela 3 – Composição dos produtos e subprodutos com relação a corrente total....	51
Tabela 4 – Propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos.....	53
Tabela 5 – Análise de graus de liberdade.....	64
Tabela 6 – Resultados dos Balanços no Tanque de Óleo Bruto.....	75
Tabela 7– Resultados dos Balanços no Resfriador 1. ....	75
Tabela 8– Resultados dos Balanços no Aquecedor de Água. ....	76
Tabela 9– Resultados dos Balanços no Misturador Estático.....	77
Tabela 10–Resultados dos Balanços no Tanque de Hidratação. ....	78
Tabela 11–Resultados dos Balanços na Centrífuga. ....	78
Tabela 12–Resultados dos Balanços na Economizador. ....	79
Tabela 13–Resultados dos Balanços no Aquecedor.....	80
Tabela 14–Resultados dos Balanços no Secador. ....	81
Tabela 15–Resultados dos Balanços no Resfriador 2. ....	82
Tabela 16 – Erro nos balanços de massa e de energia por equipamento.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFD	Block Flow Diagram
Cp	Calor específico
DT	Dessolventizador-Tostador
FEED	Front-End-Engineering-Design
FH	Fosfolipídios hidratáveis
FNH	Fosfolipídios não hidratáveis
GL	Grau de Liberdade
GRG	Gradiente Reduzido Generalizado
ISA	International Society for Measurement and Control
PFD	Process Flow Diagram
SI	Sistema Internacional
TEA	Thermodynamic for Engineering Application
VBA	Visual Basic for Application

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	CONTEXTO.....	11
1.2	PROBLEMÁTICA .....	11
1.3	OBJETIVOS .....	13
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	SERVIÇOS ATRELADOS A DISCIPLINA DE PROCESSOS .....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Definição dos processos utilizados.....</b>	<b>14</b>
2.1.1.1	<i>Identificação dos Processos Aplicáveis.....</i>	<i>14</i>
2.1.1.2	<i>Caracterização dos Processos Aplicáveis .....</i>	<i>14</i>
2.1.1.3	<i>Seleção dos Processos Industriais.....</i>	<i>15</i>
<b>2.1.2</b>	<b>Elaboração dos Memoriais de Cálculo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Definição dos Equipamentos Principais .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Elaboração dos Fluxogramas de Engenharia.....</b>	<b>16</b>
2.1.4.1	<i>Fluxogramas de Processo.....</i>	<i>16</i>
2.1.4.2	<i>Fluxograma de Produção.....</i>	<i>16</i>
2.1.4.3	<i>Balanço de Massa.....</i>	<i>16</i>
2.1.4.4	<i>Balanço de Energia e Utilidades.....</i>	<i>17</i>
2.1.4.5	<i>Fluxograma de Tubulação e Instrumentação.....</i>	<i>17</i>
2.1.4.6	<i>Diagrama de Distribuição de Utilidades .....</i>	<i>17</i>
<b>2.1.5</b>	<b>Elaboração dos Arranjos Gerais .....</b>	<b>18</b>
2.1.5.1	<i>Arranjo Geral da Instalação ou Plano Diretor.....</i>	<i>18</i>
2.1.5.2	<i>Arranjos das Unidades de Processo.....</i>	<i>18</i>
2.1.5.3	<i>Arranjos de Equipamentos .....</i>	<i>18</i>

<b>2.1.6</b>	<b>Elaboração das Especificações Técnicas de Unidades de Processos e/ou Equipamentos .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Relatório da Engenharia de Projeto Básico .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Outras Atividades .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>BALANÇO DE MASSA E DE ENERGIA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Balanço de Massa.....</b>	<b>20</b>
<i>2.2.1.1</i>	<i>Balanço em Processos Contínuos em Estado Estacionário .....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>Balanços Integrais em Processos em Batelada.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.1.3</i>	<i>Balanços Integrais em Processos Contínuos e Semicontínuos.....</i>	<i>21</i>
<b>2.2.2</b>	<b>Balanço de Energia .....</b>	<b>22</b>
<i>2.2.2.1</i>	<i>Balanço de Energia em um Sistema Fechado .....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.2.2</i>	<i>Balanço de Energia em Sistema Aberto no Estado Estacionário.....</i>	<i>23</i>
<b>2.2.3</b>	<b>Análise dos Graus de Liberdade .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Excel.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2</b>	<b>COMOS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>PROCESSO INDUSTRIAL DE DEGOMAGEM DE ÓLEOS VEGETAIS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Degomagem com água.....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>RECONHECIMENTO DO PROCESSO INDUSTRIAL .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Estudo do processo .....</b>	<b>30</b>
<i>3.1.1.1</i>	<i>Revisão da Literatura .....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.1.2</i>	<i>Características das Matérias-primas, Reagentes e Produtos e Base de Cálculo .</i>	<i>31</i>
<i>3.1.1.2.1</i>	<i>Matérias-primas, Reagentes e Produtos.....</i>	<i>31</i>
<i>3.1.1.2.2</i>	<i>Base de Cálculo .....</i>	<i>33</i>
<i>3.1.1.3</i>	<i>Levantamento de Propriedades Físico-químicas e Coeficientes Técnicos.....</i>	<i>34</i>
<i>3.1.1.4</i>	<i>Descritivo de Processo .....</i>	<i>35</i>
<b>3.1.2</b>	<b>Elaboração dos Fluxogramas do Processo .....</b>	<b>35</b>

3.1.2.1	<i>Diagrama de Blocos</i> .....	35
3.1.2.2	<i>Process Flow Diagram (PFD)</i> .....	36
3.1.3	<b>Síntese das Ações na Etapa de Reconhecimento do Processo</b> .....	37
3.2	<b>FORMULAÇÃO DOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA</b> .....	37
3.2.1	<b>Balanço de Massa</b> .....	37
3.2.2	<b>Balanço de Energia (Entalpia)</b> .....	38
3.2.3	<b>Análise de graus de liberdade e equações de fechamento de balanço</b> .....	39
3.2.3.1	<i>Equações Constitutivas ou de Fechamento de Balanço</i> .....	40
3.2.4	<b>Síntese das Ações Relacionadas a Formulação dos Balanços de Massa e Energia Térmica</b> .....	40
3.3	<b>ABORDAGEM NUMÉRICA PARA A SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES</b> .....	40
3.3.1	<b>Criação do Desenho Orientativo</b> .....	41
3.3.2	<b>Implementação das Correntes de Processo no Excel</b> .....	41
3.3.3	<b>Aplicação do Solver Para a Solução do Sistema de Equações</b> .....	41
3.3.4	<b>Síntese das ações</b> .....	42
3.4	<b>FLUXO DE INFORMAÇÃO ENTRE AS PLATAFORMAS</b> .....	43
3.4.1	<b>Síntese das Ações do Fluxo de Informação Entre as Plataformas</b> .....	45
3.5	<b>DOCUMENTOS DA DISCIPLINA DE PROCESSOS CONTEMPLADAS PELO MÉTODO</b> 45	
3.6	<b>SÍNTESE DAS AÇÕES – ROTA EXECUTIVA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO</b> 46	
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO – APLICAÇÃO NO PROCESSO DE DEGOMAGEM DE ÓLEO DE SOJA</b> .....	48
4.1	<b>RECONHECIMENTO DO PROCESSO INDUSTRIAL</b> .....	48
4.1.1	<b>Revisão da Literatura Industrial e Científica</b> .....	48
4.1.2	<b>Síntese dos fenômenos físico-químicos atuantes no processo</b> .....	48

<b>4.1.3</b>	<b>Especificação material das matérias-primas, reagentes e produtos/subprodutos .....</b>	<b>50</b>
4.1.3.1	<i>Matérias-primas .....</i>	50
4.1.3.2	<i>Reagentes e Utilidades .....</i>	50
4.1.3.3	<i>Produtos e subprodutos .....</i>	51
<b>4.1.4</b>	<b>Definição da base de cálculo .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Levantamento das propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Escolha do sistema de unidades que será utilizado .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Construção do diagrama de blocos (BFD) no COMOS -FEED .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Redação do descritivo do processo .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.9</b>	<b>Definição das Correntes de Processo .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b>FORMULAÇÃO DOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Balanços de massa e de Energia .....</b>	<b>57</b>
4.2.1.1	<i>Tanque de Óleo Bruto.....</i>	57
4.2.1.2	<i>Resfriador 1 .....</i>	58
4.2.1.3	<i>Tanque de Água Quente.....</i>	58
4.2.1.4	<i>Misturador Estático.....</i>	59
4.2.1.5	<i>Tanque de Hidratação .....</i>	59
4.2.1.6	<i>Centrífuga.....</i>	60
4.2.1.7	<i>Economizador.....</i>	61
4.2.1.8	<i>Aquecedor.....</i>	62
4.2.1.9	<i>Secador .....</i>	63
4.2.1.10	<i>Resfriador 2 .....</i>	63
<b>4.2.2</b>	<b>Análise dos Graus de Liberdade .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Equações de Fechamento de Balanço e Elaboração das Premissas e Hipóteses</b>	<b>65</b>
4.2.3.1	<i>Tanque de óleo bruto.....</i>	65
4.2.3.2	<i>Resfriador 1 .....</i>	65



4.2.3.3	<i>Tanque de água quente</i> .....	65
4.2.3.4	<i>Centrífuga</i> .....	66
4.2.3.5	<i>Economizador</i> .....	67
4.2.3.6	<i>Aquecedor</i> .....	67
4.2.3.7	<i>Resfriador 2</i> .....	68
<b>4.2.4</b>	<b>Síntese das Equações de Balanço</b> .....	<b>68</b>
4.3	ABORDAGEM NUMÉRRICA PARA SOLUÇÃO .....	74
<b>4.3.1</b>	<b>Resultado dos Balanços de Massa e de Energia Utilizando o <i>Solver</i></b> .....	<b>74</b>
4.3.1.1	<i>Tanque de óleo bruto</i> .....	74
4.3.1.2	<i>Resfriador 1</i> .....	75
4.3.1.3	<i>Aquecedor de água</i> .....	76
4.3.1.4	<i>Misturador estático</i> .....	76
4.3.1.5	<i>Tanque de hidratação</i> .....	77
4.3.1.6	<i>Centrífuga</i> .....	78
4.3.1.7	<i>Economizador</i> .....	79
4.3.1.8	<i>Aquecedor</i> .....	79
4.3.1.9	<i>Secador</i> .....	80
4.3.1.10	<i>Resfriador 2</i> .....	81
<b>4.3.2</b>	<b>Erros dos balanços</b> .....	<b>82</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Integração dos Resultados com o COMOS</b> .....	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO DE DEGOMAGEM COM ÁGUA DE ÓLEO DE SOJA (BFD)</b> .....	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DEGOMAGEM COM ÁGUA DE ÓLEO DE SOJA (PFD)</b> .....	<b>90</b>

<b>APÊNDICE C- TUTORIAL PARA CRIAÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCO NO COMOS.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO A – ATIVIDADE PARA EXECUÇÃO DE PROJETO BÁSICO DA DISCIPLINA PROCESSO .....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, com a primeira revolução industrial, o mundo e a história das fábricas vêm se transformando, o que antes era produto de manufatura, passou a contar com ferramentas cada vez mais sofisticadas. O acesso a diferentes tipos de *softwares* e *hardwares* foi simplificado, esses também estão mais precisos e com a habilidade de aprendizagem, o que auxilia na redução dos erros e criação de ferramentas novas. Tal evolução impactou diretamente na produção e nos custos das indústria (COELHO, 2016).

A automação das fábricas pode ser extremamente complexa, pois é necessário entender de lógica de programação, como controlar os sensores, junto com a parte elétrica, conhecimento do processo, a construção mecânica dos equipamentos, entre tantas outras áreas que podem ser citadas. Além de tornar as máquinas automáticas, o desenvolvimento de *softwares* que facilitam o trabalho das outras disciplinas avança constantemente. As plataformas digitais existentes são capazes de realizar desenhos, simulações e cálculos cada vez mais complexos e com uma boa precisão.

Com base no trabalho de um Engenheiro de Processos, em meio a tendência da indústria 4.0, foi proposto a solução para uma problemática vivenciada por uma empresa real, conforme descrito nos itens seguintes.

### 1.1 CONTEXTO

O presente trabalho foi desenvolvido com a empresa GreyLogix Brasil Máquinas LTDA, especificamente na unidade de Florianópolis, vertical que é responsável por automatizar o seguimento de *Food & Beverage*. A empresa conta com uma área de Engenharia de Processos, a qual é responsável pelas primeiras etapas dos projetos elaborando os manuais de descrição do processo, balanços de massa e de energia, por muitas vezes cuidando da otimização energética da indústria, fluxograma de processos, além de dar suporte a etapas mais avançadas dos projetos.

### 1.2 PROBLEMÁTICA

O custo pertinente a projetos industriais está diretamente ligado aos custos de mão de obra especializada, em especial ao custo de engenharia. Via de regra, segundo Towler e Sinnott

(2013), em processos químicos, cerca de 10% do custo total do investimento de capital (ISBL) é representado pela engenharia.

Projetos industriais podem ser divididos em três fases ou etapas: 1) Projeto Conceitual, 2) Projeto Básico e 3) Projeto Detalhado. Estas etapas, necessariamente, marcham em série; e conforme se avança no nível de detalhamento, maiores as precisões das estimativas de capital. Segundo Turton et al. (2008) num projeto industrial em fase conceitual aceita-se até 30% de incerteza nas análises econômicas-financeiras; nas etapas posteriores, respectivamente, aceita-se 20% e de 10% a 5%. Certamente, com o uso de novas tecnologias estes indicadores de incerteza poderão ser reduzidos. Consequentemente, uma indústria mais moderna e competitiva poderá surgir.

Conforme citado acima, até 10% do investimento de capital gira em torno dos serviços de engenharia. Este custo está diretamente atrelado as horas gastas para desenvolvimento dos projetos; nesta conta o retrabalho; entende-se como retrabalho como dispendir horas para realização de uma atividade previamente já realizada. Muitas vezes por falta de informação ou má comunicação resultam em necessidades de refazer uma atividade. Isto ocorre, pois geralmente as disciplinas de engenharia operam em bases de dados ou projetos distintos; todavia, interdependentes.

Com a era digital, ferramentas computacionais vêm surgindo visando compatibilizar e organizar os documentos de engenharia; neste contexto, o COMOS, ferramenta da SIEMENS destaca-se. O COMOS, ou ferramenta industrial de gerenciamento de base de dados, permite organizar e distribuir automaticamente documentos e informações (Tabelas, desenhos listas, etc.) através de uma estrutura orientada-objeto. De maneira superficial, cada equipamento ou item, vaso ou válvula por exemplo, possuem propriedades e comunicam-se em diferentes camadas. Estas informações, devidamente alimentadas na plataforma, a tornam homogênea e centralizada independentemente da disciplina.

No tocante referente ao COMOS, pretende-se neste trabalho desenvolver uma metodologia capaz de auxiliar a transposição de informações entre as ferramentas utilizadas para a realização de balanços de massa e energia, incluindo tanto as propriedades físico-químicas das substâncias como os resultados dos balanços.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi propor uma metodologia de elaboração de balanços materiais e de energia integrando, desenvolvidos em planilhas eletrônicas (MS-Excel), capaz de integrar com ferramenta comercial de engenharia multidisciplinar e de organização de bases de dados, denominada COMOS.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Definir, com base na literatura, as principais etapas requeridas para elaboração de balanços materiais e de energia;
- Descrever o fluxograma de processo de maneira a tornar-se um manual de boas práticas;
- Identificar as potencialidades do software COMOS-FEED (*Front end engineering design*);
- Avaliar qual a relação entre as o método previamente definido e a ferramenta computacional;
- Propor uma estratégia de comunicação entre a ferramenta computacional e plataforma de solução, solver do Excel, dos balanços;
- Investigar o processo industrial de degomagem de óleo de soja e aplicar o método definido neste trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SERVIÇOS ATRELADOS A DISCIPLINA DE PROCESSOS

Em uma empresa a área responsável pelos Processos Industriais tem uma série de entregáveis que visam um processamento correto, de forma otimizada e que garanta a qualidade do produto. A partir dos estudos e cálculos realizados são elaborados uma série de documentos que servirão de base para toda a operação da indústria. Abaixo são apresentados alguns deles, no ANEXO A – ATIVIDADE PARA EXECUÇÃO DE PROJETO BÁSICO DA DISCIPLINA PROCESSO pode-se encontrar uma descrição mais detalhada de cada um, elaborada por Tamietti (2009).

#### 2.1.1 Definição dos processos utilizados

A maioria dos processos produtivos já são triviais, dificilmente será criado algo. Na engenharia de processos é comum que se estude as possibilidades ofertadas pelo mercado, e a partir disso se analise as alternativas para propor um processo que seja adequado aquela indústria. Para isso, as seguintes etapas são necessárias:

##### 2.1.1.1 *Identificação dos Processos Aplicáveis*

Esta etapa consiste na verificação das opções existentes e quais delas podem ser utilizadas e são viáveis para o projeto. Existem alguns pontos que são importantes analisar neste momento, são estes: entendimento das dimensões, tipo, quantidade e qualidade dos produtos que se quer obter; conhecimento das matérias-primas, energia, utilidades que podem ser usadas, além do plano de produção, dos requisitos de qualidade e dos custos estabelecidos; a compreensão do fluxograma, quais são as entradas e saídas de matérias primas, correntes vindas das utilidades e quais são os rejeitos ou subprodutos; e por fim, saber onde a indústria fica localizada e a legislação envolvida, principalmente nas questões de segurança e proteção.

##### 2.1.1.2 *Caracterização dos Processos Aplicáveis*

A atividade em questão pode ser dividida em duas partes: levantamento de informações e identificação. Na primeira são procuradas informações sobre os processos

listados anteriormente, isso pode ser feito através de pesquisas bibliográficas, busca por dados em centros de informações técnicas, consultas com fabricantes, visitas técnicas, em artigos, relatórios, teses e catálogos publicados, entre outros.

Enquanto a segunda parte consiste na identificação desses processos para que seja possível a comparação entre os principais parâmetros relacionados a cada um. É relevante que nesta etapa seja possível definir os padrões mínimos de qualidade de matérias primas e insumos, os modelos matemáticos, a metodologia operacional aliada ao controle do processo, os métodos que serão utilizados para o dimensionamento dos equipamentos, além da identificação e determinação dos principais parâmetros das unidades auxiliares. Outro ponto importante é o entendimento sobre os custos operacionais e qual será o investimento para a realização do processo desejado.

### *2.1.1.3 Seleção dos Processos Industriais*

A seleção dos processos vai depender principalmente da análise técnico-econômica dos processos estudados previamente, a fim de traçar um comparativo entre elas e chegar à conclusão de qual é melhor. Tal documento deve conter basicamente os itens descritos na seção anterior, são esses: a identificação dos processos, os padrões de qualidade dos itens utilizados (matéria prima, insumos, produtos e subprodutos), os modelos matemáticos (que incluem os balanços de massa e energia), os fluxogramas de processo, a metodologia operacional e de controle do processo, a seleção dos processos aplicáveis (é comum que nestes casos a análise seja acompanhada de um parecer do engenheiro de processos, a qual deve conter recomendações referentes aos itens descritos) e a análise técnico-econômica (que contém os custos de investimento e de operação comparada com a produção de um determinado período).

## **2.1.2 Elaboração dos Memoriais de Cálculo**

Com os processos definidos, são feitos os cálculos para a definição dos parâmetros operacionais dos principais equipamentos de cada seção da fábrica. Este documento deve conter, além dos parâmetros já citados, os fluídos térmicos, as curvas de temperatura, as vazões de entrada e saída, o tempo de operação de cada equipamento e as capacidades nominais.

### **2.1.3 Definição dos Equipamentos Principais**

A partir da definição dos parâmetros os equipamentos são definidos com base no que o mercado tem disponível, no plano de expansão da empresa, nas novidades tecnológicas e na experiência que o engenheiro de processos tem. Essas informações precisam ser consolidadas em um relatório, o qual conterà a justificativa e a descrição das soluções escolhidas.

Neste ponto também é realizado o Diagrama de Blocos, conforme descrito na seção 3.1.2 Elaboração dos Fluxogramas do Processo.

### **2.1.4 Elaboração dos Fluxogramas de Engenharia**

Este documento é mais técnico que o documento anterior, pois especifica o equipamento de processo e as linhas de fluxo, consistindo numa representação diagramática da planta de processamento ou do processo.

#### *2.1.4.1 Fluxogramas de Processo*

O fluxograma de processo representa todos os equipamentos necessários para a operação da unidade da planta. Este documento deve conter as seguintes informações: o equipamento e a sua interação funcional; número e nome dos principais equipamentos mecânicos; fluxo das correntes; parâmetros físico-químicos e termodinâmicos; vazões de entrada e saída; quais utilidades serão necessárias e as condições de operação.

#### *2.1.4.2 Fluxograma de Produção*

Este é um documento técnico que tem como objetivo definir o fluxo de matérias-primas, reagente, subprodutos e produtos de todos os processos envolvidos, incluindo as condições de operação das unidades, a quantificação de produção, consumo e rendimento.

#### *2.1.4.3 Balanço de Massa*

Balanço de massa ou balanço material é um documento técnico que apresenta os valores quantitativos balanceados para a saída de cada equipamento, considerando as



entradas, insumos e utilidades, e contém os códigos dos fluxos, os nomes dos componentes individuais, as vazões das correntes e de suas componentes.

#### *2.1.4.4 Balanço de Energia e Utilidades*

Este documento define quais formas de energia e de utilidades serão utilizadas e quanto de cada uma será necessário para a operação do processo ou da planta. O registro do balanço de energia deve conter os códigos dos equipamentos nos quais há conversão de energia e os fluxos (individuais e totais). Já para as utilidades é necessário o código dos equipamentos que irão consumir vapor, água, gases, entre outros e a vazão de alimentação e de saída que cada uma das operações irá precisar.

#### *2.1.4.5 Fluxograma de Tubulação e Instrumentação*

Este documento representa de forma esquemática as tubulações do processo e das malhas de controle que o compõe. Ele deve ter como base o Fluxograma de Processo, porém deve conter algumas informações mais específicas, como a indicação das principais tubulações envolvidas no processo, a interação entre os equipamentos mecânicos e tubulações, a identificação dos instrumentos de medição e controle e suas respectivas malhas, entre outras. Para a elaboração deste fluxograma existe uma simbologia padronizada pela *International Society for Measurement and Control (ISA)*.

#### *2.1.4.6 Diagrama de Distribuição de Utilidades*

O diagrama em questão representa a distribuição das Utilidades de acordo com os grupos para os quais serão destinadas. Esses grupos podem ser combinados de acordo com a área da planta ou prédios que estão situados. O documento em questão deve conter o posicionamento dos sistemas de geração, além dos grupos de consumidores combinados, a rota e direção de fluxo que a utilidade deve seguir, e os números dos desenhos dos Fluxogramas de Tubulação e Instrumentação pertinentes.

## 2.1.5 Elaboração dos Arranjos Gerais

É composto pela elaboração dos documentos e *layouts* a seguir:

### 2.1.5.1 Arranjo Geral da Instalação ou Plano Diretor

É a representação em escala da planta utilizando as coordenadas principais, as unidades de processo, de administrativas e auxiliares, além das rodovias, ferrovias e outras rotas de transporte, ou seja, é um desenho do *layout* geral da fábrica. Para a elaboração desse documento, deve-se levar em conta toda a logística envolvida no transporte das matérias-primas e produtos, objetivando reduzir o tempo de circulação desses e possíveis interferências durante o processo.

O documento gerado deve conter o *layout* e localização de instalações, a configuração e a localização dos principais edifícios e equipamentos de processo externos as plantas de processo, as seções auxiliares da planta, o *layout* e localização dos espaços abertos e áreas pavimentadas, entre outros.

### 2.1.5.2 Arranjos das Unidades de Processo

São compostos por desenhos que mostram os equipamentos de processo principais e suas interligações, além dos edifícios, salas de controle e operação, estruturas auxiliares, áreas de armazenamento e estocagem, e sistema de transporte dos produtos através da utilização de plantas e elevações.

### 2.1.5.3 Arranjos de Equipamentos

Este documento serve para dar embasamento para os fornecedores de montagem, de modo que esses possam apresentar propostas adequadas e competitivas. São desenhos que mostram os conjuntos de equipamentos com as suas informações técnicas, e devem conter: a identificação do equipamento, as dimensões principais e peso, estruturas e seus principais componentes, entre outros.

### **2.1.6 Elaboração das Especificações Técnicas de Unidades de Processos e/ou Equipamentos**

São documentos que descrevem todas as unidades de processamento e equipamentos, através da definição destes e de fluxogramas de engenharia, além de especificar a capacidade de produção, dimensões, parâmetros de operação, as características do projeto, os documentos utilizados como referência e as normas cabíveis.

### **2.1.7 Relatório da Engenharia de Projeto Básico**

Este relatório consolida as definições propostas pela área de processos, ou seja, a engenharia do projeto básico da indústria, devendo conter a descrição e o porquê dos arranjos adotados, e caso necessário, pode ser incluído desenhos se esses auxiliarem no entendimento.

Uma parte importante deste documento é a Lista de Equipamentos do Projeto, na qual são relacionados os equipamentos necessários, com suas identificações e demais informações (tamanho, potência, capacidade, temperatura, número do item ou código de referência, entre outras).

### **2.1.8 Outras Atividades**

Além de todos os documentos citados que são de responsabilidade de um Engenheiro de Processos, ele também auxilia outros especialistas de projeto para que esses possam desenvolver suas atividades e entregar, ao fim, uma planta operando. As outras atividades que um engenheiro de processos deve auxiliar são:

- Estabelecimento de diagramas e quadros de carga preliminares: são as informações e os dados referentes as cargas dos equipamentos, solicitações de vibrações e choque, e dados relativos aos chumbadores. Tal documento auxilia o projeto dos edifícios.
- Preparação da lista de motores: possui informação sobre a capacidade e as características dos motores dos equipamentos, e auxiliam os engenheiros elétricos com a determinação do sistema de distribuição de energia elétrica.
- Definição das funções de controle e supervisão: permite que seja desenvolvido a engenharia de projeto do sistema.

## 2.2 BALANÇO DE MASSA E DE ENERGIA

### 2.2.1 Balanço de Massa

No século XVIII Antoine Lavoisier, após uma série de experimentos, enunciou a Lei de conservação de massa, afirmando que essa não pode ser criada ou destruída, apenas transformada. Tal lei serviu de base para o que se conhece hoje como balanço de massa ou material.

De acordo com Felder e Rousseau (2014), podem ser feitos dois tipos de balanço, diferencial e/ou integral. O primeiro representa o sistema em um determinado momento, sendo escrito como uma taxa (g óleo/s, ton/dia), e normalmente é empregado em processos contínuos. Já o segundo descreve o que se passa em um determinado intervalo de tempo, representando assim uma porção (g, ton), e é utilizado em processos em batelada.

A equação geral do balanço de massa é descrita pelo somatório das entradas e do que é gerado pelo sistema menos o somatório das saídas e do que foi consumido, tal expressão é igualada ao acúmulo dentro do sistema. Porém, tal equação pode ser simplificada dependendo da forma como ocorre o processo. Existem três formas principais: processo contínuo em estado estacionário, processo em batelada e processos contínuos e semicontínuos.

#### 2.2.1.1 Balanço em Processos Contínuos em Estado Estacionário

Define-se estado estacionário quando não se tem acúmulo no sistema, assim, esse termo não aparece no balanço e a equação pode ser simplificada para:

$$\textit{entrada} + \textit{geração} = \textit{saída} + \textit{consumo} \quad (2.1)$$

Se o processo não possuir geração ou o balanço for feito considerando apenas a massa total das correntes, os termos de geração e consumo podem ser desconsiderados.

#### 2.2.1.2 Balanços Integrais em Processos em Batelada

Tem-se um processo em batelada quando não há entrada ou saída de material durante tempo total de processamento, dessa forma o acúmulo no sistema é entendido como a diferença entre o que é gerado e o que é consumido. Assim, ao ser simplificada, a equação

geral para balanço de massa em processo em batelada é igual a equação  $entrada + geração = saída + consumo$  contudo ao invés da entrada e saída serem representadas por vazões mássicas, elas são a quantidade de matéria inserida ou retirada do equipamento.

### 2.2.1.3 Balanços Integrais em Processos Contínuos e Semicontínuos

Também podem ser chamados de Balanços em Processos Transientes, visto que os cálculos são feitos para em um intervalo de tempo determinado enquanto há correntes com vazão de entrada e de saída no equipamento. Esse tipo de problema precisa ser resolvido através de balanços diferenciais e integrais.

Para os balanços diferenciais considera-se que as vazões do sistema são expressas em formas de taxa (por exemplo, kg/s) que variam em um intervalo tão curto de tempo que podem ser consideradas constantes, e podem ser descritas como  $\dot{m}_{entrada}$ ,  $\dot{m}_{saída}$ ,  $\dot{r}_{consumo}$  e  $\dot{r}_{geração}$ . A massa que varia no sistema pode ser escrita como  $\Delta M$ , e é definida como acúmulo. Analogamente a equação geral de balanço, considerando que o acúmulo de massa no sistema varia com o tempo, tem-se a seguinte equação diferencial:

$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{entrada} + \dot{r}_{geração} - \dot{m}_{saída} - \dot{r}_{consumo} \quad (2.2)$$

Caso se considere o sistema operando no estado estacionário, a variação de acúmulo com o tempo é igual a zero.

Já o balanço diferencial integral toma como base a equação  $\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{ent} + \dot{r}_{geração} - \dot{m}_{saída} - \dot{r}_{consumo}$  e é utilizada para calcular a variável desconhecida do sistema. Para isso, a equação diferencial é integrada em um intervalo de tempo (entre  $t_0$  e  $t_0 + \Delta t$ ), tomando a forma:

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^{t_f} dM &= M(t_f) - M(t_0) \\ &= \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{entrada} dt + \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{geração} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{saída} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{consumo} dt \quad (2.3) \end{aligned}$$

Os resultados obtidos são valores totais de entrada, saída ou reação balanceados no sistema durante o intervalo de tempo pré-determinado.

### 2.2.2 Balanço de Energia

De acordo com Felder e Rousseau (2014), a energia de um sistema pode ser definida a partir de três componentes: energia cinética, potencial e interna. A energia cinética está relacionada a movimento, velocidade, que um determinado objeto possui em relação a um referencial inercial, podendo ser escrita como:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.4)$$

Na qual  $m$  é a massa e  $v$  a velocidade do sistema, e pode ser representada tanto como uma taxa (J/s) ou como um valor absoluto (J).

A energia potencial refere-se à posição em relação a um campo potencial, comumente estabelecido como campo gravitacional, e é representada pela equação:

$$E_p = mgh \quad (2.5)$$

Sendo  $g$  a força gravitacional e  $h$  a altura em relação a um referencial.

E a energia interna é função do movimento (rotacional e vibracional) das moléculas e suas interações eletromagnéticas.

Em um sistema fechado, ou seja, sem transferência de massa para a vizinhança, a energia que um sistema possui pode fluir através de calor, resultando de um gradiente de temperatura entre dois corpos ou entre um corpo e sua vizinhança, ou através de trabalho, que ocorre devido a uma resposta de outras forças motrizes (que não uma diferença de temperatura) como torque ou voltagem.

O Balanço de Energia é regido pela Primeira Lei da Termodinâmica, que é análoga a conservação de massa, a qual diz que a energia não pode ser criada ou destruída. Ou seja, a energia total das correntes que entram no sistema somado a energia que entra na forma de calor menos a energia total das correntes que saem do sistema mais a energia dissipada na forma de trabalho é igual ao acúmulo.

### 2.2.2.1 Balanço de Energia em um Sistema Fechado

Para este tipo de balanço um sistema fechado é definido como aquele que pode ser calculado entre dois instantes de tempo. Com base na Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se que as variáveis de geração e consumo desaparecem, resumindo a equação apenas a *acúmulo* = *entrada* – *saída*. Sendo que a entrada e saída são obtidas através da soma entre as três formas de forma de energia que entram ou saem do sistema, enquanto o acúmulo pode ser calculado através da diferença entre calor fornecido pelas vizinhanças para o sistema e o trabalho exercido pelo sistema sobre as vizinhanças. Assim, obtém-se a seguinte equação:

$$(E_c + E_p + U)_{inicial} - (E_c + E_p + U)_{final} = Q - W \quad (2.6)$$

### 2.2.2.2 Balanço de Energia em Sistema Aberto no Estado Estacionário

Como definido anteriormente, um sistema aberto é aquele em que há transferência de massa, tanto das vizinhanças para o sistema quanto do sistema para as vizinhanças. Tal transferência resulta em trabalho fornecido e exercido pelo sistema, respectivamente. A taxa líquida deste trabalho pode ser escrita como:

$$\dot{W} = \dot{W}_{eixo} + \dot{W}_{fluxo} \quad (2.7)$$

Sendo o trabalho no eixo entendido como o trabalho exercido pelo fluido em uma parte móvel no interior do sistema e o trabalho de fluxo como o trabalho do fluido na saída do sistema subtraído do trabalho deste na entrada do sistema, podendo ser calculado através da expressão  $\dot{W} = P \cdot \dot{V}$ .

Assim, a equação que descreve o balanço de energia em um sistema aberto em estado estacionário pode ser escrita como *entrada* = *saída*, conforme demonstrado a seguir, na qual  $\dot{E}_t$  é a energia total.

$$\dot{Q} + \sum_{entrada} \dot{E}_t = \dot{W} + \sum_{saída} \dot{E}_t \quad (2.8)$$

### 2.2.3 Análise dos Graus de Liberdade

De acordo com Perlingeiro (2005), com o reconhecimento do processo, modelagem matemática e entendimento de quais são as variáveis que já se tem do processo e quais são as metas do projeto, passa-se ter um problema de processamento de informação, e este deve tentar ser resolvido com o mínimo de esforço computacional possível. Para isso, é realizada uma análise prévia de consistência do problema utilizando o cálculo do grau de liberdade, através da seguinte equação:

$$G = V - (N + E) \quad (2.9)$$

Na qual  $G$  representa o grau de liberdade do problema,  $V$  o número total de variáveis presentes no sistema,  $N$  o número de equações independentes apresentados no modelo matemático e  $E$  o número de variáveis especificadas (números que são fixos no projeto, seja por uma definição de processamento ou por ser um objetivo). De acordo com o resultado obtido tem-se a classificação da consistência do problema, assim, para:

- $G < 0$  – **Problema Inconsistente** – não pode ser resolvido pois tem muitas especificações, devido ao alto número de equações. Para solucionar isso, o modelo matemático precisa ser revisto.
- $G = 0$  – **Problema Consistente Determinado** – é o ideal, possui uma única solução. Ocorre quando o número de incógnitas é igual ao número de equações independentes.
- $G > 0$  – **Problema Consistente Indeterminado** – o problema pode ser resolvido, porém admite uma infinidade de soluções. Para resolver isso, deve-se escolher um número de variáveis não-especificadas igual ao número resultante do cálculo do grau de liberdade para serem especificadas, e assim o problema passar a ter uma solução única. Neste caso, é possível testar hipóteses de forma que se obtenha uma solução otimizada.

## 2.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

O avanço da tecnologia, principalmente após a criação dos computadores, facilitou e reduziu o tempo de operações matemáticas consideradas complexas, além de trazer resultados mais precisos (FABRICIO; MELHADO, 2002). As ferramentas computacionais estão cada vez mais presentes no dia-a-dia dos engenheiros, seja através da resolução de problemas de



cálculo, para elaboração de imagens e até para simulações de plantas inteiras. A seguir são apresentadas as duas ferramentas utilizadas para a elaboração deste trabalho.

### 2.3.1 Excel

O Excel é um *software* de planilhas eletrônicas pago fornecido pela empresa Microsoft, e pode ser definido como, segundo Pinto (2011), uma folha de dados capaz de realizar cálculos e tratar os dados obtidos, além de fazer simulações e auxiliar em análises. O produto conta também com a possibilidade de proteção de dados, sendo possível compartilhar a planilha de forma que terceiros não possam alterá-la. De acordo com o site da própria empresa, esta ferramenta é capaz de aprender os padrões, facilitar os cálculos e organizar os dados. Além disso, é possível compartilhar arquivos com outros usuários para que esses vejam as atualizações em tempo real.

Segundo Zamboni et al. (2011), é possível a integração do Excel a outras formas de programação, como ao *Visual Basic for Application* (VBA), e com isso resolver problemas mais complexos de Engenharia como o cálculo de tensão em uma barra cilíndrica.

Existe ainda a possibilidade de baixar extensões da ferramenta, como a função *Solver*, que auxilia na resolução de problemas tentando encontrar valores ideais para células que contém fórmulas através da alternância de outras que estão conectadas a essa e adicionar restrições (JÚNIOR; SOUZA, 2004).

### 2.3.2 COMOS

O COMOS é um *software* comercial da Siemens voltado para a indústria de processos, é capaz de promover uma solução integrada entre as diversas disciplinas utilizadas para o gerenciamento de projetos desde o planejamento de uma fábrica até sua manutenção, focando principalmente nas áreas de processos, automação e elétrica.

A ferramenta possibilita que diferentes pessoas trabalhem de forma integrada, sendo possível a manipulação do projeto de forma simultânea, e através de mecanismos de revisões e versionamentos, a chance de ocorrer eventuais erros é reduzida. Também é possível a reutilização de plantas e diagramas padrões, que otimizam tempo e trabalho, tais informações possuem uma integração simplificada de dados com ferramentas de simulação de processos, tornando-a eficaz.

Para a organização do projeto o software se subdivide em quatro unidades internas: *Units*, *Location*, *Documents* e *Base objects*. Na aba *Units* tem-se a hierarquia do Processo, como pode ser visto na Figura 1, que é dividida em três pastas Barreiras do sistema, Substâncias puras e Unidades de Processo, além de conter um Diagrama de Bloco. Caso fosse criada uma unidade de projeto, voltado a automação e elétrica, obtêm-se a seguinte subdivisão Projeto > Planta > Unidade > Subunidade > Pastas categorizadas. É neste local que podem ser criados documentos como Diagramas de Blocos, Fluxogramas de Processo, lista de cargas e motores, entre outros.

Figura 1 - Visão da hierarquia de pastas na aba *Units* do COMOS.



Fonte: Plataforma COMOS.

Na aba *Locations*, os objetos são divididos de acordo com a sua localização, visto que as pastas são categorizadas de acordo com a divisão física da fábrica. Neste seguimento a

hierarquia apresentada é a seguinte: Projeto > Planta > Prédio > Andar > Sala > Painel. Os documentos gerados nesta segmentação são os diagramas uni e multifilares, de circuitos, para desenvolvimento de painel elétrico, entre outros.

Já, na aba *Documents*, é possível fazer a gestão documental do projeto, através de criação de pastas e subpastas, conforme for conveniente. Neste local são reunidos todos os documentos gerados a partir do COMOS, porém também é possível importar documentos externos para que esses fiquem organizados no mesmo local. Enquanto na parte de *Base objects* são organizados, de forma hierárquica todos os objetos presentes na base da plataforma.

A grande vantagem da utilização deste software é a concentração de dados e documentos do projeto em apenas um local. Além disso, caso haja alguma modificação em um objeto (em um motor ou em alguma substância que será utilizada) é possível replicar a alteração para todos os itens de uma única vez, não correndo o risco de esquecimento ou de passar horas fazendo um trabalho operacional.

#### 2.4 PROCESSO INDUSTRIAL DE DEGOMAGEM DE ÓLEOS VEGETAIS

A extração do óleo de soja bruto gera impurezas solúveis no próprio óleo que são conhecidas como gomas ou lodo. Essas gomas são constituídas por lecitina, fosfolipídios, metais complexos, pigmentos, ácidos graxos livres e peróxidos (WIEDERMANN, 1981). Para que se produza óleo de soja de boa qualidade é necessário que se tenha uma etapa de degomagem prévia ao refino, com o intuito de retirar, principalmente, os fosfolipídios contidos ali.

Os fosfolipídios representam de 1 a 3% da composição do óleo bruto e podem provocar alteração no sabor, cor, estabilidade da atividade oxidativa, reduzir a vida de prateleira, além de aumentar as perdas no processo de refino e, conseqüentemente, diminuir a produção de óleo refinado (GUPTA, 2017).

Segundo Sengar et al. (2014), os fosfolipídios podem ser classificados como fosfolipídios hidratáveis (FH) e fosfolipídios não hidratáveis (FNH). A degomagem com água retira os FH através do tratamento do óleo bruto com água deionizada, passando posteriormente por uma centrífuga. Já os FNHs precisam passar por um processo de degomagem ácida ou enzimática posteriormente.

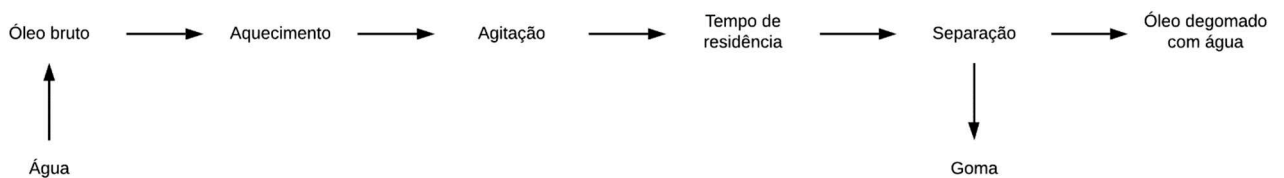
De acordo com Gunstone (2011), os FNH são, majoritariamente, originados da quebra dos FH que geraram sais de cálcio e magnésio dos ácidos fosfatídicos. Ele ainda

afirma que a umidade dos grãos, a atividade da fosfolipase D, o calor aplicado sobre a matéria-prima durante o processo de extração, e a ruptura da estrutura celular durante as etapas de quebra ou laminação são fatores correlacionados com a formação de FNH, e através do processamento adequado, isso pode ser minimizado.

### 2.4.1 Degomagem com água

Este processo ocorre com a adição de água quente ao óleo bruto auxiliado por uma agitação no tanque de mistura, com o intuito de auxiliar na formação das gomas. Após um determinado período o fluido é bombeado para um separador, que promove a divisão entre a goma e o óleo degomado, conforme mostrado na Figura 2 (SENGAR et al., 2014).

*Figura 2 – Esquema de degomagem com água do óleo.*



Fonte: Sengar et.al. (2014)

Para Gunstone (2011), a degomagem pode acontecer de duas formas, em batelada ou em um processo contínuo. Na primeira opção, é adicionado água a 70°C na mesma quantidade de FH, essa mistura é agitada e segue para a centrífuga. Já na segunda opção, o óleo e a água são misturados através de um agitador interno da tubulação e depois segue para um tanque de mistura, no qual fica de 15 a 30 minutos, antes de ir para a centrífuga.

De acordo com Ceci, Constenla e Crapiste (2008), este processo produz gomas mucilaginosas e quando essas são tratadas geram lecitina (emulsificante comumente utilizado na indústria alimentícia) ou são incorporadas à ração de animais, podendo gerar lucro a partir de um subproduto.

### 3 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo central apresentar a metodologia desenvolvida para implementar os balanços de massa e energia na Ferramenta Computacional COMOS (Siemens, Munique, Alemanha). Para facilitar o entendimento do método estruturou-se esta seção em seis partes. A primeira parte, denominada como Reconhecimento do Processo Industrial descreve-se as ações ou etapas preparatórias a formulação matemática das equações de balanço. Dando continuidade, a segunda subseção dedica-se a apresentar a abordagem proposta para formulação das equações de balanço, por exemplo, de massa e energia. Na terceira subseção é apresentado a abordagem utilizada para resolver o sistema de equações de balanço formulado. Na quarta subseção é dedicada a apresentação do COMOS, plataforma computacional utilizada neste trabalho. Dando continuidade, a sexta subseção descreve os documentos da disciplina de processos relacionados com o método aqui desenvolvido, *i.e.*, documentos entregáveis. Por fim, a última subseção apresenta uma rota executiva para aplicação do método.

#### 3.1 RECONHECIMENTO DO PROCESSO INDUSTRIAL

No contexto deste documento compreende-se como Reconhecimento do Processo Industrial como a etapa preparatória ao desenvolvimento das equações de balanço de massa e energia aplicado a todo e qualquer processo de transformação industrial. Esta etapa, por si só, consiste no levantamento preliminar das informações requeridas para a execução do serviço de engenharia em questão, por exemplo, Balanços de Massa e Energia. Este levantamento de informações, segundo Perlingeiro (2005), consiste em:

1. Definição dos equipamentos ou operações unitárias aplicadas ao processo;
2. Detalhamento das correntes de processo, incluindo seus componentes;
3. Proposição de fluxograma integrando as correntes de processo e seus equipamentos; e
4. Regime operacional: contínuo *vs.* descontínuo.

Naturalmente, o reconhecimento do processo industrial deve garantir requisitos econômicos, ambientais, ergonômicos e de segurança. Estes requisitos são traduzidos em um conjunto de indicadores que ao serem acoplados com os resultados das

equações balanço permitem uma análise quantitativa do processo, por exemplo: consumo específico de água, consumo de energia elétrica, quantidade de operadores, nível de qualidade dos produtos, volume específico de rejeitos e efluentes, dentre outros.

A metodologia, aqui proposta, divide a etapa de Reconhecimento do Processo Industrial em duas etapas, a saber:

1. Estudo do processo: consiste na revisão da literatura industrial comum ao processo em análise; procura-se identificar quais rotas produtivas são as mais consagradas e quais tecnologias são as mais promissoras. Via de regra esta etapa toma um significativo tempo, afinal, requer uma busca extensa por periódicos e histórico de patentes industriais.
2. Elaboração de diagramas de blocos: consiste na elaboração de um esquema ilustrativo das principais operações unitárias (blocos) e suas respectivas correntes materiais (produtos, matérias-primas, utilidades, etc.). Este desenho não apresenta escala e tem como função orientar a equipe execução do projeto. Para cada rota produtiva, pelo menos um diagrama de blocos é elaborado.

Nos subtópicos a seguir, apresenta-se mais detalhes sob cada um dos tópicos.

### **3.1.1 Estudo do processo**

#### *3.1.1.1 Revisão da Literatura*

A revisão da literatura, quando aplicada neste contexto, tem por objetivo identificar as principais rotas produtivas já utilizadas para realizar a transformação de uma matéria-prima em produtos. Nesta etapa é relevante buscar artigos científicos e patentes em bases de dados consagradas, tais como: SCOPUS, Google *acadêmico*, Portal de Periódicos da CAPES, entre outros. Neste trabalho em função da vasta quantidade de periódicos disponíveis, foi utilizado como Referência o Portal de Periódicos da CAPES.

### 3.1.1.2 Características das Matérias-primas, Reagentes e Produtos e Base de Cálculo

#### 3.1.1.2.1 Matérias-primas, Reagentes e Produtos

Os itens citados neste subtópico dependem principalmente de fatores externos a própria engenharia de processo, contudo essas definições são imprescindíveis para a continuidade do projeto. Eles podem ser divididos em dois seguimentos principais, de acordo com a forma em que cada um é escolhido: Matérias-primas e Reagentes; e Utilidades e Produtos.

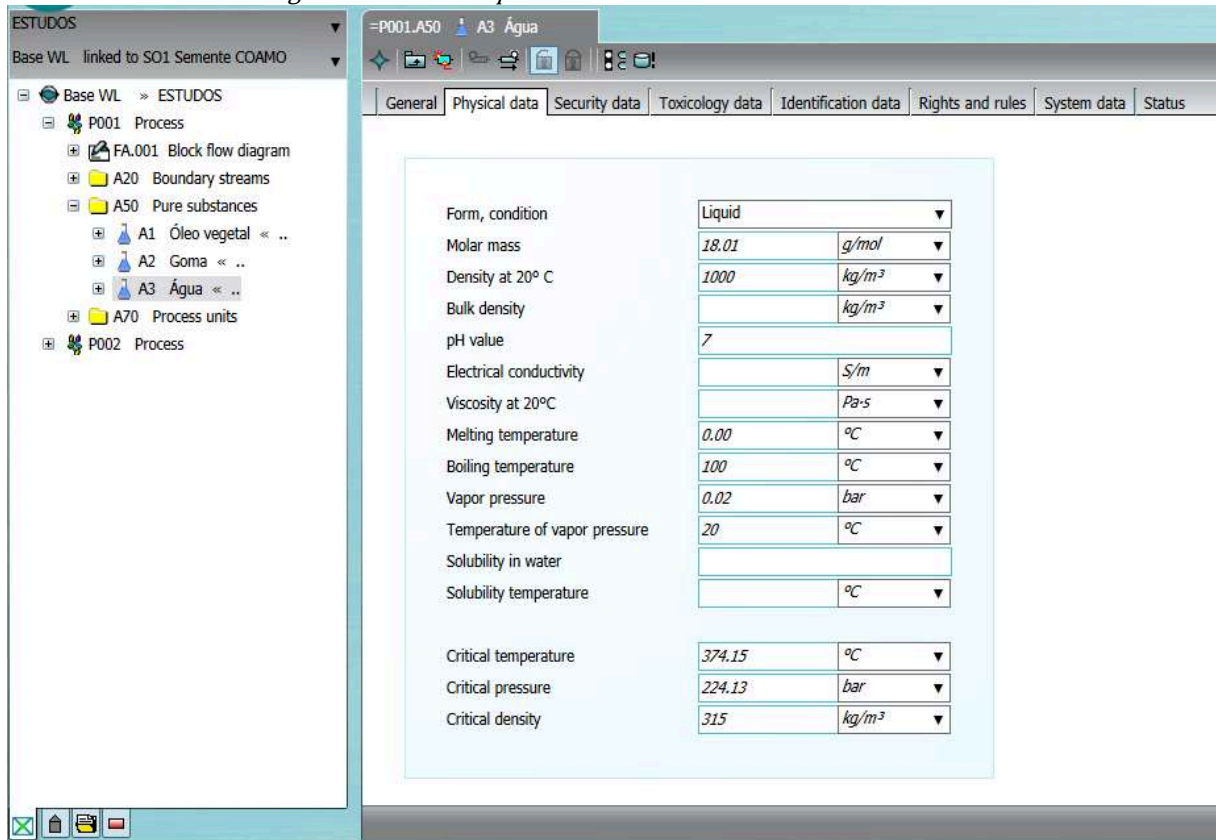
O primeiro item dependerá das opções ofertadas pelo mercado e do custo-benefício que cada uma oferece. Neste ponto é importante lembrar que dificilmente será possível melhorar uma matéria-prima que não é boa, assim essa escolha deve levar em conta o valor agregado do produto, o quão pura a substância precisa ser, a compatibilidade do reagente e sua eficiência, o nível de processamento prévio que esses precisarão ter antes de serem acrescentados ao processo principal, entre outros que podem ser relevantes.

As utilidades serão definidas pelo próprio cliente, dependerá das outras unidades da indústria e quais as condições (temperatura, pressão, ...) que esta seção poderá fornecer. Tendo essa informação, cabe ao engenheiro determinar a quantidade e em quais equipamentos esse material (normalmente água ou vapor) será utilizado. Da mesma forma, como nas utilidades, o produto também será escolha do cliente, e dependerá do público-alvo e das necessidades do mercado. Já os subprodutos oriundos do processamento poderão ser vendidos para beneficiamento, reaproveitados no processo (caso seja possível) ou descartados. Dependendo da natureza química deste, pode haver a necessidade de um tratamento prévio antes de destinar o subproduto ao local escolhido.

As informações necessárias referentes a cada um dos itens, para o cálculo do balanço de massa e energia, poderão ser obtidas em catálogos com os fornecedores, artigos científicos e livros relacionados ao assunto.

O *software* comercial utilizado para a realização deste trabalho, o COMOS, possui um local específico para o armazenamento de tais informações. Ao criar uma unidade de processo, as subpastas já são pré-configuradas, assim na pasta “A50 Pure substances” são alocadas as substâncias que irão compor as correntes do processo. Ao abrir cada uma, na aba “Physical data” são adicionados os dados coletados, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Tela de input de dados das substâncias no COMOS.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Contudo, as correntes de matéria-prima e produtos normalmente são compostas por mais de uma substância, assim na pasta “A70 Process Units” está localizada a subpasta “A60 Process streams”, onde estão todas as correntes de processo utilizadas para a construção do PFD, ao abrir a corrente desejada são observadas três opções, como é um dado inicial seleciona-se o item “DESIGN Design Case” e arrasta-se as substâncias cadastradas na pasta A50 que compõem a corrente em aberto. Observe, na Figura 4, que os dados colocados anteriormente já aparecem.



Figura 4 – Composição das correntes no COMOS.

Object	Component	Mass flow [kg/s]	Mass fraction [kg/kg]	Molar flow [mol/s]	Molar fraction [mol/mol]	Molar mass
MAP001	Óleo vegetal					0.8748
MAP002	Goma					
MAP003	Água					0.01801
						Σ = 0
						Σ = 0

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### 3.1.1.2.2 Base de Cálculo

Para se iniciar a resolução dos balanços de massa e energia é importante que se tenha uma base de cálculo, podendo ser a vazão inicial, ou seja, a vazão com que os reagentes entram no sistema, ou a produção que se deseja obter ao final de um determinado período, dessa forma o balanço é feito “de trás para frente” (do último equipamento para o primeiro). Tal base é necessária para se fazer, posteriormente, uma análise econômica e definir qual será a quantidade de produto processado por hora ou dia. A base de cálculo também inclui as taxas de reação, as horas de operação da fábrica, as temperaturas utilizadas para a realização dos balanços de energia.

É interessante que sejam feitos balanços para diferentes bases de cálculo visto que condições externas do projeto ou reagentes podem sofrer alterações, por exemplo, em algumas regiões as temperaturas externas oscilam muito entre o verão e o inverno, um catalizador que vai perdendo eficiência no decorrer da sua vida útil, a incrustação que pode ocorrer em alguns equipamentos, diminuindo a sua eficiência ou aumentando as perdas, entre outras.

A comparação para essas diferentes bases pode ser feita através de uma tabela na qual todos os dados são compilados, ou em tabelas diferentes, onde cada uma apresenta a

mesma base inicial e a diferença nos cálculos a partir das considerações apresentadas no parágrafo anterior, ou até mesmo através de gráficos.

### 3.1.1.3 *Levantamento de Propriedades Físico-químicas e Coeficientes Técnicos*

No levantamento das propriedades físico-química e coeficientes técnicos do processo, leva-se em conta os aspectos mais significantes no que diz respeito as condições fenomenológicas e termodinâmicas do processo. Nesta etapa busca-se obter:

1. Expressões cinéticas e suas respectivas constantes nas condições mais próxima de processo;
2. Curvas de equilíbrio termodinâmico entre fases;
3. Coeficientes de transporte, tais como coeficientes convectivos, difusivos, entre outros.
4. Constantes termodinâmicas dos componentes puros, por exemplo massa molecular, fator acêntrico, pressão crítica, temperatura crítica, etc;
5. Funções termodinâmicas dependentes de temperatura.

Em função da elevada complexidade das interações moleculares (químicas e/ou bioquímicas) entre os distintos componentes é inevitável, na maioria das vezes, recorrer a experimentos de bancada ou estimar alguns parâmetros em gerenciadores de pacotes termodinâmicos, como o TEA *Thermodynamic for Engineering Applications* (software livre e gratuito).

Neste trabalho para o levantamento das propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos foi utilizado a seguinte abordagem:

1. Parâmetros termodinâmicos de componentes puros e curvas de equilíbrio líquido-vapor, utiliza-se o TEA como ferramenta de consulta;
2. Curvas de equilíbrio sólido-líquido e expressões e coeficientes cinéticos, investiga-se na literatura;
3. Coeficientes técnicos característicos de processo, por exemplo parâmetros de eficiência ou de dimensionamento em geral são investigados em manuais e catálogos de fornecedores do processo e/ou tecnologia.

É importante deixar claro que foge do escopo deste método a proposição/realização de experimentos de bancada ou em planta piloto para levantamento dos parâmetros mencionados acima.

#### 3.1.1.4 *Descritivo de Processo*

O descrito do processo é o documento auxiliar para a leitura e interpretação dos fluxogramas de processo, descrevendo as operações unitárias e o fluxo que esse deve seguir. É composto por introdução, seguido de tópicos e subtópicos, onde cada um representa uma área e subáreas, respectivamente. Nesses são apresentados os equipamentos com sua descrição (nome) e identificação (TAG), neste memorial não é necessário colocar características específicas, como a potência. Este documento normalmente é digitado em Word e impresso em formato A4.

Para o tagueamento dos equipamentos não existe uma regra, cada empresa normalmente segue um padrão próprio. No presente trabalho foi utilizado a TAG proposta pelo *software* COMOS, visto que quando os equipamentos são criados na plataforma eles são automaticamente tagueados.

Outro ponto relevante, é que seja estabelecido o sistema de unidades que será adotado na fábrica, para que se evite ficar fazendo conversões, visto que isso pode gerar erros. No Brasil, normalmente, usa-se o Sistema Internacional (SI), porém caso seja um projeto para empresas com sede em outros países pode ser que seja solicitado que todos os dados estejam no sistema americano, britânico ou outros.

### **3.1.2 Elaboração dos Fluxogramas do Processo**

#### 3.1.2.1 *Diagrama de Blocos*

Na elaboração de diagramas de bloco, via de regra, representa-se cada uma das operações unitárias como blocos e suas correntes de entrada e saída através de linhas.

A princípio não existem regras para a elaboração de diagramas de bloco, todavia é importante seguir algumas boas práticas conforme descrito na literatura (TURTON et al., 2008). Abaixo, elencam-se as regras utilizadas para a elaboração do diagrama de blocos neste trabalho foram:

1. O fluxo de informação, ou seja, correntes de processo deverá sempre iniciar na esquerda do campo do desenho;
2. As correntes de entrada junto ao desenho deverão apresentar bandeirolas indicando o tipo de material em questão. Por exemplo, água de lavagem;
3. Caso o diagrama de bloco seja composto por mais de uma folha, então, adota-se que as correntes comunicantes entre si deverão apresentar uma indicação de comunicação entre os desenhos;
4. Em hipótese alguma, uma linha de processo ou corrente material, deverá estar presente num diagrama sem estar ligada a um bloco;
5. As linhas de processo e os blocos deverão apresentar, desde o início, uma nomenclatura (TAG). Para os blocos, além do TAG, rotula-se o nome da operação unitária em questão.

Segundo Towler e Sinnott (2013) os diagramas de blocos são desenhados em ferramentas computacionais de amplo uso comercial, MS-Power Point, MS-Visio ou até mesmo MS-Excel. Apesar desta prática ser a mais adotada, neste trabalho utiliza-se o módulo *FEED (Front-End-Engineering-Design)* do COMOS que contempla uma estrutura orientada-objeto para construir o fluxograma. No Apêndice (1), Implementação de Diagrama de Blocos no COMOS FEED, apresenta-se o detalhamento das etapas requeridas para construção do fluxograma.

### 3.1.2.2 *Process Flow Diagram (PFD)*

O Diagrama de Fluxo de Processo é uma evolução do diagrama de bloco, fornecendo mais informações de design e operação. Nesta etapa os equipamentos já estão especificados de forma ilustrada. De acordo com Towler e Sinnott (2013), a norma interacional padrão para o desenho dos símbolos em um PFD é a ISO10628, que é muito utilizada na Europa, porém é normal que cada empresa use o seu padrão para de documento, visto que poderia custar caro a conversão de todos os desenhos.

Alguns equipamentos têm símbolos específicos e não devem ser trocados, pois podem causar confusão ou uma interpretação errônea para quem lê, por exemplo um agitador em linha e um agitador de sólidos, que são utilizados para diferentes situações, mas possuem a mesma função.

### 3.1.3 Síntese das Ações na Etapa de Reconhecimento do Processo

Abaixo elencam-se as principais etapas delimitadas no Reconhecimento do Processo Industrial:

1. Revisão da literatura industrial e científica em busca das rotas produtivas mais consagradas;
2. Síntese dos fenômenos físico-químicos atuantes no processo;
3. Especificação material das matérias-primas, reagentes e produtos/subprodutos;
4. Definição da base de cálculo;
5. Levantamento das propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos;
6. Escolha do sistema de unidades que será utilizado;
7. Construção do diagrama de blocos (BFD) no COMOS -FEED de acordo com as regras apresentadas na subseção 3.1.2.
8. Redação do descritivo do processo;

## 3.2 FORMULAÇÃO DOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA

O balanço de massa e energia, junto com as relações de equilíbrio de fases e expressões para cálculo (de propriedades, taxas e coeficientes), são denominados modelo do equipamento, e descrevem os fenômenos que orientam o comportamento do sistema. Através deles foram calculadas as saídas de processo.

### 3.2.1 Balanço de Massa

Segundo Felder e Rousseau (2014), as únicas explicações para a diferença de medições de massa de um determinado composto nas correntes de entrada e saída de um processo são o consumo do reagente, geração de produto ou acúmulo dentro da unidade. Assim, a descrição geral de um balanço de massa em um sistema é:

$$\textit{entrada} + \textit{geração} - \textit{saída} - \textit{consumo} = \textit{acúmulo} \quad (3.1)$$

Sendo:

- Entrada: entra através de uma fronteira do sistema
- Geração: produzido no sistema
- Saída: sai através de uma fronteira do sistema
- Consumo: consumido no sistema
- Acúmulo: retido dentro do sistema

Após a realização dos balanços, é necessário resolvê-los, para isso é preciso ter uma base de cálculo seja da corrente ou de alguma das componentes. Caso tenha mais de uma componente, deve-se saber também qual a porcentagem ou fração molar de cada uma delas. As equações podem ser resolvidas partindo-se do início do processo, quando se estipula a vazão de entrada, ou de trás para frente, começando do último equipamento, quando o estipulado é a produção ao final do período.

Com as correntes, componentes e base de cálculo previamente definidas, determina-se quais variáveis são condições de processo e quais serão calculadas, denominadas de “saída”. Então, se necessário, converte-se todos os dados para a mesma base, por exemplo se foi definido que será trabalhado com taxa mássica em kg/h, todas as componentes de massa deverão estar expressas nessa unidade.

### 3.2.2 Balanço de Energia (Entalpia)

Os balanços de energia têm como fundamento a primeira lei da termodinâmica, que parte de um pressuposto similar a lei da conservação de massas, expressando que a energia pode ser transformada, mas nunca criada ou destruída dentro de um sistema, e podendo ser descrita como:

$$\textit{energia final} - \textit{energia inicial} = \textit{energia líquida transferida} \quad (3.2)$$

Podendo ser definidas como:

1. Energia inicial: taxa em que a energia é transportada para dentro do sistema, considerando energia cinética, potencial e interna somada a energia que entra como calor.

2. Energia final: taxa na qual a energia é carregada para fora do sistema através das correntes de saída junto com a energia que é transformada em trabalho.
3. Energia líquida do sistema: acúmulo de energia.

Para um sistema aberto no estado estacionário, como o caso em que a metodologia será aplicada, a equação pode ser reduzida a:

$$\textit{entrada} = \textit{saída} \quad (3.3)$$

Neste caso a entrada simboliza a taxa de todas as formas de energia (cinética, potencial, interna e calor) que estão adentrando no sistema, e a saída representa a taxa de evasão de energia do processo somado a taxa de transferência de energia como trabalho.

### 3.2.3 Análise de graus de liberdade e equações de fechamento de balanço

De acordo com Perlingeiro (2005), a análise de graus de liberdade é feita objetivando que o sistema que está sendo resolvido no momento tenha uma solução consistente e, de preferência, única. O cálculo para realizar tal análise envolve os seguintes elementos:

- Número de equações ( $N_{eq}$ ): número de equação livres no modelo.
- Número de variáveis repetidas ( $N_{rep}$ ): variáveis estão presentes em sistemas balanços de sistemas anteriores. Como os problemas são resolvidos por blocos, a corrente de saída de um bloco é entrada para o próximo, isso gera uma repetição de variáveis.
- Número de incógnitas ( $N_{inc}$ ): variáveis desconhecidas que podem ser modificadas ao longo do projeto.

4.

Para calcular o grau de liberdade utiliza-se a fórmula:

$$G.L = N_{inc} - N_{eq} - N_{rep} \quad (3.4)$$

Se  $G.L = 0$  o problema é considerado consistente determinado, admitindo uma única solução. Se  $G.L > 0$  considera-se o problema consistente indeterminado, possuindo uma

infinitude de soluções. Nesse caso, deve-se utilizar equações de fechamento de balanço ou estipular metas (set-point) para que se obtenha uma solução satisfatória.

### 3.2.3.1 Equações Constitutivas ou de Fechamento de Balanço

Quando o resultado da equação para calcular o grau de liberdade for diferente de zero, é necessário que se determine quais equações ou premissas auxiliam na resolução do problema. Uma das formas de estipulá-las é através da termodinâmica, fenômenos de transferência e/ou e, como a equação de Antoine, Lei de Raoult, Equilíbrio de fases, entre outras, que podem ser úteis quando se conhece outros parâmetros, como pressão de vapor da substância, pressão absoluta do sistema, etc.

Outra forma é através das premissas ou *set-points* estabelecidos, por exemplo, se em um reator é colocada uma substância considerada inerte, a massa de entrada dessa é exatamente igual a massa de saída, ou seja,  $m_{entrada}=m_{saída}$ . Ou a temperatura desejada para a saída de um líquido de um aquecedor é igual a 70°C, é criada uma equação:  $T_s = 70$  ou  $T_s - 70 = 0$ .

Ao final, o número de equações novas apresentadas deve ser igual ao número resultante do grau de liberdade para que o sistema possua uma única solução.

## 3.2.4 Síntese das Ações Relacionadas a Formulação dos Balanços de Massa e Energia Térmica

5.

1. Escrever o balanço de massa de cada equipamento;
2. Escrever o balanço de energia;
3. Calcular os graus de liberdade;

## 3.3 ABORDAGEM NUMÉRICA PARA A SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES

Existem inúmeros softwares comerciais que auxiliam a encontrar uma solução para as saídas dos balanços de massa e energia, para a realização deste trabalho foi utilizado o Excel versão 1909 do Pacote Office devido ao custo envolvido e a facilidade de replicação.

O balanço de massa e energia deve ser realizado simultaneamente, porém com um equipamento por vez. Sugere-se que seja usada uma aba do software para cada resolução.



### 3.3.1 Criação do Desenho Orientativo

Para iniciar a implementação no Excel é importante que sejam estabelecidos alguns padrões de forma do desenho, onde serão posicionados os cálculos das correntes e constantes do processo, visto que isso auxiliará durante a resolução dos problemas.

O próprio software oferece a opção de inserir formas, que facilitam o processo do desenho, porém também é possível utilizar a mesclagem de células e o contorno utilizando as bordas. Este desenho, que pode ser qualquer forma geométrica, representa o equipamento e normalmente é posicionado ao centro.

### 3.3.2 Implementação das Correntes de Processo no Excel

Ao redor do desenho central são posicionadas as tabelas de correntes de processo, que são ligadas a figura que representa o equipamento através de uma seta, para ficar mais visual e facilitar o entendimento do que é corrente de entrada e de saída. As tabelas devem conter as componentes, a temperatura e pressão que a corrente está, densidade (se possível) e o fluxo volumétrico listados na primeira coluna. Nas colunas seguintes são adicionados a massa molar, o fluxo mássico, o fluxo molar, a fração molar, a entalpia específica (propriedade intensiva) e entalpia (propriedade extensiva) de cada componente, e numa linha abaixo de todas as componentes é indicado que se tenham os totais do fluxo mássico, molar e entalpia.

### 3.3.3 Aplicação do Solver Para a Solução do Sistema de Equações

Com as tabelas posicionadas e devidamente preenchidas, é iniciado o processo para solucionar as equações. Em alguma célula da planilha, que fique de fácil manipulação, é escrito o balanço de energia, em seguida o balanço de massa de cada componente, e por fim, se for aplicável, as equações de fechamento de balanço. É importante que tais células estejam identificadas, para que não haja equívocos, e que seja seguido um padrão para todos os equipamentos.

Então é utilizado o Solver do Excel, onde é adicionado objetivo e as restrições do problema. Na versão utilizada foram apresentados três métodos para a solução das equações:

GRG não-linear, LP Simplex e Evolutionary. Para este caso foi escolhida a primeira opção, devido a sua aplicabilidade para a resolução de problemas consistentes indeterminados, ou seja, com mais de uma possível resposta, assim analisa-se o valor obtido, e caso não seja satisfatório, faz-se uma nova tentativa de iteração. Para Salgado Filho (2014), o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) foi desenvolvido para solucionar problemas não-lineares com restrições lineares, no qual as constantes são linearizadas através de matrizes jacobianas. O *Solver* irá parar de fazer iterações quando a célula que foi denominada como objetivo tiver uma diferença menor do que o valor de convergência escolhido (podendo variar entre 0 e 1) nas últimas 5 iterações, independente de chegar ao resultado desejado ou não. Em caso de não convergência aparecerá uma mensagem dizendo que o Solver não encontrou uma solução viável, já em casos de convergência os valores das células variáveis serão reajustados ao valor que foi considerado satisfatório para a solução do problema.

Se a ferramenta não conseguir convergir o problema deve-se verificar se as equações de balanço, propriedades físico-químicas, parâmetros do sistema e unidades de medida estão corretos. Caso não estejam certos, devem ser corrigidos, porém em caso afirmativo, deve-se estimar um valor para uma das variáveis não especificadas e tentar utilizar a função *Solver* novamente.

#### 3.3.4 Síntese das ações

1. Desenhar o bloco representando o equipamento e as correntes de entrada e saída.
2. Elaboração das tabelas das correntes de entrada e saída.
3. Preenchimento dos valores relevantes para a resolução dos balanços;
4. Destacar as células que são valores de entrada, saída e quais serão calculadas.
5. Calcular os valores das entalpias.
6. Escrever os balanços de massa (de cada componente) e de energia em células diferentes que sejam viáveis para se mexer na planilha e manipular os valores.
7. Resolver os balanços através da função *Solver* especificando a célula que deve alcançar o objetivo, e então definir o valor igual a zero para a célula objetivo. Após isso, adicionar as restrições e selecionar o método GRG não-linear.

8. Caso não haja uma convergência, rever as equações de balanço, os valores das propriedades físico-químicas, parâmetros do sistema e as unidades de medida. Se tudo estiver correto e ainda assim não convergir, estimar uma das variáveis não especificadas e usar o Solver novamente.

### 3.4 FLUXO DE INFORMAÇÃO ENTRE AS PLATAFORMAS

Praticamente todos os dados de parâmetro das substâncias e resultados do cálculo dos balanços de massa e de energia estão presentes nos dois *softwares* utilizados: Excel e COMOS. Para que essas informações estejam de acordo é necessário que haja uma comunicação entre as plataformas utilizadas.

O COMOS, em específico, tem uma série de subdivisões de pastas as quais requerem que determinados dados estejam posicionados corretamente, para isso, foi elaborado o *Quadro 1* com o intuito de facilitar a alocação das informações.

*Quadro 1 – Locais para armazenamento de dados no COMOS.*

<b>Dados no Excel</b>	<b>Local para armazenar no COMOS</b>
Propriedades físicas das substâncias: <ul style="list-style-type: none"> <li>• forma ou condição;</li> <li>• massa molar;</li> <li>• densidade a 20°C;</li> <li>• densidade do bulk;</li> <li>• pH;</li> <li>• condutividade elétrica;</li> <li>• viscosidade a 20°C;</li> <li>• temperatura de fusão;</li> <li>• temperatura de ebulição;</li> <li>• pressão de vapor;</li> <li>• temperatura da pressão de vapor;</li> <li>• solubilidade em água;</li> <li>• temperatura da solubilidade;</li> <li>• temperatura crítica;</li> </ul>	Pasta “A50 <i>Pure substances</i> ” Adicionar os dados em cada componente de forma separada.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• pressão crítica;</li> <li>• densidade crítica;</li> </ul>	
<p>Informações das correntes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• resultados da resolução do balanço de massa e de energia <ul style="list-style-type: none"> <li>○ fluxo mássico, molar e volumétrico;</li> <li>○ entalpias (propriedade extensiva);</li> </ul> </li> <li>• propriedades físico-químicas das correntes: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ massa molar;</li> <li>○ Cp e Cv (mássico e molar);</li> <li>○ viscosidade;</li> <li>○ viscosidade cinemática;</li> <li>○ fator acêntrico;</li> <li>○ fator de compressibilidade</li> <li>○ temperatura de ebulição;</li> <li>○ pressão de ebulição;</li> <li>○ entre outros...</li> </ul> </li> </ul> <p style="text-align: center;">6.</p>	<p>Pasta “A70 <i>Process Units</i>” &gt;  “A60 <i>Process streams</i>” &gt;  selecionar corrente desejada &gt;  <i>Design case</i></p>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os campos com as informações foram preenchidos de forma manual no PFD e passados para o BFD através de um campo que permite a integração dos dados, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Integração de dados entre PFD e BFD.

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

### 3.4.1 Síntese das Ações do Fluxo de Informação Entre as Plataformas

1. Colocar os dados do Excel nos locais indicados no COMOS.

## 3.5 DOCUMENTOS DA DISCIPLINA DE PROCESSOS CONTEMPLADAS PELO MÉTODO

Este capítulo foi baseado na apostila de Engenharia de Projetos Industriais elaborada pelo professor Ricardo Prado Tamietti.

Dentro de uma empresa ou indústria a área de Engenharia de Processos tem diversos entregáveis para que esta possa operar de acordo com a legislação e manter o desempenho esperado. O Quadro 2 apresenta os documentos que, segundo Tamietti (2009), são de responsabilidade da equipe de Processos, conforme descritos na seção 2.1 SERVIÇOS ATRELADOS A DISCIPLINA DE PROCESSOS, e os documentos que serão abordados neste trabalho, visto que o foco é a aplicação no processo de degomagem de óleo de soja.

*Quadro 2 – Documentos de engenharia de processos utilizados na aplicação deste trabalho.*

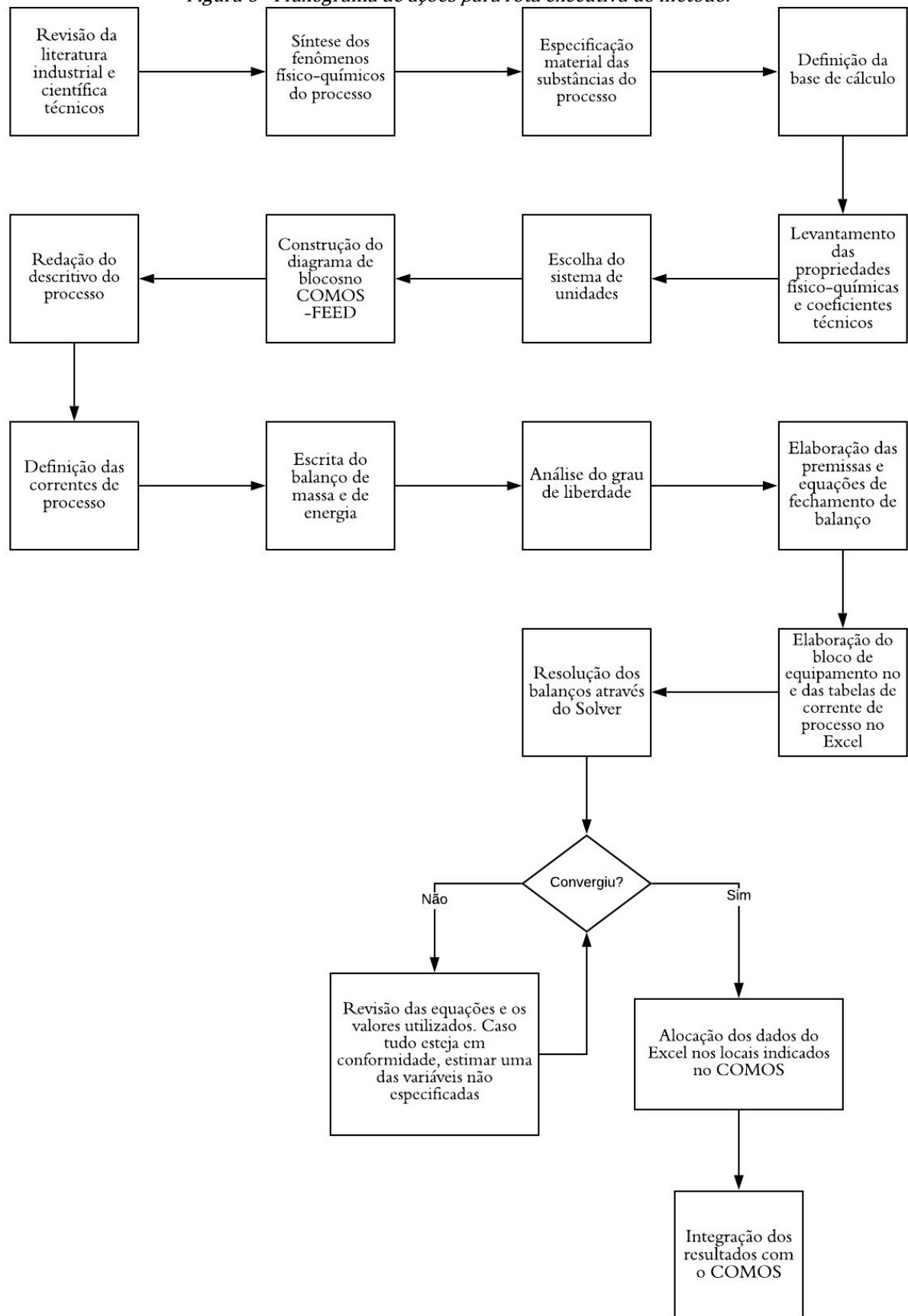
Documentos de acordo com Tamietti	Documentos descritos no trabalho
Relatório Técnico-Econômico	X
Memorial de Cálculo	✓
Relatório Técnico dos Equipamentos Principais (Descritivo do Processo)	✓
Fluxograma de Processo	✓
Fluxograma de Produção	X
Balanços de Massa	✓
Balanços de Energia e Utilidades	✓
Arranjo Geral da Instalação ou Plano Diretor	X
Arranjos Gerais de cada Unidade e/ou Equipamento	X
Especificações Técnicas	X
Diagramas de Quadros e Cargas	X
Desenho	X
Relatório Técnico das Funções de Controle e Supervisão	X

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 3.6 SÍNTESE DAS AÇÕES – ROTA EXECUTIVA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Nos tópicos anteriores foi apresentado o método criado para a implementação do balanço de massa e de energia no software comercial COMOS, para fins de sintetizar e auxiliar na replicação desse, este item apresenta um fluxograma, através da Figura 6, as ações a serem executadas. Posteriormente, no capítulo 4, será apresentado este método aplicado a um processo industrial de degomagem de óleo de soja, seguindo o passo-a-passo contido neste fluxograma.

Figura 6 - Fluxograma de ações para rota executiva do método.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO – APLICAÇÃO NO PROCESSO DE DEGOMAGEM DE ÓLEO DE SOJA

Os resultados apresentados neste capítulo derivam da aplicação da metodologia especificada anteriormente aplicada ao processo de degomagem do óleo de soja.

### 4.1 RECONHECIMENTO DO PROCESSO INDUSTRIAL

Esta etapa consiste em determinar os equipamentos necessários para o processo, a composição das correntes e o fluxo que o óleo de soja bruto deve seguir. Para isso, o tópico foi dividido de acordo com as ações propostas na Figura 6 com o intuito de facilitar a visualização dos resultados obtidos a partir da metodologia proposta e que esta é eficaz.

#### 4.1.1 Revisão da Literatura Industrial e Científica

A revisão da literatura do processo de degomagem do óleo de soja pode ser encontrada capítulo 2, a partir do tópico 2.4 PROCESSO INDUSTRIAL DE DEGOMAGEM DE ÓLEOS VEGETAIS. Para a realização desta revisão foram utilizados principalmente apostilas e manuais da indústria que serviu como base para a aplicação, o livro *Practical Guide to Vegetable Oil Processing*, escrito por Monoj K. Gupta e os artigos científicos, como: *Oil recovery and lecithin production using water degumming sludge of crude soybean oils*, *Degumming of rice bran oil*, *Optimization of degumming parameters in chemical refining process to reduce phosphorus contents in kenaf seed oil*, entre outros.

O livro e os artigos citados acima, podem ser encontrados na referência deste trabalho.

#### 4.1.2 Síntese dos fenômenos físico-químicos atuantes no processo

A degomagem com óleo de soja utilizando apenas água é trivial para a indústria e é constituída por poucas operações unitárias, também não é observada a presença de reações químicas, podendo descrever a interação dos componentes apenas através de fenômenos físicos.



Em termos de operações, o processo descrito no item 4.1.8 é composto por duas refrigerações, dois aquecimentos, duas agitações, uma centrifugação e uma secagem (neste caso, utilizando redução de pressão), essas estão especificadas nos itens abaixo. Cabe a esta aplicação, apenas uma breve descrição sobre os processos utilizados, não abrangendo a fundo as termodinâmicas envolvidas como também o dimensionamento dos equipamentos.

- Resfriamento: esta operação unitária ocorre devido a transferência de calor por meio de condução entre dois fluidos que possuem um gradiente de temperatura, nesse caso, entre óleo quente e água e torre. Um resfriador faz com que essa troca aconteça de forma indireta, ou seja, há uma barreira separando os fluidos, assim, é impossível com que se chegue a equilíbrio termodinâmico entre a água e o óleo, visto que para isso acontecer seria necessário um trocador de calor de área infinita.  
7.
- Agitação: o processo é composto por dois agitadores, um misturador estático presenta na tubulação e um tanque de agitação, que através de impelidores ou turbinas conseguem alcançar o objetivo: aumentar o contato entre os dois líquidos de modo que os fosfolipídios sejam hidratados, se aglutinem e possam ser separados posteriormente.
- Centrifugação: a centrífuga é localizada logo após os misturadores, é nela onde ocorre o processo de separação da goma, que agora está aglomerada em uma micela composta por fosfolipídio e água, e o óleo. Uma centrífuga auxilia em processos de decantação que poderiam demorar, através de um movimento circular, a força centrífuga (promovida pela aceleração) age sobre as partículas fazendo com que estas se separem do restante da solução.  
8.
- Secagem: no processo implementado pela Crown Iron a secagem é dividida em dois estágios, primeiramente o óleo passa por um trocador de calor (para ter sua temperatura elevada) e depois é submetido a uma brusca redução de pressão, conhecido como *Flash*. De acordo com Smith, Van Ness e Abbot (2007) esse fenômeno de *Flash* ocorre quando um líquido, neste caso a água, está a uma pressão maior ou igual a pressão no ponto de bolha e então é

parcialmente evaporado quando a sua pressão é reduzida, assim é formado um sistema bifásico e tem-se um equilíbrio entre as fases vapor e líquido.

### 4.1.3 Especificação material das matérias-primas, reagentes e produtos/subprodutos

#### 4.1.3.1 Matérias-primas

Entende-se por matéria-prima o óleo bruto que vem do setor de extração a 105°C e 101,3 kPa, para este trabalho foi considerado que esse é composto basicamente por óleo (puro) e goma. Segundo Gupta (2017), tem-se de 1,1 a 3,2% de fosfolipídios no óleo de soja bruto, assim, adotou-se um valor médio de 2% de fosfolipídios contidos na vazão de entrada. Desse valor, 10% correspondem a fosfolipídios não-hidratáveis, ou seja, não serão retirados no processo de degomagem com água, e os outros 90% são referentes aos fosfolipídios hidratáveis. Na elaboração deste, foi utilizada a premissa de que a goma é composta apenas pelos dois tipos de fosfolipídios. Para uma melhor visualização dos dados apresentados foi elaborada a Tabela 1.

*Tabela 1 – Composição da matéria-Prima utilizada neste trabalho.*

<b>Composição do Óleo Bruto</b>	<b>Subcomponentes</b>	<b>Porcentagem</b>
Óleo (puro)		98%
Goma		2%
	Fosfolipídios hidratáveis	90%
	Fosfolipídios não hidratáveis	10%

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.1.3.2 Reagentes e Utilidades

Como na etapa de degomagem com água não ocorre reação química, não são encontrados reagentes no processo. Porém, existem inúmeras operações de troca de calor que utilizam vapor provindo da seção de Utilidades e Água de Torre. Na Tabela 2 abaixo são encontradas as especificações de cada uma.

Tabela 2 – Especificações das Utilidades e Água de Torre.

<b>Propriedades</b>	<b>Indicador</b>
<b>Utilidades</b>	
Temperatura	143°C
Pressão	405,3kPa
<b>Água de Torre</b>	
Temperatura	25°C
Pressão	101,3kPa

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.1.3.3 Produtos e subprodutos

O produto principal desta fase do processamento é entendido como o óleo degomado que seguirá para a etapa de neutralização, a composição do produto foi elaborada a partir de relações estequiométricas entre a corrente que entra e as que saem da centrífuga. Dessa forma, estipulou-se que todo fosfolipídio é convertido em goma, e que é necessário um mol de água para converter um mol de fosfolipídio em goma. Ainda foi considerado uma retenção de 7% de óleo na goma. Pode-se observar na Tabela 3 a compilação dos resultados.

Tabela 3 – Composição dos produtos e subprodutos com relação a corrente total.

<b>Propriedades físicas e composição</b>	<b>Indicador</b>
<b>Óleo degomado</b>	
Temperatura	70°C
Óleo (puro)	98%
Goma	0%
Água	2%
<b>Lecitina</b>	
Temperatura	70°C
Óleo (puro)	78%
Goma	22%
Água	0%

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.1.4 Definição da base de cálculo

Para a definição da base de cálculo considerou-se uma indústria que processa 3000 toneladas de grãos de soja por dia, que estes possuem um teor de óleo bruto de 20%, e que rendimento obtido é de 99%. A partir dessas informações, obtêm-se uma capacidade de processamento de 24.750 kg de óleo bruto por hora.

#### 4.1.5 Levantamento das propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos

Para a realização dos cálculos de balanço de massa e energia são necessárias algumas propriedades físico-químicas das substâncias utilizadas, e para algumas equações de fechamento de balanço é preciso encontrar coeficientes técnicos. Existem alguns softwares e páginas na Internet que auxiliam nessa busca, porém para determinados dados é preciso que se procure em artigos científicos publicados ou se obtenham eles diretamente com o fornecedor.

A matéria-prima estudada nesta aplicação foi o óleo de soja bruto, sendo considerado que este é composto apenas por óleo de soja (puro) e goma. Devido à falta de literatura sobre as propriedades físico-químicas da goma/lecitina, estimou-se que os dados dessa são iguais aos obtidos para o óleo de soja. De acordo com a massa molar do óleo de soja é igual a 874,8 g/mol. Já para as correntes com mistura de óleo e água, o calor específico ( $C_p$ ) desta substância foi obtido a partir do *handbook* elaborado por Erickson (2015), o qual traz valores de  $C_p$  para algumas variações de temperatura, as temperaturas utilizadas que não estão na tabela foram interpoladas linearmente a partir dos valores contidos nessa. Porém, para as correntes puras com água ou vapor foi utilizado o *software* TEA. Foram utilizados dois valores como base dentro de intervalos de temperatura, como pode ser visto na Tabela 4, devido as altas variações de temperaturas que o óleo sofre no processo.

As propriedades físicas da água, por ser amplamente utilizada, são mais fáceis de serem encontradas. A massa molar utilizada, que pode ser calculada a partir da tabela periódica ou consultada em livros, foi 18 g/mol. Para o calor específico da água foi utilizado o valor de 4,18 kJ/kg°C, enquanto para o vapor d'água foi utilizado 2,01 kJ/kg°C. Já o delta H de vaporização da água foi calculado a partir da tabela F1 – Vapor d'água saturado (unidades SI) do livro “Introdução a Termodinâmica para Engenharia Química”, utilizando a diferença dos valores das entalpias entre o vapor saturado e o líquido saturado, sendo obtido um valor de  $\Delta H^v=2256,9$  kJ/kg°C.

Os cálculos para encontrar a temperatura do vapor d'água foram feitos a partir da Equação de Antoine, a qual possui a fórmula escrita abaixo. As constantes A, B e C utilizadas foram tiradas do artigo “Vapor Pressure Data of Soybean Oil, Castor Oil, and Their Fatty Acid Ethyl Ester Derivatives” (NDIAYE et al., 2005).

$$\log_{10}(P) = A - \frac{B}{(T+C)} \quad (4.1)$$

*Tabela 4 - Propriedades físico-químicas e coeficientes técnicos.*

<b>Substâncias/Parâmetros</b>	<b>Indicador</b>
<i>Propriedades</i>	
<b>Óleo/goma</b>	
Massa molar	874,8 g/mol
Calor específico (50°C)	1,984 kJ/kg°C
Calor específico (70°C<T<90°C)	2,051 kJ/kg°C
<b>Água</b>	
Massa molar	18 g/mol
Calor específico	4,18 kJ/kg°C
Calor específico (vapor d'água)	2,01 kJ/kg°C
$\Delta H^v$	2256,9 kJ/kg
<b>Constantes de Antoine</b>	
A	11,4785
B	-708,72
C	-167,48

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.1.6 Escolha do sistema de unidades que será utilizado

O sistema de unidades escolhidos para a aplicação do método desenvolvido foi o Sistema Internacional (SI) devido a facilidade para encontrar os parâmetros das equações de apoio e porque é o mais comum de se utilizar no Brasil. Contudo, os resultados de temperatura foram expressos em graus celsius (°C), pois nas fábricas é a unidade mais utilizada.

#### 4.1.7 Construção do diagrama de blocos (BFD) no COMOS -FEED

O diagrama de blocos, que foi elaborado na ferramenta computacional COMOS-FEED, apresenta os equipamentos de forma simplificada e todas as correntes de processo, assim como suas componentes e pode ser visto no Apêndice A – Diagrama de Blocos do Processo de Degomagem com Água de Óleo de Soja (BFD).

#### 4.1.8 Redação do descritivo do processo

O processo de degomagem com água da indústria é composto por dez equipamentos que trocam energia com o produto e /ou facilitam a transferência de massa entre os reagentes que está sendo processado e pode ser dividido em três macroetapas, sendo estas:

1. Hidratação e mistura;
2. Centrífuga e coleta de gomas;
3. Secagem e acabamento;

Nesta seção é possível ver a descrição de cada uma das etapas listadas.

##### 1. Hidratação e mistura

O óleo bruto chega da seção da extração quente pela corrente 1, para que esse seja hidratado é necessário passar previamente por um estágio de resfriamento. A corrente 012, contendo água de torre, entra no resfriador e troca calor com o óleo bruto, fazendo com que ele saia resfriado siga para o misturador. A água utilizada para resfriar não entra em contato direto com o óleo, ficando na parte do casco do trocador, enquanto o óleo permanece nos tubos interiores.

Paralelamente ao resfriador 1, usa-se o tanque de água quente para aquecer a água que será misturada ao óleo bruto através do vapor que é fornecido pela seção de Utilidades. O vapor entra em contato com a água fria transferindo calor e fazendo com essa seja aquecida até a temperatura desejada.

Na tubulação que segue para o misturador ocorre a junção da água quente (corrente 015) com o óleo bruto resfriado (corrente 003). Os fosfolipídios hidrofílicos presentes no óleo se ligam as moléculas de água formando as gomas. A mistura ocorre na tubulação que leva ao

tanque de hidratação, na qual há misturador estático que promove uma agitação mais rápida para assegurar a homogeneização da água e do óleo, e posteriormente, a mistura é despejada no tanque de hidratação, que conta com uma agitação branda. O líquido fica retido no tanque de 30 a 40 minutos para que o tempo seja suficiente para a água aderir ao óleo, e então é bombeado lentamente para a centrífuga pela corrente 005.

## 2. Centrifugação e coleta de gomas

Uma centrífuga de disco é usada para fazer a separação de fase entre o óleo e as gomas. O óleo é retirado pelo topo do equipamento e segue para o economizador através da corrente 006, ao mesmo tempo que as gomas saem pelos cortes laterais e são direcionadas para o tanque de gomas pela corrente 017.

A goma, que é considerada um subproduto deste processo, pode ser convertida em lecitina (produto muito utilizado na indústria alimentícia) após o tratamento adequado ou então, como é feito na indústria projetada pela COAMO, voltará para a parte de extração e será acrescida ao farelo branco no Dessolventizador-Tostador (DT).

## 3. Secagem e acabamento

Após a centrifugação o óleo segue para um equipamento chamado economizador, que visa integrar o secador e o resfriador de forma a promover uma maior eficiência energética, aproveitando o calor presente no óleo que sai do primeiro para pré-aquecer o óleo que sai da centrifugação, e por consequência, começar um processo de resfriamento do óleo quente.

O óleo pré-aquecido entra, então, no aquecedor através da corrente 007, onde em contato com o vapor saturado e é aquecido até a temperatura de saturação da água a determinada pressão. Quando a corrente 008 entra no secador enfrenta uma queda de pressão, resultando na vaporização da água contida no óleo. Esse óleo segue para o economizador, como mencionado previamente, e então através da corrente 009 segue para o resfriador 2, visando abaixar a temperatura do óleo degomado antes que esse siga para a estocagem.

#### 4.1.9 Definição das Correntes de Processo

Existem inúmeras formas de taguear as correntes, neste trabalho foi escolhido apenas enumerá-las em ordem crescente começando pelo fluxo principal do processo, ao chegar na corrente de saída do produto do último equipamento, voltou-se ao início do processo observando as correntes adjacentes e continuou-se a enumeração. Para a nomeação das componentes usou-se a letra  $m$  (representando o fluxo mássico) seguida dos subscritos “o” para óleo, “g” para goma, “a” para água ou “v” para vapor e do número da corrente, por exemplo  $m_{o,1}$  representa o fluxo mássico de óleo na corrente 1. As temperaturas foram representadas pela letra T seguido do subíndice referente a numeração da corrente, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Tagueamento das correntes e suas componentes

<b>Equipamentos</b>	<b>Corrente(s) de Entrada</b>	<b>Componentes das correntes de entrada</b>	<b>Corrente(s) de Saída</b>	<b>Componentes das correntes de saída</b>
Tanque de óleo bruto	001	$m_{o,1}, m_{g,1}, T_1$	002	$m_{o,2}, m_{g,2}, T_2$
Resfriador 1	002 e 012	$m_{o,2}, m_{g,2}, T_2,$ $m_{a,12}, T_{12}$	003 e 013	$m_{o,3}, m_{g,3}, T_3,$ $m_{a,13}, T_{13}$
Tanque de água quente	014 e 015	$m_{v,14}, T_{14}, m_{a,15},$ $T_{15}$	016	$m_{a,16}, T_{16}$
Misturador estático	003 e 016	$m_{o,3}, m_{g,3}, T_3,$ $m_{a,16}, T_{16}$	004	$m_{o,4}, m_{g,4}, m_{a,4}, T_4$
Tanque de hidratação	004	$m_{o,4}, m_{g,4}, m_{a,4}, T_4$	005	$m_{o,5}, m_{g,5}, m_{a,5}, T_5$
Centrífuga	005	$m_{o,5}, m_{g,5}, m_{a,5}, T_5$	006 e 017	$m_{o,6}, m_{g,6}, m_{a,6},$ $T_6, m_{o,17}, m_{g,17},$ $m_{a,17}, T_{17}$
Economizador	006 e 009	$m_{o,6}, m_{g,6}, m_{a,6},$ $T_6, m_{o,9}, m_{g,9},$ $m_{a,9}, T_9$	007 e 010	$m_{o,7}, m_{g,7}, m_{a,7},$ $T_7, m_{o,10}, m_{g,10},$ $m_{a,10}, T_{10}$
Aquecedor	007 e 018	$m_{o,7}, m_{g,7}, m_{a,7},$ $T_7, m_{v,18}, T_{18}$	008 e 019	$m_{o,8}, m_{g,8}, m_{a,8},$ $T_8, m_{a,19}, T_{19}$



Secador	008	$m_{o,8}, m_{g,8}, m_{a,8}, T_8$	009 e 020	$m_{o,9}, m_{g,9}, m_{a,9}, T_9, m_{a,20}, T_{20}$
Resfriador 2	010 e 021	$m_{o,10}, m_{g,10}, m_{a,10}, T_{10}, m_{a,21}, T_{21}$	011 e 022	$m_{o,11}, m_{g,11}, m_{a,11}, T_{11}, m_{a,22}, T_{22}$

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

## 4.2 FORMULAÇÃO DOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA

### 4.2.1 Balanços de massa e de Energia

Nesta seção serão apresentados os balanços de massa e energia realizados para cada equipamento do sistema. Em todos eles assume-se que a pressão absoluta do sistema é constante, com exceção do secador que será tratado na subseção.

#### 4.2.1.1 Tanque de Óleo Bruto

Assim que o óleo bruto chega da extração, esse fica armazenado em um tanque esperando o início do processo. Assim, o balanço de massa referente aos componentes pode ser escrito como:

$$\dot{m}_{o,1} - \dot{m}_{o,2} = 0 \quad (4.2)$$

$$\dot{m}_{g,1} - \dot{m}_{g,2} = 0 \quad (4.3)$$

Além disso, podemos escrever o balanço de energia relativo ao equipamento como sendo:

$$\dot{m}_{o,1}\hat{H}_{o,1} + \dot{m}_{g,1}\hat{H}_{g,1} - \dot{m}_{o,2}\hat{H}_{o,2} + \dot{m}_{g,2}\hat{H}_{g,2} = 0 \quad (4.4)$$

De acordo com a termodinâmica, as entalpias da reação acima podem ser escritas relacionando-as ao calor específico de cada componente, conforme as seguintes equações:

$$\hat{H}_{o,1} = Cp_o(T_1 - T_R) \quad (4.5)$$

$$\hat{H}_{g,1} = Cp_g(T_1 - T_R) \quad (4.6)$$

$$\hat{H}_{o,2} = Cp_o(T_2 - T_R) \quad (4.7)$$

$$\hat{H}_{g,2} = Cp_g(T_2 - T_R) \quad (4.8)$$

#### 4.2.1.2 Resfriador 1

O resfriador tem como objetivo resfriar a carga de óleo bruto que segue para o processo de degomagem. Considerou-se que a corrente 1 apresenta em sua composição óleo e goma. De maneira genérica pode-se formular a equação de balanço na parte interna do resfriador para cada componente:

$$\dot{m}_{o,2} - \dot{m}_{o,3} = 0 \quad (4.9)$$

$$\dot{m}_{g,2} - \dot{m}_{g,3} = 0 \quad (4.10)$$

Na parte externa do resfriador tem-se água de torre como fluido de troca de energia com o óleo com o objetivo de resfriá-lo.

$$\dot{m}_{a,12} - \dot{m}_{a,13} = 0 \quad (4.11)$$

Por tratar-se de um resfriador é necessário conhecer a quantidade de calor que precisa ser removida do corrente. Para isso elabora-se um balanço de energia térmica.

$$\dot{m}_{o,2}\hat{H}_{o,2} + \dot{m}_{g,2}\hat{H}_{g,2} + \dot{m}_{a,12}\hat{H}_{a,12} - \dot{m}_{o,3}\hat{H}_{o,3} - \dot{m}_{g,3}\hat{H}_{g,3} - \dot{m}_{a,13}\hat{H}_{a,13} = 0 \quad (4.12)$$

Sendo que as entalpias podem ser escritas como:

$$\hat{H}_{o,3} = Cp_o(T_3 - T_R) \quad (4.13)$$

$$\hat{H}_{g,3} = Cp_g(T_3 - T_R) \quad (4.14)$$

$$\hat{H}_{a,12} = Cp_a(T_{12} - T_R) \quad (4.15)$$

$$\hat{H}_{a,13} = Cp_a(T_{13} - T_R) \quad (4.16)$$

#### 4.2.1.3 Tanque de Água Quente

Paralelamente ao resfriador, o tanque de água quente aquece água através de troca térmica entre a água fria e o vapor d'água, fornecendo água quente para o misturador. O balanço de massa do equipamento pode ser escrito como:

$$\dot{m}_{v,14} + \dot{m}_{a,15} - \dot{m}_{a,16} = 0 \quad (4.17)$$

O balanço de energia pode ser descrito como:

$$\dot{m}_{v,14}\hat{H}_{v,14} + \dot{m}_{a,15}\hat{H}_{a,15} - \dot{m}_{a,16}\hat{H}_{a,16} = 0 \quad (4.18)$$

sendo:

$$\hat{H}_{v,14} = Cp_v(T_{14} - T_b) + \Delta H_v(T_b) + Cp_a(T_b - T_R) \quad (4.19)$$

$$\hat{H}_{a,15} = Cp_a(T_{15} - T_R) \quad (4.20)$$

$$\hat{H}_{a,16} = Cp_a(T_{15} - T_R) \quad (4.21)$$

#### 4.2.1.4 Misturador Estático

Neste equipamento a água entra em contato com o óleo auxiliando na aglutinação das gomas. A corrente 003 sai do resfriador e entra no misturador contendo goma e óleo, enquanto a corrente 014 sai do tanque de água quente, com água a 70°C, resultando nos seguintes balanços:

$$\dot{m}_{o,3} - \dot{m}_{o,4} = 0 \quad (4.22)$$

$$\dot{m}_{g,3} - \dot{m}_{g,4} = 0 \quad (4.23)$$

$$\dot{m}_{a,16} - \dot{m}_{a,4} = 0 \quad (4.24)$$

O balanço de energia pode ser descrito como:

$$\dot{m}_{o,3}\hat{H}_{o,3} + \dot{m}_{g,3}\hat{H}_{g,3} + \dot{m}_{a,16}\hat{H}_{a,16} - \dot{m}_{o,4}\hat{H}_{o,4} + \dot{m}_{g,4}\hat{H}_{g,4} - \dot{m}_{a,4}\hat{H}_{a,4} = 0 \quad (4.25)$$

sendo:

$$\hat{H}_{o,4} = Cp_o(T_4 - T_R) \quad (4.26)$$

$$\hat{H}_{g,4} = Cp_g(T_4 - T_R) \quad (4.27)$$

$$\hat{H}_{a,4} = Cp_a(T_4 - T_R) \quad (4.28)$$

#### 4.2.1.5 Tanque de Hidratação

Para que o óleo bruto e a água fiquem o tempo necessário em contato, utiliza-se um tanque de mistura branda para que as micelas não sejam desfeitas. Assim, o balanço de massa neste equipamento pode ser escrito como:

$$\dot{m}_{o,4} - \dot{m}_{o,5} = 0 \quad (4.29)$$

$$\dot{m}_{g,4} - \dot{m}_{g,5} = 0 \quad (4.30)$$

$$\dot{m}_{a,4} - \dot{m}_{a,5} = 0 \quad (4.31)$$

E o balanço de energia é representado através da seguinte equação:

$$\dot{m}_{o,4}\hat{H}_{o,4} + \dot{m}_{g,4}\hat{H}_{g,4} + \dot{m}_{a,4}\hat{H}_{a,4} - \dot{m}_{o,5}\hat{H}_{o,5} + \dot{m}_{g,5}\hat{H}_{g,5} - \dot{m}_{a,5}\hat{H}_{a,5} = 0 \quad (4.32)$$

Sendo as entalpias:

$$\hat{H}_{o,5} = Cp_o(T_5 - T_R) \quad (4.33)$$

$$\hat{H}_{g,5} = Cp_g(T_5 - T_R) \quad (4.34)$$

$$\hat{H}_{a,5} = Cp_a(T_5 - T_R) \quad (4.35)$$

#### 4.2.1.6 Centrífuga

Durante o processo de centrifugação são separadas as moléculas de óleo e goma com a água. Porém, tal separação não é completa, considerando-se assim goma e água residual no óleo degomado, como também uma pequena fração de óleo junto a goma. Então, o balanço de massa de cada componente pode ser descrito como:

$$\dot{m}_{o,5} + \dot{m}_{o,6} - \dot{m}_{o,17} = 0 \quad (4.36)$$

$$\dot{m}_{g,5} + \dot{m}_{g,6} - \dot{m}_{g,17} = 0 \quad (4.37)$$

$$\dot{m}_{a,5} + \dot{m}_{a,6} - \dot{m}_{a,17} = 0 \quad (4.38)$$

Da mesma forma, é possível escrever o balanço de energia térmica do equipamento como sendo:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,5}\hat{H}_{o,5} + \dot{m}_{g,5}\hat{H}_{g,5} + \dot{m}_{a,5}\hat{H}_{a,5} - \dot{m}_{o,6}\hat{H}_{o,6} - \dot{m}_{a,6}\hat{H}_{a,6} - \dot{m}_{a,5}\hat{H}_{a,5} - \dot{m}_{o,17}\hat{H}_{o,17} - \\ \dot{m}_{g,17}\hat{H}_{g,17} - \dot{m}_{a,17}\hat{H}_{a,17} = 0 \end{aligned} \quad (4.39)$$

sendo:

$$\hat{H}_{o,6} = Cp_o(T_6 - T_R) \quad (4.40)$$

$$\hat{H}_{g,6} = Cp_g(T_6 - T_R) \quad (4.41)$$

$$\hat{H}_{a,6} = Cp_a(T_6 - T_R) \quad (4.42)$$

$$\hat{H}_{o,17} = Cp_o(T_{17} - T_R) \quad (4.43)$$

$$\hat{H}_{g,17} = Cp_g(T_{17} - T_R) \quad (4.44)$$

$$\hat{H}_{a,17} = Cp_a(T_{17} - T_R) \quad (4.45)$$

#### 4.2.1.7 Economizador

O economizador foi projetado visando utilizar o óleo já aquecido liberado pelo secador para o aquecimento do óleo degomado que sai da centrífuga, dessa forma o óleo quente perde um pouco de calor e segue para o resfriador. Assim, o balanço de massa pode ser dividido em duas partes, visto que as duas correntes de entrada não se misturam. O fluxo que é pré-aquecido antes de entrar no aquecedor pode ser representado pelas seguintes relações:

$$\dot{m}_{o,6} - \dot{m}_{o,7} = 0 \quad (4.46)$$

$$\dot{m}_{g,6} - \dot{m}_{g,7} = 0 \quad (4.47)$$

$$\dot{m}_{a,6} - \dot{m}_{a,7} = 0 \quad (4.48)$$

E o balanço de massa do óleo seco que é usado como fonte de calor, passando pelo casco externo do economizador, pode ser obtido através das equações:

$$\dot{m}_{o,9} - \dot{m}_{o,10} = 0 \quad (4.49)$$

$$\dot{m}_{g,9} - \dot{m}_{g,10} = 0 \quad (4.50)$$

$$\dot{m}_{a,9} - \dot{m}_{a,10} = 0 \quad (4.51)$$

O balanço de energia térmica conta, além das entalpias de cada componente, com o calor trocado com o óleo que saiu do secador:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,6}\hat{H}_{o,6} + \dot{m}_{g,6}\hat{H}_{g,6} + \dot{m}_{a,6}\hat{H}_{a,6} + \dot{m}_{o,9}\hat{H}_{o,9} + \dot{m}_{g,9}\hat{H}_{g,9} + \dot{m}_{a,9}\hat{H}_{a,9} - \dot{m}_{o,7}\hat{H}_{o,7} - \\ \dot{m}_{g,7}\hat{H}_{g,7} - \dot{m}_{a,7}\hat{H}_{a,7} - \dot{m}_{o,10}\hat{H}_{o,10} - \dot{m}_{g,10}\hat{H}_{g,10} - \dot{m}_{a,10}\hat{H}_{a,10} = 0 \end{aligned} \quad (4.52)$$

Sendo que as entalpias podem ser definidas por:

$$\hat{H}_{o,9} = Cp_o(T_9 - T_R) \quad (4.53)$$

$$\hat{H}_{g,9} = Cp_g(T_9 - T_R) \quad (4.54)$$

$$\hat{H}_{a,9} = Cp_a(T_9 - T_R) \quad (4.55)$$

$$\hat{H}_{o,7} = Cp_o(T_7 - T_R) \quad (4.56)$$

$$\hat{H}_{g,7} = Cp_g(T_7 - T_R) \quad (4.57)$$

$$\hat{H}_{a,7} = Cp_a(T_7 - T_R) \quad (4.58)$$

$$\hat{H}_{o,10} = Cp_o(T_{10} - T_R) \quad (4.59)$$

$$\hat{H}_{g,10} = Cp_g(T_{10} - T_R) \quad (4.60)$$

$$\hat{H}_{a,10} = Cp_a(T_{10} - T_R) \quad (4.61)$$

#### 4.2.1.8 Aquecedor

Neste equipamento a temperatura do óleo será elevada até a temperatura de saturação da água utilizando vapor saturado como forma de prover energia para o sistema. Assim, o balanço de massa do óleo, da goma, da água e do vapor utilizado pode ser escrito como:

$$\dot{m}_{o,7} - \dot{m}_{o,8} = 0 \quad (4.62)$$

$$\dot{m}_{g,7} - \dot{m}_{g,8} = 0 \quad (4.63)$$

$$\dot{m}_{a,7} - \dot{m}_{a,8} = 0 \quad (4.64)$$

$$\dot{m}_{v,18} - \dot{m}_{a,19} = 0 \quad (4.65)$$

Já o balanço de energia conta com a adição de calor, fornecida pelo vapor, para que a temperatura seja elevada até o ponto desejado pode ser escrita como:

$$\dot{m}_{o,7}\hat{H}_{o,7} + \dot{m}_{g,7}\hat{H}_{g,7} + \dot{m}_{a,7}\hat{H}_{a,7} + \dot{m}_{v,18}\hat{H}_{v,18} - \dot{m}_{o,8}\hat{H}_{o,8} - \dot{m}_{g,8}\hat{H}_{g,8} - \dot{m}_{a,8}\hat{H}_{a,8} - \dot{m}_{a,19}\hat{H}_{a,19} = 0 \quad (4.66)$$

sendo:

$$\hat{H}_{o,8} = Cp_o(T_8 - T_R) \quad (4.67)$$

$$\hat{H}_{g,8} = Cp_g(T_8 - T_R) \quad (4.68)$$

$$\hat{H}_{a,8} = Cp_a(T_8 - T_R) \quad (4.69)$$

$$\hat{H}_{v,18} = Cp_v(T_{18} - T_b) + \Delta H_v(T_b) + Cp_a(T_b - T_R) \quad (4.70)$$

$$\hat{H}_{a,19} = Cp_a(T_{19} - T_R) \quad (4.71)$$

#### 4.2.1.9 Secador

No secador será retirado o restante da água contida no óleo. Visto que o fluido está na temperatura de saturação da água, ao enfrentar uma redução de pressão, a água irá evaporar. Dessa forma, o balanço de massa pode ser descrito por:

$$\dot{m}_{a,8} - \dot{m}_{a,9} - \dot{m}_{a,20} = 0 \quad (4.72)$$

Já o balanço de energia pode ser descrito como:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,8}\hat{H}_{o,8} + \dot{m}_{g,8}\hat{H}_{g,8} + \dot{m}_{a,8}\hat{H}_{a,8} - \dot{m}_{o,9}\hat{H}_{o,9} - \dot{m}_{g,9}\hat{H}_{g,9} - \\ \dot{m}_{a,9}\hat{H}_{a,9} - \dot{m}_{a,20}\hat{H}_{a,20} = 0 \end{aligned} \quad (4.73)$$

sendo:

$$\hat{H}_{a,20} = Cp_a(T_{20} - T_R) \quad (4.74)$$

#### 4.2.1.10 Resfriador 2

Por fim, o óleo degomado não deve sair a uma temperatura elevada para a armazenagem, assim, esse equipamento recebe o óleo pré-resfriado do economizador e é utilizado para que a sua temperatura seja ainda mais reduzida. O balanço de massa pode ser descrito como:

$$\dot{m}_{o,10} - \dot{m}_{o,11} = 0 \quad (4.75)$$

$$\dot{m}_{g,10} - \dot{m}_{g,11} = 0 \quad (4.76)$$

$$\dot{m}_{a,10} - \dot{m}_{a,11} = 0 \quad (4.77)$$

Ainda é possível fazer o balanço de massa da água de torre que é utilizada como fluido de resfriamento, sendo este:

$$\dot{m}_{a,21} - \dot{m}_{a,22} = 0 \quad (4.78)$$

O balanço de energia, por sua vez, pode ser descrito através da equação:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,10}\hat{H}_{o,10} + \dot{m}_{g,10}\hat{H}_{g,10} + \dot{m}_{a,10}\hat{H}_{a,10} + \dot{m}_{a,21}\hat{H}_{a,21} - \dot{m}_{o,11}\hat{H}_{o,11} - \dot{m}_{g,11}\hat{H}_{g,11} - \\ \dot{m}_{a,11}\hat{H}_{a,11} - \dot{m}_{a,22}\hat{H}_{a,22} = 0 \end{aligned} \quad (4.79)$$

E as entalpias da equação acima podem ser escritas como:

$$\hat{H}_{o,11} = Cp_o(T_{11} - T_R) \quad (4.80)$$

$$\hat{H}_{g,11} = Cp_g(T_{11} - T_R) \quad (4.81)$$

$$\hat{H}_{a,11} = Cp_a(T_{20} - T_R) \quad (4.82)$$

$$\hat{H}_{a,21} = Cp_a(T_{21} - T_R) \quad (4.83)$$

$$\hat{H}_{a,22} = Cp_a(T_{22} - T_R) \quad (4.84)$$

#### 4.2.2 Análise dos Graus de Liberdade

Esta subseção é destinada a apresentar a análise dos graus de liberdade das equações de balanço do sistema e premissas para que se tenha uma única solução. A partir do número resultante como grau de liberdade serão feitos o mesmo número de considerações e/ou equações para o fechamento do balanço. Na Tabela 5 são mostrados os resultados do cálculo do Grau de Liberdade por equipamento e total.

*Tabela 5 - Análise de graus de liberdade*

<b>Equipamentos</b>	<b>Nº eq.</b>	<b>Nº incóg.</b>	<b>Nº rep.</b>	<b>G.L.</b>
Tanque de óleo bruto	3	6	0	3
Resfriador 1	4	10	3	3
Tanque de água quente	2	6	0	4
Misturador estático	4	9	5	0
Tanque de hidratação	4	8	4	0
Centrífuga	4	12	4	4
Economizador	7	16	4	5
Aquecedor	5	12	4	3
Secador	2	10	8	0
Resfriador 2	5	12	4	3
<b>Total</b>				<b>25</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2019).



### 4.2.3 Equações de Fechamento de Balanço e Elaboração das Premissas e Hipóteses

#### 4.2.3.1 Tanque de óleo bruto

Para a definição da vazão da entrada, foi utilizada a base de cálculo mencionada anteriormente, considerou-se uma indústria que processa 3000 toneladas de grãos de soja por dia, que estes possuem um teor de óleo bruto de 20%, e que rendimento obtido é de 99%. A partir dessas informações, obtêm-se uma capacidade de processamento de 24.750 kg de óleo bruto por hora. A partir da literatura estudada, conforme citado no item 4.1.3.1 Matérias-primas, sabe-se que a corrente de entrada (001) é composta por 98% de óleo e 2% de goma. Com as informações fornecidas pelo cliente, sabe-se que a corrente que chega da unidade de extração possui uma temperatura de aproximadamente 105°C. Através das informações acima, foram elaboradas as três equações necessárias para o de fechamento de balanço.

$$\dot{m}_{0,1} - (0,98 \times 24750) = 0 \quad (4.85)$$

$$\dot{m}_{g,1} - (0,02 \times 24750) = 0 \quad (4.86)$$

$$T_1 - 105 = 0 \quad (4.87)$$

#### 4.2.3.2 Resfriador 1

Este equipamento utiliza água de torre para resfriar o óleo através de contato indireto. O fluido frio chega ao equipamento com uma temperatura de 25°C e sabe-se que o  $\Delta T$  máximo entre a temperatura de entrada e saída é de 15°C, dessa forma, a corrente 003 sai do resfriador com uma temperatura de 40°C. O *set-point* determinado para a saída do óleo é de 70°C. Assim, obtêm-se as seguintes equações:

$$T_4 - 70 = 0 \quad (4.88)$$

$$T_{12} - 25 = 0 \quad (4.89)$$

$$T_{13} - 40 = 0 \quad (4.90)$$

#### 4.2.3.3 Tanque de água quente

Este tanque aquece água que chega a 25°C através do contato direto com vapor d'água que vem da Utilidades a 4 bar de pressão. Para o cálculo de temperatura do vapor foi

utilizada a equação de Antoine, com essa sendo obtida em Kelvin, e posteriormente transformada para a escala em Celsius, obtendo-se um resultado de 143°C.

$$\log_{10}(P) = A - \frac{B}{(T+C)} \quad (4.91)$$

O *set-point* de saída da água é estabelecido em 70°C, e da Apostila de Degomagem da Indústria tem-se que é necessário o equivalente de 1 a 3% da massa do óleo em água para que o processo seja efetivo. Para este processo foi utilizado o valor de 2%, dessa forma, a massa de água que deve entrar no misturador estático é 495kg/h.

Assim, além da Equação de Antoine, as equações propostas para fechamento de balanço são:

$$\dot{m}_{a,16} - 495 = 0 \quad (4.92)$$

$$T_{15} - 25 = 0 \quad (4.93)$$

$$T_{16} - 70 = 0 \quad (4.94)$$

#### 4.2.3.4 Centrífuga

Na resolução dos balanços de massa e energia foi considerado que todos os fosfolípios são convertidos em goma e que a eficiência do processo é de 98%, ou seja, há apenas 2% de goma no óleo degomado.

As componentes de balanço das correntes que saem para o tanque de gomas são definidas no item 4.1.3.3 Produtos e subprodutos, e servem para o cálculo das componentes das correntes 006 e 017.

Também é considerado que neste equipamento não há troca térmica, ou seja, a temperatura das correntes de saída é igual à da corrente de entrada, 70°C. Com base no apresentado, são escritas as seguintes equações:

$$\dot{m}_{g,6} - 0,02 \times \dot{m}_{g,5} = 0 \quad (4.95)$$

$$\dot{m}_{17} - 0,78 \times \dot{m}_{g,17} - 0,22 \times \dot{m}_{o,17} = 0 \quad (4.96)$$

$$\dot{m}_{a,17} = 0 \quad (4.97)$$

$$T_{17} - 70 = 0 \quad (4.98)$$

#### 4.2.3.5 Economizador

O economizador é um equipamento que tem interface com muitos outros, por isso foi necessário definir alguns parâmetros que, inicialmente, só precisariam ser definidos no Secador para que os balanços pudessem fechar. De acordo com Gupta (2017), o óleo degomado sai do secador com uma temperatura entre 80°C a 90°C, porém, é visto na indústria que é possível que o óleo saia do aquecedor com temperaturas até 150°C sem que isso cause danos no produto, assim, através de diversas tentativas de balanços, se chegou a uma solução que o óleo seco chega ao economizador a 114°C. Também foi considerado que o processo de secagem tem uma eficiência de 99%, além disso, pressupôs-se que a goma e o óleo não evaporam nesta etapa, ou seja, a massa de entrada e de saída das componentes é a mesma no aquecedor e no secador, então pode-se afirmar que  $m_{o,6} = m_{o,7} = m_{o,8}$ , de forma análoga para a goma e água. Dessa forma, tem-se as seguintes equações:

$$T_9 - 114 = 0 \quad (4.99)$$

$$\dot{m}_{o,6} - \dot{m}_{o,9} = 0 \quad (4.100)$$

$$\dot{m}_{g,6} - \dot{m}_{g,9} = 0 \quad (4.101)$$

$$0,01 \times \dot{m}_{a,6} - \dot{m}_{a,9} = 0 \quad (4.102)$$

Espera-se, também, que o óleo que sai pela corrente 007 esteja a 85°C, visto as temperaturas que o próximo equipamento deve operar. Assim, a quarta equação pode ser escrita:

$$T_7 - 85 = 0 \quad (4.103)$$

#### 4.2.3.6 Aquecedor

Considerando que o óleo seco chega no economizador a 114°C, supõe-se que a temperatura que esse sai do aquecedor seja superior, partindo-se desse princípio foram propostas diversas condições de temperatura em conjunto com a pressão de operação do secador de forma a encontrar a solução mais viável e assim estabelecer um set-point. Então, tem-se que:

$$T_8 - 140 = 0 \quad (4.104)$$

O vapor utilizado para aquecer a água é o mesmo utilizado no Tanque de Aquecimento da Água, que vem da seção de Utilidades, logo ele contém 405,3kPa de pressão. Através da Equação de Antoine, como mostrado anteriormente, tem-se uma temperatura de entrada de 143°C, assim, outra equação de fechamento pode ser escrita como:

$$T_{18} - 143 = 0 \quad (4.105)$$

Assumiu-se também que neste equipamento ocorre apenas a troca de calor latente, logo a água que sai do aquecedor sai condensada, saturada a temperatura de 143°C.

$$T_{19} - 143 = 0 \quad (4.106)$$

#### 4.2.3.7 Resfriador 2

Para que o óleo degomado siga para a neutralização, ele precisa ser resfriado previamente, devendo ter uma temperatura entre 40°C e 50°C, para esta aplicação considerou-se um set-point de 50°C. Além disso, sabe-se que a água de torre utilizada para o resfriamento está a uma temperatura de 25°C e espera-se que ela saia com uma diferença de temperatura de no máximo 15°C. Dessa forma, as seguintes equações podem ser escritas:

$$T_{11} - 50 = 0 \quad (4.107)$$

$$T_{21} - 25 = 0 \quad (4.108)$$

$$T_{22} - 40 = 0 \quad (4.109)$$

#### 4.2.4 Síntese das Equações de Balanço

No Quadro 4, situado abaixo, é encontrada uma síntese dos balanços de massa e de energia apresentados na seção 4.2 FORMULAÇÃO DOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA.

*Quadro 4 - Síntese das equações de balanço de massa e energia*

Nº eq.	Título da Equação	Equação
<b>Tanque de óleo bruto</b>		
4.2	Balanço de massa de	$\dot{m}_{o,1} - \dot{m}_{o,2} = 0$

	óleo	
4.3	Balanço de massa de goma	$\dot{m}_{g,1} - \dot{m}_{g,2} = 0$
4.4	Balanço de energia	$\dot{m}_{o,1}\hat{H}_{o,1} + \dot{m}_{g,1}\hat{H}_{g,1} - \dot{m}_{o,2}\hat{H}_{o,2} + \dot{m}_{g,2}\hat{H}_{g,2} = 0$
4.5	Entalpia específica do óleo na corrente 001	$\hat{H}_{o,1} = Cp_o(T_1 - T_R)$
4.6	Entalpia específica da goma na corrente 001	$\hat{H}_{g,1} = Cp_g(T_1 - T_R)$
4.7	Entalpia específica do óleo na corrente 002	$\hat{H}_{o,2} = Cp_o(T_2 - T_R)$
4.8	Entalpia específica da goma na corrente 002	$\hat{H}_{g,2} = Cp_g(T_2 - T_R)$
<b>Resfriador 1</b>		
4.9	Balanço de massa de óleo	$\dot{m}_{o,2} - \dot{m}_{o,3} = 0$
4.10	Balanço de massa de goma	$\dot{m}_{g,2} - \dot{m}_{g,3} = 0$
4.11	Balanço de massa de água de utilidades	$\dot{m}_{a,12} - \dot{m}_{a,13} = 0$
4.12	Balanço de energia	$\dot{m}_{o,2}\hat{H}_{o,2} + \dot{m}_{g,2}\hat{H}_{g,2} + \dot{m}_{a,12}\hat{H}_{a,12} - \dot{m}_{o,3}\hat{H}_{o,3} - \dot{m}_{g,3}\hat{H}_{g,3} - \dot{m}_{a,13}\hat{H}_{a,13} = 0$
4.13	Entalpia específica do óleo na corrente 003	$\hat{H}_{o,3} = Cp_o(T_3 - T_R)$
4.14	Entalpia específica da goma na corrente 003	$\hat{H}_{g,3} = Cp_g(T_3 - T_R)$
4.15	Entalpia específica da água na corrente 012	$\hat{H}_{a,12} = Cp_a(T_{12} - T_R)$
4.16	Entalpia específica da água na corrente 013	$\hat{H}_{a,13} = Cp_a(T_{13} - T_R)$
<b>Tanque de água quente</b>		
4.17	Balanço de massa de água	$\dot{m}_{v,14} + \dot{m}_{a,15} - \dot{m}_{a,16} = 0$

4.18	Balço de energia	$\dot{m}_{v,14}\widehat{H}_{v,14} + \dot{m}_{a,15}\widehat{H}_{a,15} - \dot{m}_{a,16}\widehat{H}_{a,16} = 0$
4.19	Entalpia específica do vapor na corrente 014	$\widehat{H}_{v,14} = Cp_v(T_{14} - T_b) + \Delta H_v(T_b) + Cp_a(T_b - T_R)$
4.20	Entalpia específica da água na corrente 015	$\widehat{H}_{a,15} = Cp_a(T_{15} - T_R)$
4.21	Entalpia específica da água na corrente 015	$\widehat{H}_{a,15} = Cp_a(T_{15} - T_R)$
<b>Misturador estático</b>		
4.22	Balço de massa de óleo	$\dot{m}_{o,3} - \dot{m}_{o,4} = 0$
4.23	Balço de massa de goma	$\dot{m}_{g,3} - \dot{m}_{g,4} = 0$
4.24	Balço de massa de água	$\dot{m}_{a,16} - \dot{m}_{a,4} = 0$
4.25	Balço de energia	$\dot{m}_{o,3}\widehat{H}_{o,3} + \dot{m}_{g,3}\widehat{H}_{g,3} + \dot{m}_{a,16}\widehat{H}_{a,16} - \dot{m}_{o,4}\widehat{H}_{o,4} + \dot{m}_{g,4}\widehat{H}_{g,4} - \dot{m}_{a,4}\widehat{H}_{a,4} = 0$
4.26	Entalpia específica do óleo na corrente 004	$\widehat{H}_{o,4} = Cp_o(T_4 - T_R)$
4.27	Entalpia específica da goma na corrente 004	$\widehat{H}_{g,4} = Cp_g(T_4 - T_R)$
4.28	Entalpia específica da água na corrente 004	$\widehat{H}_{a,4} = Cp_a(T_4 - T_R)$
<b>Tanque de hidratação</b>		
4.29	Balço de massa de óleo	$\dot{m}_{o,4} - \dot{m}_{o,5} = 0$
4.30	Balço de massa de goma	$\dot{m}_{g,4} - \dot{m}_{g,5} = 0$
4.31	Balço de massa de água	$\dot{m}_{a,4} - \dot{m}_{a,5} = 0$
4.32	Balço de energia	$\dot{m}_{o,4}\widehat{H}_{o,4} + \dot{m}_{g,4}\widehat{H}_{g,4} + \dot{m}_{a,4}\widehat{H}_{a,4} - \dot{m}_{o,5}\widehat{H}_{o,5} + \dot{m}_{g,5}\widehat{H}_{g,5} - \dot{m}_{a,5}\widehat{H}_{a,5} = 0$
4.33	Entalpia específica do	$\widehat{H}_{o,5} = Cp_o(T_5 - T_R)$

	óleo na corrente 005	
4.34	Entalpia específica da goma na corrente 005	$\hat{H}_{g,5} = Cp_g(T_5 - T_R)$
4.35	Entalpia específica da água na corrente 005	$\hat{H}_{a,5} = Cp_a(T_5 - T_R)$
<b>Centrifuga</b>		
4.36	Balanço de massa de óleo	$\dot{m}_{o,5} + \dot{m}_{o,6} - \dot{m}_{o,17} = 0$
4.37	Balanço de massa de goma	$\dot{m}_{g,5} + \dot{m}_{g,6} - \dot{m}_{g,17} = 0$
4.38	Balanço de massa de água	$\dot{m}_{a,5} + \dot{m}_{a,6} - \dot{m}_{a,17} = 0$
4.39	Balanço de energia	$\dot{m}_{o,5}\hat{H}_{o,5} + \dot{m}_{g,5}\hat{H}_{g,5} + \dot{m}_{a,5}\hat{H}_{a,5} - \dot{m}_{o,6}\hat{H}_{o,6} - \dot{m}_{a,6}\hat{H}_{a,6} - \dot{m}_{a,5}\hat{H}_{a,5} - \dot{m}_{o,17}\hat{H}_{o,17} - \dot{m}_{g,17}\hat{H}_{g,17} - \dot{m}_{a,17}\hat{H}_{a,17} = 0$
4.40	Entalpia específica do óleo na corrente 006	$\hat{H}_{o,6} = Cp_o(T_6 - T_R)$
4.41	Entalpia específica da goma na corrente 006	$\hat{H}_{g,6} = Cp_g(T_6 - T_R)$
4.42	Entalpia específica da água na corrente 006	$\hat{H}_{a,6} = Cp_a(T_6 - T_R)$
4.43	Entalpia específica do óleo na corrente 017	$\hat{H}_{o,17} = Cp_o(T_{17} - T_R)$
4.44	Entalpia específica da goma na corrente 017	$\hat{H}_{g,17} = Cp_g(T_{17} - T_R)$
4.45	Entalpia específica da água na corrente 017	$\hat{H}_{a,17} = Cp_a(T_{17} - T_R)$
<b>Economizador</b>		
4.46	Balanço de massa de óleo “frio”	$\dot{m}_{o,6} - \dot{m}_{o,7} = 0$
4.47	Balanço de massa de goma “fria”	$\dot{m}_{g,6} - \dot{m}_{g,7} = 0$
4.48	Balanço de massa de água “fria”	$\dot{m}_{a,6} - \dot{m}_{a,7} = 0$

4.49	Balanço de massa de óleo “quente”	$\dot{m}_{o,9} - \dot{m}_{o,10} = 0$
4.50	Balanço de massa de goma “quente”	$\dot{m}_{g,9} - \dot{m}_{g,10} = 0$
4.51	Balanço de massa de água “quente”	$\dot{m}_{a,9} - \dot{m}_{a,10} = 0$
4.52	Balanço de energia	$\dot{m}_{o,6}\hat{H}_{o,6} + \dot{m}_{g,6}\hat{H}_{g,6} + \dot{m}_{a,6}\hat{H}_{a,6} + \dot{m}_{o,9}\hat{H}_{o,9} + \dot{m}_{g,9}\hat{H}_{g,9} + \dot{m}_{a,9}\hat{H}_{a,9} - \dot{m}_{o,7}\hat{H}_{o,7} - \dot{m}_{g,7}\hat{H}_{g,7} - \dot{m}_{a,7}\hat{H}_{a,7} - \dot{m}_{o,10}\hat{H}_{o,10} - \dot{m}_{g,10}\hat{H}_{g,10} - \dot{m}_{a,10}\hat{H}_{a,10} = 0$
4.53	Entalpia específica do óleo na corrente 009	$\hat{H}_{o,9} = Cp_o(T_9 - T_R)$
4.54	Entalpia específica da goma na corrente 009	$\hat{H}_{g,9} = Cp_g(T_9 - T_R)$
4.55	Entalpia específica da água na corrente 009	$\hat{H}_{a,9} = Cp_a(T_9 - T_R)$
4.56	Entalpia específica do óleo na corrente 007	$\hat{H}_{o,7} = Cp_o(T_7 - T_R)$
4.57	Entalpia específica da goma na corrente 007	$\hat{H}_{g,7} = Cp_g(T_7 - T_R)$
4.58	Entalpia específica da água na corrente 007	$\hat{H}_{a,7} = Cp_a(T_7 - T_R)$
4.59	Entalpia específica do óleo na corrente 010	$\hat{H}_{o,10} = Cp_o(T_{10} - T_R)$
4.60	Entalpia específica de goma na corrente 010	$\hat{H}_{g,10} = Cp_g(T_{10} - T_R)$
4.61	Entalpia específica da água na corrente 010	$\hat{H}_{a,10} = Cp_a(T_{10} - T_R)$
<b>Aquecedor</b>		
4.62	Balanço de massa de óleo	$\dot{m}_{o,7} - \dot{m}_{o,8} = 0$
4.63	Balanço de massa de goma	$\dot{m}_{g,7} - \dot{m}_{g,8} = 0$
4.64	Balanço de massa de	$\dot{m}_{a,7} - \dot{m}_{a,8} = 0$



	água	
4.65	Balanco de massa de água de torre	$\dot{m}_{v,18} - \dot{m}_{a,19} = 0$
4.66	Balanco de energia	$\dot{m}_{o,7}\hat{H}_{o,7} + \dot{m}_{g,7}\hat{H}_{g,7} + \dot{m}_{a,7}\hat{H}_{a,7} + \dot{m}_{v,18}\hat{H}_{v,18} - \dot{m}_{o,8}\hat{H}_{o,8} - \dot{m}_{g,8}\hat{H}_{g,8} - \dot{m}_{a,8}\hat{H}_{a,8} - \dot{m}_{a,19}\hat{H}_{a,19} = 0$
4.67	Entalpia específica do óleo na corrente 008	$\hat{H}_{o,8} = Cp_o(T_8 - T_R)$
4.68	Entalpia específica da goma na corrente 008	$\hat{H}_{g,8} = Cp_g(T_8 - T_R)$
4.69	Entalpia específica da água na corrente 008	$\hat{H}_{a,8} = Cp_a(T_8 - T_R)$
4.70	Entalpia específica do vapor na corrente 018	$\hat{H}_{v,18} = Cp_v(T_{18} - T_b) + \Delta H_v(T_b) + Cp_a(T_b - T_R)$
4.71	Entalpia específica da água na corrente 019	$\hat{H}_{a,19} = Cp_a(T_{19} - T_R)$
<b>Secador</b>		
4.72	Balanco de massa de água	$\dot{m}_{a,8} - \dot{m}_{a,9} - \dot{m}_{a,20} = 0$
4.73	Balanco de energia	$\dot{m}_{o,8}\hat{H}_{o,8} + \dot{m}_{g,8}\hat{H}_{g,8} + \dot{m}_{a,8}\hat{H}_{a,8} - \dot{m}_{o,9}\hat{H}_{o,9} - \dot{m}_{g,9}\hat{H}_{g,9} - \dot{m}_{a,9}\hat{H}_{a,9} - \dot{m}_{a,20}\hat{H}_{a,20} = 0$
4.74	Entalpia específica da água na corrente 020	$\hat{H}_{a,20} = Cp_a(T_{20} - T_R)$
<b>Resfriador 2</b>		
4.75	Balanco de massa de óleo	$\dot{m}_{o,10} - \dot{m}_{o,11} = 0$
4.76	Balanco de massa de goma	$\dot{m}_{g,10} - \dot{m}_{g,11} = 0$
4.77	Balanco de massa de água	$\dot{m}_{a,10} - \dot{m}_{a,11} = 0$
4.78	Balanco de massa de água de utilidades	$\dot{m}_{a,21} - \dot{m}_{a,22} = 0$
4.79	Balanco de energia	$\dot{m}_{o,10}\hat{H}_{o,10} + \dot{m}_{g,10}\hat{H}_{g,10} + \dot{m}_{a,10}\hat{H}_{a,10} + \dot{m}_{a,21}\hat{H}_{a,21} -$

		$\dot{m}_{o,11}\widehat{H}_{o,11} - \dot{m}_{g,11}\widehat{H}_{g,11} - \dot{m}_{a,11}\widehat{H}_{a,11} - \dot{m}_{a,22}\widehat{H}_{a,22} = 0$
4.80	Entalpia específica do óleo na corrente 011	$\widehat{H}_{o,11} = Cp_o(T_{11} - T_R)$
4.81	Entalpia específica da goma na corrente 011	$\widehat{H}_{g,11} = Cp_g(T_{11} - T_R)$
4.82	Entalpia específica da água na corrente 011	$\widehat{H}_{a,11} = Cp_a(T_{20} - T_R)$
4.83	Entalpia específica da água na corrente 021	$\widehat{H}_{a,21} = Cp_a(T_{21} - T_R)$
4.84	Entalpia específica da água na corrente 022	$\widehat{H}_{a,22} = Cp_a(T_{22} - T_R)$

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

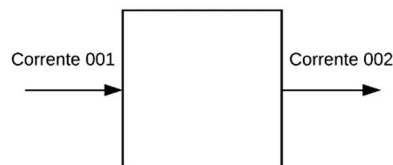
### 4.3 ABORDAGEM NUMÉRRICA PARA SOLUÇÃO

#### 4.3.1 Resultado dos Balanços de Massa e de Energia Utilizando o Solver

##### 4.3.1.1 Tanque de óleo bruto

Este equipamento é representado pela Figura 7 e possui uma corrente de entrada de óleo bruto quente que chega da extração e uma corrente de saída. Os resultados dos balanços podem ser encontrados na Tabela 6.

Figura 7 - Representação por Bloco do Tanque de Óleo Bruto.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 6 – Resultados dos Balanços no Tanque de Óleo Bruto

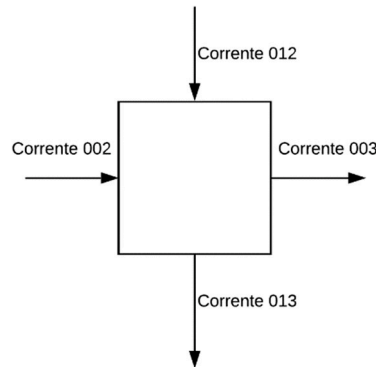
<b>ENTRADA</b>					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 001	24255	495	-	-	105
<b>SAÍDA</b>					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 002	24255	495	-	-	105

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.2 Resfriador 1

O equipamento pode ser representado pela Figura 8 e possui duas correntes de entrada (uma de óleo quente (002) e uma com água de torre (012)) e duas correntes de saída (003 e 013). Tabela 7 apresenta o resultado dos cálculos.

Figura 8– Representação por Bloco do Resfriador 1.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 7– Resultados dos Balanços no Resfriador 1.

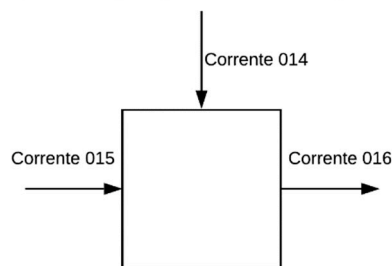
<b>ENTRADA</b>					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 002	24255	495	-	-	105
Corrente 012	-	-	28348	-	25
<b>SAÍDA</b>					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 003	24255	495	-	-	70
Corrente 013	-	-	28348	-	40

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.3 Aquecedor de água

A representação do equipamento pode ser vista através da Figura 9, nele entra uma corrente com água (015) e uma corrente com vapor saturado (014), que ao entrarem em contato produzem água quente (corrente 016), conforme pode ser visto nos dados apresentados na Tabela 8.

Figura 9– Representação por Bloco do Aquecedor de Água.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 8– Resultados dos Balanços no Aquecedor de Água.

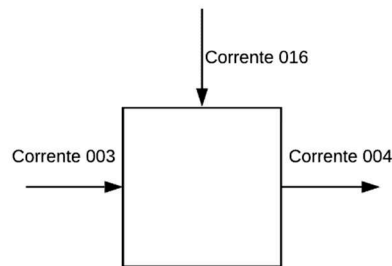
ENTRADA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 014	-	-	-	35	143
Corrente 015	-	-	459	-	25
SAÍDA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 016	-	-	495	-	70

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.4 Misturador estático

Como pode ser visto na Figura 10, o misturador recebe uma corrente do resfriador 1 (003) e uma corrente do tanque de água quente (016), gerando a corrente 004, que contém as duas substâncias. Os resultados dos balanços podem ser vistos na Tabela 9.

Figura 10– Representação por Bloco do Misturador Estático.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 9– Resultados dos Balanços no Misturador Estático.

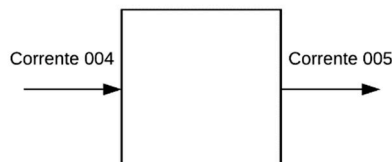
ENTRADA					
Componentes	$m_o(\text{kg/h})$	$m_g(\text{kg/h})$	$m_a(\text{kg/h})$	$m_v(\text{kg/h})$	T (°C)
Corrente 003	24255	495	-	-	70
Corrente 016	-	-	495	-	70
SAÍDA					
Componentes	$m_o(\text{kg/h})$	$m_g(\text{kg/h})$	$m_a(\text{kg/h})$	$m_v(\text{kg/h})$	T (°C)
Corrente 004	24255	495	495	-	70

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.5 Tanque de hidratação

Este equipamento pode ser representado pela Figura 11 e possui apenas uma corrente de entrada (004) e uma de saída (005). A Tabela 10 mostra os dados referentes variáveis dessas.

Figura 11– Representação por Bloco do Tanque de Hidratação.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 10–Resultados dos Balanços no Tanque de Hidratação.

ENTRADA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 004	24255	495	495	-	70
SAÍDA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 005	24255	495	495	-	70

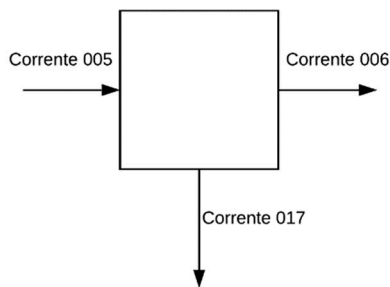
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.6 Centrífuga

A centrífuga pode ser representada pela Figura 12, possuindo uma corrente de entrada que vem do tanque de hidratação (005) e duas correntes de saída, uma na qual é retirada a goma (017) e outra onde sai o óleo degomado ainda úmido (006). Os dados podem ser observados na Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 11.

Figura 12– Representação por Bloco da Centrífuga.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 11–Resultados dos Balanços na Centrífuga.

ENTRADA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 005	24255	495	495	-	70
SAÍDA					
Componentes	$m_o$ (kg/h)	$m_g$ (kg/h)	$m_a$ (kg/h)	$m_v$ (kg/h)	T (°C)
Corrente 006	19649	9,90	495	-	70

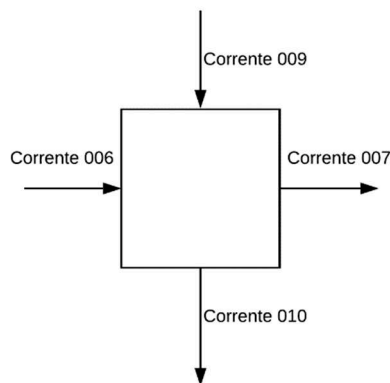
<i>Corrente 017</i>	4606	485,10	0	-	70
---------------------	------	--------	---	---	----

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.7 Economizador

Este equipamento possui uma corrente de entrada que vem da centrífuga com óleo degomado úmido e frio (corrente 006) e uma que possui o óleo degomado já seco e quente (corrente 009), como mostrado na Figura 13. Nele ocorre uma troca de calor de forma indireta, o resultado dessa pode ser observado na Tabela 12.

Figura 13- Representação por Bloco do Economizador.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 12-Resultados dos Balanços na Economizador.

<b>ENTRADA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
<i>Corrente 006</i>	19649	9,90	495	-	70
<i>Corrente 009</i>	19649	9,90	5	-	114
<b>SAÍDA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
<i>Corrente 007</i>	19649	9,90	495	-	84
<i>Corrente 010</i>	19649	9,90	5	-	99

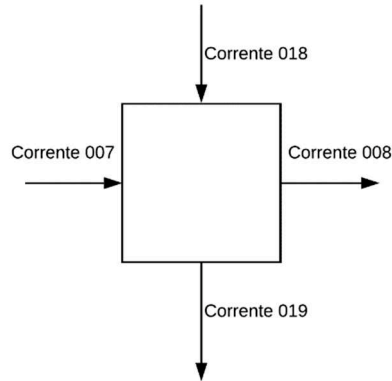
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.8 Aquecedor

A Figura 14 mostra um esquema do aquecedor, que possui duas correntes de entrada, sendo uma de óleo (007) e uma de vapor saturado (018), e duas correntes de saída, uma com

óleo aquecido (008) e uma com água saturada (019). Os resultados podem ser encontrados na Tabela 13.

Figura 14– Representação por Bloco do Aquecedor.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 13– Resultados dos Balanços no Aquecedor.

<b>ENTRADA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
Corrente 007	19649	9,90	495	-	84
Corrente 018	-	-	-	1106	143
<b>SAÍDA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
Corrente 008	19649	9,90	495	-	140
Corrente 019	-	-	1106	-	143

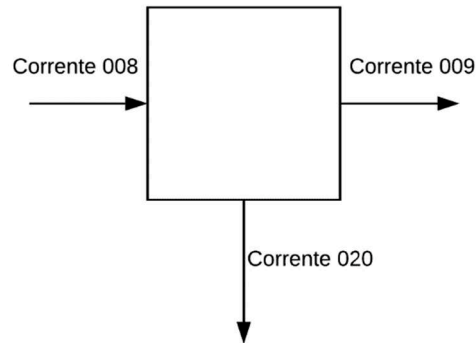
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.9 Secador

No secador, representado pela Figura 15– Representação por Bloco do Secador., o fluído que chega através da corrente de entrada (008) sofre uma redução brusca de pressão e origina duas correntes de saída em equilíbrio termodinâmico, uma com óleo seco quente (009) e uma de água (020). O resultado dos cálculos pode ser visto na Tabela 14.



Figura 15– Representação por Bloco do Secador.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 14– Resultados dos Balanços no Secador.

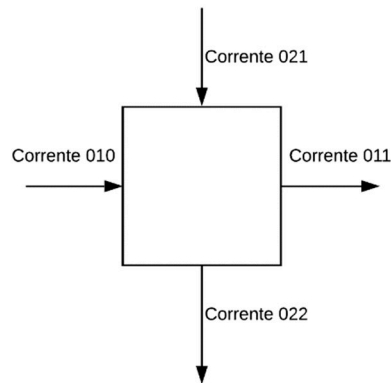
<b>ENTRADA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
Corrente 008	19649	9,90	495	-	140
<b>SAÍDA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
Corrente 009	19649	9,90	5	-	114
Corrente 020	-	-	490		114

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.1.10 Resfriador 2

A Figura 16– Representação por Bloco do Resfriador 2. mostra um esquema do que ocorre no resfriador 2, este funciona da mesma forma que o resfriador 1, com uma corrente de óleo que vem do economizador (010) e uma de água de torre (021). Na Tabela 15 são apresentados os resultados dos cálculos.

Figura 16– Representação por Bloco do Resfriador 2.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Tabela 15– Resultados dos Balanços no Resfriador 2.

<b>ENTRADA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
<i>Corrente 010</i>	19649	9,90	5	-	99
<i>Corrente 021</i>	-	-	32754	-	25
<b>SAÍDA</b>					
<b>Componentes</b>	<b><math>m_o</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_g</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_a</math>(kg/h)</b>	<b><math>m_v</math>(kg/h)</b>	<b>T (°C)</b>
<i>Corrente 011</i>	19649	9,90	5	-	50
<i>Corrente 022</i>	-	-	32754	-	40

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

#### 4.3.2 Erros dos balanços

Os cálculos para os balanços de massa e de energia a partir de modelos matemáticos, somado a isso, a dificuldade de encontrar parâmetros para o óleo de soja e para a goma e a precisão dos cálculos podem ter influência nos resultados e acarretar erros. Na Tabela 16 podem ser encontrados os desvios apresentados nos cálculos.

Tabela 16 – Erro nos balanços de massa e de energia por equipamento.

<b>Equipamento</b>	<b>Erro</b>
<b>Tanque de óleo bruto</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de energia	0
<b>Resfriador 1</b>	

Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0
<b>Tanque de água quente</b>	
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0
<b>Misturador estático</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0
<b>Tanque de mistura</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0
<b>Centrífuga</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	$2,91 \cdot 10^{-11}$
Balanço de energia	0
<b>Economizador</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	$7,65 \cdot 10^{-5}$
<b>Aquecedor</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	$7,65 \cdot 10^{-5}$
<b>Secador</b>	

Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0,0081925
<b>Resfriador 2</b>	
Balanço de massa de óleo	0
Balanço de massa de goma	0
Balanço de massa de água	0
Balanço de energia	0,008193

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 4.3.3 Integração dos Resultados com o COMOS

Os resultados obtidos a partir dos cálculos realizados no Excel foram passados para o COMOS de forma manual apenas o PFD e depois copiados através de uma estrutura fornecida pela ferramenta para o BFD. Assim, na parte superior do PFD é possível ver os valores referentes as vazões volumétricas, mássicas, temperatura, pressão e composição das correntes. O fluxograma de processos junto com o resultado da integração entre o resultado dos cálculos no Excel e o COMOS pode ser visto no Apêndice B – Fluxograma do Processo de Degomagem com Água de Óleo de Soja (PFD).

## 5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento e implementação deste trabalho pode-se concluir:

- A abordagem adotada para elaboração e resolução de balanços de massa e energia foi satisfatória haja vista que os resultados (erro) das equações implementadas no estudo de caso foram inferiores a 0,082, isto demonstra que os demais valores se mostram muito próximos de zero.
- O procedimento de comunicação entre o COMOS e as planilhas eletrônicas demonstraram-se aceitáveis, haja vista que o processo de comunicação foi manual. Em projetos de maior complexidade o procedimento aplicado neste trabalho poderá não ser aceitável devido ao elevado nível de trabalho manual.
- A integração entre as planilhas eletrônicas com o COMOS mostrou-se interessante em função da informação técnica típica de processo ser facilmente disseminada as demais disciplinas de engenharia dentro da plataforma, *e.g.*, disciplinas de hidráulica, elétrica, automação e mecânica.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o aprimoramento da metodologia proposta são deixadas algumas sugestões para trabalhos futuros e eventuais comparações de resultados:

- Utilizar outras metodologias para elaboração de balanços e aplicar no mesmo processo;
- Aplicar a metodologia em outros processos;
- Realizar a integração dos dados obtidos nas planilhas com o COMOS de forma automática;
- Utilizar outros softwares para a realização dos cálculos de forma a agilizá-los, como TEA em sua totalidade.

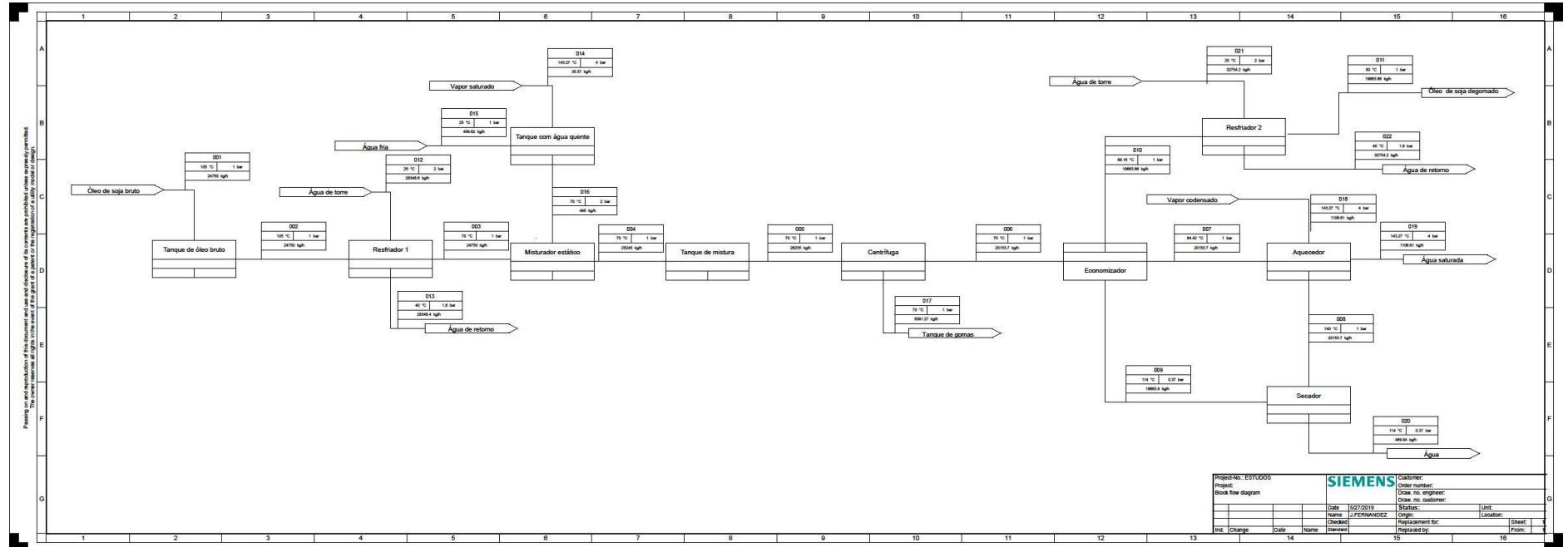
## REFERÊNCIAS

- CECI, L. N.; CONSTENLA, D. T.; CRAPISTE, G. H. Oil recovery and lecithin production using water degumming sludge of crude soybean oils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. July, p. 2527–2533, 2008.
- COELHO, P. Rumo à Indústria 4.0. **Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra**, 2016.
- ERICKSON, D. R. **Practical handbook of soybean processing and utilization**, 2015.
- FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. Impactos da Tecnologia da Informação nos Conhecimentos e Métodos Projetuais. **Seminário de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil**, v. 1, 2002.
- FELDER, R. M.; ROUSSEAU, R. W. **Princípios Elementares dos Processos Químicos**. Terceira E ed. Rio de Janeiro, 2014.
- GUNSTONE, F. D. **Vegetable Oils in Food Technology**, 2011.
- GUPTA, M. K. **Practical Guide to Vegetable Oil Processing**. 2nd. ed. 2017.
- JÚNIOR, A. DE C. G.; SOUZA, M. J. F. Solver(Excel): Manual De Referência. 2004.
- NDIAYE, P. M. et al. Vapor pressure data of soybean oil, castor oil, and their fatty acid ethyl ester derivatives. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v. 50, n. 2, p. 330–333, 2005.
- PERLINGEIRO, C. A. G. **Engenharia de Processos: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos**. São Paulo, 2005.
- PINTO, M. P. **Microsoft Excel 2010**, 2011.
- SALGADO FILHO, M. Aplicação de métodos de aglutinação em problemas com múltiplas respostas. **Aleph**, 2014.
- SENGAR, G. et al. Degumming of rice bran oil. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 30, n. 2, p. 183–198, 2014.
- SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro, 2007.
- TAMIETTI, R. P. Engenharia de projetos industriais. **Engeweb**, 2009.
- TOWLER, G.; SINNOT, R. **Chemical Engineering Design**. 2nd. ed., 2013.
- TURTON, R. et al. **Analysis, synthesis and design of chemical processes**, 2008.
- WIEDERMANN, L. H. Degumming, refining and bleaching soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 58, n. 3, p. 159–166, 1981.

ZAMBONI, L. C. et al. Planilhas Excel e Uso da Linguagem VBA em Aplicações para as Engenharias. **XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Cobenge**, 2011.

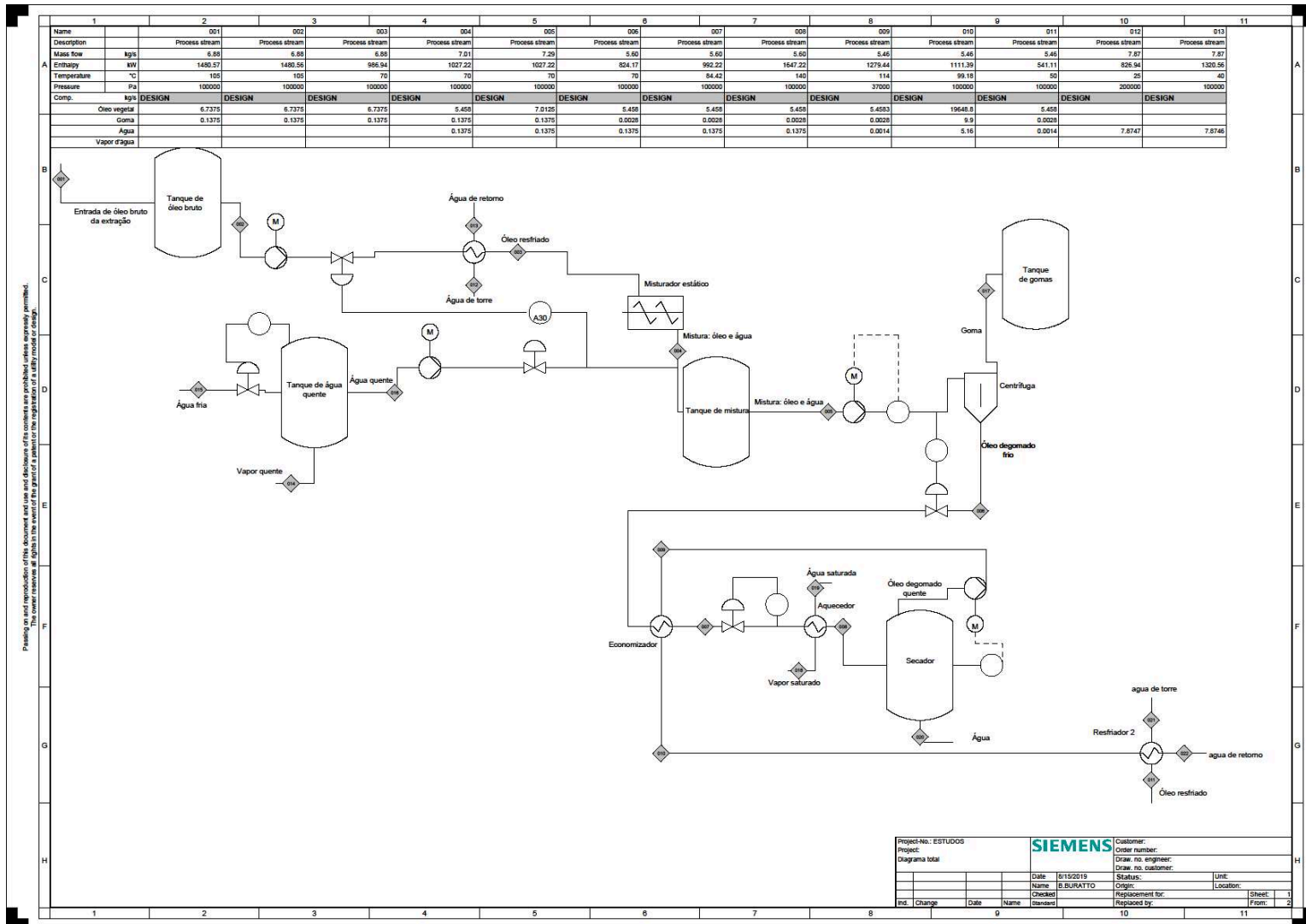


## APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO DE DEGOMAGEM COM ÁGUA DE ÓLEO DE SOJA (BFD)



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

## APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DEGOMAGEM COM ÁGUA DE ÓLEO DE SOJA (PFD)

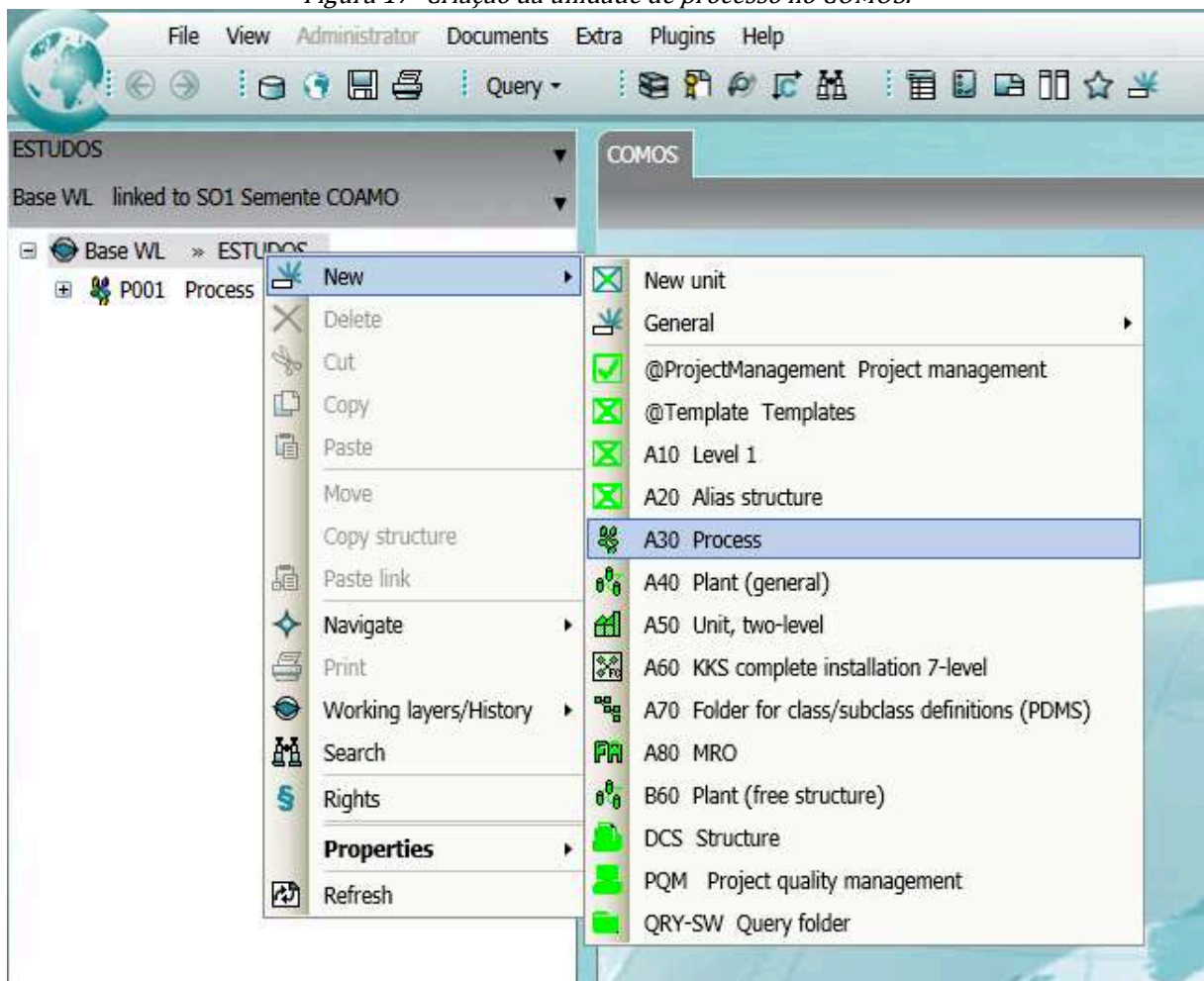


Fonte: Elaborado pela autora (2019).

## APÊNDICE C- TUTORIAL PARA CRIAÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCO NO COMOS

Para fazer uma unidade de processo no COMOS, deve-se entrar no projeto desejado, clicar com o botão direito do *mouse* no primeiro item que aparece, neste caso o “*Base WL*”, será mostrado uma série de opções. Como nesta etapa será feito o diagrama de bloco de um processo químico deve-se selecionar a opção “*New*”, e em seguida a opção “*A30 Process*”, conforme mostrado na Figura 17

Figura 17- Criação da unidade de processo no COMOS.

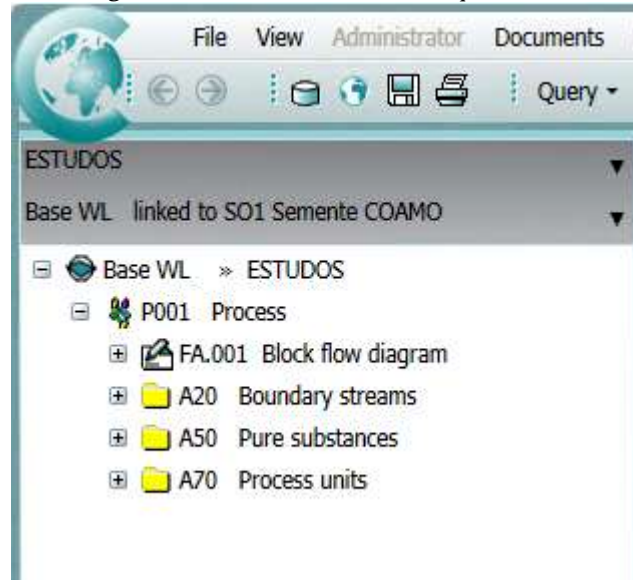


Fonte: A autora.

Ao criar a unidade processo no software aparecerão os tópicos mostrados na Figura 18. Para a criação do fluxograma de processo, que é objetivo deste item, será utilizado apenas

o primeiro subitem “FA.A001 *Block Flow Diagram*”, as *tags* e os nomes das pastas e itens já são pré-configurados pelos COMOS e podem ser mudados posteriormente, neste trabalho optou-se por seguir o arranjo proposto pelo *software*.

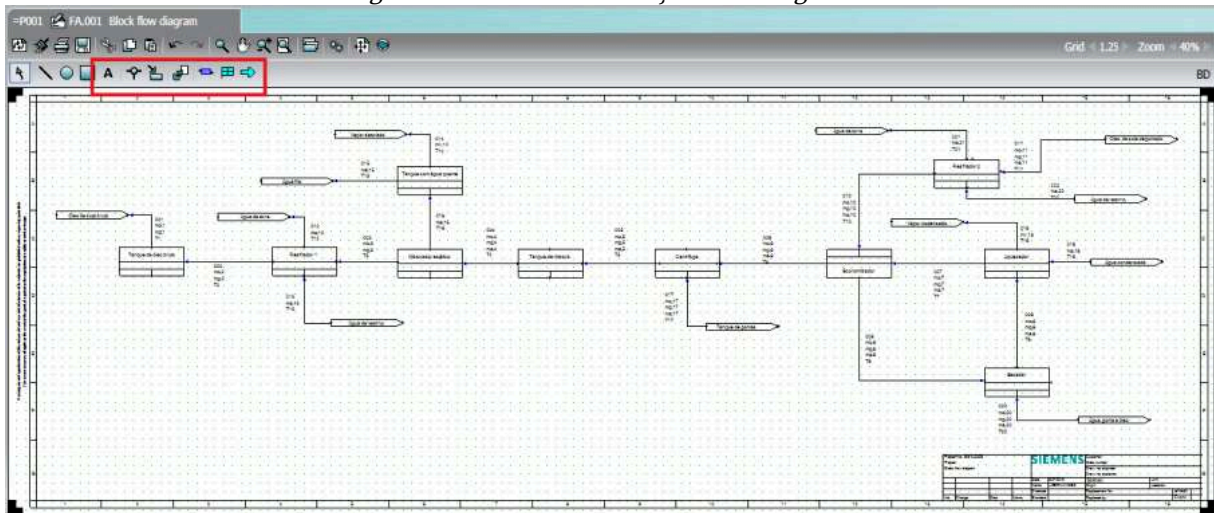
Figura 18– Pastas da unidade de processo.



Fonte: A autora.

Para iniciar a construção de um fluxograma, dá-se um duplo clique em cima da opção “FA.001 *Block Flow Diagram*” e então será aberto uma folha na qual poderá ser feito o diagrama de blocos. Com a tela em branco, serão criados os blocos de processo através do quinto ícone dentro da caixa vermelha mostrada na Figura 19, cada bloco deverá representar um equipamento ou operação unitária, para a execução deste trabalho, considerou-se que cada bloco representa um equipamento. Após o posicioná-los, esses devem ser nomeados de acordo com a forma escolhida, para isso deve-se clicar com o botão esquerdo do mouse em cima da caixa, ela ficará rosa, então clica-se com o botão direito e seleciona-se a opção “*Properties*”, e altera-se o nome do equipamento no campo “*Description*”.

Figura 19 – Tela da construção do fluxograma.



Fonte: A autora.

Em seguida, são colocadas as setas, que representam as entradas e saídas do sistema que provém de outras áreas (normalmente de Utilidades). Para criá-las utiliza-se o último botão que está ressaltado na caixa vermelha, e então basta posicioná-las onde fica visualmente melhor no fluxograma. Para rotulá-las deve-se clicar no primeiro ícone dentro da caixa vermelha representado pela letra “A”, junto ao cursor do mouse aparecerá uma escrita “*New text*”, deve-se então posicionar o texto dentro da caixa, dar um duplo clique com o botão esquerdo e escrever a referência daquela seta.

Após isso, são feitas as ligações bloco-bloco e seta-bloco, para isso deve-se clicar no segundo item ressaltado pelo quadrado vermelho, que é o item de conexão, então clica-se na seta e depois no bloco (será possível perceber um círculo nas extremidades das setas e em cada uma das faces dos blocos, é onde as ligações devem ser feitas). É importante ressaltar que os itens colocados no fluxograma tem locais definidos para correntes de entrada e de saída, caso seja necessário rotacionar algum item para que o fluxograma fique mais organizado selecionar o item desejado (ele deve ficar rosa), então clica-se com o botão direito, leva-se o mouse até “Options” e então seleciona-se uma das opções “*Flip vertically*” ou “*Flip horizontally*”.

A partir disso, define-se a nomenclatura para cada corrente e componentes, deve-se considerar a vazão global, a distribuição das componentes dentro da corrente e a temperatura. Para taguear as correntes, pode-se seguir o mesmo processo utilizado para rotular as setas, através do ícone “A”.

É importante também ressaltar, no descritivo do processo, se em algum equipamento ocorrem mudanças em relação ao processo global, como por exemplo uma redução de pressão ou uma mudança de fase.

**ANEXO A – ATIVIDADE PARA EXECUÇÃO DE PROJETO BÁSICO DA  
DISCIPLINA PROCESSO**

<b>Atividade</b>	<b>1. CONSOLIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO</b>
<b>Descrição</b>	<p>Consolidação dos Critérios de Projeto da disciplina de Processo desenvolvidos no Projeto Conceitual. O documento deve conter, porém, sem se limitar, o seguinte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escopo do projeto</li> <li>- Códigos de origem da informação</li> <li>- Referências utilizadas</li> <li>- Códigos e Normas utilizados</li> <li>- Capacidade e regimes operacionais</li> <li>- Características físicas, químicas e mineralógicas de minérios e produtos.</li> <li>- Parâmetros de projeto e do processo</li> <li>- Dados básicos de partição e dimensionamento</li> <li>- Dados básicos de consumo e manuseio de reagentes e demais insumos.</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	Define todos os critérios de para desenvolvimento do projeto. É fundamental para a disciplina de Processo, porém, contém informações úteis para as outras disciplinas
<b>Quando</b>	Início do projeto básico, sendo o primeiro documento do projeto a ser emitido.
<b>Metodologia</b>	A partir do critério de projeto desenvolvido no Projeto conceitual.
<b>Produto e Registro</b>	Critérios de projeto de Processo e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	<b>2. CONSOLIDAÇÃO DO BALANÇO DE MASSAS</b>
<b>Descrição</b>	<p>Memória de cálculo onde se determinam as características físicas e químicas dos fluxos de alimentação e de produtos das operações unitárias que compõem o processo. Para cada fluxo é calculada a totalidade ou parte dos seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão em massa e em volume dos sólidos</li> <li>- Vazão em massa e em volume do líquido</li> <li>- Vazão em massa e em volume de polpa</li> <li>- Densidades reais dos sólidos e do líquido</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade da polpa</li> <li>- Densidade aparente</li> <li>- % de sólidos em massa e volume</li> <li>- Distribuição granulométrica dos sólidos</li> <li>- Tamanho máximo dos sólidos</li> <li>- Teores dos elementos úteis e/ou das impurezas - Recuperações em massa e/ou metalúrgica.</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	É fundamental para consolidação dos fluxogramas de processo e para a consolidação do dimensionamento dos equipamentos.
<b>Quando</b>	Logo após a emissão dos critérios de projeto e em paralelo com a elaboração do fluxograma de processo.
<b>Metodologia</b>	Sem padrão específico. Deve ser digitado em forma de memória de cálculo em formato A4 ou em “software” específico de simulação de processo.
<b>Produto e Registro</b>	Memória de cálculo - balanço de massas e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	3. CONSOLIDAÇÃO DOS FLUXOGRAMAS DE PROCESSO
<b>Descrição</b>	<p>Documento básico para todo o projeto. Deve conter, sem se limitar, ao seguinte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Símbolos para cada equipamento ou para um conjunto de equipamentos.</li> <li>- Linhas individualizadas representando os fluxos de interligação dos equipamentos e /ou operações unitárias, com setas para indicar o sentido de fluxo das mesmas.</li> <li>- Número de identificação para cada fluxo.</li> <li>- Identificação dos equipamentos (TAG) ao lado do símbolo do equipamento, nome e características principais do equipamento.</li> <li>- Bandeiras indicando os fluxos de entrada e saída do fluxograma contendo a identificação do equipamento de origem ou destino com o número de fluxograma em que se encontra.</li> <li>- Balanço de massas contendo o número do fluxo e para cada fluxo os parâmetros principais determinados no documento “Memória de Cálculo</li> <li>- Balanço de Massas”, utilizando-se os valores para a capacidade horária nominal.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legenda identificando a natureza do fluxo (principal, secundário, alternativo, eventual etc.) e o respectivo tipo e espessura de linha, símbolos especiais etc.</li> <li>- Indicação dos desenhos e documentos de referência para a elaboração do fluxograma.</li> <li>- Indicação de notas com as informações complementares que auxiliem o entendimento do processo e do fluxograma e forneçam outras informações adicionais julgadas importantes.</li> <li>- Indicação de bandeiras com a indicação das entradas de utilidades e /ou insumos (ar, água de lavagem, água de selagem, reagentes etc.).</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	É fundamental para o projeto, pois contém as informações principais para que o Processo e as outras disciplinas possam desenvolver suas atividades. Serve de base para a elaboração dos Fluxogramas de Engenharia pela disciplina de Tubulação /Sistema, com apoio do Processo e Automação Industrial.
<b>Quando</b>	Documento elaborado em paralelo ou logo depois de consolidado o balanço de massas.
<b>Metodologia</b>	Deve ser elaborado de acordo com as simbologias para fluxogramas.
<b>Produto e Registro</b>	Fluxograma de processo e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	4. CONSOLIDAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS
<b>Descrição</b>	Memória de cálculo que apresenta os critérios e justificativas para a seleção de cada equipamento de Processo, assim como os procedimentos e métodos adotados no dimensionamento dos mesmos, definindo suas características principais: capacidade de produção, tamanhos do produto, dimensões básicas, potências, pesos etc.
<b>Finalidade</b>	É fundamental para elaboração da lista de equipamentos mecânicos, assim como para o preenchimento das folhas de dados. Define os equipamentos mecânicos de forma a fornecer as informações necessárias ao desenvolvimento das atividades das outras disciplinas (Mecânica, Tubulação / Sistemas, Elétrica, Civil etc). É importante ainda para a estimativa de

	insumos e consumo de utilidades.
<b>Quando</b>	Após o balanço de massas e em paralelo com o desenvolvimento do fluxograma de processo.
<b>Metodologia</b>	Deve ser digitado em formato A4, elaborado em MS Excel ou através de softwares específicos, com aprovação prévia do cliente.
<b>Produto e Registro</b>	Memória de cálculo – consolidação do dimensionamento de equipamentos e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	5. LISTA DE EQUIPAMENTOS MECÂNICOS (APOIO)
<b>Descrição</b>	Apoio na consolidação da lista de equipamentos mecânicos. Contém basicamente: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação do equipamento (TAG)</li> <li>- Descrição</li> <li>- Características, dimensões básicas.</li> <li>- Potência do motor</li> <li>- Peso</li> <li>- Número da folha de dados e número do P&amp;ID</li> <li>- Referência: fabricante /modelo</li> <li>- Observações necessárias.</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	É um dos principais veículos para a transferência de informações entre as várias disciplinas além de contribuir para a estimativa de preços dos equipamentos.
<b>Quando</b>	Logo após o fluxograma de processo e o dimensionamento dos equipamentos.
<b>Metodologia</b>	O documento deve ser elaborado pela disciplina de Mecânica Equipamentos e a disciplina de processo dá apoio na elaboração do mesmo. Deve ser elaborado no padrão de lista de equipamentos.
<b>Produto e Registro</b>	Lista de equipamentos mecânicos e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	6. FOLHA DE DADOS (APOIO)
<b>Descrição</b>	Apoio no documento através do qual se transmite ao fabricante e /ou fornecedor todos os dados necessários e requisitos exigidos para a seleção, dimensionamento ou confirmação da seleção de um determinado

	<p>equipamento com o objetivo de se obter uma proposta de fornecimento. Contem basicamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome e número do equipamento (TAG)</li> <li>- Características gerais: quantidade, fabricante, modelo.</li> <li>- Condições de alimentação: características físico-químicas, vazões nominais e de projeto.</li> <li>- Condições de operação: ciclo de trabalho, tipo de serviço, dados locais (tipo de ambiente, temperatura, umidade relativa do ar etc), características da alimentação elétrica, utilidades necessárias (natureza, vazão, pressão etc), eficiência da operação etc.</li> <li>- Características construtivas: tipo, dimensões, acessórios, materiais de desgaste, equipamentos auxiliares, acionamento, parâmetros operacionais, pesos e volumes, materiais de construção dos diversos componentes e acessórios.</li> <li>- Observações</li> <li>- Folhas de dados de motores elétricos</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	A folha de dados complementa a especificação técnica do equipamento, sendo um documento indispensável para que o fornecedor e /ou fabricante possa apresentar a proposta de fornecimento do mesmo.
<b>Quando</b>	Após o dimensionamento dos equipamentos.
<b>Metodologia</b>	Conforme procedimento do cliente, quando houver.
<b>Produto e Registro</b>	Folha de dados e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	<b>7. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA (APOIO)</b>
<b>Descrição</b>	<p>Apoio na elaboração do documento que tem por objetivo apresentar aos proponentes as características básicas e os requisitos mínimos necessários para o fornecimento de um determinado equipamento ou conjunto de equipamentos (pacote). Contém basicamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Objetivo</li> <li>- Códigos e Normas aplicáveis.</li> <li>- Escopo do fornecimento: limites de bateria do fornecimento, inclusões e exclusões.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características gerais requeridas: requisitos mecânicos, características e requisitos construtivos.</li> <li>- Condições de operação: ciclo de trabalho, tipo de serviço.</li> <li>- Proteção de superfície e pintura, isolamento térmico e acústico.</li> <li>- Garantia de performance, testes de aceitação.</li> <li>- Documentação técnica exigida.</li> <li>- Quantificação do fornecimento.</li> </ul>
<b>Finalidade</b>	Apresentar ao proponente as características básicas e os requisitos mínimos necessários ao fornecimento de um determinado equipamento.
<b>Quando</b>	Após o dimensionamento dos equipamentos, em conjunto com a consolidação dos fluxogramas de processo e engenharia e finalização dos arranjos e, em paralelo com a elaboração das folhas de dados.
<b>Metodologia</b>	Conforme procedimento do cliente, quando houver.
<b>Produto e Registro</b>	Especificação técnica e registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	8. CONTATOS COM FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS
<b>Descrição</b>	São contatos através de reuniões e outros meios de comunicação (telefone, telefax, carta e e-mail) com os fabricantes e /ou fornecedores.
<b>Finalidade</b>	Objetiva a obtenção de literatura técnica, esclarecimentos de dúvidas, discussão de alternativas, de modo a subsidiar o desenvolvimento técnico do projeto e as estimativas de consumos operacionais e de investimento do projeto.
<b>Quando</b>	Estes contatos podem ocorrer durante todo o Projeto Básico.
<b>Metodologia</b>	Os contatos são feitos diretamente pelo supervisor da disciplina ou engenheiro de processo designado. Prévio entendimento com o Cliente sobre os fornecedores a serem consultados.
<b>Produto e Registro</b>	Os produtos dessa atividade podem ser uma ata de reunião ou uma troca de correspondência entre as partes envolvidas e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	9. APOIO A OUTRAS DISCIPLINAS
<b>Descrição</b>	Trata-se de atividades informais no âmbito do Projeto Básico visando esclarecer dúvidas, discutir soluções, comentar documentos das outras

	disciplinas envolvidas no projeto.
<b>Finalidade</b>	Tem por objetivo garantir um suporte adequado às demais disciplinas envolvidas no projeto, de forma a evitar a utilização de soluções técnicas inadequadas do ponto de vista de processo e de operação.
<b>Quando</b>	Durante todo o projeto básico.
<b>Metodologia</b>	Por se tratar de atividades informais não são necessariamente registradas. Caso necessário, o registro pode ser feito através de atas de reunião, comentários em documentos do projeto, comunicação interna ou outro tipo de registro, normalmente a critério da coordenação do contrato.
<b>Produto e Registro</b>	Não gera documento necessariamente. Atendimento ao apoio necessário e /ou solicitado. Registro quando necessário, conforme especificado na metodologia.
<b>Atividade</b>	10. FLUXOGRAMAS DE ENGENHARIA (PARTICIPAÇÃO)
<b>Descrição</b>	Apoio na elaboração dos fluxogramas de engenharia.
<b>Finalidade</b>	Tem por objetivo garantir um suporte adequado por parte da equipe de Processo a disciplina de Tubulação /Sistemas.
<b>Quando</b>	Após a consolidação dos fluxogramas de processo.
<b>Metodologia</b>	O documento deve ser elaborado pela disciplina de Tubulação /Sistemas e a disciplina de processo dá apoio na elaboração dos mesmos. Por se tratar de atividades informais, não são necessariamente registradas. O registro pode ser feito através de ata de reunião, comentário no fluxograma de engenharia, comunicação interna ou outro tipo de registro, normalmente a critério da coordenação.
<b>Produto e Registro</b>	Não gera documento. Atendimento ao apoio necessário e /ou solicitado. Registro quando necessário, conforme especificado na metodologia.
<b>Atividade</b>	11. DEFINIÇÃO BÁSICA DA FILOSOFIA DE CONTROLE (PARTICIPAÇÃO)
<b>Descrição</b>	Apoio na definição básica das filosofias de controle a serem empregadas nas diversas etapas de processos da planta.
<b>Finalidade</b>	Para garantir a perfeita adequação da filosofia de controle adotada às necessidades do processo.
<b>Quando</b>	Após a conclusão dos fluxogramas de processo.

<b>Metodologia</b>	O documento deve ser elaborado pela disciplina de Automação Industrial e a disciplina de processo dá apoio na elaboração do mesmo. O apoio pode ser realizado através de ata de reunião, comentários em documentos do projeto, comunicação interna ou outro tipo de registro, normalmente a critério da coordenação.
<b>Produto e Registro</b>	Configuração Básica do Sistema de Controle e Supervisão. Atendimento ao apoio necessário e /ou solicitado.
<b>Atividade</b>	12. ESTIMATIVA DE CONSUMOS OPERACIONAIS
<b>Descrição</b>	Documento contendo os principais insumos relativos à operação da planta.
<b>Finalidade</b>	Fornecer subsídios para composição do custo de operação da planta, complementando as informações para a disciplina de Engenharia Econômica na geração da estimativa de custos operacionais e modelamento econômico.
<b>Quando</b>	Após a conclusão do dimensionamento dos equipamentos mecânicos e a partir dos contatos com fabricantes e /ou fornecedores e de dados fornecidos pelo cliente
<b>Metodologia</b>	Através dos contatos com os fabricantes e /ou fornecedores ou consulta a bancos de dados obtém-se os quantitativos dos insumos e dos itens de consumo (energia, reagentes, revestimentos, peças de desgaste etc). Havendo variação deve ser calculado para cada ano de operação do empreendimento. Deve conter também um texto explicativo dos critérios adotados no levantamento dos insumos e consumos. Deve ser executado no padrão de memória de cálculo, formato A4 em MS Excel.
<b>Produto e Registro</b>	Dados para custo operacional e registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	13. APOIO NA ELABORAÇÃO DAS PLANILHAS DE QUANTIDADES
<b>Descrição</b>	Apoio no documento que contem os quantitativos de equipamentos além de obras e serviços associados a estes a serem adquiridos.
<b>Finalidade</b>	Servir de subsídio para as estimativas de orçamento e planejamento carregando recursos a serem elaboradas pelo Planejamento e Controle
<b>Quando</b>	Ao final do Projeto Conceitual.
<b>Metodologia</b>	Preenchimento da planilha com os dados disponíveis, obtidos a partir da

	Lista de Equipamentos Mecânicos. Utilizar para elaboração os modelos e documentos técnicos aplicáveis e disponíveis no SPE (ver item 3.0).
<b>Produto e Registro</b>	Documento intitulado “Planilha de Quantidades” e registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	14. MEMORIAL DESCRITIVO DO PROCESSO
<b>Descrição</b>	Trata-se de uma descrição de todo o processo. O memorial deve conter introdução, onde se apresenta um resumo sucinto do processo, e uma itemização por área e subárea na qual se faz uma descrição das operações unitárias que compõem a mesma. Na descrição, os equipamentos são apresentados através do seu nome (descrição) e sua identificação (TAG), não sendo necessário informar as suas características específicas como, pesos e potências. Para algumas instalações, tais como: silos, pilhas de estocagem, tanques etc, além de sua identificação e TAG, faz-se referência às suas capacidades (volume ou peso) úteis.
<b>Finalidade</b>	O memorial descritivo de processo é um documento que descreve as operações unitárias e o processo como um todo. Também é um documento que é obrigatoriamente inserido no relatório executivo do FEL 3.
<b>Quando</b>	Após a conclusão dos fluxogramas de processo e a lista de equipamentos mecânicos.
<b>Metodologia</b>	É um documento digitado em MS Word e emitido em formato A4.
<b>Produto e Registro</b>	Memorial descritivo do processo e os registros de sua verificação.
<b>Atividade</b>	15. RELATÓRIO TÉCNICO DE PROCESSO
<b>Descrição</b>	Documento que relata os principais critérios, produtos e interfaces da disciplina de Processo para o desenvolvimento do Projeto Básico.
<b>Finalidade</b>	Contribuir para elaboração do Relatório Executivo.
<b>Quando</b>	Ao final do Projeto Básico.
<b>Metodologia</b>	O documento deve contemplar os principais critérios utilizados para desenvolvimento do projeto; relatar as interfaces com as outras disciplinas e áreas de gestão tais como suprimentos, segurança, riscos. Deve ser abordado ainda o status das atividades desenvolvidas no projeto básico, além de ações e pendências que devem ser concluídas na fase de engenharia detalhada. O

	documento deve ser emitido em MS Word e incorporado no Relatório Executivo.
<b>Produto e Registro</b>	Relatório Técnico da disciplina de Processo e registros de sua verificação

Fonte: Tamietti (2009).