

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA QUÍMICA

ADONIAS TRINCK SALVADOR  
BRUNA RODRIGUES DE FARIA  
ÉRICA APARECIDA BERGAMO  
MARCOS PAULO SILVA

**CÁLAMO: INDÚSTRIA DE ETANOL 2G**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

APUCARANA

2018

ADONIAS TRINCK SALVADOR  
BRUNA RODRIGUES DE FARIA  
ÉRICA APARECIDA BERGAMO  
MARCOS PAULO SILVA

## **CÁLAMO: INDÚSTRIA DE ETANOL 2G**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
como requisito parcial para obtenção de grau de  
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Alves da Silva.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Lini Seixas.

APUCARANA

2018



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Cálamo

por

Adonias Trinck Salvador

Bruna Rodrigues de Faria

Erica Aparecida Bergamo

Marcos Paulo Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Fernando Alves  
Orientador

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fernanda Lini Seixas  
Coorientadora

---

Prof. Dr. Gylles Ricardo Ströher  
Membro

---

Prof. Dr. Rafael Oliveira Defendi  
Membro

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

## **AGRADECIMENTOS**

Adonias agradece primeiramente a Deus, e a Jesus Cristo, seu Senhor e Salvador pela vida, saúde e forças concedidas durante sua jornada acadêmica. Em segundo lugar, a seus pais e irmão pelo apoio nas horas difíceis e por todo incentivo e amor dispensado a ele. Aos seus amigos e companheiros de trabalho pela comunhão e união dos esforços que proporcionaram uma formação excepcional, além de todas as risadas e tristezas compartilhadas em nossas amizades, que irão perdurar até o final de nossas vidas.

Érica Bergamo agradece primeiramente a Deus pelo dom da vida. Aos seus pais, José Liondenir e Carmem, pelo apoio, carinho e compreensão durante toda a graduação. Aos seus amigos, companheiros deste trabalho, por compartilharem todos os momentos felizes, tristes, pelas noites de estudos e todo o companheirismo durante esses anos.

Bruna Rodrigues de Faria agradece a sua mãe, Romilda Faria, seus irmãos, Elizangela, Luciano, Beatriz, Everton e Cláudia, seu namorado, Guilherme Suetomi, e toda sua família por todo amor, carinho, palavras de incentivo e suporte fornecido durante a graduação. Agradece também, a Deus por ter lhe dado saúde e força durante os momentos difíceis.

Marcos Paulo agradece aos seus pais, Celismar e Ineide, e sua irmã Paulenny, por fazerem do seu sonho o deles também, pelo amor, carinho e incentivo nessa trajetória. Agradece aos seus amigos, especialmente à Família Bloco 7, pelo companheirismo nesse percurso. À Deus pelo dom da vida e todas graças concedidas, e a sua família por todo apoio e orações.

Por fim, agradecemos à UTFPR e aos professores, especialmente ao nosso orientador Prof. Dr. Fernando Alves da Silva, por toda paciência, empatia e todo o auxílio na realização deste trabalho. Ao nosso amigo Lucas Zafanelli, por compor o time Cálamo e auxiliar na primeira parte deste projeto. Agradecemos também a Raquel Sumie pela logo da Cálamo. E a todas as pessoas que nos ajudaram direta ou indiretamente na nossa formação acadêmica, e que sempre torceram pelo nosso sucesso.

“Sonho que se sonha só,  
É só um sonho que se sonha só,  
Mas sonho que se sonha junto é realidade!”

Raul Seixas – Prelúdio

## RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores globais de etanol obtido por rotas fermentativas. No cenário atual, o etanol brasileiro proveniente da cana-de-açúcar representa a melhor e mais avançada opção para a produção sustentável de biocombustíveis em larga escala no mundo, visto que sua produção rende mais etanol por tonelada além de uma maior redução de gases de efeito estufa se comparado a outros biocombustíveis. Aliado a esses fatores, as indústrias e projetos nacionais do setor concentram seus esforços em tecnologias para desenvolvimento de processos biotecnológicos de produção de etanol celulósico, assumindo uma importância ainda maior nesse contexto por estar em implantação e expansão. Perante estes fatos, o presente trabalho apresentará a elaboração do projeto da unidade industrial Cálamo, uma indústria produtora de etanol hidratado e anidro que integra a produção deste álcool pelas rotas convencional e celulósica. O projeto pormenorizado define previamente fatores que o permearão, como escopo, estudo de mercado, projeções de consumo, decisão locacional, o processo produtivo do empreendimento, e ademais, os balanços material e energético, as especificações dos equipamentos, integração energética e a análise financeira.

**Palavras-chaves:** Cálamo; Biocombustíveis; Etanol de Segunda Geração; Desenvolvimento Sustentável.

## ABSTRACT

Brazil is one of the biggest global producers and consumers of ethanol obtained by fermentation processes. In the current state, Brazilian ethanol obtained from sugar cane represents, globally, the best and most advanced option of large-scale biofuel sustainable production, since its production outcomes more ethanol per ton (of cane) and high reduction of the greenhouse gases emission compared to other biofuels. Besides these facts, the national industries and projects of this area focus on technology for developing the production of second-generation ethanol by biotechnological process, assuming an even bigger importance in this context since it is in expansion and implementation. Towards, this work will present an elaboration of an industry called Cálamo, a hydrated and anhydrous ethanol producer, which integrates the production of this alcohol by conventional and cellulosic processes. The detailed project defines the following: scope, market study, consumption projections, location decision, the productive process of the enterprise, the material and energy balance, equipment specifications, energy integration and financial analysis.

**Keywords:** Biofuels; Second Generation Ethanol; Sustainable development;

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Cálamo.....	23
<b>Figura 2:</b> Logotipo. ....	24
<b>Figura 3:</b> Potencial de emissão de CO <sub>2</sub> pela gasolina (%).....	34
<b>Figura 4:</b> Projeções para a safra 2027/2028 de produção de cana-de-açúcar.....	35
<b>Figura 5:</b> Parte da Região Administrativa e Metropolitana de Campinas. ....	36
<b>Figura 6:</b> Fluxograma do processo produtivo da Cálamo.....	38
<b>Figura 7:</b> Fluxograma do Processo de Primeira Geração. ....	39
<b>Figura 8:</b> Funcionamento de Moenda com 6 ternos. ....	41
<b>Figura 9:</b> Fluxograma de blocos do Processo de Segunda Geração. ....	45
<b>Figura 10:</b> Esquema de armazenamento das matérias-primas para a produção de etanol de segunda geração. ....	46
<b>Figura 11:</b> Esquema do efeito do pré-tratamento em material lignocelulósico. ....	47
<b>Figura 12:</b> Junção dos processos de primeira e segunda geração. ....	49
<b>Figura 13:</b> Fluxograma do processo de destilação para obtenção de etanol hidratado. ....	53
<b>Figura 14:</b> Temperatura ambiente média de Itupeva –SP.....	55
<b>Figura 15:</b> Diagrama de Processo (Área 1110).....	57
<b>Figura 16:</b> Lavagem a seco da cana-de-açúcar por ar forçado (Área 1200). ....	58
<b>Figura 17:</b> Representação de um desfibrador (Área 1300). ....	59
<b>Figura 18:</b> Representação de separador eletromagnético no preparo para moagem (Área 1400). ....	60
<b>Figura 19:</b> Diagrama de Processo (Área 1500).....	61
<b>Figura 20:</b> Diagrama de Processo (Área 1610).....	63
<b>Figura 21:</b> Esquema de tanque pasteurizador (Área 1620).....	64
<b>Figura 22:</b> Esquema de vaso flash para separação de ar dissolvido. (Área 1630)..	65
<b>Figura 23:</b> Esquema da clarificação do caldo (Área 1640).....	66



<b>Figura 24:</b> Esquema de clarificação do caldo (Área 1650).....	67
<b>Figura 25:</b> Esquema da filtração do lodo (Área 1700).....	68
<b>Figura 26:</b> Esquema da junção dos caldos tratados (Área 1710).....	69
<b>Figura 27:</b> Esquema do manuseio de matérias-primas para a etapa 2G Cálamo (Área 2200).....	71
<b>Figura 28:</b> Explosão a vapor (Área 2300).....	73
<b>Figura 29:</b> Esquema de Filtro para remoção de pentoses (Área 2400).....	74
<b>Figura 30:</b> Esquema do Misturador (Área 2500).....	75
<b>Figura 31:</b> Diagrama do Processo de Hidrólise Enzimática (Área 2600).....	76
<b>Figura 32:</b> Diagrama da etapa de filtração (Área 2700).....	77
<b>Figura 33:</b> Esquema da Centrífuga (Área 2800).....	78
<b>Figura 34:</b> Diagrama de Processo (Área 3100).....	80
<b>Figura 35:</b> Diagrama de Processo (Área 3200).....	82
<b>Figura 36:</b> Diagrama do Processo de Fermentação (Área 3310).....	84
<b>Figura 37:</b> Diagrama de Processo (Área 3320).....	86
<b>Figura 38:</b> Diagrama de Processo (Área 3400).....	87
<b>Figura 39:</b> Diagrama de Processo (Área 3510).....	88
<b>Figura 40:</b> Diagrama de Processo (Área 3520).....	89
<b>Figura 41:</b> Diagrama de Processo (Área 3600).....	91
<b>Figura 42:</b> Diagrama de Processo (Área 3700).....	92
<b>Figura 43:</b> Diagrama de Processo (Área 3800).....	96
<b>Figura 44:</b> Diagrama de Processo (Área 3900).....	99
<b>Figura 45:</b> Diagrama de Cebola .....	100
<b>Figura 46:</b> Sistema de desmineralização da Cálamo.....	102
<b>Figura 47:</b> Desaerador horizontal do tipo bandeja.....	103
<b>Figura 48:</b> Lagoa de distribuição impermeabilizada.....	104

<b>Figura 49:</b> Divisão em intervalos de temperatura. ....	109
<b>Figura 50:</b> Cascata de Calor.....	110
<b>Figura 51:</b> Curvas compostas (Quente e Fria). ....	112
<b>Figura 52:</b> Curva Composta Global. ....	113
<b>Figura 53:</b> Diagrama de rede do processo. ....	115
<b>Figura 54:</b> Caldeira de leito fluidizado borbulhante. ....	117
<b>Figura 55:</b> Tanques de armazenamento de etanol hidratado .....	122
<b>Figura 56:</b> Tanques de armazenamento de etanol anidro.....	123
<b>Figura 57:</b> Determinação do número de dornas da Área 3310.....	132
<b>Figura 58:</b> Esquema de Operação das Dornas 1 e 2 da Área 3510.....	132
<b>Figura 59:</b> Determinação do número de dornas da Área 3320.....	134
<b>Figura 60:</b> Esquema de Operação das Dornas 8 da Área 3520.....	134
<b>Figura 61:</b> Organograma da Cálamo.....	140
<b>Figura 62:</b> Indicador semestral do etanol hidratado como combustível.....	147
<b>Figura 63:</b> Fluxo de Caixa Detalhado .....	152
<b>Figura 64:</b> Fluxo de caixa líquido.....	153
<b>Figura 65:</b> Ponto de Equilíbrio. ....	154

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Balanço material e energético no sistema de recepção e remoção de impurezas minerais (Área 1110). .....	57
Tabela 2: Balanço material e energético do processo de lavagem a seco (Área 1200). .....	58
Tabela 3: Balanço material e energético do processo de desfibrção da cana-de-açúcar (Área 1300).....	59
Tabela 4: Balanço material e energético no processo de separação eletromagnética e preparo para moagem (Área 1400). .....	60
Tabela 5: Balanço material e energético no processamento da cana por moagem com adição de água (Área 1500). .....	61
Tabela 6: Balanço material e energético no processo de separação de caldo e fibras utilizando peneiras seguida por hidrociclone (Área 1610). .....	63
Tabela 7: Balanço material e energético do processo de aquecimento (Área 1620).	64
Tabela 8: Balanço material e energético do processo de flasheamento do caldo filtrado (Área 1630). .....	65
Tabela 9: Balanço material e energético do processo de clarificação do caldo (Área 1640). .....	66
Tabela 10: Balanço material e energético do processo de Decantação do caldo (Área 1650). .....	67
Tabela 11: Balanço material e energético do processo de filtração do lodo (Área 1700). .....	68
Tabela 12: Balanço material e energético do processo da junção dos caldos tratados (Área 1710). .....	69
Tabela 13: Composição da palha e palhiço de cana-de-açúcar em percentual de base seca.....	71
Tabela 14: Composição do bagaço de cana-de-açúcar em percentual de base seca. .....	71

Tabela 15: Balanço material e energético na etapa de manuseio de matérias-primas do processo 2G Cálamo (Área 2200).....	72
Tabela 16: Vazões mássicas, temperaturas e pressões no pré-tratamento por explosão a vapor (Área 2300). ....	73
Tabela 17: Balanço material e energético na etapa de remoção de pentoses da biomassa pré-tratada (Área 2400).....	74
Tabela 18: Balanço material e energético na Misturação (Área 2500).....	75
Tabela 19: Vazões mássicas, temperaturas e pressões das correntes pertencentes ao processo de Hidrólise Enzimática (Área 2600).....	77
Tabela 20: Balanço Material e Energético na etapa de filtração (Área 2700). ....	78
Tabela 21: Balanço material na etapa de centrifugação após a hidrólise (Área 2800). .....	79
Tabela 22: Vazões mássicas do processo de pasteurização (Área 3100). ....	81
Tabela 23: Balanço material do processo de evaporação (Área 3200).....	83
Tabela 24: Vazão mássica total e por componente do sistema de fermentação (Área 3310). ....	84
Tabela 25: Vazões mássicas e por componente no processo fermentativo de pentoses. (Área 3320).....	86
Tabela 26: Balanço material no processo de absorção (Área 3400).....	88
Tabela 27: Balanço material na etapa de centrifugação (Área 3510).....	89
Tabela 28: Balanço material na etapa de centrifugação (Área 3520).....	90
Tabela 29: Vazões mássicas do processo de tratamento de leveduras (Área 3600). .....	91
Tabela 30: Balanço material e energético do processo de destilação (Área 3700)...	94
Tabela 31: Balanço material e energético no sistema de destilação (Área 3700). ....	94
Tabela 32: Balanço material e energético do consumo de utilidades no processo de destilação (Área 3700). ....	95

Tabela 33: Balanço material e de energia do processo de desidratação (Área 3800). .....	97
Tabela 34: Balanço material e energético do processo de desidratação (Área 3800). .....	97
Tabela 33: Vazões mássicas do processo de recuperação (Área 3900). ....	99
Tabela 34: Balanço material e energético do processo de recuperação (Área 3900). .....	99
Tabela 35: Correntes Quentes e Frias da unidade industrial. ....	107
Tabela 36: Temperaturas corrigidas.....	108
Tabela 37: Composição percentual mássica elementar dos combustíveis. ....	119
Tabela 38: Composição do ar seco.....	119
Tabela 39: Vazões mássicas no sistema de cogeração (Área 5100).....	120
Tabela 40: Dados para dimensionamento da coluna de absorção.....	135
Tabela 42: Especificação da unidade de destilação.....	137
Tabela 43: Quadro de Colaboradores. ....	143
Tabela 45: Receita anual Cálamo .....	147
Tabela 46: Tributações sobre os produtos Cálamo.....	148
Tabela 47: Custos fixos da unidade produtiva.....	149
Tabela 48: Custos variáveis da unidade produtiva.....	149
Tabela 49: Primeiro financiamento Cálamo com prazo de 10 anos. ....	151
Tabela 50: Segundo financiamento Cálamo com prazo de 10 anos. ....	151

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>EMPRESA.....</b>	<b>23</b>
2.1	Missão.....	24
2.2	Visão.....	24
2.3	Valores.....	25
2.4	Planos de projeto e desenvolvimento.....	25
2.4.1	Selos, autorizações e certificações.....	25
2.4.2	Marketing: Escrevendo um Futuro Sustentável.....	27
2.4.2.1	Ambiental.....	27
2.4.2.2	Social.....	28
2.4.2.3	Tecnológico.....	29
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
3.1	Objetivos Gerais.....	30
3.2	Objetivos Específicos.....	30
<b>4</b>	<b>PRODUÇÃO DE ETANOL: CONSUMO E PROJEÇÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>DECISÃO LOCACIONAL.....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>PROCESSO INDUSTRIAL DA CÁLAMO.....</b>	<b>38</b>
7.1	Plantio e colheita da Cana-de-açúcar.....	38
7.2	Setor 1000: Processo de Primeira Geração.....	39
7.2.1	Área 1100: Processamento da Cana.....	40
7.2.2	Área 1110: Recepção.....	40
7.2.3	Área 1200: Lavagem.....	40
7.2.4	Área 1300: Desfibração.....	40
7.2.5	Área 1400: Preparação para moagem.....	41

7.2.6	Área 1500: Moagem .....	41
7.2.7	Área 1600: Tratamento do caldo .....	42
7.2.7.1	Área 1610: Peneiramento .....	42
7.2.7.2	Área 1620: Pasteurização .....	43
7.2.7.3	Área 1630: Flasheamento .....	43
7.2.7.4	Área 1640: Clarificação .....	43
7.2.7.5	Área 1641: Caleação .....	43
7.2.7.6	Área 1642: Fosfatação .....	44
7.2.7.7	Área 1650: Decantação .....	44
7.2.8	Área 1700: Filtração .....	44
7.3	Setor 2000: Processo de Segunda Geração .....	45
7.3.1	Área 2100: Recebimento .....	45
7.3.2	Área 2200: Armazenamento e manuseio de matérias-primas para a etapa de segunda geração .....	46
7.3.3	Área 2300: Pré-tratamento: Explosão a vapor .....	46
7.3.4	Área 2400: Filtração .....	47
7.3.5	Área 2500: Misturação .....	48
7.3.6	Área 2600: Hidrólise Enzimática .....	48
7.3.7	Área 2700: Filtração .....	48
7.3.8	Área 2800: Centrifugação .....	49
7.4	Setor 3000: Destilaria .....	49
7.4.1	Área 3100: Pasteurização .....	50
7.4.2	Área 3200: Evaporação .....	50
7.4.3	Área 3300: Fermentação .....	50
7.4.3.1	Área 3310: Fermentação de Açúcares C <sub>6</sub> .....	50
7.4.3.2	Área 3320: Fermentação de Açúcares C <sub>5</sub> .....	51

7.4.4	Área 3400: Absorção .....	51
7.4.5	Área 3500: Centrifugação .....	51
7.4.5.1	Área 3510: Centrifugação de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	52
7.4.5.2	Área 3520: Centrifugação de <i>Scheffersomyces stipitis</i> .....	52
7.4.6	Área 3600: Tratamento de leveduras .....	52
7.4.7	Área 3700: Destilação .....	52
7.4.8	Área 3800: Desidratação .....	54
7.4.9	Área 3900: Recuperação do Solvente .....	54
<b>8</b>	<b>BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO CÁLAMO.....</b>	<b>55</b>
8.1	Setor 1000: Processo de Primeira Geração.....	56
8.1.1	Área 1100: Processamento da Cana.....	56
8.1.2	Área 1110: Recepção .....	56
8.1.3	Área 1200: Lavagem .....	58
8.1.4	Área 1300: Desfibração .....	59
8.1.5	Área 1400: Preparação para moagem.....	59
8.1.6	Área 1500: Moagem .....	60
8.1.7	Área 1600: Tratamento do caldo .....	62
8.1.7.1	Área 1610: Peneiramento .....	62
8.1.7.2	Área 1620: Aquecimento.....	63
8.1.7.3	Área 1630: Flasheamento .....	64
8.1.7.4	Área 1640: Clarificação.....	65
8.1.7.5	Área 1650: Decantação .....	66
8.1.8	Área 1700: Filtração .....	67
8.1.8.1	Área 1710: Junção dos Caldos .....	69
8.2	Setor 2000: Processo de Segunda Geração.....	70
8.2.1	Área 2100: Recebimento .....	70



8.2.2	Área 2200: Armazenamento e manuseio de matérias-primas para a etapa 2G Cálamo .....	70
8.2.3	Área 2300: Pré-tratamento por explosão a vapor .....	72
8.2.4	Área 2400: Filtração .....	73
8.2.5	Área 2500: Misturação.....	74
8.2.6	Área 2600: Hidrólise Enzimática.....	76
8.2.7	Área 2700: Filtração .....	77
8.2.8	Área 2800: Centrifugação.....	78
8.3	Setor 3000: Destilaria.....	79
8.3.1	Área 3100: Pasteurização .....	79
8.3.2	Área 3200: Evaporação .....	81
8.3.3	Área 3300: Fermentação .....	83
8.3.3.1	Área 3310: Fermentação de Açúcares C <sub>6</sub> .....	83
8.3.3.2	Área 3320: Fermentação de Açúcares C <sub>5</sub> .....	85
8.3.4	Área 3400: Absorção .....	87
8.3.5	Área 3500: Centrifugação.....	88
8.3.5.1	Área 3510: Centrifugação de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	88
8.3.5.2	Área 3520: Centrifugação de <i>Scheffersomyces stipitis</i> .....	89
8.3.6	Área 3600: Tratamento de Levedura.....	90
8.3.7	Área 3700: Destilação .....	91
8.3.8	Área 3800: Desidratação .....	95
8.3.9	Área 3900: Recuperação.....	97
<b>9</b>	<b>PROJETO INDUSTRIAL.....</b>	<b>100</b>
<b>10</b>	<b>SETOR 4000: TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES.....</b>	<b>101</b>
10.1	Área 4100: Tratamento da água para caldeira.....	101
10.1.1	Área 4110: Desmineralização.....	101

10.1.2	Área 4120: Desaeração .....	102
10.2	Área 4200: Tratamento da vinhaça .....	104
10.3	Área 4300: Tratamento do Monotilenoglicol (MEG) .....	105
<b>11</b>	<b>INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA CÁLAMO .....</b>	<b>106</b>
<b>12</b>	<b>SETOR 5000 - COGERAÇÃO E UTILIDADES.....</b>	<b>116</b>
12.1	Área 5100: Sistema de Geração de Vapor .....	116
12.2	Área 5200: Unidade de Geração de Energia Elétrica .....	120
12.3	Área 5300: Torre de Resfriamento.....	121
<b>13</b>	<b>SETOR 6000: ARMAZENAMENTO .....</b>	<b>121</b>
<b>14</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>124</b>
14.1	Setor 1000 – Processo de 1ª Geração.....	124
14.1.1	Área 1110 .....	124
14.1.2	Área 1200 .....	124
14.1.3	Área 1300 .....	125
14.1.4	Área 1400 .....	125
14.1.5	Área 1500 .....	125
14.1.6	Área 1620 .....	125
14.1.7	Área 1630 .....	126
14.1.8	Área 1640 .....	126
14.1.9	Área 1650 .....	126
14.1.10	Área 1700 .....	127
14.1.11	Área 1710 .....	127
14.2	Setor 2000 – Processo de 2ª Geração.....	127
14.2.1	Área 2100 .....	127
14.2.2	Área 2200 .....	127
14.2.3	Área 2300 .....	128

14.2.4	Área 2400 .....	128
14.2.5	Área 2500 .....	128
14.2.6	Área 2600 .....	129
14.2.7	Área 2700 .....	129
14.2.8	Área 2800 .....	130
14.3	Setor 3000 – Destilaria.....	130
14.3.1	Área 3100 .....	130
14.3.2	Área 3200 .....	130
14.3.3	Área 3310 .....	131
14.3.4	Área 3320 .....	133
14.3.5	Área 3400 .....	135
14.3.6	Área 3510 .....	136
14.3.7	Área 3520 .....	136
14.3.8	Área 3600 .....	136
14.3.9	Área 3700 .....	137
14.3.10	Área 3800 .....	137
14.3.11	Área 3900 .....	138
<b>15</b>	<b>LAYOUT DA EMPRESA .....</b>	<b>139</b>
<b>16</b>	<b>ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....</b>	<b>140</b>
16.1	Organograma.....	140
16.2	Quadro de colaboradores .....	142
<b>17</b>	<b>ANÁLISE FINANCEIRA.....</b>	<b>144</b>
17.1	Terreno da planta industrial e construção civil .....	144
17.1.1	Unidade Sede Cálamo.....	144
17.2	Equipamentos .....	144
17.3	Colaboradores Cálamo .....	145

17.4	Resumo da Receita anual.....	146
17.4.1	Tributações Obrigatórias .....	148
17.4.2	Custos com a Produção .....	149
17.4.2.1	Setor Agrícola.....	150
17.4.3	Capital de Giro.....	150
17.4.4	Financiamento .....	150
17.4.5	Demonstrativo de Rendimento no Exercício.....	151
17.4.6	Ponto de Equilíbrio .....	153
<b>18</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>155</b>
<b>19</b>	<b>SUJESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>158</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>159</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>172</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>174</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>177</b>
	<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>179</b>
	APÊNDICE E.1 .....	180
	APÊNDICE E.2 .....	181
	APÊNDICE E.3.....	182
	<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>183</b>
	<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>184</b>
	<b>APÊNDICE H .....</b>	<b>187</b>
	APÊNDICE H.1 .....	188
	APÊNDICE H.2.....	189
	APÊNDICE H.3.....	190
	APÊNDICE H.4.....	191

APÊNDICE H.5.....	192
APÊNDICE H.6.....	193
APÊNDICE H.7.....	194
APÊNDICE H.8.....	195
APÊNDICE H.9.....	196
APÊNDICE H.10.....	197
APÊNDICE H.11.....	198
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>199</b>
APÊNDICE I.1.....	200
APÊNDICE I.2.....	201
APÊNDICE I.3.....	202
APÊNDICE I.4.....	203
APÊNDICE I.5.....	204
APÊNDICE I.6.....	205
APÊNDICE I.7.....	206
APÊNDICE I.8.....	207
APÊNDICE I.9.....	208
<b>APÊNDICE J.....</b>	<b>209</b>
APÊNDICE J.1.....	210
APÊNDICE J.2.....	211
APÊNDICE J.3.....	212
APÊNDICE J.4.....	213
APÊNDICE J.5.....	214
APÊNDICE J.6.....	215
APÊNDICE J.7.....	216
APÊNDICE J.8.....	217

APÊNDICE J.9.....	218
APÊNDICE J.10.....	219
APÊNDICE J.11.....	220
APÊNDICE J.12.....	221
<b>APÊNDICE K.....</b>	<b>223</b>
<b>APÊNDICE L.....</b>	<b>224</b>
<b>APÊNDICE M.....</b>	<b>227</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, uma cultura renovável e versátil, amplamente utilizada para a geração de energia limpa. Na safra 2017/2018, a produção nacional estimada é de 27 bilhões de litros de etanol, sendo 15,87 bilhões de litros de álcool hidratado, destacando o País como o segundo maior produtor mundial desse biocombustível. A liderança nesse segmento é dos Estados Unidos, que apesar de ser detentor dessa posição, dispõe de um preço superior ao do Brasil (BRASKEM, 2018; BRASIL, 2017b).

O advento da tecnologia dos motores *flex fuel*, em 2003, e a crescente preocupação com as questões ambientais relativas às emissões de poluentes provenientes do uso exacerbado de combustíveis fósseis, impulsionaram a produção brasileira desse biocombustível e elevou, conseqüentemente, a geração de resíduos (MELO; SAMPAIO, 2014; MIGUEL, 2013). Surge desta forma, a necessidade do estudo do reaproveitamento adequado desses subprodutos, de modo a garantir a sustentabilidade de toda cadeia produtiva (LEITE; CONTEZ, 2008).

Neste cenário, a produção do etanol de segunda geração, que faz uso de materiais lignocelulósicos, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, resíduos abundantes das indústrias sucroalcooleiras, desponta como um promissor processo tecnológico, permitindo aumentar a produção de etanol, sem a necessidade da expansão da área plantada, proporcionando uma redução na emissão de poluentes, no uso de recursos naturais e energia (SOCCOL et al., 2010; BASTOS, 2007).

Por consistir de um novo processo biotecnológico, ainda em otimização, o presente estudo tem o propósito de desenvolver um projeto técnico de uma planta industrial que contempla a produção de etanol convencional e celulósico de forma integrada, buscando o total aproveitamento da cana-de-açúcar.

A “Cálamo: buscando escrever um futuro sustentável” colabora com o desenvolvimento de rotas tecnológicas para a produção de biocombustível, além de contribuir para a redução dos custos do processo produtivo.

O projeto pormenorizado define previamente fatores que o permearão, como escopo, estudo de mercado, projeções de consumo, decisão locacional, o processo produtivo do empreendimento, os balanços materiais e energético, a especificações dos equipamentos, e ademais, as análises de integração energética e financeira.

## 2 EMPRESA

Para entender a origem do nome da empresa, é necessário remontar a história do desenvolvimento da escrita cursiva romana. O cálamo é um fragmento de cana com as extremidades cortadas, talhado obliquamente, que os antigos utilizavam para escrever no papiro e no pergaminho, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Cálamo.



Fonte: TIPÓGRAFOS, 2013.

Os fundadores desta empresa se inspiraram neste fato para nomeá-la Cálamo, uma unidade industrial de produção de derivados da cana-de-açúcar, em projeto no presente estudo, que emprega, além de todo o processo já desenvolvido para a produção de etanol de primeira geração, o bagaço da cana-de-açúcar para obtenção de etanol celulósico, que somados, oferecem aos consumidores um produto sustentável e de qualidade.

O desenvolvimento do logotipo da unidade industrial, apresentado na Figura 2, explorou as ligações das moléculas e o formato hexagonal. A dupla linha da letra C e da letra O brinca com os colmos da cana-de-açúcar. O corte diagonal no logotipo traz o dinamismo e movimento, em referência à energia do etanol. As cores procuram mesclar o verde da cana e da sustentabilidade, com o azulado da tecnologia e da rentabilidade. Além disso, a marca entre parênteses reforça o cuidado com os recursos naturais.



Figura 2: Logotipo.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O *slogan* da empresa “Escrevendo um futuro sustentável” integra a função desse fragmento de cana na antiguidade, o de auxiliar no desenvolvimento da escrita, e a aplicação dos subprodutos da cana-de-açúcar num futuro próximo, o qual é a promoção de uma das bases da Cálamo: a sustentabilidade em toda sua cadeia produtiva.

Para fortalecimento de sua posição no mercado, a Cálamo empenha-se ao disseminar sua a visão, realizando a sua missão e trabalhando com os valores com todos colaboradores e parceiros.

## 2.1 Missão

Produzir e comercializar derivados da cana-de-açúcar, buscando a integração e maximização do seu aproveitamento por meio de soluções biotecnológicas, promovendo o desenvolvimento sustentável, atuando de forma segura e rentável, sempre atenta às inovações do mercado e prezando pelo ótimo relacionamento com nossos parceiros.

## 2.2 Visão

Estar consolidada, tornar-se líder do mercado e ser referencial no setor sucroenergético. Ser reconhecida por visar a melhoria contínua dos processos e negócios. Triplicar o processamento de cana-de-açúcar até 2025 e implantar o processo de produção de açúcar, além de promover o aumento da produção de etanol de segunda geração.

## 2.3 Valores

- Ética;
- Respeito;
- Inovação constante;
- Responsabilidade Socioambiental;
- Integridade;
- Comprometimento.

## 2.4 Planos de projeto e desenvolvimento

### 2.4.1 Selos, autorizações e certificações

A Cálamo, por ser uma empresa preocupada com a redução de impactos ambientais e sociais advindos da produção de derivados da cana de açúcar, pretende obter a certificação Bonsucro, que é referência mundial quando se pensa em sustentabilidade no setor sucroalcooleiro. Essa certificação possui princípios, critérios e indicadores que medem a sustentabilidade do processo, de acordo com os padrões internacionais. Auditorias são realizadas para confirmação dos padrões Bonsucro, que qualificam o produto para exportação de etanol para a Europa, promovendo uma visibilidade internacional da unidade produtiva (BONSUCRO,2013).

A certificação *International Sustainability & Carbon Certification* (ISCC) também é uma das metas desta unidade industrial, que vem como prova de que estão sendo cumpridos os requisitos ambientais e sociais para a produção sustentável de combustíveis através de biomassa, a fim de se obter o reconhecimento legal europeu (SERVICES, 2009).

Além de atender ao mercado Europeu, a Cálamo busca expandir sua produção em toda a América. Para isso, buscando o reconhecimento dos Estados Unidos para a exportação de seu etanol produzido, serão implantados padrões de combustível com baixo carbono, determinados pelo Conselho de Qualidade do Ar, Califórnia. O registro na Agência de proteção Ambiental Americana (EPA) também é de suma importância para fornecimento desse biocombustível, além de proporcionar à Cálamo uma visibilidade no setor ambiental (CARB, 2015).

Devido à política de melhoria contínua e à busca do desempenho ambiental da organização, deseja-se, em conformidade com esses padrões, obter a certificação ABNT NBR ISO 14001 para sistemas de gestão ambiental. Para isso, a Cálamo, sempre pensando em seu mercado consumidor, cumprirá os requisitos instituídos por esta norma, como a elaboração do Termo de Compromisso, declarando a intenção da redução de impactos ambientais, promovendo o melhoramento constante. Assim estabelecido, faz-se o planejamento das ações e metas a serem cumpridas e, por fim, o monitoramento, controle, auditoria e relatórios dos parâmetros medidores do desempenho ambiental (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015a).

Ainda com respeito à questão ambiental, o Governo do Estado de São Paulo criou um protocolo de certificação para usinas de álcool e açúcar, com dez técnicas diretas de redução dos impactos ambientais da cultura da cana-de-açúcar chamado Etanol Verde, o qual a Cálamo procurará se adequar. Esse documento visa, principalmente a eliminação da queima da palha na colheita, além de um conjunto de ações que promovam a restauração e preservação do meio ambiente (UNICA, 2009).

Acerca do consumo nacional, além das condições de desenvolvimento e produção, padrões como índices físico-químicos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (BRASIL, 2015a) serão fortemente respeitados e controlados por uma equipe capacitada da Cálamo, para garantir a qualidade final de todo o etanol nela produzido.

No tocante à demanda energética da produção de etanol, a geração de Bioeletricidade é uma solução viável que vai de acordo com os propósitos e diretrizes da empresa. A UNICA, União da Indústria de Cana-de-Açúcar, promove a declaração de produção de Energia Verde para as organizações que cumprem os requisitos estabelecidos pelo programa de certificação da Bioeletricidade (UNICA, 2015). Assim sendo, este documento irá demonstrar aos nossos fornecedores e consumidores a responsabilidade e a atenção à sustentabilidade que a Cálamo tanto valoriza.

Quanto às questões de qualidade, para que uma organização seja capaz de demonstrar que ela gerencia seu negócio e, desta forma, alcança uma qualidade consistente, surgiu a ABNT NBR ISO 9001. Mediante esse documento o consumidor pode ter a total confiança que, como fornecedor, a Cálamo lhe concederá de forma consistente bens e serviços de acordo com especificações pré-determinadas. Para implementação, a Cálamo se adequará aos parâmetros inferidos pela legislação, a fim

de que, averiguadas tais condições, seja reconhecida como uma organização responsável que preza pela gestão da qualidade (ABNT, 2015b).

Outro fator importante é a gestão de segurança e saúde ocupacional (OHSAS 18001), que pretende assegurar que nossos colaboradores tenham um ambiente de trabalho seguro e saudável. O objetivo central é evitar ao máximo a ocorrência de acidentes de trabalho. Essa certificação será de suma importância para a Cálamo, visto fazer parte dos ideais da empresa o foco no bem-estar e vida dos funcionários (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2007).

Com respeito às questões sociais, existe ainda a iniciativa promovida pela Fundação ABRINQ, com o programa: Empresa Amiga da Criança. O objetivo da empresa com essa parceria é defender os direitos das crianças e adolescentes promovendo ações sociais, apoiando a formação profissional, bem como implantar o projeto de “menor aprendiz” (ABRINQ, 1995).

A princípio, essas ações são objetivos iniciais que proporcionarão a Cálamo uma estrutura sustentável e de responsabilidade em todos os âmbitos que permeiam a organização. Consequentemente, haverá mais facilidades para organizar os processos internos, propor melhorias e otimizações, garantir a satisfação dos clientes e promover uma concorrência de alto nível, garantindo a gestão da qualidade.

## 2.4.2 Marketing: Escrevendo um Futuro Sustentável

### 2.4.2.1 *Ambiental*

A Cálamo reconhece que as mudanças climáticas representam uma ameaça vigente para a sociedade humana e para o planeta e, portanto, considera o desenvolvimento sustentável e a busca constante por energias renováveis, os pilares da empresa para o combate desta ameaça.

Observando a grande preocupação das emissões anuais globais de Gases de Efeito Estufa (GEE), a Cálamo assume o compromisso em promover esforços para limitar o aumento da média da temperatura global a menos de 2°C, honrando o acordo assumido pelo governo brasileiro na implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution* - NDC), que visa mitigar as emissões em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 (BRASIL, 2017a).

O etanol produzido pela Cálamo possui um papel importante na redução das emissões de GEE, uma vez que este combustível substitui fontes de energia mais emissoras, como a gasolina. Estima-se que o balanço de energia do processo produtivo de etanol apresente um superávit de aproximadamente 11 vezes a energia fóssil utilizada (SOARES et al., 2009). Desta forma, segundo a análise do “Ciclo de Vida”, a Cálamo possui um balanço energético favorável garantindo o apoio à sustentabilidade.

A Cálamo acredita que firmar e incentivar parcerias em prol do desenvolvimento sustentável e pela mitigação dos impactos ambientais é um caminho incontestável para a evolução humana. A empresa acredita em iniciativas como do Instituto Ecológica, pioneira na área de mudanças climáticas. A ONG brasileira, fundada no ano de 2000, em Palmas-TO, possui números incríveis como a redução de 460.000 toneladas de carbono e conservação de 2.323 hectares de floresta nativa, além de ser reconhecida internacionalmente pela metodologia do Carbono Social, que conferiu à ONG, o padrão de certificação de créditos de carbono, o SOCIALCARBON Standard (INSTITUTO ECOLÓGICO, 2000). A Cálamo surge neste cenário para firmar parceria com o Instituto Ecológica e promover o desenvolvimento e manutenção dos diversos projetos realizados, além de contribuir para apoiar e disseminar projetos deste tipo.

#### 2.4.2.2 *Social*

Valorizar o desenvolvimento sociocultural é um dos compromissos permanentes da Cálamo. Para isso, serão desenvolvidos projetos que buscam impactar de forma positiva a região sede da empresa, proporcionando a transformação gradual de diversos aspectos da vida das comunidades e fortalecendo o conceito de cidadania.

O Instituto Cálamo é um projeto que será implementado visando promover o desenvolvimento de crianças, adolescentes e jovens que se encontram em situação de vulnerabilidade social, proporcionando o acesso à cultura, ao esporte, a ética e cidadania. Além de oferecer cursos profissionalizantes, preparando jovens para o dinâmico mercado de trabalho atual.

### 2.4.2.3 *Tecnológico*

Investir em inovação é a certeza de manter a empresa trilhando no caminho para um futuro sustentável. O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Cálamo desenvolverá soluções biotecnológicas, como melhoramento genético da cana-de-açúcar e de seus processos enzimáticos.

Além de desenvolver pesquisa interna, a Cálamo busca fomentar iniciativas inovadoras, como a do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), que desenvolve um trabalho voltado à produção de energia proveniente do etanol à nível internacional (BRASIL, 2010).

A Cálamo está aberta a firmar parcerias com universidades da região interessadas em expandir seu campo de atuação e desenvolver seus estudantes aumentando sua linha de pesquisa. O patrocínio de feiras biotecnológicas com o intuito de disseminar o conhecimento e o desenvolvimento de soluções é um dos objetivos do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Cálamo.

As missões, visões e valores são refletidos nas ações da empresa perante a sociedade. A Cálamo orgulha-se em contribuir para um mundo melhor.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivos Gerais**

O objetivo deste trabalho é apresentar um relatório de um Projeto Conceitual de uma Planta Industrial para produção de etanol mediante a integração dos processos de primeira e segunda geração.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um estudo de mercado e projeções de consumo do etanol;
- Desenvolver balanços de massa e energia com cálculo dos rendimentos para configuração de processo;
- Elaborar um fluxograma de blocos para descrever as etapas sequenciais do processo;
- Apresentar o Diagrama de Fluxo do Processo;
- Realizar a análise de integração energética;
- Dimensionar e/ou especificar os equipamentos;
- Realizar a análise financeira.

#### 4 PRODUÇÃO DE ETANOL: CONSUMO E PROJEÇÕES

A Cálamo surge no cenário brasileiro no momento em que o consumo nacional de etanol atingiu um patamar recorde. Em janeiro de 2018, segundo dados publicados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e compilados pela UNICA, o volume de etanol hidratado consumido no País superou 1,37 bilhão de litros, maior volume já registrado para o primeiro mês do ano, apontando notável crescimento de 55,3% em relação a janeiro do ano anterior (UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA, 2018).

Com a retomada na demanda de etanol e com aumento escalonado do percentual de álcool anidro na gasolina nos últimos anos, a empresa contribuirá para suprir as procuras nacionais por esse biocombustível (BRASIL, 2015c).

Aliado à esses fatores, o fato do Brasil ter sido protagonista na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), em Paris, comprometendo-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição indicativa subsequente de diminuir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030, cooperam para o desenvolvimento das unidades produtivas do setor sucroenergético (BRASIL, 2017c).

As indústrias desse segmento deverão promover o aumento da participação de biocombustíveis sustentáveis na matriz energética nacional para aproximadamente 18% até 2030, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados, como os de segunda geração, um dos diferenciais da Cálamo (BRASIL, 2017c).

Além da promoção de novos padrões de tecnologias limpas e ampliação das medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono, essas premissas no âmbito energético requerem uma produção de etanol de 45 e 54 bilhões de litros, respectivamente, nos anos de 2025 e 2030, para atender os compromissos assumidos pelo País na COP21, o que indica a possibilidade de consolidação da empresa num curto prazo e ajuda na disseminação de sua missão (BRASIL, 2017c).

A projeção da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) é mais conservadora, sem contudo deixar de enaltecer o papel de novas indústrias nesse mercado, estimando uma produção nacional de etanol de 36,8 bilhões de litros



para a safra 2027/2028, representando um crescimento de 41% em relação à safra 2017/2018, reflexo do aumento da exportação líquida e da demanda doméstica (SÃO PAULO, 2017a).

Essa oportunidade de dispor uma parcela da produção para o mercado externo em cenários que o mercado brasileiro esteja acirrado, caracteriza-se como uma segurança da rentabilidade do investimento, uma vez que o Brasil exportou 1,789 bilhões de litros de etanol na safra 2015/2016 (BRASIL, 2017c).

Desse total, aproximadamente 80% teve como destino os Estados Unidos da América (EUA) e a Coréia do Sul, destacando-os como importadores em potencial da produção da Cálamo. Adicionalmente, no caso da Coréia, tal país tem demonstrado um promissor vetor de crescimento da exportação de outras unidades produtivas, o que demandará um aumento de importação do etanol do Brasil em 35,74% (BRASIL, 2017e).

Como visto, a esperada melhora no cenário econômico brasileiro para os próximos anos deve retomar a demanda de etanol pela crescente frota nacional, que apresenta perspectiva, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), de se tornar cada vez mais *flex*. Atualmente, existem mais de 27 milhões de veículos *flex* em circulação, o que representa cerca de 73% da frota nacional de veículos leves (ANFAVEA, 2018; UNICA, 2017).

Aliado a esses fatores e aos compromissos assumidos pelo Brasil na COP21, a nova política de reajustes de preços da Petrobras oferece maior transparência ao mercado, permitindo balizar os preços dos combustíveis no mercado interno aos internacionais (PETROBRAS, 2016).

Por fim, planos de incentivo ao benefício ambiental dos biocombustíveis, como o RenovaBio abrem perspectivas promissoras para o mercado da Cálamo, sobretudo, considerando seu diferencial: o etanol de segunda geração (BRASIL, 2017f).

## 5 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

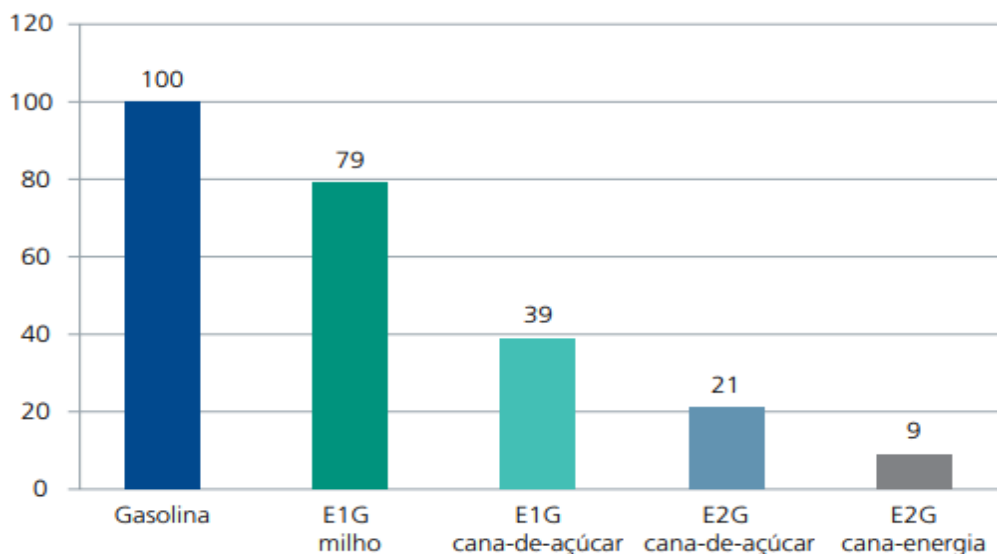
Associando inovação biotecnológica a uma matéria prima em abundância e sustentabilidade, a Cálamo adota no projeto de sua unidade produtiva uma conduta sinérgica ao integrar o processo de produção de etanol de primeira e segunda geração.

O etanol celulósico produzido pela empresa tem o potencial de promover o requerido aumento na produção deste álcool, sem a necessidade de expansão da área plantada, utilizando elementos reaproveitados do processo tradicional que estão disponíveis na própria unidade industrial, não havendo custos adicionais com o transporte desse insumo (BRASIL, 2015d).

Acrescido desses fatores, a matéria-prima empregada na produção de etanol de segunda geração pode ser armazenada para posterior utilização, diferentemente da produção do etanol de primeira geração, em que a cana-de-açúcar após o corte tem até 24 horas para ser processada. Diante dessa perspectiva, a empresa tem a possibilidade de produzir esse combustível em diferentes épocas do ano, inclusive nas entressafras (BRASIL, 2017d).

As indústrias sucroalcooleiras consolidadas no mercado destinam cerca de 92% do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia e utilidades. A Cálamo, ao direcionar os 8% do bagaço restante para conversão em etanol, promoverá um aumento de 2200 L de etanol por hectare, além de proporcionar uma redução no uso da terra em 29% (SOCCOL et al., 2010).

A Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI) em parceria com o Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE) e o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), apresentaram que nas condições tecnológicas atuais, o etanol celulósico é capaz de reduzir as emissões causadas pela gasolina em até 80%, como exposto na Figura 2 (MILANEZ et al., 2017).

**Figura 3:** Potencial de emissão de CO<sub>2</sub> pela gasolina (%)

Fonte: BRASIL, 2015a.

Esse potencial de redução da emissão de dióxido de carbono caracteriza o etanol de segunda geração como um vetor de sustentabilidade, ajudando a Cálamo a escrever um futuro sustentável no cenário energético nacional, e na negociação de créditos de carbono no mercado mundial.

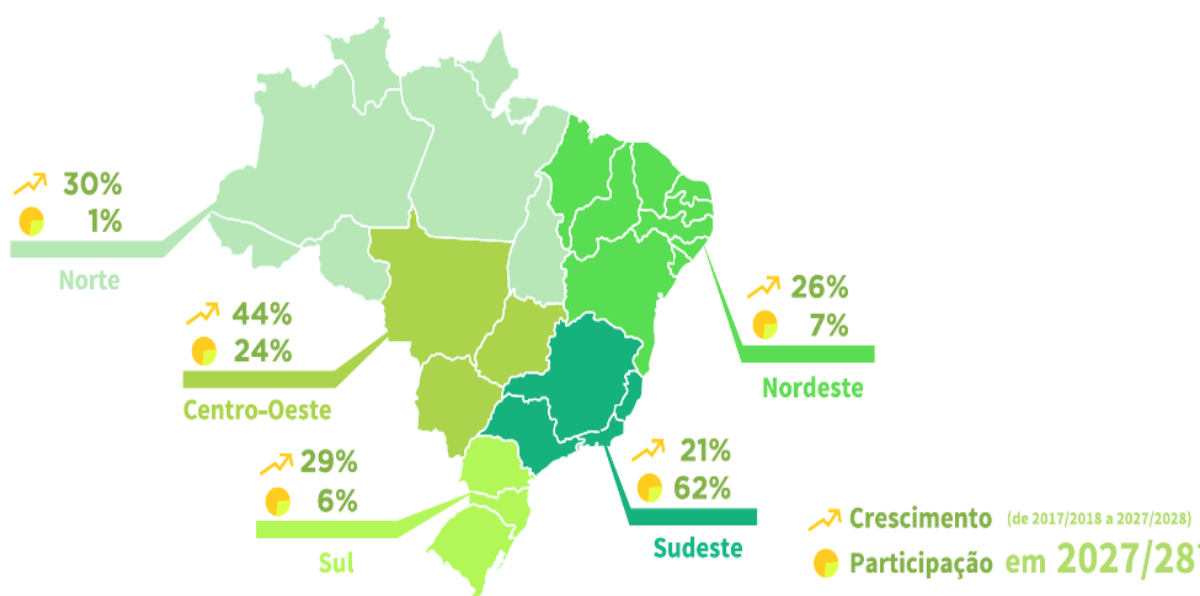
A aprovação do RenovaBio é o início da regulamentação dessa política de biocombustíveis no Brasil, induzindo a redução competitiva e eficiente da utilização de combustíveis fósseis, e impulsionando o comércio de créditos de carbono emitidos por produtores de biocombustíveis, como a Cálamo (TOLEDO, 2018).

O fato da produção de etanol celulósico ser mais eficiente do ponto de vista energético e ambiental, permite que a Cálamo desponte no mercado por um simples e importante detalhe: sua maior recuperação de CO<sub>2</sub>. Assim, uma vez reconhecido seu maior crédito de carbono comparado às empresas produtoras de etanol, a Cálamo apresentará recompensa financeira superior a suas concorrentes (NASTARI, 2017).

## 6 DECISÃO LOCACIONAL

A localização da Cálamo está vinculada a um rigoroso processo de decisão, marcado por restrições relacionadas à demanda do produto, ao custo operacional e a oferta de matéria-prima. Objetivando-se a análise desse último quesito, na Figura 3 é apresentada a participação regional e as taxas de crescimento da produção de cana-de-açúcar para a safra 2027/2028 (SÃO PAULO, 2017a).

**Figura 4:** Projeções para a safra 2027/2028 de produção de cana-de-açúcar.



Fonte: São Paulo, 2017a.

Nesse sentido, no período projetado, a região Sudeste se manterá como a maior produtora de cana-de-açúcar, com uma parcela expressiva de 62% da produção nacional, garantindo o fornecimento de matéria-prima para a unidade produtiva.

O estado de São Paulo é, em grande parte, responsável por essa notória participação da região Sudeste na produção brasileira de cana-de-açúcar. De acordo com dados da UNICA (2018), durante a safra 2016/2017 foi processado aproximadamente 366 milhões de toneladas dessa matéria-prima no estado, representando mais da metade do processamento nacional.

Baseando-se no fato de que a moagem de uma tonelada de cana produz, em média, 260 quilos de bagaço como subproduto, conjectura-se que foram gerados, aproximadamente, 95 milhões de toneladas, desse subproduto na safra 2016/2017 somente no estado de São Paulo (BRASIL, 2007a).

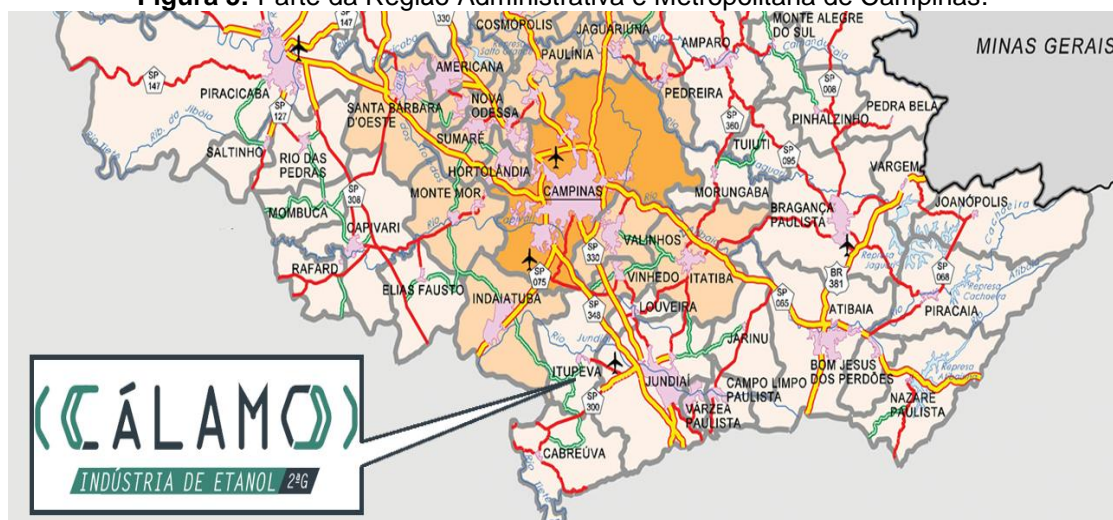
Acrescido desse fator, a proibição da queima da palha da cana-de-açúcar nesse estado é um mecanismo para a consolidação do desenvolvimento sustentável do processo e da unidade industrial Cálamo. Assim, parte dessa palha, será recolhida e utilizada na produção de etanol de segunda geração, possibilitando o aumento de receita, uma vez que serão produzidos 140 kg (base seca) de palha por tonelada de cana (SÃO PAULO, 2017c; BRASIL, 2017g).

Assim, aproveitando os recursos e oferta da unidade federativa, a Cálamo será implantada no estado de São Paulo, objetivando-se a máxima rentabilidade do capital a ser investido, com foco principal na disponibilidade de matéria-prima da região, a qual é um dos requisitos principais para a decisão locacional, agregando um valor correspondente no lucro da produção (KON, 1994).

Aspectos como demanda, proximidade com o mercado consumidor, oferta de incentivos fiscais e facilidade de financiamentos, vistos como fatores imprescindíveis para a decisão locacional, nortearam a escolha do município do interior paulista em que a Cálamo se instalará, buscando a minimização dos custos logísticos e a desoneração do investimento na produção (WOILER; MATHIAS, 1996).

Neste cenário, a privilegiada localização geográfica da cidade de Itupeva-SP, apresentada na Figura 4, que integra uma macrorregião densamente povoada, industrializada e altamente desenvolvida, e sobretudo, com solo propício para o cultivo de cana-de-açúcar, desponta a cidade como potencial candidata a receber a unidade produtiva (ITUPEVA, 2015).

**Figura 5:** Parte da Região Administrativa e Metropolitana de Campinas.



Fonte: BRASIL, 2007b.

Essa cidade, por meio do programa “InovAção Itupeva”, concede incentivos fiscais e financeiros destinados às indústrias que venham a se instalar no município. A Concessão do terreno necessário para a construção da unidade produtiva em conjunto com outras isenções de impostos, foram diferenciais propostos pela Secretaria Municipal de Gestão Pública e Assuntos Jurídicos da Prefeitura Municipal de Itupeva, sendo cruciais para implantação da indústria nesse município (SÃO PAULO, 2017b).

A unidade industrial se localizará num ponto nevrálgico da distribuição de combustíveis do País, a aproximadamente 68 Km da cidade de Paulínia, aproveitando toda a logística de distribuição do etanol produzido pela Cálamo, proporcionando ganhos de competitividade e flexibilidade no atendimento ao mercado consumidor (SIAMIG, 2017).

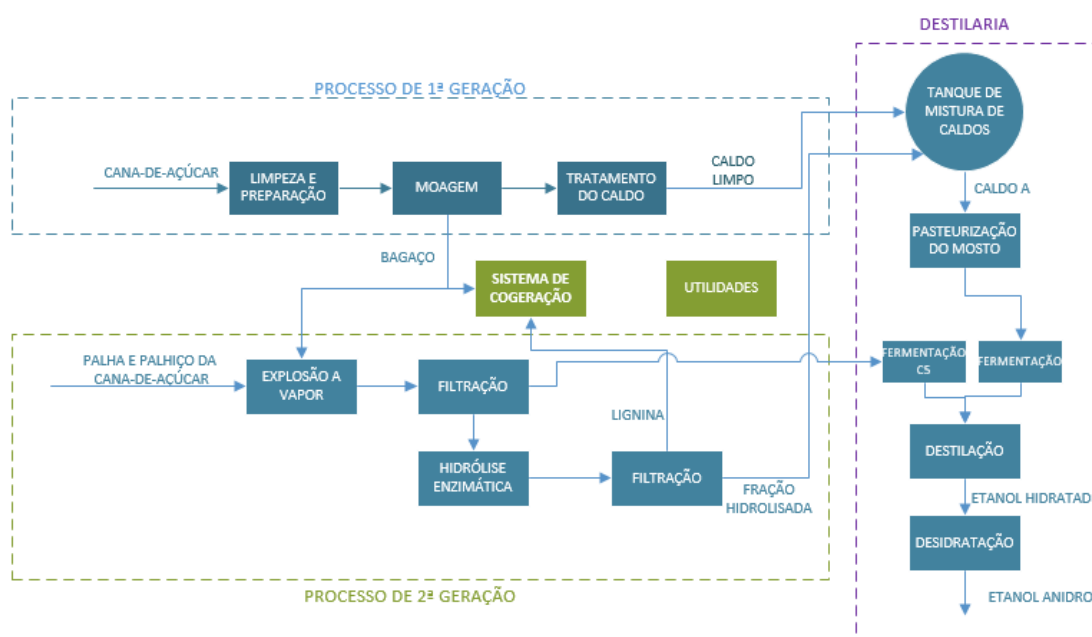
Situada no berço do desenvolvimento tecnológico das indústrias desse segmento, a empresa ingressa no mercado de etanol adotando como estratégia a aproximação com os agricultores da região e consumidores em potencial, convidando-os para um encontro, com o objetivo de explicar os detalhes do projeto, firmar parcerias e se consolidar no mercado.

Dentre essas parcerias, está o acordo com uma Indústria de Nutrição Animal da região, interessada em adquirir a levedura seca, subproduto do processo produtivo da Cálamo, para incorporar em seus produtos como suplemento nutritivo com alto conteúdo proteico, além de ser um agente palatabilizante e apresentar efeitos profiláticos (USINA SANTA ISABEL, 2018).

## 7 PROCESSO INDUSTRIAL DA CÁLAMO

O processo produtivo da Cálamo engloba o processamento da cana por meio da rota convencional e de segunda geração, unindo-as na destilaria, na qual é produzido o etanol. A Figura 6 apresenta o diagrama de blocos geral do processo integrado, incluindo o sistema de cogeração e de utilidades.

**Figura 6:** Fluxograma do processo produtivo da Cálamo.



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

Após o recebimento da cana-de-açúcar na planta industrial, o processo divide-se em três grandes setores, sendo eles, o processo de primeira e segunda geração, e a destilaria. Esses setores serão pormenorizados a seguir, com a exposição dos respectivos diagramas de blocos e a descrição detalhada dos processos.

### 7.1 Plantio e colheita da Cana-de-açúcar

Para uma melhor qualidade do álcool gerado na Cálamo, é importante atentar-se desde o plantio da cana-de-açúcar até o final do processo. Os canaviais se caracterizam por se adaptar plenamente em climas tropicais, quentes e úmidos com temperaturas aproximadas de 19 a 32 °C e índices pluviométricos anuais bem distribuídos, sendo que o seu crescimento pode ser definido entre crescimento vegetativo e

maturação. Em termos de fertilidade, pode-se dizer que o solo ideal para que ocorra um melhor crescimento vegetativo, são solos arejados, profundos, sendo que a umidade deve ser amena, com o pH neutro (MARQUES; JÚNIOR, 2001).

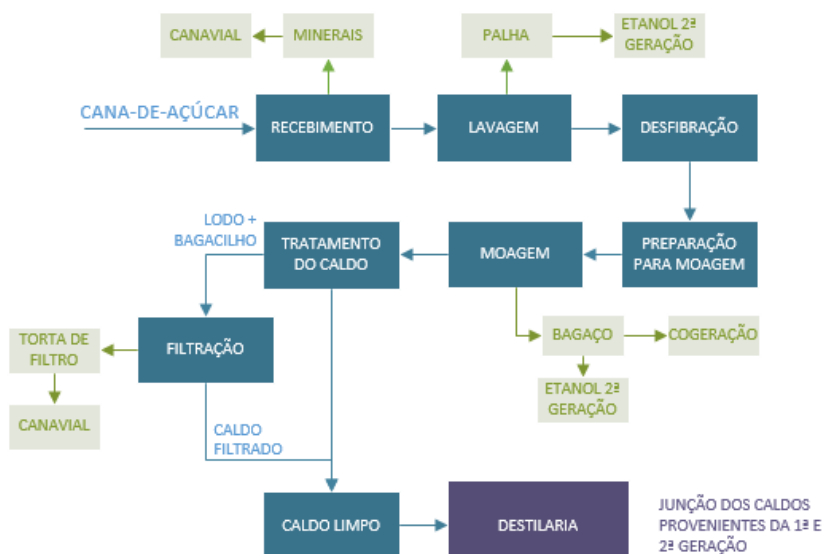
A cana-de-açúcar é semeada de forma semiperene, ou seja, após o plantio, ela é cortada várias vezes antes de ser replantada, com uma média de ciclo de seis anos contendo cinco cortes. Segundo o levantamento do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (PMGCA/Ridesa), as variedades RB (RB867515 e RB966928) de cana-de-açúcar responderam por 69% da área de plantio na safra 2015/16, demonstrando uma maior produtividade (SEBRAE, 2005).

A Cálamo realiza a colheita da cana de forma mecanizada, desta forma aproveita-se cana de forma totalizada, tanto para a produção de energia quanto para a produção de etanol celulósico, assim respeitando o desenvolvimento sustentável. Além da colhedora de cana, haverá também a colheita da palha, sendo que ambos, de forma separada, seguem para o setor industrial via caminhões do tipo Julieta.

## 7.2 Setor 1000: Processo de Primeira Geração

A Figura 7 apresenta o fluxograma do processo produtivo de etanol de primeira geração da Cálamo, o qual comporta desde o recebimento da cana, envolvendo toda sua preparação e tratamento, deixando-a pronta para a destilaria.

**Figura 7:** Fluxograma do Processo de Primeira Geração.



Fonte: Autoria Própria ,2018.



### 7.2.1 Área 1100: Processamento da Cana

A partir do corte da cana, toda a matéria-prima segue para a unidade industrial Cálamo. Os caminhões carregados são pesados e a cana de açúcar é estocada até seu processamento, sendo que a Cálamo projeta o processamento em menos de 24 horas de espera.

A partir desta etapa, a cana é condicionada para o processo, limpando-a e abrindo as células, o que permite maior recuperação de fermentescíveis com mínimo de perda de açúcares. Esta etapa consiste na recepção, lavagem, desfibração e moagem da cana (FERNANDES, 2011).

### 7.2.2 Área 1110: Recepção

A cana, ao chegar na indústria, deve ser descarregada diretamente nas mesas alimentadoras. Esta mesa é isolada por meio de chaparia e a separação das impurezas minerais é realizada através de sistema vibratório contido na mesa.

Além disso, a cana recebida é amostrada aleatoriamente, através de uma sonda, e amostras são enviadas para o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Cálamo, onde parâmetros, como teor de sacarose, fibra, pureza do caldo, são constantemente avaliados para o controle do processo (GONÇALES FILHO; BARROS; CAMPOS, 2015).

### 7.2.3 Área 1200: Lavagem

Um processo de lavagem a seco da cana é realizado na sequência, cujo objetivo é a separação da palha, onde posteriormente é encaminhada para a produção de etanol de segunda geração. Esta lavagem é baseada em jatos de ar sobre a cana, além disso, a perda de sacarose e o uso de água são reduzidos (FERNANDES, 2011), o que vai de encontro a um dos princípios da Cálamo.

### 7.2.4 Área 1300: Desfibração

Após a lavagem, a cana segue transportada por esteiras até o conjunto de facas rotativas, para o nivelamento do tamanho de cana, facilitando o trabalho do

desfibrador. Nesta etapa, a cana passa por um processo de abertura das células que contêm os açúcares, facilitando a extração pela moenda (CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

#### 7.2.5 Área 1400: Preparação para moagem

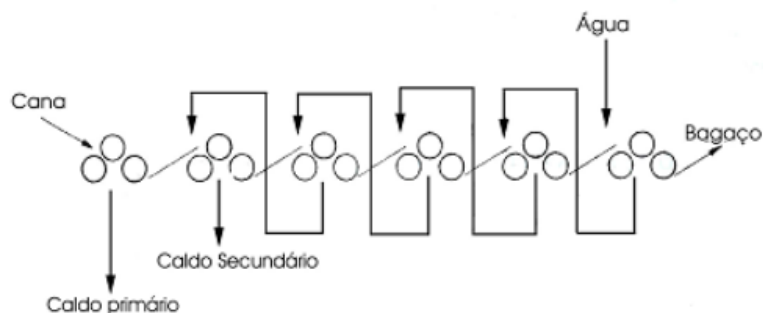
A cana já desfibrada é preparada para ser levada à moenda, onde é colocada em colchões de moagem. Neles, a cana é nivelada e passa por separação eletromagnética, cuja finalidade é reter os pedaços de ferro que possam conter no fluxo. Após esta etapa, a cana está pronta para ser moída.

#### 7.2.6 Área 1500: Moagem

Após a preparação da cana, a mesma é submetida à moagem por compressão, retirando assim o caldo de seu interior. A adição de água durante esse processo permite a obtenção de cerca de 96% do açúcar contido na cana, devido à sua diluição transferência (MEZAROBA; MENEGRETTI; GROFF, 2014).

Um exemplo de moenda composta por 6 ternos é apresentado na Figura 8. Neste sistema de extração, o primeiro terno produz um caldo (caldo primário) que contém um maior número Brix, ideal para a produção de açúcar. Assim, a Cálamo surge no mercado como uma empresa flexível, possibilitando produzir também açúcar, atendendo um maior público consumidor, além dos seus derivados energéticos da cana. Inicialmente, todo o caldo recolhido é enviado para o tratamento do caldo e posteriormente para a produção de etanol.

**Figura 8:** Funcionamento de Moenda com 6 ternos.



**Fonte:** GODOY, 2013.

Para aumentar a eficiência de moagem, a Cálamo utilizará o recurso da embebição. Na embebição, água é recirculada entre os dois últimos ternos e o caldo de cada terno é injetado antes do terno anterior até o segundo terno.

Nos processos tradicionais, este bagaço é considerado um subproduto. Para a Cálamo, bagaço de cana é sinônimo de energia e, portanto, também será uma matéria-prima para obtenção de etanol celulósico. Este mesmo bagaço será também empregado para alimentar caldeiras, gerando vapor vivo para ser empregado como utilidade quente, e cogeração de energia elétrica - cerca de 92,0% - e o restante destinado para a produção de etanol celulósico (MARAFANTE, 1993). Isso faz da Cálamo uma empresa que, além de se preocupar com o meio ambiente ao reduzir as emissões de gases do efeito estufa, se torne uma empresa autossuficiente em termos de energia.

#### 7.2.7 Área 1600: Tratamento do caldo

Com o caldo misto, obtido a partir da mistura dos caldos primário e secundário provenientes da moenda, um processo de tratamento químico é realizado previamente a conversão da matéria-prima. Este processo visa remover impurezas (sólidos suspensos e particulados), o que contribui para um aumento do tempo de vida útil de equipamentos (desgaste ou incrustações), além de aumentar a taxa de conversão durante o processo fermentativo.

Nesta etapa, simultaneamente ocorre eliminação de partículas coloidais, responsáveis pela maior formação de espuma e por dificultarem a recuperação de fermento. Com isso, há também uma preservação de nutrientes, como vitaminas, fosfatos, açúcares entre outros, garantindo o metabolismo de leveduras, além de diminuir contaminantes microbianos, que competem com as leveduras pelo substrato (ALCARDE, 2018).

##### 7.2.7.1 Área 1610: Peneiramento

Consiste no peneiramento do caldo, visando a eliminação dos sólidos insolúveis (areia, argila, bagacilho), sendo o último destinado para o tratamento do lodo proveniente da decantação (CORTEZ, 2010). Para a realização do peneiramento, a Cálamo utiliza peneiras seguidas de hidrociclones.

#### 7.2.7.2 *Área 1620: Pasteurização*

Na etapa de aquecimento, o caldo é aquecido com o objetivo de eliminar os microrganismos indesejáveis, ou ainda impedir seus desenvolvimentos, além de estimular a floculação. A faixa de temperatura utilizada no aquecimento permite inibir a ação microbiana, sem alterar as propriedades físico-químicas do caldo.

Para aumentar a temperatura do caldo, em torno de 103 a 105°C, utiliza-se um vaso com serpentina, funcionando como um trocador de calor. Após, o mesmo deve passar por um procedimento conhecido como flasheamento (ALCARDE, 2018).

#### 7.2.7.3 *Área 1630: Flasheamento*

Este processo elimina bolhas de ar contidas no caldo, o que prejudicaria a filtração, caso não fossem removidas. O flasheamento consiste em provocar uma queda de pressão no escoamento do fluido, levando a uma separação das fases líquido e gás. Nesta etapa, as variações de pressão não são elevadas, o que permite atingir a pressão atmosférica na saída do vaso (RIBEIRO; BLUMER; HORII, 1999).

#### 7.2.7.4 *Área 1640: Clarificação*

O objetivo principal da clarificação é o clareamento do caldo por meio de tratamento químico, além de corrigir o pH e/ou fosfato contido nele.

#### 7.2.7.5 *Área 1641: Caleação*

É basicamente o processo onde ocorre a aplicação do leite de cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para corrigir a acidez do caldo. Com a adição deste composto, é possível trabalhar em uma faixa de pH de 7,5 a 8,0 (ARAÚJO, 2005).

A presença da cal, associada ao aumento da temperatura, leva à formação de um precipitado no qual se encontram partículas de fosfato de cálcio, sais de ácidos orgânicos, entre outros compostos. Neste precipitado são recuperados materiais suspensos do caldo, além de contribuir para eliminação de microrganismos contaminantes (HAMERSKI, 2009).

#### 7.2.7.6 Área 1642: Fosfatação

A adição de fosfato de amônio,  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ , é realizada para uma correção do teor de fosfato natural. Assim, se uma quantidade de mínima de fosfato estiver presente, há formação de mais flocos de fosfato de cálcio e, assim, um caldo mais claro (HAMERSKI, 2009).

#### 7.2.7.7 Área 1650: Decantação

Após a pasteurização, o caldo é destinado para decantação, o último processo de tratamento do caldo. Nesta etapa, são retirados todos os coloides contidos no caldo com a maior velocidade de decantação possível. Além disso, um lodo espessado é formado, com cerca de 10% em massa do fluxo de entrada.

#### 7.2.8 Área 1700: Filtração

O caldo tratado do decantador é então encaminhado para destilaria, enquanto o lodo que se deposita no fundo dos decantadores passa por um processo de filtração, que visa separar do caldo residual, os materiais precipitados. Previamente à filtração, o bagacilho (obtido no processo de peneiramento) é misturado ao lodo, o que proporciona um aumento na porosidade do leito formado durante esta etapa de purificação. Assim, a Cálamo opera com um processo em que as despesas de operação são minimizadas (MARTINEZ, 2016).

Em seguida, essa mistura passa por filtros rotativos à vácuo, separando-a em caldo filtrado e torta de filtro. Nesta etapa, um controle da temperatura permite reduzir efeitos viscosos e, conseqüentemente, um menor tempo de residência é requerido (MARTINEZ, 2016).

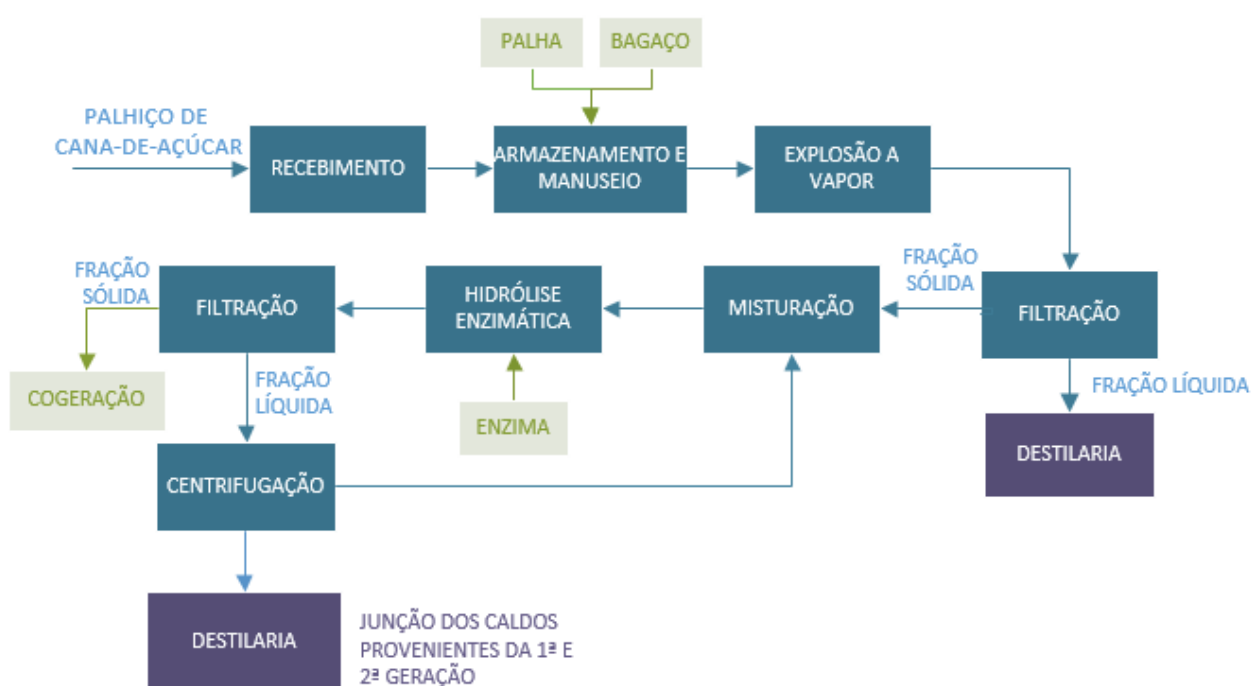
Posteriormente, o caldo filtrado é misturado com o caldo tratado, formando o caldo limpo. Por outro lado, a torta de filtro pode ser utilizada para alimentação animal ou ainda como adubo, uma vez que é considerada um resíduo rico em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídeos.

Com o caldo limpo pronto, ele segue para a área 3100 onde é misturado juntamente com caldo de glicose, proveniente do tratamento celulósico.

### 7.3 Setor 2000: Processo de Segunda Geração

Na Figura 9 é apresentado o fluxograma do processo produtivo de etanol de segunda geração da Cálamo. Esta etapa consiste na hidrólise enzimática e o eficiente pré-tratamento por explosão a vapor Cálamo, baseado nas atuais tecnologias disponíveis no mercado (BAUDEL, 2006; PITARELO, 2007).

**Figura 9:** Fluxograma de blocos do Processo de Segunda Geração.



**Fonte:** Adaptado de CAUNETO, 2013.

#### 7.3.1 Área 2100: Recebimento

O processo produtivo da Cálamo para obtenção de etanol de segunda geração inicia-se com a recepção do palhiço da cana-de-açúcar proveniente dos canaviais situados num raio de 40 Km da planta industrial.

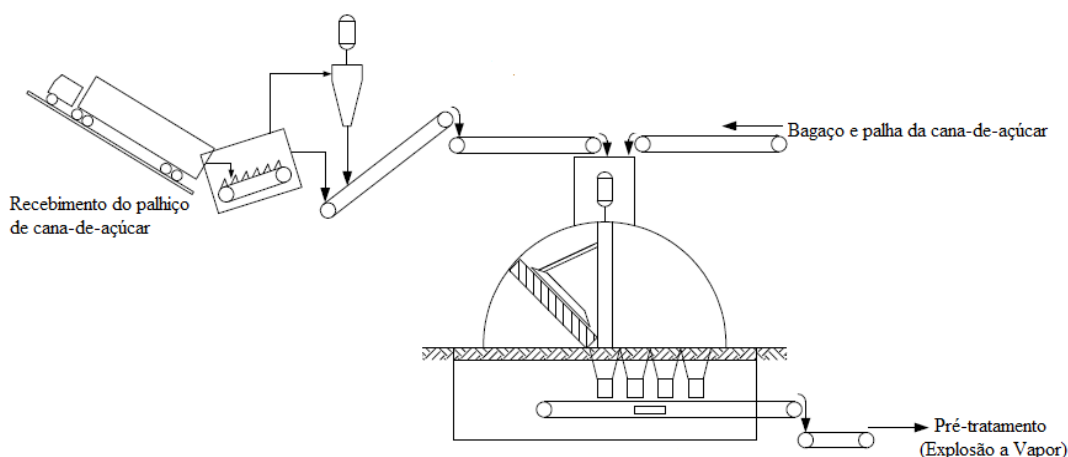
Essa matéria-prima é retirada da plantação por máquinas específicas, sendo realizada a utilização parcial desse material disponível no campo pós-colheita (50% do total) para evitar problemas agrônômicos na lavoura, como erosões e infestação de plantas daninhas.

### 7.3.2 Área 2200: Armazenamento e manuseio de matérias-primas para a etapa de segunda geração

O palhiço da cana-de-açúcar recebido pela unidade industrial é depositado em esteiras vibratórias para retirada das impurezas minerais presentes. Após a captação do material particulado, a matéria-prima é conduzida numa esteira até o armazenamento, em conjunto com a palha e o bagaço da cana-de-açúcar (subprodutos das operações de lavagem a seco e de moagem da cana, respectivamente, obtidos no processo 1G Cálamo), os quais são reaproveitados nessa etapa do processo.

A Figura 10 apresenta um esquema do manuseio dessas matérias-primas para armazenamento.

**Figura 10:** Esquema de armazenamento das matérias-primas para a produção de etanol de segunda geração.



**Fonte:** Adaptado de Humbird et al (2011).

### 7.3.3 Área 2300: Pré-tratamento: Explosão a vapor

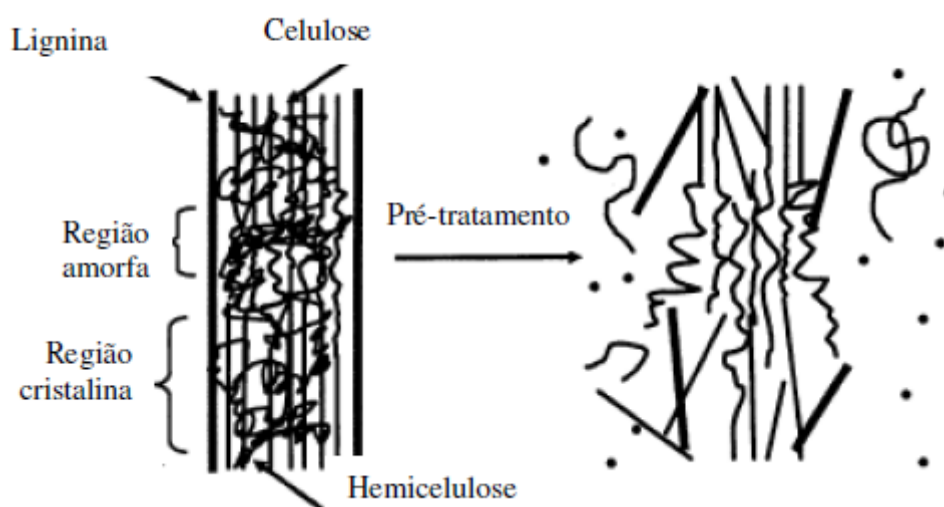
O projeto industrial da Cálamo utiliza o pré-tratamento por explosão a vapor da biomassa lignocelulósica (palha, palhiço e bagaço da cana-de-açúcar). Este processo reduz a utilização de insumos químicos, apresenta elevada eficiência no uso de energia, além de gerar baixo impacto ambiental (ROCHA et al., 2012).

Neste processo, a biomassa na presença de água é aquecida com vapor saturado proveniente do setor de utilidades, e seguidamente o sistema é

despressurizado. Essa diferença de pressão gera uma “explosão” que reduz o tamanho do material, ocasionado por uma ruptura nas ligações, gerando um aumento da porosidade. Devido a esses fatores, a estrutura da biomassa se torna susceptível à penetração de água, ácido e enzimas, de modo que o potencial hidrofílico da celulose é acrescido (MORO, 2015; BAUDEL, 2006).

Na Figura 11 é apresentado um esquema do efeito do pré-tratamento num material lignocelulósico.

**Figura 11:** Esquema do efeito do pré-tratamento em material lignocelulósico.



Fonte: CAUNETO, 2013.

#### 7.3.4 Área 2400: Filtração

Nesta área do processo produtivo da Cálamo, o material proveniente da explosão a vapor é destinado para uma filtração, objetivando-se a separação da hemicelulose dos demais constituintes.

Para tanto, faz-se necessário a adição de água, a qual promove a separação da hemicelulose presente na fração líquida (rica em pentoses, como xiloses e arabinoses) da fração sólida, composta basicamente de lignina e celulose (CAUNETO, 2013).

A fração sólida é expedida para o processo de hidrólise, enquanto a corrente de pentose é destinada para a etapa de fermentação.



### 7.3.5 Área 2500: Misturação

Em um tanque com agitação é realizado o último pré-condicionamento para etapa de hidrólise, em que água pré-aquecida é adicionada para aquecimento da fração sólida expedida da filtração, até uma quantidade requerida para etapa de hidrólise.

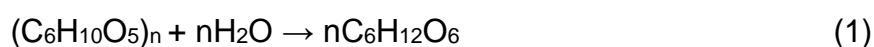
### 7.3.6 Área 2600: Hidrólise Enzimática

A Cálamo utiliza hidrólise enzimática para obtenção de açúcares fermentescíveis, através de um processo de sacarificação de celulose em glicose, por meio do uso de enzimas celulasas. A enzima utilizada pela unidade industrial é proveniente da empresa *Novozymes Biotech* (MARQUES; CARDOSO; COLOMBO, 2016).

A hidrólise enzimática possui uma maior especificidade do biocatalisador, apresenta menores taxas de degradação da glicose, além de gerar um menor custo de separação devido à baixa formação de produtos indesejáveis durante a reação (DIAS, 2008).

Em função das diversas vantagens apresentadas, essa foi a rota biotecnológica adotada pela empresa.

A reação para a hidrólise da celulose pura à glicose, se dá por diferentes rotas e segue a Equação (1).



### 7.3.7 Área 2700: Filtração

O material hidrolisado é destinado para uma filtração, objetivando-se a separação dos sólidos insolúveis do caldo de glicose.

A fração sólida recuperada, composta basicamente de lignina, é expedida para o sistema de cogeração. Ao passo que, o caldo do processo de segunda geração é destinado para a centrífuga da Área 2800.

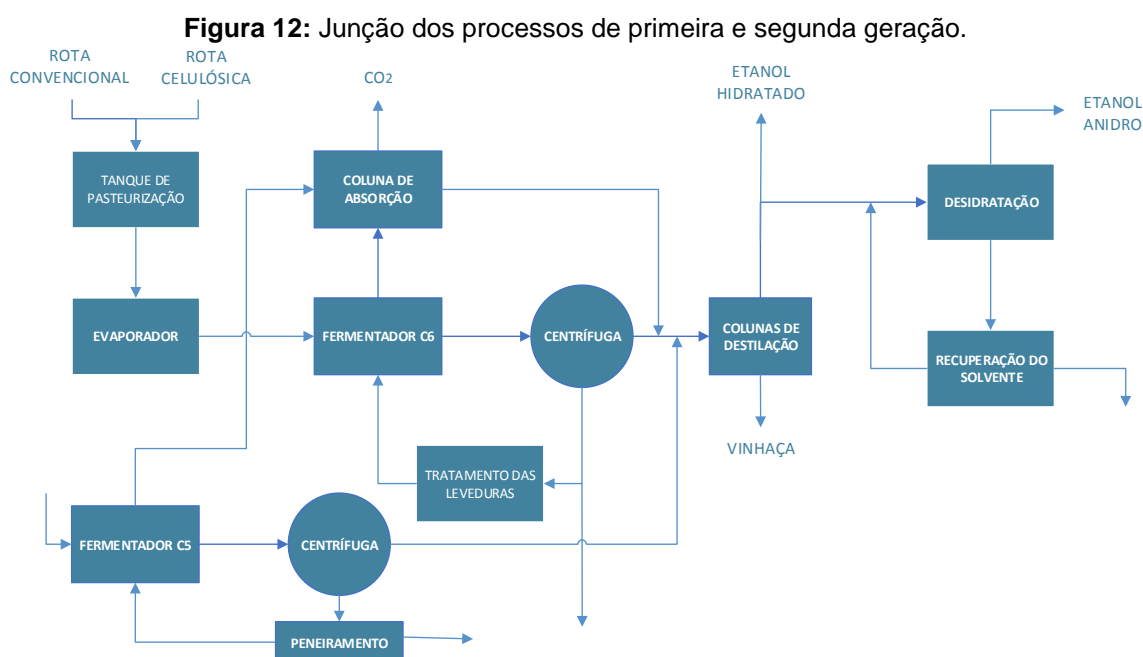
### 7.3.8 Área 2800: Centrifugação

O custo da enzima é reconhecido pela Cálamo como um determinante crítico para competitividade do etanol celulósico produzido pela unidade industrial. Diante dessa perspectiva, nessa área da unidade produtiva ocorre a recuperação das enzimas, para posterior reutilização na etapa de hidrólise enzimática (GOMES, GAMA, DOMINGUES, 2018)

Como alternativa, a centrifugação permite uma separação eficiente dessas enzimas e da celulose não convertida em açúcares fermentáveis na área 2600, do caldo do processo segunda geração que é destinado para a área 3100 da Cálamo.

## 7.4 Setor 3000: Destilaria

Nesta etapa ocorre a junção das correntes provenientes das rotas convencional e celulósica, bem como a fermentação e posterior destilação do etanol, o produto final da Cálamo. Para facilitar a descrição detalhada do processo, apresenta-se na Figura 12 um fluxograma de blocos dos processos de primeira e segunda geração.



Fonte: Autoria própria, 2018.

#### 7.4.1 Área 3100: Pasteurização

As correntes são acondicionadas em um tanque de mistura. O caldo obtido no processo de hidrólise enzimática é adicionado como diluente ao caldo da rota convencional. Nesta etapa há um controle e correção de pH. A mistura passa por um processo de esterilização, sendo submetida a um aquecimento, seguido de um resfriamento até que se atinja a temperatura ótima exigida pelas leveduras.

#### 7.4.2 Área 3200: Evaporação

O caldo clarificado misturado na etapa anterior é separado em duas correntes, em que uma delas é encaminhada ao evaporador para elevar sua concentração. No final da evaporação, misturam-se novamente as correntes “superconcentrada” e diluída, obtendo assim a concentração desejada para a próxima etapa (DIAS, 2008).

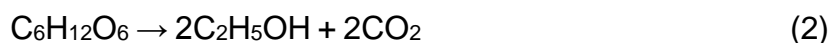
Com a separação das correntes, busca-se reduzir o volume do equipamento destinado a etapa de evaporação, além de utilizar uma quantidade menor de vapor comparado à quantidade que seria utilizada para a concentração de todo o caldo (ALBARELLI, 2013).

#### 7.4.3 Área 3300: Fermentação

O procedimento fermentativo da Cálamo é realizado em dornas com rígido controle de temperatura, garantindo as condições ótimas para as leveduras.

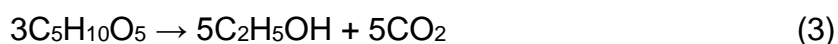
##### 7.4.3.1 Área 3310: Fermentação de Açúcares $C_6$

Nessa etapa do processo, os açúcares presentes no caldo são convertidos em etanol, mediante a fermentação alcoólica promovida por leveduras *Saccharomyces cerevisiae*. A reação simplificada dessa etapa está descrita na Equação 2 (LIMA, BASSO, AMORIM, 2001).



#### 7.4.3.2 Área 3320: Fermentação de Açúcares C<sub>5</sub>

O processo industrial da Cálamo emprega a levedura *Scheffersomyces stipitis* na fermentação da fração C<sub>5</sub> do licor lignocelulósico proveniente da área 2400, visto que esse microrganismo apresenta alta capacidade de converter pentoses (principalmente xilose) em etanol, quando comparado a outros microrganismos. A reação simplificada dessa etapa está descrita na Equação 3 (PEREIRA et al., 2017).



#### 7.4.4 Área 3400: Absorção

Durante o processo fermentativo ocorre a formação de álcool etílico e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Devido ao equilíbrio líquido-vapor e um ligeiro aumento da temperatura, uma quantidade significativa do etanol gerado é arrastada pelo CO<sub>2</sub>.

Essa parcela de etanol evaporada é recuperada por meio de um processo de absorção, utilizando água como solvente.

O CO<sub>2</sub> obtido no processo fermentativo poderá ser utilizado em diversos processos da indústria química, ou ainda como insumo direto. Assim, a Cálamo, buscando respeitar seus pilares de redução de gases de efeito estufa, contará com um sistema de captura deste produto e comercialização. Um mercado consumidor próximo, com elevada capacidade de compra (por exemplo, as indústrias alimentícias, de bebidas, sais carbonatos, e gases puros) poderá trabalhar em conjunto com a Cálamo, gerando certificações de Créditos de Carbono para ambas empresas em parceria.

#### 7.4.5 Área 3500: Centrifugação

Os vinhos provenientes das fermentações, constituídos por água, álcool etílico, leveduras e alguns subprodutos são submetidos a um processo de centrifugação.

#### 7.4.5.1 Área 3510: Centrifugação de *Saccharomyces cerevisiae*.

Nesta área da unidade industrial Cálamo, ocorre a separação dos microrganismos presentes no vinho proveniente da Área 3310 (Fermentação de Açúcares C6), sendo então destinados a Área 3600 (Tratamento de Leveduras), na qual são submetidos a uma etapa de beneficiamento.

#### 7.4.5.2 Área 3520: Centrifugação de *Scheffersomyces stipitis*

Essa área da unidade produtiva engloba a operação de centrifugação seguida por peneiramento das leveduras *Scheffersomyces stipitis*, presentes no vinho encaminhado da Área 3320 (Fermentação de pentoses), para posterior reutilização no processo fermentativo.

#### 7.4.6 Área 3600: Tratamento de leveduras

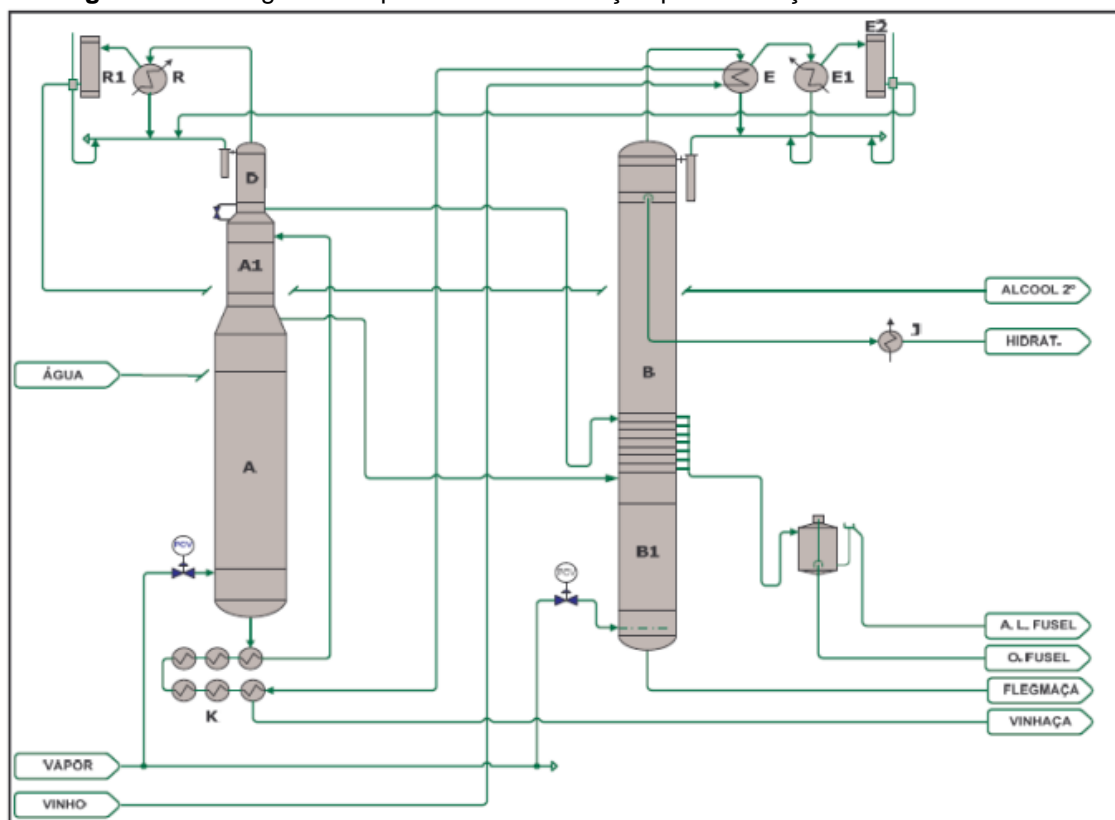
Buscando minimizar os impactos ocasionados pelo consumo de insumos durante o processo produtivo, a Cálamo dispõe de uma área de tratamento das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.

O tratamento consiste na adição de água, leveduras e ácido sulfúrico, sendo possível recuperar 70 % da levedura utilizada em uma dorna de fermentação. As leveduras tratadas são encaminhadas novamente ao processo de fermentação.

#### 7.4.7 Área 3700: Destilação

Na destilação tem-se uma mistura conhecida como vinho, que é alimentada num conjunto de colunas que promovem a separação do etanol e da vinhaça. Nas indústrias alcooleiras brasileiras, são utilizadas preferivelmente colunas de destilação com pratos, ao invés de colunas de contato (BARRETO; DUARTE-COÊLHO, 2008). A configuração de colunas de destilação mais encontrada nas indústrias brasileiras, segundo Bernardo Neto (2009), é composta por 5 colunas: A, A1, B, B1 e D, como exemplificada na Figura 13.

**Figura 13:** Fluxograma do processo de destilação para obtenção de etanol hidratado.



Fonte: BERNARDO NETO, 2009.

Nesse esquema, as três primeiras colunas trabalham em conjunto, sendo que a coluna A promove o esgotamento do vinho, a coluna A1 a depuração, ou seja, a purificação e eliminação de algumas impurezas; e a D promove a concentração do etanol. Ao final do conjunto das colunas de destilação, obtém-se duas correntes: a flegma líquida e o vapor, que são encaminhadas as outras duas colunas (B e B1), conhecidas como colunas de retificação. No topo da coluna B é retirado o etanol hidratado, e no fundo da coluna B1 é obtida a flegmaça, resíduo aquoso da retificação, praticamente isento de etanol.

O vapor utilizado nesse conjunto de colunas pode ser fornecido por contato direto via injeção por borbotagem, bem como de forma indireta, mediante trocadores de calor. A Cálamo utilizará conjuntos de trocadores de calor para aproveitamento da energia de diferentes correntes do processo.

Assim, a unidade produtiva obterá o etanol hidratado, consumindo a menor quantidade possível de energia, promovendo um processo mais sustentável e eficiente.

#### 7.4.8 Área 3800: Desidratação

A Cálamo, visando atender um maior público consumidor, destinará parte da produção para a geração de etanol anidro. Esse produto possui alto valor comercial sendo destinado como aditivo na mistura com a gasolina e absorvido pela indústria química. Portanto, o etanol anidro constitui-se como um produto diferencial na unidade provendo maior competitividade para da empresa no mercado.

A destilação extrativa utilizando monoetilenoglicol (MEG) será o método empregado pela unidade industrial, por apresentar um gasto energético muito menor quando comparado à destilação azeotrópica com ciclohexano, além da duplicação da capacidade extrativa do processo (ALBARELLI, 2013).

#### 7.4.9 Área 3900: Recuperação do Solvente

Tendo em vista a política sustentável da Cálamo, acoplada a coluna de desidratação, tem-se a coluna de recuperação do monoetilenoglicol, que proporcionará a redução de gastos pela reutilização do solvente, bem como uma menor carga de solvente no efluente proveniente do processo de destilação extrativa, diminuindo também os custos no tratamento dos efluentes líquidos.

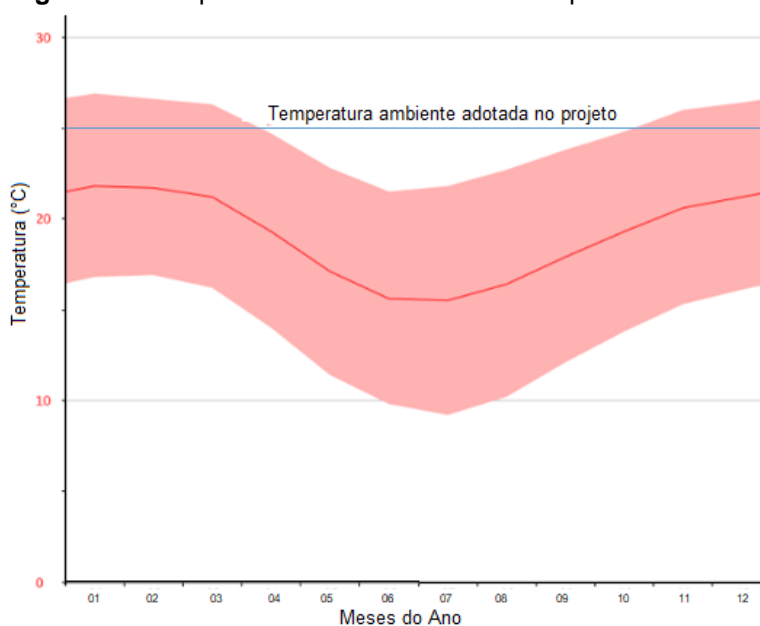
## 8 BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO CÁLAMO

Os balanços material e energético dos setores da unidade industrial serão pormenorizados a seguir, com a exposição de parte do diagrama de fluxo de processos respectivo à cada área.

Em cada análise, será compreendida as entradas e saídas em vazões mássicas e suas respectivas vazões por componente majoritário de cada seção, além de suas condições de temperatura e pressão. Para isso, estão descritas as considerações realizadas e as especificações do processo, baseadas na literatura disponível.

Para termos de projeto e realização do balanço energético foi adotada a temperatura ambiente de 25°C, com base na média de temperatura anual da cidade sede da empresa, conforme apresentado na Figura 14 abaixo.

**Figura 14:** Temperatura ambiente média de Itupeva –SP.



Fonte: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/sao-paulo/itupeva-24818/>

As utilidades necessárias para cada área seguem o respectivo quadro abaixo:

**Quadro 1:** Legenda para as correntes de utilidades.

Sigla	Descrição
V <sub>sa</sub>	Vapor superaquecido
V <sub>s</sub>	Vapor saturado
L <sub>s</sub>	Líquido saturado
L <sub>sr</sub>	Líquido sub-resfriado

Fonte: Autoria própria, 2018.



Além disso, serão informadas as potências mecânicas de alguns equipamentos, no qual foram obtidas por meio de uma análise de mercado, o que irão corresponder ao consumo de energia dos equipamentos a serem adquiridos pela Cálamo.

Para representação esquemática do processo produtivo da Cálamo e auxílio no desenvolvimento dos balanços de massa e energia, foi construído o diagrama de fluxo de processos geral, apresentado no Apêndice A.

## 8.1 Setor 1000: Processo de Primeira Geração

Serão apresentados a seguir os esquemas e balanços materiais para cada área do Setor 1000 da Cálamo. Neste setor, serão descritos, especificamente, os termos água, açúcares fermentáveis, palha e fibras, os quais serão considerados independentes devido as suas maiores transferências nas correntes ao longo do setor. Também é apresentado um componente, denominado “outros”, que compreende componentes minoritários da cana-de-açúcar, impurezas minerais, metais, pedras, entre outros.

### 8.1.1 Área 1100: Processamento da Cana

A Cálamo processará seiscentas toneladas de cana por hora. Essa matéria-prima será transportada até a unidade industrial por caminhões do tipo Julieta, com capacidades médias de quarenta e cinco toneladas.

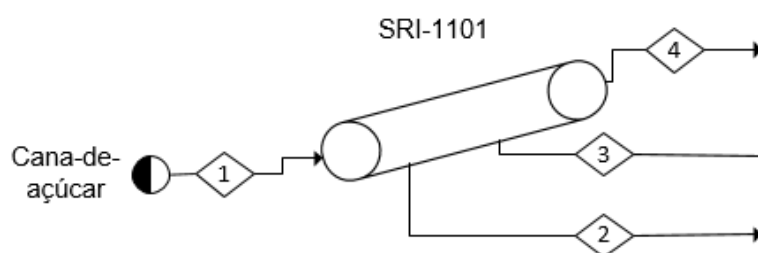
### 8.1.2 Área 1110: Recepção

Pelo fato da colheita ser feita mecanicamente, a Corrente 1 deverá conter cerca de 1,2% (m/m) de impurezas minerais, que são retiradas nesta área de recepção com 75% de eficiência. A cana-de-açúcar recepcionada chega na unidade industrial em condições ambientes, contendo composição de 10% (m/m) em palha (base livre de impurezas), com 15% de umidade, e do restante, a composição média da cana é apresentada na Tabela B.1 do Apêndice B (CAUNETO, 2013; BONOMI et al., 2016). Tais valores serão adotados para o projeto inicial da indústria Cálamo, porém, é importante frisar que esta composição será sempre avaliada pelo Instituto de

Pesquisas Cálamo, de forma a garantir um maior rendimento do processo e qualidade do nosso produto.

Esse acompanhamento da matéria-prima é realizado pelo sistema de sondas, com potência mecânica de 4,41 kW. Aqui, 6 amostras da carga admitida na indústria serão analisadas, por hora, com peso médio de 15 quilogramas (CANAVIEIRA, 2018). Na Figura 15 é apresentado um esquema da Área 1110, que consiste na recepção da cana-de-açúcar e remoção das impurezas minerais (corrente 2) em uma mesa alimentadora vibratória (SRI-1101), sondas amostrais (corrente 3) e cana para lavagem (corrente 4). Este processo não traz mudanças nas condições de temperatura e pressão das correntes.

**Figura 15:** Diagrama de Processo (Área 1110).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

Na Tabela 1, são apresentados os valores das vazões mássicas das correntes em SRI-1101, assim como de seus componentes.

**Tabela 1:** Balanço material e energético no sistema de recepção e remoção de impurezas minerais (Área 1110).

Número da corrente	1	2	3	4
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0	25,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	600,0	5,4	9,0E-02	594,5
Vazão por Componente (t/h)				
Água	378,0	-	5,7E-02	377,9
Açúcares Fermentáveis	79,9	-	1,2E-02	79,9
Palha	59,3	-	9,0E-03	59,3
Fibras	75,6	-	1,1E-02	75,6
Outros	7,2	5,4	1,0E-03	1,8

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

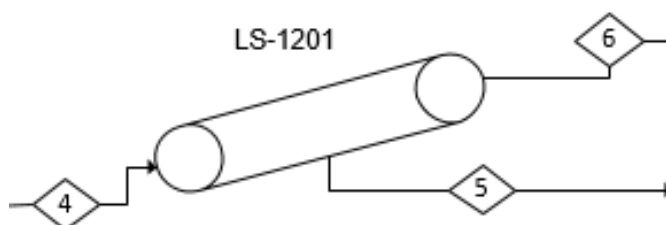
### 8.1.3 Área 1200: Lavagem

Na lavagem a seco ocorre a remoção da palha com eficiência de 75%, por meio da utilização de ar em excesso em um sistema de esteira com soprador (LS-1201). Toda palha removida é destinada para a Área 2200 da Cálamo (Processo 2G). A parcela não removida passa a ser tratada como uma impureza na corrente, e englobada como componente “Outros” nas correntes subsequentes do processo.

Neste esquema, a corrente de ar utilizada não foi contabilizada no balanço material devido a sua passagem pelo sistema através de ventiladores, com uma potência mecânica de 16 kW, que retorna para a atmosfera; além disso, no balanço energético, esta corrente não apresenta variação significativa em suas propriedades, portanto, a temperatura da corrente pós-processo pode ser adotada como constante.

Neste processo, considerou-se um cenário positivo, no qual não há perda de açúcares e água para os jatos de ar (BONOMI et al., 2016). Na Figura 16 é apresentado um esquema do LS-1201, e seu balanço material está contido na Tabela 2.

**Figura 16:** Lavagem a seco da cana-de-açúcar por ar forçado (Área 1200).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 2:** Balanço material e energético do processo de lavagem a seco (Área 1200).

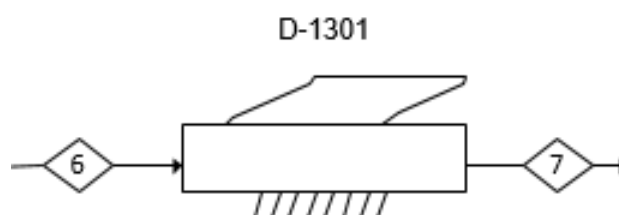
Número da corrente	4	5	6
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	594,5	44,5	550,1
Vazão por Componente (t/h)			
Água	377,9	-	377,9
Açúcares Fermentáveis	79,9	-	79,9
Palha	59,3	44,5	14,8
Fibras	75,6	-	75,6
Outros	1,8	-	1,8

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.1.4 Área 1300: Desfibração

A desfibração diminui o tamanho das aparas de cana, na qual faz-se com 98% de eficiência. Neste processo, uma potência mecânica de 3,07 kW é requerida pelo desfibrador. Com isso, à jusante do equipamento (D-1301), a cana apresenta uma massa específica de 350 quilogramas por metro cúbico (CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005). Por se tratar de uma operação em que somente há redução de tamanho, não há modificação na composição e em suas condições de temperatura e pressão, as vazões mássicas não se alteram ao longo do processo. Na Figura 17 é apresentado um esquema de um desfibrador, usado para construção do diagrama de fluxo de processo (Apêndice A). Adicionalmente, na Tabela 3 são apresentadas as vazões mássicas total e por componente que compõem este processo.

**Figura 17:** Representação de um desfibrador (Área 1300).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 3:** Balanço material e energético do processo de desfibração da cana-de-açúcar (Área 1300).

Número da corrente	6	7
Temperatura (°C)	25,0	25,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	550,1	550,1
Vazão por Componente (t/h)		
Água	377,9	377,9
Açúcares Fermentáveis	79,9	79,9
Fibras	75,6	75,6
Outros	16,6	16,6

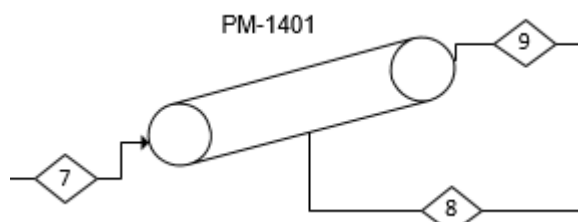
**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.1.5 Área 1400: Preparação para moagem

Na preparação para a moagem, os separadores eletromagnéticos, operam com 100% de eficiência na remoção de metais e óxidos metálicos, sendo que 0,1% (m/m) do componente “outros” da corrente 7 é composto destes materiais. No

equipamento PM-1401 tem-se o nivelamento de 100% da cana, sem alteração de suas condições (ITAL, 2018), como é representado na Figura 18, e quantificado as vazões por componentes na Tabela 4.

**Figura 18:** Representação de separador eletromagnético no preparo para moagem (Área 1400).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 4:** Balanço material e energético no processo de separação eletromagnética e preparo para moagem (Área 1400).

Número da corrente	7	8	9
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	550,1	2,0E-03	550,1
Vazão por Componente (t/h)			
Água	377,9	-	377,9
Açúcares Fermentáveis	79,9	-	79,9
Fibras	75,6	-	75,6
Outros	16,6	2,0E-03	16,6

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

#### 8.1.6 Área 1500: Moagem

A moenda do processo produtivo Cálamo opera com 97% de eficiência na retirada de caldo da cana, para isso, a MO-1501, com acionamento a partir da expansão de vapor, na qual será utilizado vapor proveniente da caldeira e sua energia será esgotada até a condição de saturação. Logo, uma quantidade de 9,46 t/h de vapor será requerida para garantir que a potência de vapor de 9000 kW da moenda seja disponibilizada.

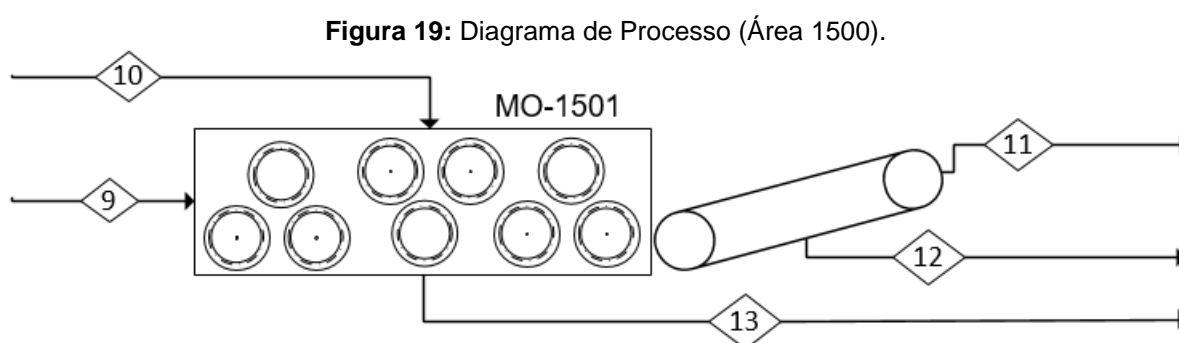
Para manter tal eficiência, é necessário que na moenda seja adicionado mais eluente. Aqui, tal processamento ocorre com 0,25m<sup>3</sup> de água por tonelada de cana alimentada para garantir melhor recuperação dos açúcares durante a moagem. (MEZARROBA; MENEGRETTI; GROFF, 2014). A água de embebição é previamente aquecida por trocador de calor até atingir 80°C, e para isto, é necessário 44671,3 kJ/h

de calor proveniente do setor de utilidades da Cálamo, com uma vazão de 13,0 t/h de vapor superaquecido.

Por se tratar de um sistema aberto e não isolado, há perdas de calor para o ambiente (17.043,2 kJ, o que equivale a 20%), porém, as condições de pressão continuam inalteradas.

Nesta operação, tem-se que a produção de bagaço que é de 150,1 quilogramas por tonelada de cana alimentada nesta área. Nesta corrente, com umidade de 50%, é perdido cerca de 3% dos açúcares presentes na cana, e arrastado 97% das impurezas contidas. Acoplada a moenda MO-1501, há uma esteira na qual faz-se a separação do bagaço para o setor de cogeração, Corrente 11, e para a produção de etanol, Corrente 12, ambas com a mesma fração por componentes (PAYNE, 2010).

Os dados de vazões mássicas das correntes dessa área e suas respectivas vazões por componente estão apresentadas na Tabela 5, e um esquema do processo de moagem na Figura 19.



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 5:** Balanço material e energético no processamento da cana por moagem com adição de água (Área 1500).

Número da corrente	9	10	11	12	13
Temperatura (°C)	25,0	80	49,2	49,2	49,2
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1
Vazão mássica (t/h)	550,1	133,6	138,1	12	533,5
Vazão por Componente (t/h)					
Água	377,9	133,6	69,1	6,0	436,5
Açúcares Fermentáveis	79,9	-	2,2	0,2	77,5
Fibras	75,6	-	52,1	4,5	19,0
Outros	16,6	-	14,8	1,3	0,5

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

## 8.1.7 Área 1600: Tratamento do caldo

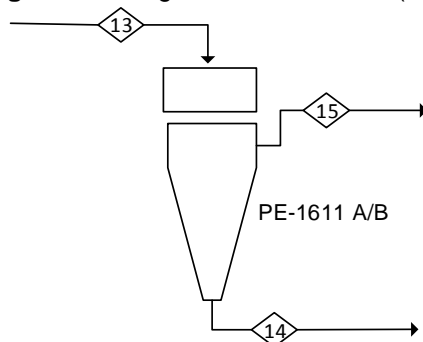
### 8.1.7.1 Área 1610: Peneiramento

Ao ir para a Área 1610, o caldo sofre uma perda de energia o que acarreta na diminuição de temperatura da Corrente 13. Para realizar a operação de peneiramento, a Cálamo utiliza peneiras seguidas por hidrociclones, apresentando uma eficiência global de 90% de remoção das mesmas; durante o acionamento deste sistema, uma potência mecânica de 9,4 kW é requerida. As fibras removidas neste processo (Corrente 14) ainda mantém em sua composição 1,0% dos açúcares contidos no caldo, e que não são recuperados para posterior fermentação; além disso, um teor de umidade de 15% confere às fibras removidas um elevado peso específico, que permite sua separação do caldo filtrado no sistema de hidrociclone.

Vale destacar que devido a formação de uma torta de filtração no sistema de peneiras (em torno de 0,3% das fibras ficam retidas), a Área 1610 conta com dois sistemas de filtração e hidrociclone em paralelos, PE-1611A e PE-1611B, as operações alternadas em cada sistema permite que manutenções periódicas sejam realizadas garantindo uma operação contínua.

Devido ao não isolamento do sistema de separação, o caldo sofre uma perda de energia, na ordem de 10% na temperatura de entrada, o que equivale a 1.657,0 kJ, e, portanto, a temperatura de saída do fluido cai para 43,4°C;

Na Figura 20 é apresentado um esquema do sistema de filtração e separação por hidrociclone descrito anteriormente, e os balanços são demonstrados na Tabela 6. (BONOMI et al., 2016; CORTEZ, 2010). Observa-se que para o componente fibras, há uma diferença na soma das Correntes 14 e 15, em relação à Corrente 13 (0,1 t/h). Entretanto, esta diferença decorre em função do acúmulo de fibras nas peneiras, levando a formação adicional de uma torta de filtração, como descrito anteriormente.

**Figura 20:** Diagrama de Processo (Área 1610).

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 6:** Balanço material e energético no processo de separação de caldo e fibras utilizando peneiras seguida por hidrociclone (Área 1610).

Número da corrente	13	14	15
Temperatura (°C)	44,3	43,4	43,4
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	533,5	20,9	512,6
Vazão por Componente (t/h)			
Água	436,5	2,6	433,9
Açúcares Fermentáveis	77,5	1,2	76,3
Fibras	19,0	17,1	1,8
Outros	0,5	7,0E-03	0,5

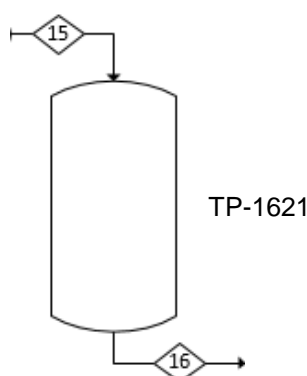
**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.1.7.2 Área 1620: Aquecimento

O caldo já filtrado é destinado para na Área 1620, neste processo o mesmo sofre perda de energia de 10%, de forma que a Corrente 15 diminua sua temperatura. Para a pasteurização, utiliza-se o tanque TP-1621, sendo que a mudança na temperatura não provocará reações de caramelização dos açúcares presentes, e nem a perda de umidade por evaporação. Ou seja, não há modificação na composição, as vazões mássicas não se alteram ao longo do processo, como está representado na Tabela 7 e esquematizado na Figura 21 a seguir.

Para tal aquecimento, é necessário o uso de utilidade quente proveniente da caldeira a uma vazão de 52,9 t/h, sendo que sua condição de entrada é de vapor vivo, 6 MPa e 500 °C. Com fins de diminuir o consumo de vapor, o fluido transfere calor latente e sensível para o caldo pasteurizado, sendo assim sua condição de saída como líquido sub-resfriado.



**Figura 21:** Esquema de tanque pasteurizador (Área 1620).

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 7:** Balanço material e energético do processo de aquecimento (Área 1620).

Número da corrente	15	16	Vsa	Lsr
Temperatura (°C)	39,0	105,0	500,0	275
Pressão (MPa)	0,12	0,11	6,0	5,0
Vazão mássica (t/h)	512,6	512,6	52,9	52,9
Vazão por Componente (t/h)				
Água	433,9	433,9	52,9	52,9
Açúcares Fermentáveis	76,3	76,3	-	-
Fibras	1,8	1,8	-	-
Outros	0,5	0,5	-	-

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

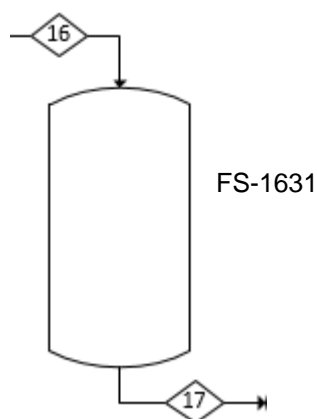
### 8.1.7.3 Área 1630: Flasheamento

Nesta Área o equipamento que realiza o flash do caldo (FS-1631) elimina bolhas de ar contidas no mesmo. Entretanto, devido a pequena quantidade de ar que se apresenta solubilizada no caldo filtrado, após separada, tal corrente não é utilizada em processos posteriores. Portanto, essa corrente de ar gerada não é contabilizada no balanço material.

A montante deste vaso de pressão há uma bomba centrífuga, o que causa na Corrente 16 um aumento da pressão da mesma e, conseqüentemente, a temperatura se eleva ligeiramente. Porém, com a saída da corrente de ar, 2951,7 kJ são liberados do sistema e há também uma queda de pressão.

Na Figura 22 abaixo e na Tabela 8 são apresentadas as vazões mássicas no processo de flasheamento.

**Figura 22:** Esquema de vaso flash para separação de ar dissolvido. (Área 1630).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 8:** Balanço material e energético do processo de flasheamento do caldo filtrado (Área 1630).

Número da corrente	16	17
Temperatura (°C)	106,0	100,0
Pressão (MPa)	0,13	0,10
Vazão mássica (t/h)	512,6	512,60
Vazão por Componente (t/h)		
Água	433,9	433,9
Açúcares Fermentáveis	76,3	76,3
Fibras	1,8	1,8
Outros	0,5	0,5

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

#### 8.1.7.4 Área 1640: Clarificação

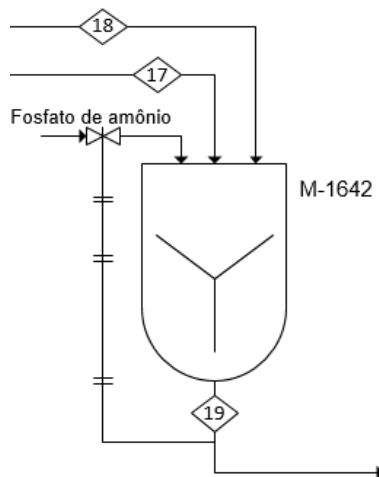
O caldo livre de bolhas é encaminhado para o equipamento de clarificação, onde ocorre adição de cal em um vaso agitado (CA-1641). Neste processo, o pH do meio é ajustado com uma solução de leite de cal (17% em massa de Óxido de Cálcio) de pH igual a 13,5. Desta forma, o caldo ácido (pH igual 5,5) é corrigido para pH 7,8. No balanço material deste vaso, o CaO presente na mistura é englobado na Corrente 19 (componente “Outros”) (ARAÚJO, 2005).

Um sistema de controle por retroalimentação também é utilizado no vaso CA-1641 para medir a concentração de fosfatos (em torno de 0,03% m/m). Neste caso, uma adição de fosfato de amônio é realizada para atingir a especificação. Por se tratar de uma quantidade pequena, tal corrente não é apresentada no balanço material como *input*.

Um esquema do vaso é apresentado na Figura 23, no qual estão presentes os elementos de controle do processo e a válvula dosadora de fosfatos. Os dados de

vazões mássicas das correntes e suas respectivas temperaturas dessa área do processo estão apresentados no Tabela 9.

**Figura 23:** Esquema da clarificação do caldo (Área 1640).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 9:** Balanço material e energético do processo de clarificação do caldo (Área 1640).

Número da corrente	17	18	19
Temperatura (°C)	100,0	25,0	75,1
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	512,6	206,8	719,5
Vazão por Componente (t/h)			
Água	433,9	179,4	613,4
Açúcares			
Fermentáveis	76,3	-	76,3
Fibras	1,8	-	1,8
CaO	-	27,4	27,4
Outros	0,5	-	0,5

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

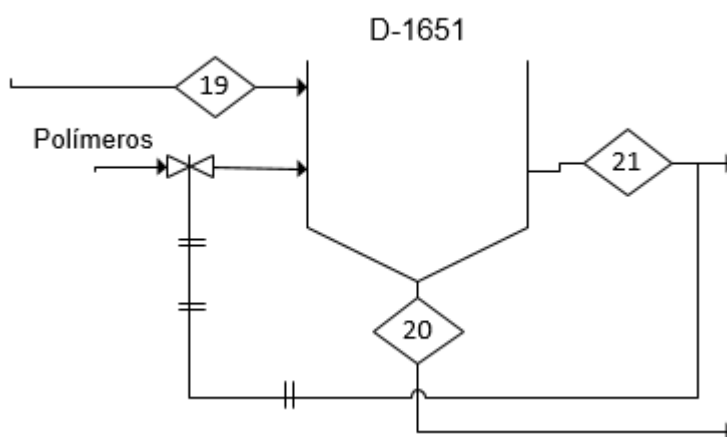
#### 8.1.7.5 Área 1650: Decantação

Nesta última etapa do tratamento de caldo, o caldo clarificado é enviado para a Área 1650, e pela falta de isolamento dos tubos, o mesmo tem perda de 9.297,91 kJ/h de calor, o que equivale a 10% do total. Ao chegar a seção, o decantador (D-1651), com potência mecânica de 9 kW, espessa 10% em massa da vazão de entrada o que acarreta em uma diminuição da temperatura. No lodo formado, há uma recuperação de 99% de todo o conteúdo sólido que não segue para a fermentação, ou seja fibras, CaO, impurezas, (todos somados em “Outros”. Além disso, há uma perda de açúcares fermentáveis, em torno de 1% (m/m). Uma adição de polímeros é

realizada neste tanque D-1651 para aumentar a massa específica dos componentes a serem separados. Neste caso, o sistema de controle da planta Cálamo atuará de modo a adicionar somente a quantidade necessária do polímero. Uma estimativa de consumo de polímero é de 3 quilogramas de polímeros por tonelada de caldo alimentado na Área 1650 (Me-Zochi, 2007; ARAÚJO, 2005).

O esquema do tanque decantador contendo o sistema de controle é apresentado na Figura 24. O balanço material, Tabela 10, mostra que a corrente principal do decantador é composta basicamente de água e açúcares.

**Figura 24:** Esquema de clarificação do caldo (Área 1650).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 10:** Balanço material e energético do processo de Decantação do caldo (Área 1650).

Número da corrente	19	20	21
Temperatura (°C)	67,6	64,0	64,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	719,5	71,9	647,5
Vazão por Componente (t/h)			
Água	613,4	41,7	571,6
Açúcares Fermentáveis	76,3	0,8	75,6
Outros	29,8	29,5	0,3

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.1.8 Área 1700: Filtração

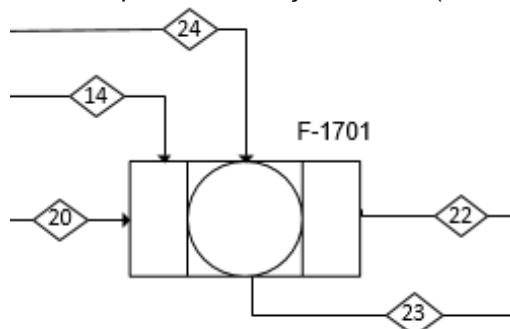
O lodo proveniente da Área 1650 é encaminhado para filtração. Nesta etapa, ocorre uma diluição do lodo, com uma proporção de 50% em massa de água adicionada em relação ao lodo alimentado ao filtro.

Esta diluição ocorre com água previamente aquecida para facilitar e garantir a eficiência do processo de separação. Para isso, utiliza-se trocadores de calor que necessitam de 3,52 t/h de vapor superaquecido proveniente da caldeira (nas condições de 6,0 MPa e 500°C) para aumentar da temperatura ambiente até 80°C.

A corrente de caldo filtrado, rica em bagacilho, (corrente 14, proveniente da Área 1610) é adicionada a esta corrente de lodo espessado a ser filtrada, obtida na seção de decantação (Área 1650). No filtro cilíndrico (F-1701) é formada a torta de filtro, com 50% de umidade, e uma recuperação de 99% de todos os componentes não fermentáveis (“Outros” das Correntes 20 e 14 somados com o componente Fibras da Corrente 14 são removidos no filtro). Entretanto, ainda pode ocorrer perda de açúcares fermentáveis, com cerca de 2% do conteúdo de açúcar alimentado.

Na Figura 25 é esquematizada esta operação e apresentada as correntes de água adicionada (Corrente 24), bagacilho proveniente do peneiramento com hidrociclone (Corrente 14), e o lodo espessado (Corrente 20). Na Tabela 11 os balanços material e energético e por componente é apresentado para este sistema de filtração rotativa (BONOMI et al., 2016; MARTINEZ, 2016).

**Figura 25:** Esquema da filtração do lodo (Área 1700).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 11:** Balanço material e energético do processo de filtração do lodo (Área 1700).

Número da corrente	20	14	22	23	24
Temperatura (°C)	64,0	43,4	66,3	66,3	80
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	71,9	20,9	92,3	36,5	36,0
Vazão por Componente (t/h)					
Água	41,7	2,6	46,1	34,1	36,0
Açúcares Fermentáveis	0,8	1,2	4,0E-02	1,9	-
Fibras	-	17,1	17,0	0,2	-
Outros	29,5	7,0E-03	29,2	0,3	-

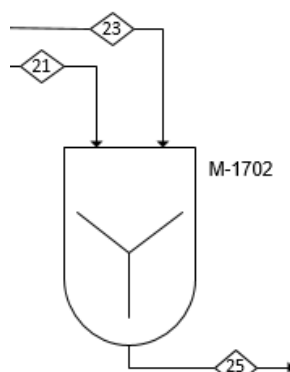
**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.1.8.1 Área 1710: Junção dos Caldos

Na sequência do processo, ocorre a junção dos caldos a serem fermentados em um tanque misturador (M-1702). O caldo sobrenadante da decantação (Corrente 21, Área 1650) e o caldo filtrado (Corrente 23, Área 1700) são unidas e enviadas para o setor 3000 da Cálamo (Destilaria). Foi considerado uma perda de energia na forma de calor pela falta de isolamento, em torno de 4249,9 kJ/h (somando as duas correntes), o que corresponde a 3% da energia contida na corrente.

Neste tanque, o baixo tempo de retenção garante que o conteúdo de açúcares fermentáveis não sofra degradação, tampouco contaminação. Um esquema do misturador M-1702 é apresentado na Figura 26. Por se tratar de uma operação de somente mistura (sem reações e separação de fases), um balanço material mostra que somente ocorre a soma das correntes, sem mudança de composição, conforme apresentado na Tabela 12.

**Figura 26:** Esquema da junção dos caldos tratados (Área 1710).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 12:** Balanço material e energético do processo da junção dos caldos tratados (Área 1710).

Número da corrente	21	23	25
Temperatura (°C)	62,3	63,6	61,9
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão mássica (t/h)	647,5	36,5	684,0
Vazão por Componente (t/h)			
Água	571,6	34,1	605,8
Açúcares Fermentáveis	75,6	1,9	77,5
Outros	0,3	0,5	0,8

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

## 8.2 Setor 2000: Processo de Segunda Geração

Serão pormenorizados a seguir os esquemas que representam parte do fluxograma do processo e os balanços material e energético para cada área do Setor 2000 da unidade industrial. Neste setor, especificamente, as vazões dos componentes que apresentam maiores transferências nas correntes ao longo do setor: água, açúcares fermentáveis, pentoses, hemicelulose, celulose, lignina, enzima, vapor e impurezas, serão apresentadas independentemente. Também é apresentado dados de um componente, denominado “Outros”, que compreende os componentes minoritários dos materiais lignocelulósicos utilizados no processo 2G Cálamo, além de impurezas e demais componentes contidos nos materiais provenientes do processo 1G Cálamo.

### 8.2.1 Área 2100: Recebimento

A Cálamo recebe 53 t/h de palhiço de cana-de-açúcar (base de 15% de umidade) e com impurezas minerais que correspondem em média a 6,8%(m/m) (BRASIL, 2018).

### 8.2.2 Área 2200: Armazenamento e manuseio de matérias-primas para a etapa 2G Cálamo

A Unidade industrial possui um sistema compacto e eficiente para remoção das impurezas minerais contidas na biomassa proveniente da Área 2100, visto que elas apresentam efeitos prejudiciais nos equipamentos e operações subsequentes do processo.

Assim, num cenário otimista do projeto técnico, foi considerado que essas impurezas são removidas da matéria-prima em sua totalidade.

Além disso, para desenvolvimento dos balanços de massa por componentes, foi assumido que as matérias-primas do processo de segunda geração da Cálamo apresentam as composições médias descritas nas Tabela 13 e 14, determinadas com base nos dados apresentados nas Tabelas B.2 e B.3 do Apêndice B, e que a palha e o bagaço de cana-de-açúcar, apresentam 15 e 50 % de umidade, respectivamente.

**Tabela 13:** Composição da palha e palhiço de cana-de-açúcar em percentual de base seca.

Componente	%(m/m)
Lignina	24,41
Celulose	39,21
Hemicelulose	30,33
Outros	6,05

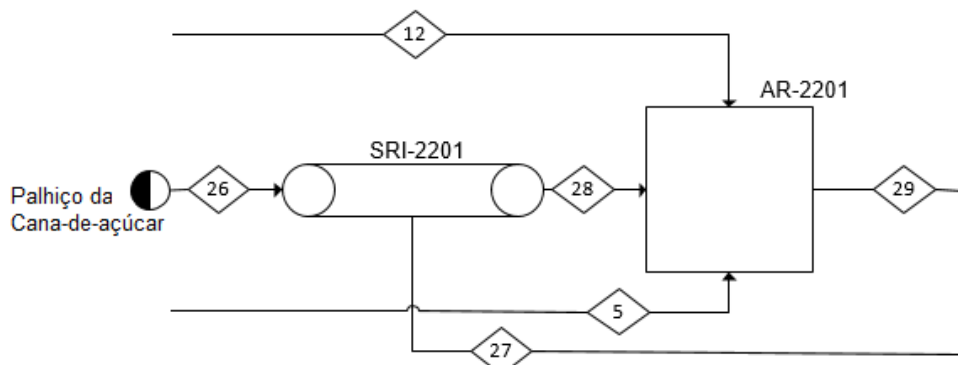
Fonte: Autoria Própria, 2018.

**Tabela 14:** Composição do bagaço de cana-de-açúcar em percentual de base seca.

Componente	%(m/m)
Lignina	23,62
Celulose	41,35
Hemicelulose	27,03
Outros	8,00

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Na Figura 27 é apresentado o diagrama da Área 2200 da Cálamo, no qual os elementos SRI-2201 e AR-2201 referem-se ao sistema de remoção de impurezas e ao armazenamento da unidade industrial, respectivamente, no qual as operações são isotérmicas e a pressão constante.

**Figura 27:** Esquema do manuseio de matérias-primas para a etapa 2G Cálamo (Área 2200).

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os dados de vazões mássicas das correntes e de seus componentes inerentes à essa área da unidade produtiva, assim como a temperatura e pressão das operações, estão apresentados na Tabela 15.



**Tabela 15:** Balanço material e energético na etapa de manuseio de matérias-primas do processo 2G Cálamo (Área 2200).

<b>Número da corrente</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	44,5	12,0	53,0	3,6	49,4	105,9
Vazão por Componente (t/h)						
Lignina	9,2	1,1	10,3	-	10,3	20,5
Celulose	14,8	1,9	16,5	-	16,5	33,2
Hemicelulose	11,5	1,2	12,7	-	12,7	25,4
Água	6,7	6,0	7,4	-	7,4	20,1
Outros	2,3	1,7	2,5	-	2,5	6,5
Açúcares Fermentáveis	-	0,2	-	-	-	0,2
Pentoses	-	-	-	-	-	-
Impurezas	-	-	3,6	3,6	-	-
Enzima	-	-	-	-	-	-
Vapor	-	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

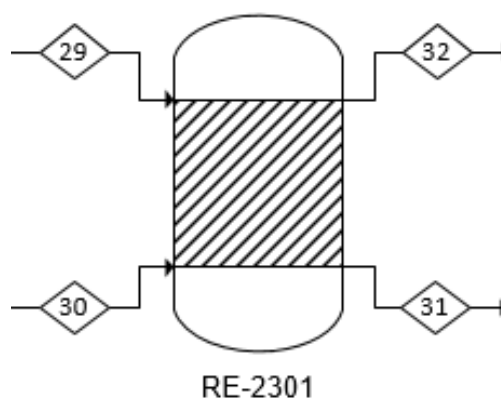
### 8.2.3 Área 2300: Pré-tratamento por explosão a vapor

Na etapa de pré-tratamento por explosão a vapor da Cálamo ocorre uma conversão de 70% da hemicelulose em açúcares fermentáveis (pentoses) (CAUNETO, 2013).

Essa é uma etapa de consumo intensivo de vapor do processo industrial da Cálamo, demandando 0,55 quilo de vapor por quilo de biomassa proveniente da Área 2200 (CAUNETO, 2013).

A biomassa é aquecida à temperatura de 102 °C com vapor saturado (Temperatura de 202,5°C e pressão de 1,57 MPa) proveniente da turbina de contrapressão do setor de cogeração da empresa, e seguidamente o sistema é despressurizado (BONOMI et al., 2016).

A Figura 28 mostra um diagrama da Área 2300 da unidade industrial, no qual RE-2301 corresponde ao reator utilizado no pré-tratamento por explosão a vapor. Ademais, as vazões mássicas das correntes relativas à essa área da indústria, e seus respectivos componentes, bem como informações sobre entradas e saídas de energia, temperatura e pressão de operação estão indicadas na Tabela 16.

**Figura 28:** Explosão a vapor (Área 2300).

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 16:** Vazões mássicas, temperaturas e pressões no pré-tratamento por explosão a vapor (Área 2300).

Número da corrente	29	30	31	32
Temperatura (°C)	25,0	202,5	102,0	102,0
Pressão (MPa)	0,10	1,57	0,10	0,11
Vazão Mássica (t/h)	105,9	58,2	105,9	58,2
Vazão por Componente (t/h)				
Lignina	20,5	-	20,5	-
Celulose	33,2	-	33,2	-
Hemicelulose	25,4	-	7,6	-
Água	20,1	-	20,1	-
Outros	6,5	-	6,5	-
Açúcares Fermentáveis	0,2	-	0,2	-
Pentoses	-	-	17,8	-
Impurezas	-	-	-	-
Enzima	-	-	-	-
Vapor	-	58,2	-	58,2

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

#### 8.2.4 Área 2400: Filtração

A eficiência do filtro F-2401, compreendido nessa Área da unidade industrial, com relação a remoção de pentoses e de componentes minoritários dos materiais lignocelulósicos, além de impurezas provenientes do processo 1G (englobados no componente “Outros”), é de 98%.

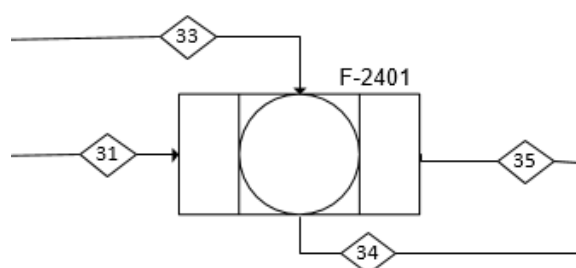
Para isto, sabe-se que é necessário em torno de 0,60 quilo de água por quilo de material no filtro (CAUNETO, 2013). Assim, é necessário a adição de água no processo (Corrente 33), proveniente do setor de utilidades e pré-aquecida a 30°C, a qual transferirá energia térmica à biomassa pré-tratada.

Para termos de balanço energético nessa etapa do processo, admitiu-se condições reais de operação, considerando perdas de energia para o ambiente, e que

o calor específico médio da biomassa pré-tratada (Corrente 31) e da fração sólida expedita para etapa de hidrólise (Corrente 35), são de 0,91 kJ/kg.K, além de que essa propriedade térmica da fração líquida (Corrente 34) composta majoritariamente por água é equivalente a 3,96 kJ/kg.K (MIRANDA, 2009; ZANOTTI et al., 2016).

O esquema dessa área da unidade industrial é apresentado na Figura 29, ao passo que as vazões mássicas das correntes pertencentes a essa etapa, bem como informações de temperatura e pressão, e de suas respectivas vazões por componentes, estão indicadas na Tabela 17.

**Figura 29:** Esquema de Filtro para remoção de pentoses (Área 2400).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

**Tabela 17:** Balanço material e energético na etapa de remoção de pentoses da biomassa pré-tratada (Área 2400).

Número da corrente	31	33	34	35
Temperatura (°C)	90,0	30,0	32,2	32,2
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	105,9	138,7	179,4	65,2
Vazão por Componente (t/h)				
Lignina	20,5	-	-	20,5
Celulose	33,2	-	-	33,2
Hemicelulose	7,6	-	-	7,6
Água	20,1	138,7	155,6	3,2
Outros	6,5	-	6,4	0,1
Açúcares Fermentáveis	0,2	-	-	0,2
Pentoses	17,8	-	17,4	0,4
Impurezas	-	-	-	-
Enzima	-	-	-	-
Vapor	-	-	-	-

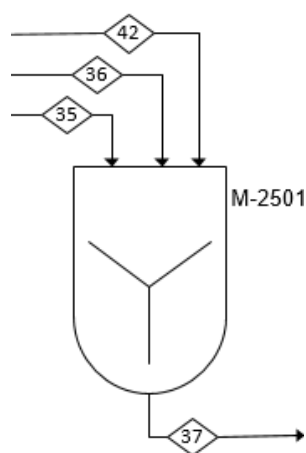
**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.2.5 Área 2500: Misturação

Na Figura 30 é apresentado o esquema da Área 2500, no qual o equipamento M-2501 corresponde ao misturador. Nessa etapa, há a adição de água proveniente

do setor de utilidades na temperatura de 67,1 °C e o reciclo das enzimas utilizadas na etapa seguinte do processo, de modo que a corrente expedida para a hidrólise enzimática atinja a temperatura de 52 °C e apresente em sua composição (base sem enzimas) uma fração mássica de água equivalente a 0,72, características essas apropriadas para a etapa subsequente (MARQUES, CARDOSO, COLOMBO, 2016; DIAS, 2008).

**Figura 30:** Esquema do Misturador (Área 2500).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

As vazões mássicas das correntes compreendidas nessa área, e de seus respectivos componentes, bem como as informações de temperatura e pressão estão apresentadas na Tabela 18.

**Tabela 18:** Balanço material e energético na Misturação (Área 2500).

Número da corrente	35	36	37	42
Temperatura (°C)	32,2	67,1	52,0	36,4
Pressão (MPa)	0,11	0,11	0,10	0,11
Vazão Mássica (t/h)	65,2	173,3	262,9	22,8
Vazão por Componente (t/h)				
Lignina	20,5	-	21,5	0,9
Celulose	33,2	-	40,0	6,5
Hemicelulose	7,6	-	7,7	0,1
Água	3,2	173,3	186,0	8,8
Outros	0,1	-	0,1	1,3E-04
Açúcares Fermentáveis	0,2	-	1,0	0,7
Pentoses	0,4	-	0,4	6,9E-03
Impurezas	-	-	-	-
Enzima	-	-	6,2	5,7
Vapor	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 8.2.6 Área 2600: Hidrólise Enzimática

As conversões de celulose em açúcares fermentáveis e de hemicelulose em xilose nessa área são de 80%, o que corresponde à formação de 177,8 kmol/h de glicose e 41,0 kmol/h de xilose (BONOMI et al., 2016).

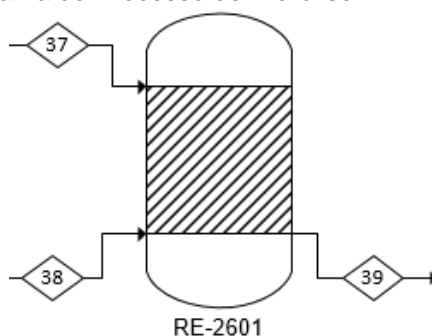
Para tanto, adiciona-se ao reator de hidrólise enzimática RE-2601 (Figura 31) uma razão de 0,114 gramas da enzima Cellic CTec2 por grama de polpa pré-tratada (biomassa da Área 2200) (CAUNETO, 2013).

Este fator engloba as enzimas provenientes do *Downstream processing* (Áreas 2700 e 2800 da unidade industrial) e as “novas” enzimas adicionadas ao processo (encaminhadas do setor de armazenamento) com a consideração de que a fração recuperada apresentará a mesma atividade enzimática média (BONOMI et al., 2016; CAUNETO, 2013).

As reações de hidrólise enzimática da celulose e hemicelulose que ocorrem nessa área do processo produtivo, são exotérmicas, com variação de entalpia de reação de -22,1 kJ por mol de glicose formada e -79,0 kJ por mol de xilose produzida, respectivamente.

Desse modo, nessa etapa, ocorre a liberação de 7169887 kJ/h de energia, que poderia ser utilizado como fonte de calor sensível para o meio reacional. Entretanto, para uma operação isotérmica ( $T=50,0^{\circ}\text{C}$ ) nos reatores, objetivando otimizar a atividade enzimática e inibir a desnaturação da Cellic CTec2, os mesmos irão dispor de inúmeras serpentinas de arrefecimento, utilizando água de resfriamento proveniente do setor de utilidades da unidade industrial, à uma vazão total de 244,6 ton/h.

**Figura 31:** Diagrama do Processo de Hidrólise Enzimática (Área 2600).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

Os dados de vazões mássicas, temperatura e pressão das correntes estão indicados na Tabela 19.

**Tabela 19:** Vazões mássicas, temperaturas e pressões das correntes pertencentes ao processo de Hidrólise Enzimática (Área 2600).

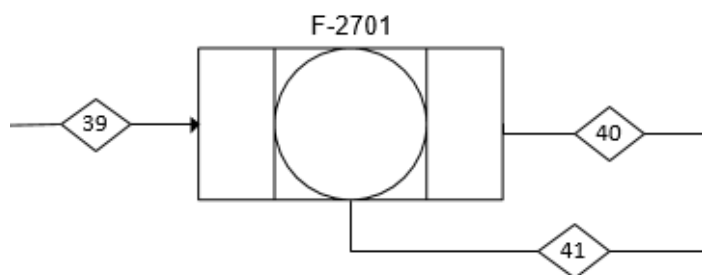
Número da corrente	37	38	39	L <sub>ar(1)</sub>	L <sub>ar(2)</sub>
Temperatura (°C)	52,0	25,0	50,0	18,0	25,0
Pressão (MPa)	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11
Vazão Mássica (t/h)	262,9	5,9	268,8	244,6	244,6
Vazão por Componente (t/h)					
Lignina	21,5	-	21,5	-	-
Celulose	40,0	-	8,0	-	-
Hemicelulose	7,7	-	1,5	-	-
Água	186,0	-	186,0	244,6	244,6
Outros	0,1	-	0,1	-	-
Açúcares Fermentáveis	1,0	-	39,2	-	-
Pentoses	0,4	-	0,4	-	-
Impurezas	-	-	-	-	-
Enzima	6,2	5,9	12,1	-	-
Vapor	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria Própria, 2018. [1] ar1: água de refrigeração 1, de entrada; [2]: ar2: água de refrigeração 2, de saída.

### 8.2.7 Área 2700: Filtração

O material hidrolisado proveniente da Área 2600 é destinado para a etapa filtração (Figura 32), na qual o filtro F-2701 apresenta 95% de eficiência e não opera adiabaticamente.

**Figura 32:** Diagrama da etapa de filtração (Área 2700).



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

Na Tabela 20 estão indicadas as vazões mássicas, bem como temperatura e pressão, das correntes pertencentes à Área 2700.

**Tabela 20:** Balanço Material e Energético na etapa de filtração (Área 2700).

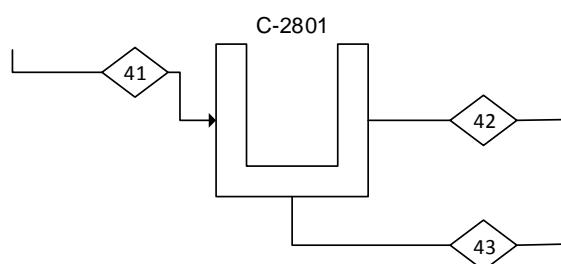
Número da corrente	39	40	41
Temperatura (°C)	50,0	36,4	36,4
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	268,8	34,3	234,5
Vazão por componente (t/h)			
Lignina	21,5	20,5	1,1
Celulose	8,0	0,4	7,6
Hemicelulose	1,5	1,5	0,1
Água	186,0	9,3	176,7
Outros	0,1	0,1	6,5E-03
Açúcares Fermentáveis	39,2	2,0	37,2
Pentoses	0,4	1,8E-02	0,3
Impurezas	-	-	-
Enzima	12,1	0,6	11,5
Vapor	-	-	-

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### 8.2.8 Área 2800: Centrifugação

A Área 2800 da Cálamo, correspondente ao processo de centrifugação após a hidrólise, apresenta uma eficiência de 50% em relação a recuperação das enzimas, e de 85% referente aos componentes: celulose, hemicelulose e lignina.

Além disso, a corrente de reciclo para Área 2500 apresenta 5%(m/m) da água e 2%(m/m) dos açúcares fermentáveis, pentoses e outros relativos à corrente de entrada na centrífuga CF-2801 (Figura 33) (GOMES; GAMA; DOMINGUES, 2018).

**Figura 33:** Esquema da Centrífuga (Área 2800).

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Admitiu-se uma operação isotérmica na CF-2801; apesar da operação de centrifugação transferir trabalho de eixo para o fluido, devido a sua elevada capacidade térmica, foi considerado que não ocorrem variações de temperatura. Adicionalmente, por se tratarem de sistema não-isolados, não ocorre aumento da energia no fluido e, qualquer variação, seria compensada por perdas de energia para as vizinhanças (ar ambiente).

Os dados de temperatura, pressão e vazões mássicas das correntes dessa área da unidade industrial estão pormenorizados na Tabela 21.

**Tabela 21:** Balanço material na etapa de centrifugação após a hidrólise (Área 2800).

Número da corrente	41	42	43
Temperatura (°C)	36,4	36,4	36,4
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	234,5	22,8	211,7
Vazão por Componente (t/h)			
Lignina	1,1	0,9	0,2
Celulose	7,6	6,5	1,1
Hemicelulose	0,1	0,1	1,1E-02
Água	176,7	8,8	167,9
Outros	6,5E-03	1,3E-04	6,4E-03
Açúcares Fermentáveis	37,2	0,7	36,5
Pentoses	0,3	6,9E-03	0,3
Impurezas	-	-	-
Enzima	11,5	5,7	5,7
Vapor	-	-	-

Fonte: Autoria Própria, 2018.

### 8.3 Setor 3000: Destilaria

Serão pormenorizados a seguir os esquemas das etapas do processo produtivo e balanço material e energético para cada área do Setor 3000 da unidade industrial. Neste setor, especificamente, as vazões dos componentes que apresentam maiores transferências nas correntes ao longo do setor: açúcares fermentáveis, água, levedura, etanol, ácido sulfúrico, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monoetilenoglicol (MEG), serão apresentadas independentemente. Também é apresentado dados de um componente, denominado “Outros”, que engloba os componentes minoritários dos materiais lignocelulósicos e da cana-de-açúcar, impurezas e demais componentes contidos nos materiais provenientes dos processos 1G e 2G da Cálamo, além de subprodutos provenientes do processo de fermentação deste setor. Adicionalmente, foi verificado o °Brix e Teor Alcoólico (%massa) das correntes, parâmetros importantes para este setor.

#### 8.3.1 Área 3100: Pasteurização

A Figura 34 ilustra o diagrama de processo da Área 3100 da unidade produtiva, em que TM-3101 corresponde ao tanque utilizado no processo de mistura, prévio à pasteurização. Nele, são alimentadas as correntes provenientes do processo



de primeira e segunda geração, obtendo-se uma mistura que será, posteriormente fermentada. A pasteurização é realizada com o aumento e diminuição da temperatura do meio, pelo uso de vapor e água de refrigeração (utilidades), garantindo uma inibição de possíveis microrganismos contaminantes.

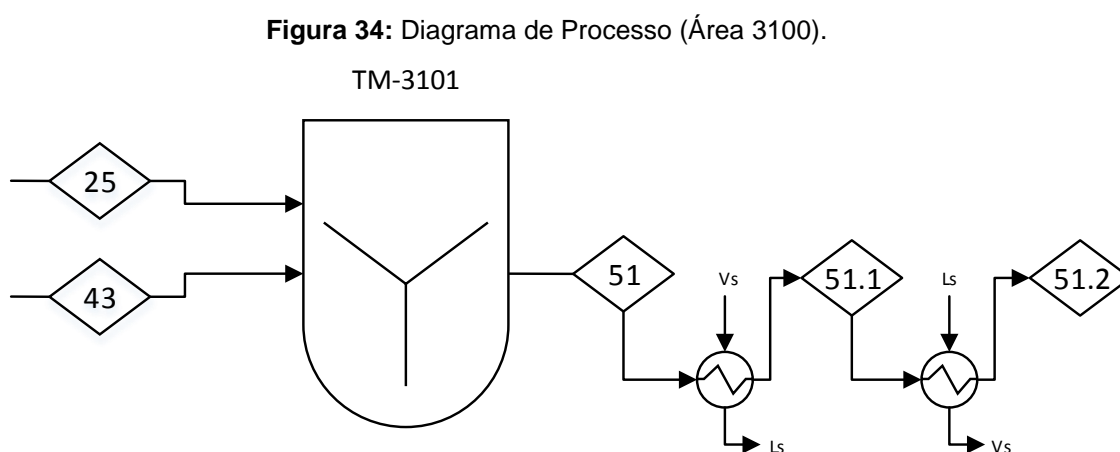
Basicamente, o contato indireto de caldos, via trocadores de calor, permite que a mistura seja aquecida de 58,6 °C até 105°C, utilizando-se “vapor vivo”. Depois, ela passará à temperatura de 32°C, utilizando-se para tal, utilidade fria à temperatura de 18°C disponível na unidade industrial. Com isso ela será encaminhada ao processo subsequente. A quantidade de calor necessário a ser transferida à mistura para que ela atinja 105 °C é de 160460179 kJ/h, e foi calculada mediante a Equação 4.

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (4)$$

em que: Q – quantidade de calor;  $\dot{m}$  – vazão mássica da mistura em kg/h;  $C_p$  – calor específico da mistura e  $\Delta T$  a variação da temperatura desejada.

De maneira análoga, a quantidade de calor que deve ser removida para que a mistura atinja 32 °C foi calculada da mesma maneira, sendo igual a 252463803,1 kJ.

Na Tabela 22 encontram-se descritas as vazões mássicas, temperaturas e pressões das correntes relativas a área em destaque.



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

**Tabela 22:** Vazões mássicas do processo de pasteurização (Área 3100).

<b>Número da corrente</b>	<b>25</b>	<b>43</b>	<b>51</b>	<b>51.1</b>	<b>51.2</b>
Temperatura (°C)	65,20	36,45	58,60	105,00	32,00
Pressão (MPa)	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	684,0	211,7	895,7	895,7	895,7
Vazão por componente (t/h)					
Açúcares Fermentáveis	77,5	36,5	113,9	113,9	113,9
Água	605,8	167,9	773,6	773,6	773,6
Levedura	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-
Outros	0,8	7,4	8,2	8,2	8,2
°Brix	11,3	17,2	12,7	12,7	12,7
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 8.3.2 Área 3200: Evaporação

Nessa etapa, tem-se o ajuste do °Brix do caldo pasteurizado mediante a aplicação do processo de evaporação. A correção desse parâmetro é de suma importância para que a fermentação ocorra nas condições ideais requeridas pelas leveduras.

Visando uma redução no consumo energético, será encaminhada para concentração apenas 35% da corrente 51.2 para o evaporador EV-3201 A/B, que foi enumerada corrente 51.3. A divisão da corrente a ser concentrada permite obter uma concentração acima da requerida na saída do evaporador (Corrente 52), que após se misturar com a corrente “não-concentrada” (Corrente 51.4), finaliza na condição requerida (Corrente 53); e na corrente 52.1 é recolhido o vapor gerado pela evaporação. A terminologia A/B do equipamento indica a existência de 2 evaporadores (um em operação, e outro em estado ocioso) para que a operação contínua não seja interrompida quando forem necessárias manutenções ou limpezas.

Assumiu-se, mediante Malta (2006), que o °Brix ideal para a fermentação é 16. Dessa forma obteve-se a concentração de açúcares necessária na corrente de saída do sistema EV-3201 A/B.

As condições de temperatura e pressão foram escolhidas afim de evitar a caramelização do caldo, o que causaria sérios problemas no processo. Desse modo, a pressão aplicada no evaporador foi de 0,05 MPa (0,5 atm). A temperatura de ebulição da água nessa pressão é de 81,33 °C. Porém, como se tem uma mistura de

água e sacarose, há uma elevação no ponto de ebulição (BPR) que pode ser calculada pela Equação 5 (GEANKOPLIS, 2009).

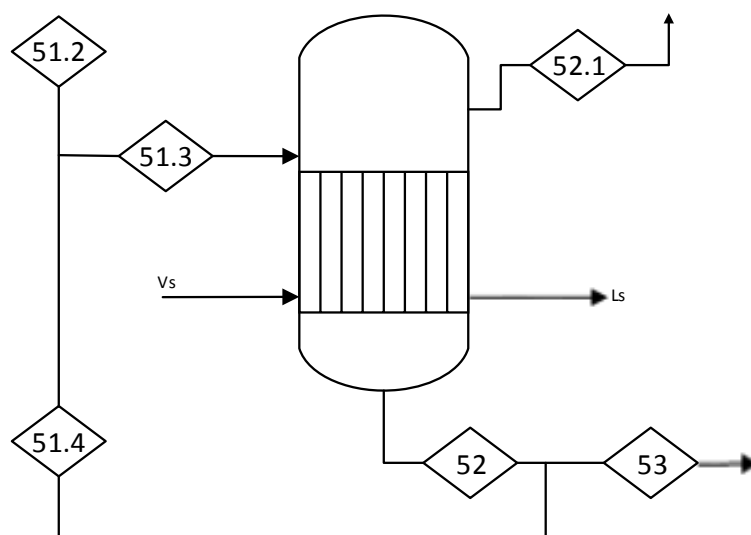
$$BPR = 1,78 * brix + 6,22 * brix^2 \quad (5)$$

O brix de interesse para a solução é de 32. Pela equação anterior, pode-se encontrar que a elevação no ponto de ebulição é de 1,2065 °C, fazendo com que a solução evapore na temperatura de 82,54 °C. Por meio do balanço energético no evaporador, encontrou-se a quantidade de energia necessária para realização do processo igual a 65479849,07 kJ/h. O vapor indireto utilizado para transferir a quantidade de energia necessária para o caldo é proveniente do setor de utilidades e se encontra na pressão de 1,2 MPa, a temperatura de 104,34 °C, na condição de vapor superaquecido. Ao transferir energia para o caldo nas calandras, o vapor sai na condição de saturado.

O diagrama do processo relativo a Área 3200 está representado na Figura 35, e as vazões mássicas das correntes correspondentes a essa etapa estão sumarizadas na Tabela 23.

**Figura 35:** Diagrama de Processo (Área 3200).

EV-3201 A/B



Fonte: Autoria própria, 2018.

**Tabela 23:** Balanço material do processo de evaporação (Área 3200).

<b>Número da corrente</b>	<b>51.2</b>	<b>51.3</b>	<b>51.4</b>	<b>52</b>	<b>52.1</b>	<b>53</b>
Temperatura (°C)	32,00	28,80	28,80	81,33	82,54	37,09
Pressão (MPa)	0,10	0,12	0,12	0,05	0,05	0,12
Vazão Mássica (t/h)	895,7	313,5	582,2	124,6	188,9	706,9
Vazão por componente (t/h)						
Açúcares Fermentáveis	113,9	39,9	74,1	39,9	-	113,9
Água	773,6	270,8	502,9	81,9	188,9	584,8
Levedura	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-
Outros	8,2	2,9	5,3	2,9	-	8,2
°Brix	12,7	12,7	12,7	32,0	-	16,1
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 8.3.3 Área 3300: Fermentação

#### 8.3.3.1 Área 3310: Fermentação de Açúcares C<sub>6</sub>

Na Figura 36 está representado o diagrama esquemático da Área 3310, em que os equipamentos DF-3311 a DF-3316 correspondem as dornas de fermentação, utilizando a levedura *Saccharomyces Cerevisiae* na fermentação alcoólica.

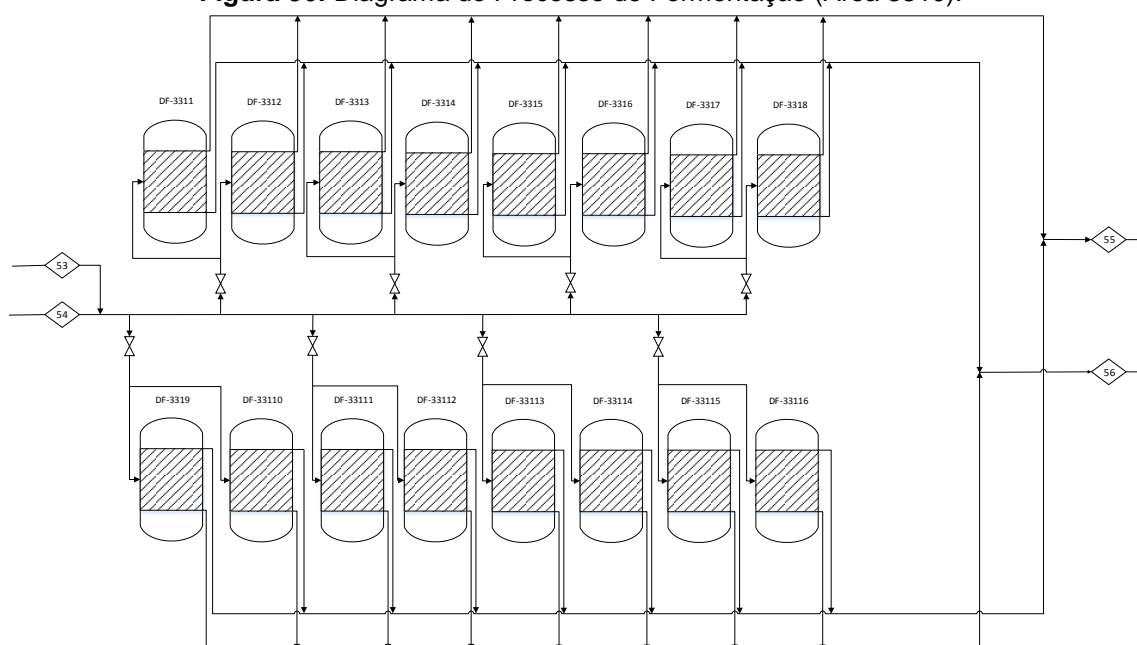
A conversão dos açúcares fermentáveis em produtos é de 95% (BORZANI, 2001). Dos produtos, baseado em Bonomi et al. (2015), o etanol representa 89,5%. A quantidade de creme de leveduras alimentado nas dornas corresponde a 12% em massa da corrente de entrada (CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005). Assim, determinou-se a massa do creme de leveduras que é composta por: 67%(v/v) de água, e 33%(v/v) de leveduras (ALBARELLI, 2013). Na corrente de saída, adotou-se um crescimento médio de 50% em massa para as leveduras (MALTA, 2006). As condições de temperatura e pressão das dornas de fermentação não favorece o processo de absorção do CO<sub>2</sub> em fase líquida. Portanto, a corrente 56 é isenta de CO<sub>2</sub> produzido durante a fermentação.

O processo é conduzido isotermicamente à temperatura de 32 °C, condição propícia para o processo de fermentação alcoólica conduzido pelas leveduras. Verificou-se que a reação, descrita na Equação 2, é exotérmica. Desse modo, encontrou-se o número de mols de sacarose alimentado em uma dorna, e com o valor

da variação de entalpia da reação, verificou-se que a quantidade de calor produzida é de 347115785 kJ/h por dorna, durante o processo fermentativo. Considerou-se que uma quantidade significativa, 770802,7kJ/h dessa energia, aquece o mosto de leveduras alimentado nas dornas a 25°C, até a temperatura ideal de 32°C. Assim, a quantidade de energia de que deve ser removida por dorna, durante a fermentação, para que o processo seja conduzido isotermicamente é de 33940775,83 kJ/h.

Na Tabela 24 são descritas as vazões mássicas das correntes de entrada e saída do processo fermentativo.

**Figura 36:** Diagrama do Processo de Fermentação (Área 3310).



Fonte: Autoria própria, 2018.

**Tabela 24:** Vazão mássica total e por componente do sistema de fermentação (Área 3310).

Número da corrente	53	54	55	56
Temperatura (°C)	32,00	25,00	32,00	32,00
Pressão (MPa)	0,12	0,12	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	709,7	84,8	51,3	758,5
Vazão por componente (t/h)				
Açúcares Fermentáveis	113,9	-	-	6,5
Água	587,6	52,5	-	640,1
Levedura	-	30,5	-	45,8
Etanol	-	1,3	1,7	51,4
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	49,6	-
MEG				
Outros	8,2	0,5	-	14,7
°Brix	16,1	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	6,8

Fonte: Autoria própria, 2018.

### 8.3.3.2 Área 3320: Fermentação de Açúcares C<sub>5</sub>

Na Figura 37 é apresentado um diagrama que representa o processo de fermentação de açúcares com cinco carbonos (pentoses) da Área 3320. Nessa etapa de fermentação a razão utilizada de levedura *Scheffersomyces stipitis*, segundo Farias (2014), é de 22 gramas por litro de substrato, o que proporcionaria uma conversão de 46% de pentose em etanol. Nas condições ideais de pH e temperatura, a levedura possui um crescimento de 40% do seu valor inicial. Entretanto, parte deste microrganismo perde sua atividade durante o processo, de tal forma que em torno de 60% do conteúdo é reaproveitado (Corrente 46, proveniente da centrifugação que ocorre logo após a fermentação). Assim, uma corrente de levedura do tipo *make-up* é realizada (Corrente 45), de forma a atingir a especificação de leveduras na dorna fermentativa.

É sabido que, devido a formação de inibidores durante o processo fermentativo, há uma perda de 30% dos açúcares que não são convertidos. Por outro lado, para uma atividade ótima, ocorre adição de água (Corrente 44) para diluir o conteúdo a ser fermentado. Devido a formação de dióxido de carbono, cerca de 3% em massa do etanol produzido é arrastado com o gás (Corrente 48), e posteriormente recuperado em torres de lavagem.

Analogamente à fermentação C<sub>6</sub>, o processo deve ser conduzido isotermicamente para favorecer o processo de fermentação alcoólica das leveduras. Novamente, calculou-se a quantidade de energia liberada pela reação, que resultou no valor de 347115785 kJ por dorna durante o andamento da fermentação. Uma parte dessa energia é utilizada para aquecer as correntes de levedura e água que são adicionadas as dornas, aproximadamente 770803 kJ. O restante, 33940775 kJ de energia, são removidos mediante o uso de utilidade fria.

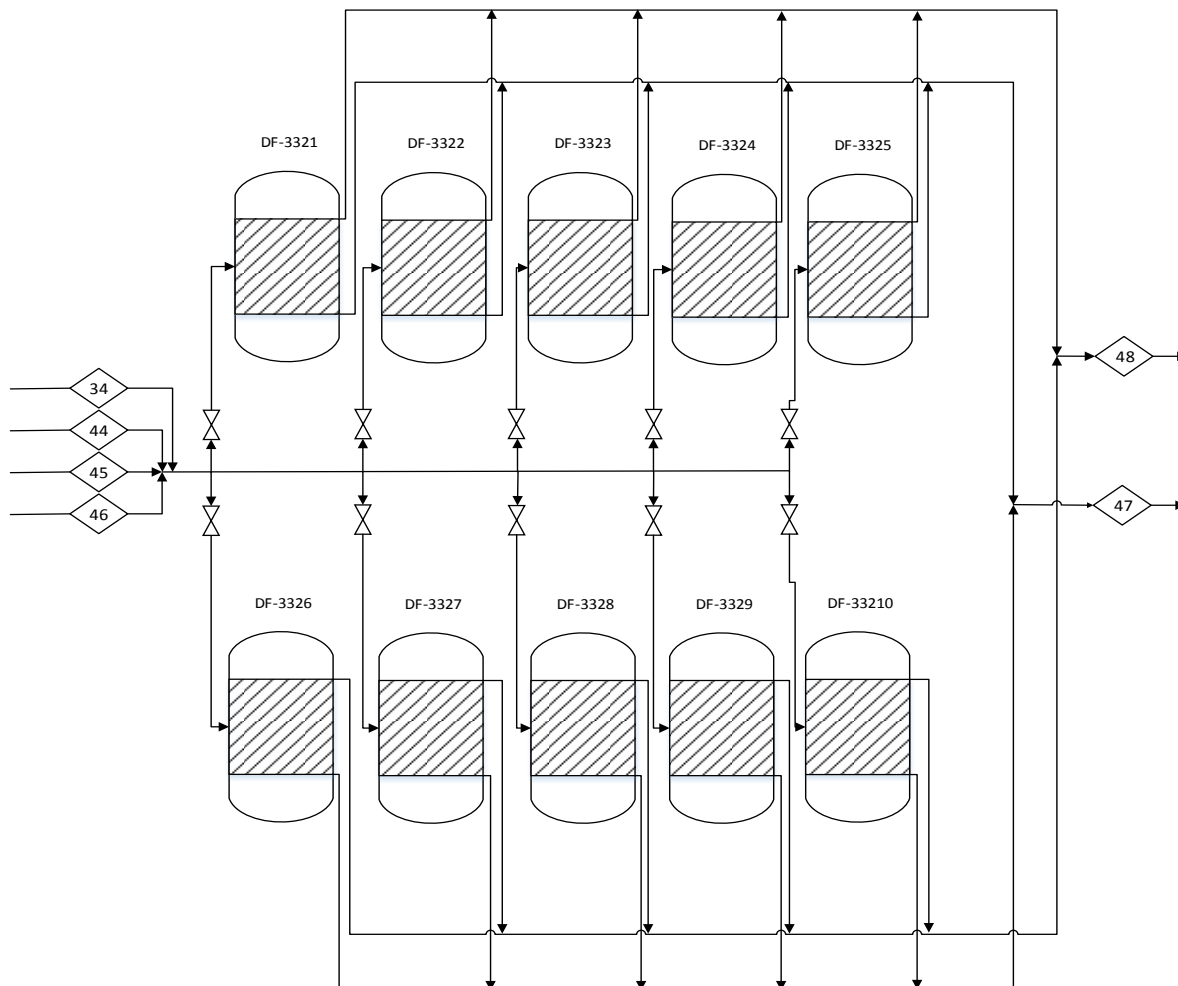
Os dados referentes as vazões mássicas da presente área estão representadas na Tabela 25.

**Tabela 25: Vazões mássicas e por componente no processo fermentativo de pentoses. (Área 3320).**

Número da corrente	34	44	45	46	47	48
Temperatura (°C)	30,00	25,00	25,00	25,00	30,00	30,00
Pressão (MPa)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	179,4	25,	0,7	3,3	203,2	6,8
Vazão por componente (t/h)						
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-
Água	155,7	25,0	-	-	180,7	-
Levedura	-	-	0,7	3,3	5,6	-
Etanol	-	-	-	-	5,5	0,2
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	6,6
MEG	-	-	-	-	-	-
Outros	23,8	-	-	-	11,6	-
°Brix	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria, 2018.

**Figura 37: Diagrama de Processo (Área 3320).**



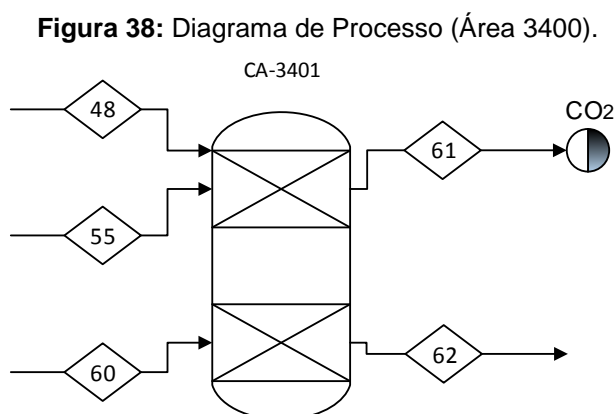
Fonte: Autoria Própria, 2018.

### 8.3.4 Área 3400: Absorção

A Cálamo, visando minimizar perdas em sua produção, dispõe do processo de recuperação de etanol arrastado pelo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) formado na fermentação.

Para tanto, as correntes provenientes das áreas 3300 são encaminhadas a uma coluna de lavagem de gases CA-3401 (Figura 38). Dos balanços materiais nas dornas de fermentação C6 e C5 (Áreas 3310 e 3320, respectivamente), sabe-se que, em média, 3%(m/m) (DIAS, 2011) de etanol nas correntes 48 e 55 compõem o gás de arraste. Além disso, na absorção CA-3400, é possível alcançar valores de até 99 % de eficiência na recuperação do álcool (DUARTE, 2015). Para isso, a vazão de água para lavagem do gás deve ser próxima de 29 vezes superior à vazão de álcool que alimenta a coluna (PATERNINA, 2011).

De acordo com Duarte (2015), o processo de absorção pode ser conduzido isotermicamente, à 40 °C e 1 atm. Pelo fato da concentração de soluto ser consideravelmente baixa na corrente, desconsidera-se o calor de mistura e, portanto, não há balanço de energia para essa operação.



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Os dados de vazões mássicas das correntes dessa área da unidade industrial, estão sumarizados na Tabela 26.



**Tabela 26: Balanço material no processo de absorção (Área 3400).**

Número da corrente	48	55	60	61	62
Temperatura (°C)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Pressão (MPa)	0,12	0,12	0,12	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	6,8	51,3	56,0	56,2	57,9
Vazão por componente (t/h)					
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-
Água	-	-	56,0	-	56,0
Levedura	-	-	-	-	-
Etanol	0,2	1,7	-	-	1,9
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	6,6	49,6	-	56,2	-
MEG	-	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	3,4

Fonte: Autoria própria, 2018.

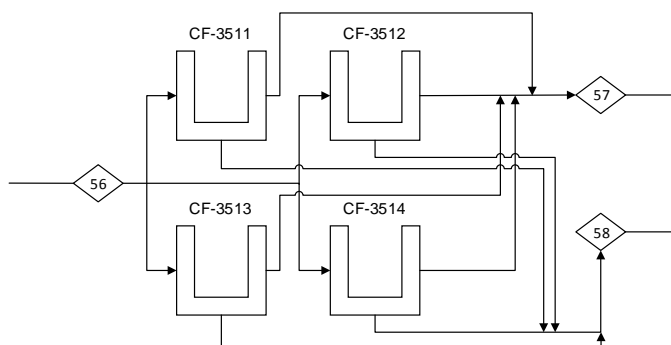
### 8.3.5 Área 3500: Centrifugação

#### 8.3.5.1 Área 3510: Centrifugação de *Saccharomyces cerevisiae*.

Um processo de centrifugação é realizado logo após o processo de fermentação para recuperação de leveduras. Esta etapa compreende a Área 3510 da Cálamo, e apresenta uma eficiência de 95% de recuperação. As leveduras recuperadas na CF-3511 (Figura 39) é encaminhada para tratamento e posteriormente reutilizada no processo de fermentação.

Admitiu-se uma operação isotérmica nas centrífugas dessa área da unidade industrial, ou seja, o trabalho de eixo que o dispositivo transfere ao fluido não provoca aumento em sua temperatura, devido a sua elevada capacidade térmica; adicionalmente, foi considerado que parte da energia se perde às vizinhanças, o que também não ocasiona em elevação de temperatura.

**Figura 39: Diagrama de Processo (Área 3510).**



Fonte: Autoria própria, 2018.

As vazões mássicas das correntes dessa área da unidade industrial, estão pormenorizadas na Tabela 27.

**Tabela 27:** Balanço material na etapa de centrifugação (Área 3510).

Número da corrente	56	57	58
Temperatura (°C)	28,80	28,80	28,80
Pressão (MPa)	0,12	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	758,5	679,4	79,1
Vazão por componente (t/h)			
Açúcares Fermentáveis	6,5	-	-
Água	640,1	608,1	32,0
Levedura	45,8	2,3	43,5
Etanol	51,4	48,9	2,6
Ácido Sulfúrico	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-
MEG	-	-	-
Outros	21,2	20,1	1,1
°Brix	-	-	-
Teor Alcoólico (% massa)	6,8	7,2	3,2

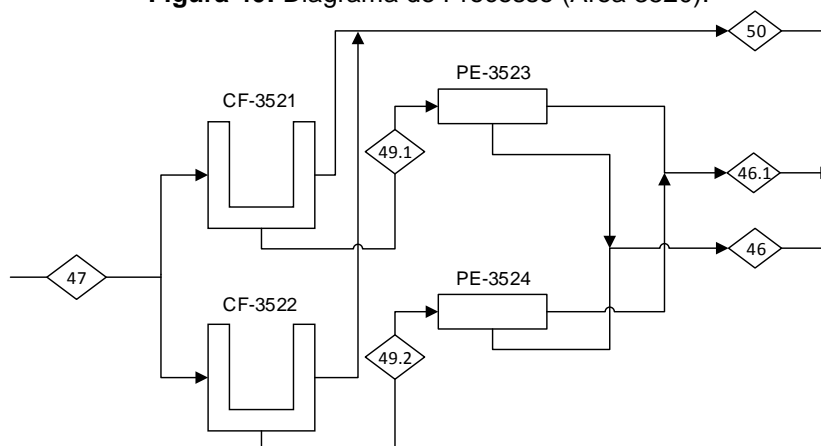
Fonte: Autoria própria, 2018.

### 8.3.5.2 Área 3520: Centrifugação de *Scheffersomyces stipitis*

O vinho proveniente da fermentação de pentoses (Área 3320) é destinado para a etapa de centrifugação (Figura 40), na qual a centrífuga CF-3521 apresenta 99% de eficiência.

As leveduras recuperadas nessa operação são encaminhadas para a peneira (PE-3522), que retém 60%(m/m) desses microrganismos e uma fração ínfima dos outros componentes, sendo essa desconsiderada no desenvolvimento do balanço material.

**Figura 40:** Diagrama de Processo (Área 3520).



Fonte: Autoria própria, 2018.

Na Tabela 28 estão indicadas as vazões mássicas das correntes pertencentes à Área 3520.

**Tabela 28:** Balanço material na etapa de centrifugação (Área 3520)

Número da corrente	47	49.1	49.2	50	46	46.1
Temperatura (°C)	33,89	33,89	33,89	33,89	30,50	30,50
Pressão (MPa)	0,13	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	203,2	2,9	2,9	197,4	3,3	2,5
Vazão por componente (t/h)						
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-
Água	180,6	0,1	0,1	180,5	-	0,2
Levedura	5,6	2,8	2,8	0,1	3,3	2,2
Etanol	5,4	0,0	0,0	5,4	-	5,4E-02
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-
Co2	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-
Outros	11,6	0,0	0,0	11,5	-	1,2E-01
°Brix	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

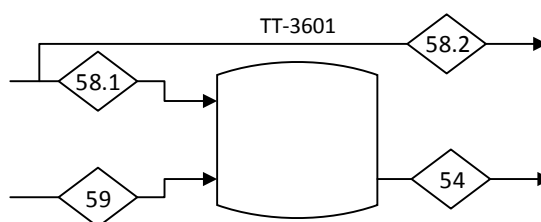
### 8.3.6 Área 3600: Tratamento de Levedura

Na Área 3600 a levedura é tratada para reutilização no processo fermentativo. A corrente 58, proveniente da Área 3500, foi fracionada em duas correntes, denominadas 58.1 (para o tratamento) e 58.2 (para o descarte). Devido à perda de atividade, um descarte de 50% da carga de leveduras será realizado.

O tratamento consiste na adição água, leveduras “frescas” e ácido sulfúrico para alcançar a composição do creme, descrito no processo fermentativo da Área 3300. O ácido sulfúrico é alimentado na proporção de 5 g/t de cana destinada a produção de etanol (ENSINAS, 2008).

Durante o tratamento das leveduras com ácido sulfúrico, há um ligeiro aumento de temperatura. Entretanto, a quantidade utilizada desse insumo é ínfima. Assim, considera-se que o pequeno aumento de temperatura seja dissipado naturalmente.

A Figura 41 apresenta o diagrama esquemático da Área 3600, em que o equipamento TT-3601 recebe as correntes 58.1 e 59.

**Figura 41:** Diagrama de Processo (Área 3600).

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Os dados de vazões mássicas das correntes dessa área da unidade industrial, estão sumarizados na Tabela 29.

**Tabela 29:** Vazões mássicas do processo de tratamento de leveduras (Área 3600).

Número da corrente	58	58.1	58.2	59	54
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Pressão (MPa)	0,12	0,12	0,10	0,12	0,10
Vazão Mássica (t/h)	79,1	39,6	39,6	45,3	84,8
Vazão por componente (t/h)					
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-
Água	32,0	16,0	16,0	36,5	52,5
Levedura	43,5	21,7	21,7	8,8	30,5
Etanol	2,6	1,3	1,3	-	1,3
Ácido Sulfúrico	-	-	-	2,5E-03	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-
Outros	1,1	0,5	0,5	-	0,5
°Brix	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	3,2	3,2	3,2	-	1,5

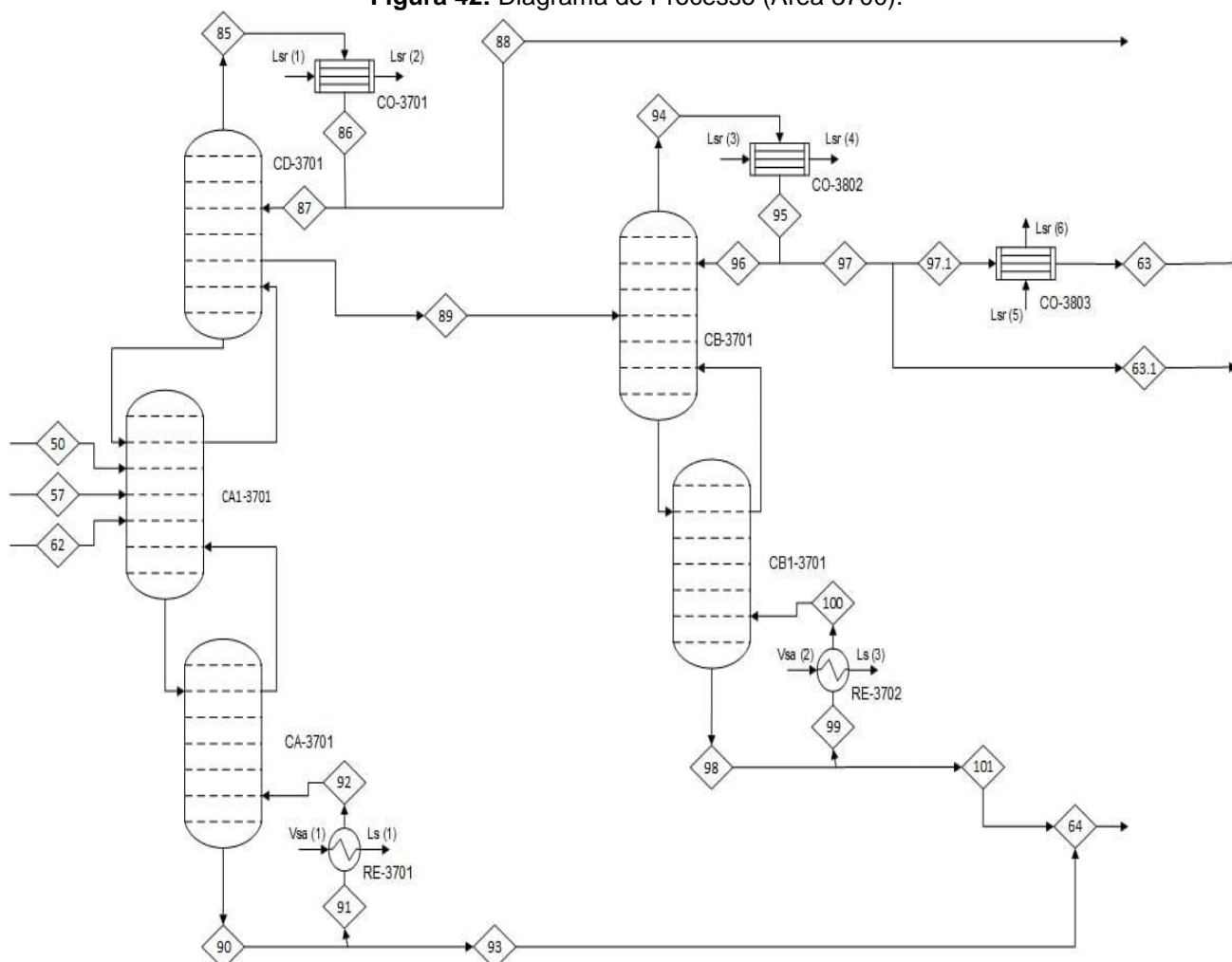
**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 8.3.7 Área 3700: Destilação

Na Área 3700, há a obtenção do etanol hidratado, um dos principais produtos da Cálamo. A configuração do sistema de destilação da unidade industrial (Colunas CA-3701, CA1-3701, CD-3701, CB-3701 e CB1-3701) já é utilizada há muitos anos. Nesse escopo, no desenvolvimento dos balanços materiais e energéticos dessa etapa, foi considerado muitas dessas informações já fixadas na literatura e atualmente em operação nas demais indústrias do segmento.

Considerou-se a eficiência da destilação de 99% (BONOMI et al., 2015); e como se pode observar na Figura 42, no fluxograma esquemático global da Área 3700, a alimentação do vinho, composto pelas correntes provenientes das áreas 3300, 3400 e 2500, cujo teor alcoólico médio é de 6,0 % (m/m) é realizada no topo da coluna CA1-3700, na temperatura de 96,0°C (MARQUINI et al., 2007).

**Figura 42:** Diagrama de Processo (Área 3700).



Fonte: Autoria própria, 2018.

O vapor produzido na coluna CA1-3701 é encaminhado ao fundo da coluna CD-3701, e o produto de fundo desce diretamente à coluna CA-3701. Nessa última, por sua vez, o produto de fundo da coluna é esgotado, produzindo a vinhaça (Corrente 93,  $T=111,9^{\circ}\text{C}$ ). Esse produto de fundo do processo, é direcionado à lagoa de troca térmica da unidade industrial para posterior enriquecimento do solo das lavouras, juntamente com a flegmaça obtida na CB1-3701 (Corrente 101,  $T=106,0^{\circ}\text{C}$ ).

Na coluna CD-3701 recupera-se em seu topo os componentes mais voláteis, subprodutos do processo de fermentação da unidade industrial, que compõem o denominado álcool de segunda (Corrente 88,  $T=81,7^{\circ}\text{C}$ ), os quais poderiam contaminar esse *output* do processo industrial (JUNQUEIRA, 2010).

A flegma vapor proveniente da CA-3701 entra na CD-701 e se junta a flegma líquida já contida nessa coluna e alimentam o sistema de retificação (Corrente 89), obtidas respectivamente no fundo da CD-3701 e no topo da CA1-3701, são

encaminhadas ao conjunto de retificação do sistema de destilação da unidade industrial. A temperatura dessa corrente (Corrente 89) é de 98,0°C, e foi determinada com base na fração molar de etanol dessa corrente e em dados captados para esse sistema em operação.

No conjunto de retificação do sistema de destilação da Cálamo, composto pelas colunas CB-3701 e CB1-3701, a Corrente 89 é concentrada, e o etanol hidratado (Corrente 97,  $T=82,6^{\circ}\text{C}$ ) é produzido no topo da coluna CB-3701 e apresenta teor alcoólico de 93,46% (m/m) (VLECALC, 2018).

Uma parcela de noventa e cinco por cento do etanol hidratado, um dos *outputs* do processo (Corrente 97) da Cálamo, antes de ser encaminhado para o setor de armazenamento da unidade produtiva, será resfriado no condensador total (CO-3803) que opera adiabaticamente, utilizando 6,3 t/h de água de resfriamento proveniente do setor de utilidades, a qual absorverá 445334 kJ de energia por hora, deixando a corrente efluente (Corrente 63) na condição necessária para armazenamento. O restante do etanol hidratado (Corrente 63.1) será destinado para produção de etanol anidro nas áreas subseqüentes do processo produtivo da Cálamo.

O sistema de destilação da Cálamo dispõe de dois refeedores totais (RE-3701 e 3702) que vaporizam parte das correntes de líquido da base das colunas CA-3701 e CB1-3701 (Corrente 90 e Corrente 98), para os pratos, onde entram sob a forma de vapor (Corrente 92 e Corrente 100) nessas colunas, respectivamente.

Para tanto, empregam-se 88,4 t/h (70,8 t/h no RE-3701 e 17,6 t/h no RE-3702) de vapor vivo proveniente da caldeira da unidade industrial no sistema de refeedores, operando adiabaticamente, fornecendo calor para as parcelas recicladas.

No topo das colunas CD-3701 e CB-3701 existem os condensadores parciais (CO-3701 e CO-3702), respectivamente, que condensam os vapores provenientes dessas colunas (Corrente 85 e 94), sendo parte dos condensados (Corrente 87 e 96) designados pelas respectivas razões de refluxos reencaminhados para os pratos superiores das colunas CD-3701 e CB-3701.

Nesses condensadores, empregam-se 67,1 t/h de utilidade fria do processo produtivo da Cálamo (9,2 t/h no CO-3701 e 323,4 t/h no CO-3702), a qual absorverá 83046,8 kW de energia, numa operação adiabática.

Para operação do sistema de destilação da unidade produtiva, adotou-se para questões de projeto, a razão de refluxo das colunas como 5, sendo essa consideração baseada no refluxo mínimo do método de McCabe-Thiele (JUNQUEIRA, 2010).

Os dados de vazões mássicas, temperaturas e pressões das correntes dessa área da unidade industrial, estão sumarizados nas Tabela 30 a 32.

**Tabela 30:** Balanço material e energético do processo de destilação (Área 3700).

Número da corrente	50	57	62	63	97.1	63.1	64	85	86	87	88	89	90
Temperatura (°C)	96,0	96,0	96,0	25,0	82,6	82,6	108,8	81,7	81,7	81,7	81,7	98,0	111,6
Pressão (MPa)	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15
Vazão Mássica (t/h)	197,4	676,5	57,9	56,5	56,5	3,0	872,3	0,7	0,7	0,6	0,1	151,0	895,9
Vazão por componente (t/h)													
Açúcares	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fermentáveis													
Água	180,5	605,2	56,0	3,7	3,7	0,2	837,4	-	-	-	-	86,5	862,9
Levedura	0,1	2,3	-	-	-	-	2,3	-	-	-	-	-	-
Etanol	5,4	48,9	1,9	52,8	52,8	2,8	0,6	-	-	-	-	55,6	0,6
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros	11,5	20,1	-	-	-	-	31,5	0,7	0,7	0,6	0,1	8,9	32,5
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)		6,0		93,5	93,5	93,5	6E-02	-	-	-	-	0,4	6E-02

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

**Tabela 31:** Balanço material e energético no sistema de destilação (Área 3700).

Número da corrente	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
Temperatura (°C)	111,6	111,6	111,6	82,6	82,6	82,6	82,6	106,0	106,0	106,0	106,0
Pressão (MPa)	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14
Vazão Mássica (t/h)	113,4	113,4	782,5	356,8	356,8	297,4	59,5	245,3	158,3	158,3	86,9
Vazão por componente (t/h)											
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	109,2	109,2	753,7	23,3	23,3	19,5	3,9	236,2	152,5	152,5	83,7
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	0,1	0,1	0,5	333,5	33,5	277,9	55,6	0,2	0,1	0,1	0,1
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros	4,1	4,1	28,3	-	-	-	-	8,9	5,7	5,7	3,1
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	6E-02	6E-02	6E-02	93,5	93,5	93,5	93,5	6E-02	6E-02	6E-02	6E-02

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

**Tabela 32:** Balanço material e energético do consumo de utilidades no processo de destilação (Área 3700).

Número da corrente	Lsr <sub>(1)</sub>	Lsr <sub>(2)</sub>	Lsr <sub>(3)</sub>	Lsr <sub>(4)</sub>	Lsr <sub>(5)</sub>	Lsr <sub>(6)</sub>	Vsa <sub>(1)</sub>	Ls <sub>(1)</sub>	Vsa <sub>(2)</sub>	Ls <sub>(2)</sub>
Temperatura (°C)	18,0	35,0	18,0	35,0	18,0	35,0	500,0	283,8	500,0	283,8
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	6,80	6,80	6,80	6,80
Vazão Mássica (t/h)	9,2	9,2	323,4	323,4	6,3	6,3	70,8	70,8	17,6	17,6
Vazão por componente (t/h)										
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	9,2	9,2	323,4	323,4	6,3	6,3	70,8	70,8	17,6	17,6
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2018.

### 8.3.8 Área 3800: Desidratação

A etapa de desidratação consiste numa coluna de destilação extrativa, representada na Figura 43. A Cálamo, buscando atender um maior público consumidor, destinará 5% do etanol hidratado obtido na destilação comum para a produção de etanol anidro.

O solvente utilizado para essa operação é o monoetilenoglicol (MEG) numa razão MEG/Etanol = 1,666 (ALVES, 2014). O produto obtido tem concentração de 99,6% em massa de etanol.

No esquema da coluna de desidratação extrativa (CD-3801) que opera à pressão atmosférica (0,10 MPa), a corrente de álcool hidratado (Corrente 63.1) é adicionada na temperatura de 82,6 °C (Líquido saturado) juntamente à corrente de solvente MEG (Corrente 65) na entrada da coluna, gerando duas fases: uma primeira, rica em álcool, e apresentada como um *output* do processo (Etanol anidro, Corrente 66), e um produto de base, consistido numa mistura de MEG e água (Corrente 67).

A temperatura desse produto de base (Corrente 67) é de 162,4 °C, sendo determinada com base na fração molar de água dessa corrente ( $X_{H_2O}^{67} = 0,1187$ ) e em dados termodinâmicos isobáricos para o sistema água/MEG na pressão de 0,10 MPa.

Na base da coluna há um refeedor total (RE-3801) que vaporiza parte da corrente de líquido da base (Corrente 69), para o prato inferior, onde entra sob a forma de vapor (Corrente 71). Para tanto, utilizam-se 9,3 t/h de vapor vivo proveniente da

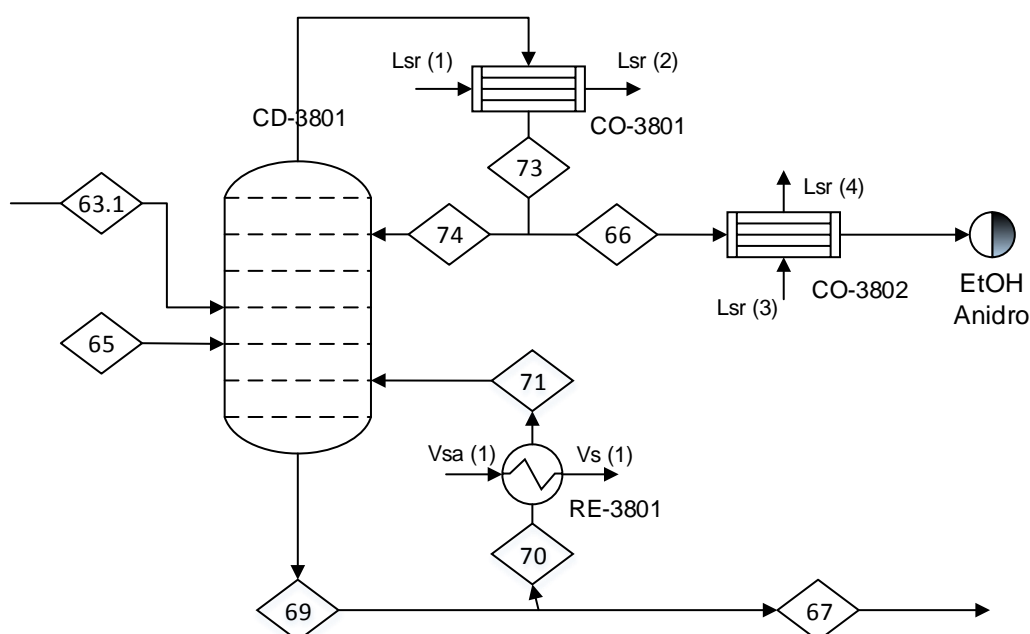


caldeira da unidade industrial ( $V_{sa(1)}$ ), fornecendo 1981 KW de calor para parcela reciclada do produto de fundo da CD-3801, numa operação adiabática (em relação as vizinhanças).

No topo da coluna existe um condensador parcial (CO-3801) que condensa o vapor proveniente da coluna (Corrente 72), sendo parte do condensado (Corrente 74), designado pela razão de refluxo de 1,05 reencaminhado para o prato superior da CD-3801. Para essa operação, empregam-se 67,1 t/h de utilidade fria do processo produtivo da Cálamo no CO-3801, a qual absorve 1327,5 KW de energia, numa operação adiabática.

O etanol anidro, um dos *outputs* do processo (Corrente 66) da Cálamo, antes de ser encaminhado para o setor de armazenamento da unidade produtiva, será resfriado no condensador total (CO-3802) (aqui, foi considerado que somente ocorre troca de energia entre as correntes; não há perdas de energia na forma de calor, para as vizinhanças) , utilizando-se 5,2 t/h de água de resfriamento proveniente do setor de utilidades, a qual absorverá 371,4 KJ/h de energia, deixando a corrente efluente (Corrente 75) na condição necessária para armazenamento.

**Figura 43:** Diagrama de Processo (Área 3800).



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Na Tabela 33 e 34 estão descritas as temperaturas, pressões e vazões mássicas das correntes presentes na Área 3800.

**Tabela 33:** Balanço material e de energia do processo de desidratação (Área 3800).

Número da corrente	63.1	65	66	75	67	69	70	71
Temperatura (°C)	82,6	110,0	78,5	25,0	162,4	162,4	162,4	162,4
Pressão (MPa)	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	3,0	4,7	2,8	2,8	4,9	11,9	7,0	7,0
Vazão por componente (t/h)								
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	0,2	-	1,1E-02	1,1E-02	0,2	0,4	0,3	0,3
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	2,8	-	2,8	2,8	-	0,1	4,0E-02	4,0E-02
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	-	4,7	-	-	4,7	11,4	6,7	6,7
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	93,5	-	99,6	99,6	-	0,6	0,6	0,6

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

**Tabela 34:** Balanço material e energético do processo de desidratação (Área 3800).

Número da corrente	72	73	74	Lsr <sub>(1)</sub>	Lsr <sub>(2)</sub>	Lsr <sub>(3)</sub>	Lsr <sub>(4)</sub>	Vsa <sub>(1)</sub>	Vs <sub>(2)</sub>
Temperatura (°C)	78,5	78,5	78,5	18,0	35,0	18,0	35,0	500,0	283,8
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	6,80	6,80
Vazão Mássica (t/h)	5,7	5,7	2,9	67,1	67,1	5,2	5,2	9,3	9,3
Vazão por componente (t/h)									
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	2,3E-02	2,3E-02	1,2E-02	67,1	67,1	5,2	5,2	9,3	9,3
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	5,6	5,6	2,9	-	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	99,6	99,6	99,6	-	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 8.3.9 Área 3900: Recuperação

Noventa e nove por cento do monoetilenoglicol utilizado no processo de desidratação pode ser recuperado mediante o uso de um processo de destilação simples (ALVES, 2014). Dessa maneira, o consumo de manufaturas e a geração de resíduos se reduzem, e a Cálamo mantém ao longo de todo o processo um de seus fundamentos: o desenvolvimento sustentável.

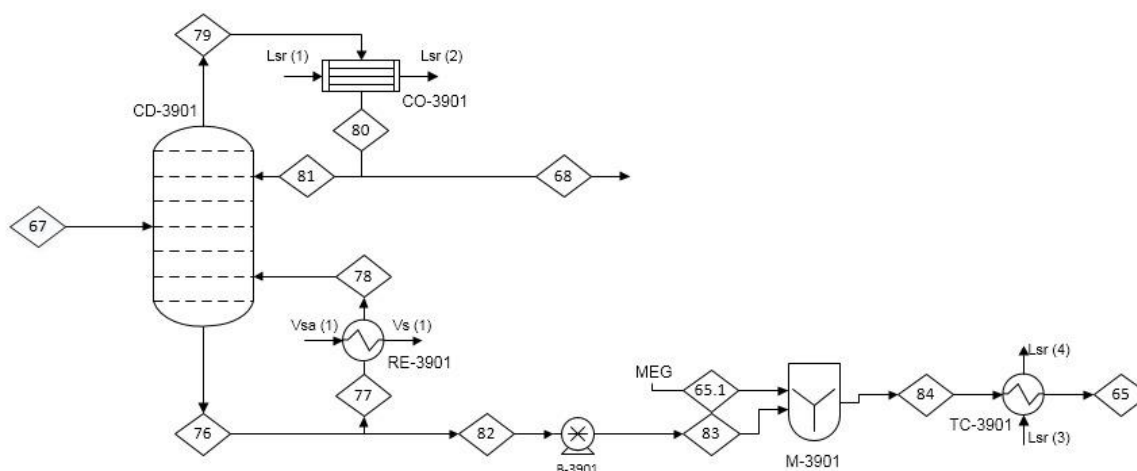
O solvente é recuperado na coluna (coluna de recuperação, CR-3901), que é operada sob vácuo (0,5 bar) e pressão total constante, depois é arrefecido e reciclado (Corrente 82) para a primeira coluna (CD-3801) (JUNQUEIRA, 2010).

Para tanto dispõe-se de uma bomba de deslocamento positivo (B-3901), a qual elevará a pressão do fluido de 0,05 para 0,10 MPa (Corrente 83). A quantidade de MEG que é removida do processo juntamente com água, na corrente 68, é repostada por meio de um *make-up* de solvente (Corrente 65.1) alimentada no misturador (M-3901) juntamente com a Corrente 83. Concomitante, a corrente efluente do M-3901 (Corrente 84) é resfriada até a temperatura de 110 °C no trocador de calor (TC-3901), de forma a manter a especificação necessária no processo extrativo (Corrente 65).

A Área 3900 dispõe de um refeedor total (RE-3901) e um condensador parcial (CO-3901) que operam adiabaticamente (em relação as vizinhanças). Enquanto o RE-3901 vaporiza parte da corrente de líquido da base (Corrente 76), empregando 6,2 t/h de vapor vivo proveniente do sistema de geração de vapor da Cálamo ( $V_{sa(1)}$ ), no topo da coluna, o CO-3901 condensa o vapor proveniente da mesma (Corrente 79), sendo parte do condensado (Corrente 81), designado pela razão de refluxo de 0,38 reencaminhado para o prato superior da CR-3901. Nessa operação, por sua vez, utiliza-se 8,8 t/h de utilidade fria do processo produtivo da Cálamo ( $L_{sr(1)}$ ).

As temperaturas do produto de topo (Corrente 68,  $T=83,1$ ) e de base da coluna CR-3901 (Corrente 76,  $T=175,1^{\circ}\text{C}$ ) foram determinadas com base na fração molar de água dessas correntes ( $X_{\text{água}}^{68} = 0,9309$  e  $X_{\text{água}}^{76} = 0$ ) e em dados experimentais isobáricos para o sistema água/MEG na pressão de operação da coluna 0,05 MPa (VLE-CALC, 2018).

Na Figura 44 é apresentado o diagrama de processo da Área 3900 da Cálamo, ao passo que nas Tabela 35 e 36 estão apresentadas informações das vazões mássicas de cada corrente, bem como dados de temperatura e pressão correspondentes.

**Figura 44:** Diagrama de Processo (Área 3900).

Fonte: Autoria própria, 2018.

**Tabela 33: Vazões mássicas do processo de recuperação (Área 3900).**

Número da corrente	67	68	76	77	78	79	80	81	82
Temperatura (°C)	162,4	83,1	175,1	175,1	175,1	83,1	83,1	83,1	175,1
Pressão (MPa)	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vazão Mássica (t/h)	4,9	0,2	0,2	0,9	0,9	0,3	0,3	4,7	4,7
Vazão por componente (t/h)									
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	0,2	0,2	0,2	-	-	0,3	0,3	-	-
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	4,7	5E-02	5E-02	0,9	0,9	6E-02	6E-02	4,7	4,7
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2018.

**Tabela 34: Balanço material e energético do processo de recuperação (Área 3900).**

Número da corrente	65.1	83	84	65	Lsr <sub>(1)</sub>	Lsr <sub>(2)</sub>	Vsa <sub>(1)</sub>	Vs <sub>(1)</sub>	Lsr <sub>(3)</sub>	Lsr <sub>(4)</sub>
Temperatura (°C)	25,0	175,1	175,1	110,0	18,0	35,0	500,0	283,8	18,0	35,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	6,80	6,80	0,10	0,10
Vazão Mássica (t/h)	5E-02	4,7	4,7	4,7	8,8	8,8	6,2	6,2	9,5	9,5
Vazão por componente (t/h)										
Açúcares Fermentáveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	8,8	8,8	6,2	6,2	9,5	9,5
Levedura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MEG	5E-02	4,7	4,7	4,7	-	-	-	-	-	-
Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
°Brix	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor Alcoólico (%massa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2018.

## 9 PROJETO INDUSTRIAL

A hierarquia no projeto do processo produtivo da Cálamo está apresentada no diagrama de cebola exposto na (Figura 45).

**Figura 45:** Diagrama de Cebola



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

O diagrama enfatiza que as dornas de fermentação e o reator de hidrólise enzimática, presentes no círculo mais interno do diagrama, correspondem ao núcleo da planta industrial, e que em sequência foram concebidos o projeto dos sistemas de separação e reciclo da unidade produtiva.

Complementando essas etapas centrais, foi realizado o projeto dos sistemas de recuperação de energia, por meio da análise de integração energética do processo e a síntese da rede de trocadores de calor, sendo que as demandas de energia não supridas por meio de recuperação de energia na própria planta, indicam a real necessidade de utilidades frias e quentes no processo.

As camadas mais externas do diagrama, que compreendem o sistema de cogeração, o tratamento de água para caldeira e efluentes líquidos, ressaltam a autossuficiência da unidade industrial em termos de energia e o comprometimento da empresa com o desenvolvimento sustentável desde a concepção da mesma.

## 10 SETOR 4000: TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

### 10.1 Área 4100: Tratamento da água para caldeira

A operação segura e eficiente da caldeira que será instalada na unidade industrial depende estritamente da qualidade da água a ser utilizada. Desta forma, é de suma importância que ocorra um tratamento prévio da água para remoção de impurezas, principalmente sais de cálcio e magnésio, além de gases dissolvidos (TROVATI, 2018).

A água utilizada no sistema de geração de vapor da Cálamo será proveniente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), assim, a unidade industrial submeterá esse insumo às etapas de desmineralização e desaeração, com o intuito de promover a segurança e a durabilidade do equipamento (TROVATI, 2018).

#### 10.1.1 Área 4110: Desmineralização

A água a ser tratada passará primeiramente por uma coluna de adsorção (CA-4111A/B) contendo carvão ativado, para remover o íon cloro presente na água potável, com o objetivo de aumentar a vida útil das resinas utilizadas nas colunas subsequentes (TECITEC, 2018).

Em seguida, a água será submetida a processos de troca iônica, utilizando resinas que retêm íons, em duas colunas de troca iônica, operando em série.

Inicialmente, a água será alimentada no sentido ascendente na coluna (CA-4112A/B) contendo resina catiônica, deixando na resina, pelo mecanismo de troca iônica, os minerais que lhe dão dureza, levando consigo íons de hidrogênio ( $H^+$ ) (TECITEC, 2018).

Em sequência a água efluente da CA-4112A/B passará por um leito de resina aniônica na coluna (CA-4113A/B), para remoção de sílica e silicatos solúveis, além de carbonatos e sulfatos (TECITEC, 2018).

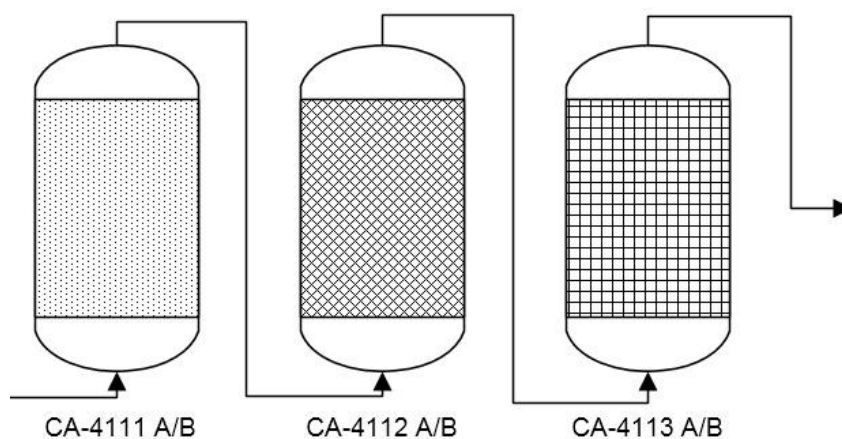
Vale destacar que devido a saturação dos leitos, e as etapas de regeneração das resinas, a Área 4110 conta com dois sistemas de desmineralização em paralelos, (CA-4111A, CA-4112A e CA-4113A) e (CA-4111B, CA-4112B e CA-4113B), sendo

que a operação alternada em cada sistema permite que manutenções periódicas sejam realizadas, garantindo uma operação contínua.

A regeneração da resina catiônica será realizada por meio de solução de ácido clorídrico, que retirará os íons de minerais retidos, deixando íons  $H^+$  em seu lugar, ao passo que a regeneração da resina aniônica será feita empregando-se solução de soda cáustica. Tais operações de regeneração das resinas permutadoras de íons, serão em contracorrente e após o abaixamento de nível, num processo denominado retrolavagem.

Na Figura 46 é apresentado um esquema do sistema de desmineralização da Cálamo, que se processam em leitos de carvão ativado e de resinas sintéticas, dentro de colunas metálicas pressurizadas, revestidas internamente com ebonite.

**Figura 46:** Sistema de desmineralização da Cálamo.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

As dimensões básicas e os parâmetros de projeto dessas colunas do sistema de desmineralização da Cálamo estão apresentados, no Apêndice C.

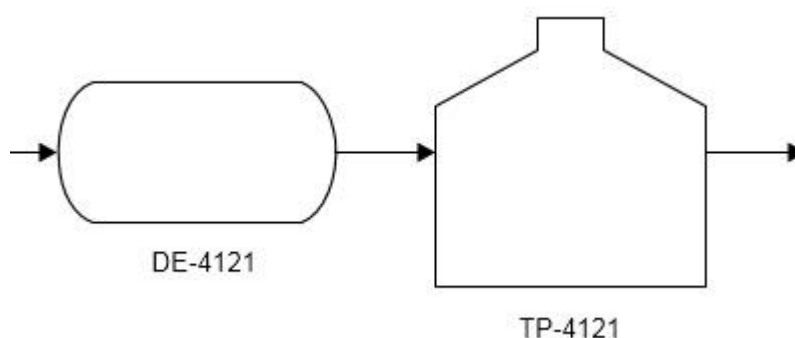
### 10.1.2 Área 4120: Desaeração

A água desmineralizada proveniente da Área 4110 é então alimentada no desaerador horizontal do tipo bandeja (DE-4121) e armazenada em um tanque pulmão TP-4121 (Figura 47). O DE-4121 foi especificado com capacidade de 210 m<sup>3</sup>/h e pressão de operação de 14 bar, para reduzir a concentração de oxigênio dissolvido

para menos de 0,007 ppm e eliminar a concentração de dióxido de carbono em quase sua totalidade (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2001).

A remoção desses gases é importante para controlar os processos corrosivos elementares na caldeira, causados principalmente pela presença de gases não-condensáveis, tais como oxigênio e dióxido de carbono. Esses gases são removidos num processo mecânico denominado de desareação; esta é uma etapa substancial para aumentar a vida útil de um sistema de geração de vapor (TROVATI, 2018).

**Figura 47:** Desaerador horizontal do tipo bandeja.



**Fonte:** Mecânica Indústria (2018).

O equipamento opera baseado no princípio de que a solubilidade dos gases em líquidos é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor é a solubilidade (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018).

Além do aumento de temperatura, outro fator que atua no desaerador é a pressão, visto que a solubilidade dos gases na água é afetada diretamente pela pressão parcial que esses mesmos gases exercem no líquido na atmosfera que o circunda. Assim, quando a pressão parcial dos gases é diminuída ao redor do líquido, automaticamente, a capacidade desses gases de se dissolver nele também diminuirá (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018).

Para tanto, a água entra na bandeja de alimentação parcialmente desareada à temperatura de saturação de 14 bar (pressão média de operação do desaerador), descendo sobre as demais, zigzagueando por meio de vapor em contra fluxo (10 ton/h) (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 1994).

A técnica de desareação de bandeja é o método mais confiável para atender ao desempenho crítico em uma ampla carga completa, e é por esse motivo o procedimento adotado pela Cálamo para proteção do sistema de geração de vapor



que será instalado na unidade industrial (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2001).

As dimensões básicas e os parâmetros de projeto do desaerador da Cálamo estão apresentados no Apêndice D.1.

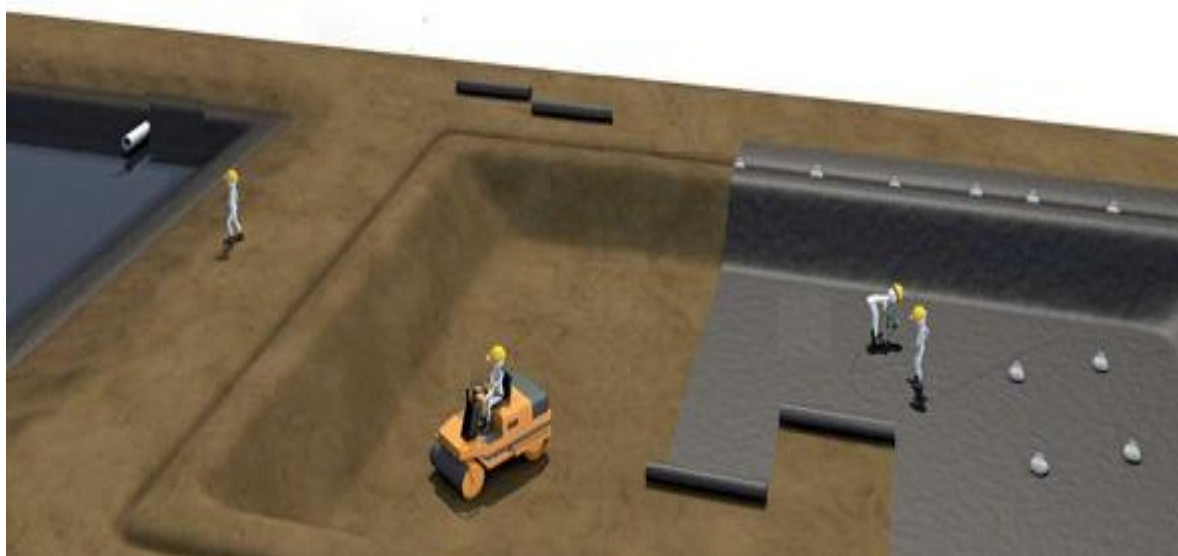
## 10.2 Área 4200: Tratamento da vinhaça

A correta gestão dos efluentes da indústria sucroalcooleira é de grande importância para a conservação dos recursos hídricos e do solo. Assim, baseando em sua política de sustentabilidade, a Cálamo utilizará de forma consciente a vinhaça na fertirrigação das lavouras de cana-de-açúcar.

A Cálamo possui um sistema de destilação com injeção indireta de vapor, o que promove uma diminuição de aproximadamente 20% da produção desse efluente, quando comparada as demais indústrias que fazem uso de um processo de injeção direta de vapor (BATISTA, 2008; SILVA et al., 2015).

Todavia, visto o potencial de contaminação desse efluente, e afim de se enquadrar na Norma da CETESB P4.231, a unidade industrial armazenará a vinhaça em lagoas de distribuição impermeabilizadas (Figura 48), de modo a promover a troca térmica entre o efluente e o meio ambiente (ROLIM et al., 2013).

**Figura 48:** Lagoa de distribuição impermeabilizada.



**Fonte:** Adaptado de Corsini (2012).

Os canais e a lagoa para condução e armazenagem desse efluente serão impermeabilizados com geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD), tendo em vista sua alta capacidade de impermeabilização. Nas bordas serão construídas canaletas para ancoragem dessa geomembrana, a uma distância de 1m da borda do talude, com uma largura de 30 cm e profundidade de 30 cm (CORSINI, 2012).

A lagoa de distribuição da unidade industrial terá a configuração de um tronco de pirâmide de base retangular invertido, pois esse tipo de arranjo é recomendável para evitar erosões, e possuirá um volume útil de 30000 m<sup>3</sup>, suficiente para armazenar o efluente por um tempo de residência de 34 horas. As dimensões básicas de projeto estão apresentadas no Apêndice D.2.

### 10.3 **Área 4300: Tratamento do Monotilenoglicol (MEG)**

A corrente residual contendo monotilenoglicol, proveniente da Área 3900, que é uma substância tóxica e prejudicial ao meio ambiente, requer um tratamento e destino especiais. Desta forma, a Cálamo, visando o desenvolvimento sustentável e preservação ambiental, irá destinar o mesmo a uma empresa que oferece soluções para o tratamento e descarte de efluentes industriais com alto nível de periculosidade.

## 11 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA CÁLAMO

Na busca pela eficiência energética e a manutenção da sustentabilidade nas atividades industriais, a Cálamo adotou, desde às fases de projeto e desenvolvimento, o uso racional da energia e de recursos por meio da análise de integração energética, reduzindo o consumo de utilidades no processo produtivo.

Essa otimização do uso de energia no processo de produção da empresa incrementará a receita da indústria por meio do aumento da produção de energia elétrica no sistema de cogeração da unidade industrial, tendo em vista a consequente redução do consumo de “vapor vivo” no processo.

Para integração dos processos e a síntese da rede de trocadores de calor, foi realizada a análise *Pinch*, uma técnica simples e efetiva de para recuperação de energia, com fácil aplicação em casos industriais, fundamentada em conceitos de transferência de calor e termodinâmica, e baseada em regras heurísticas (GUNDERSEN, 2002).

Esse método apresenta como alternativa aproveitar o conteúdo energético de correntes que precisam ser resfriadas (Correntes quentes) no processo industrial para suprir as necessidades energéticas de correntes que precisam ser aquecidas (Correntes Frias), obedecendo para isso, a 1 e 2ª Leis da Termodinâmica (GUNDERSEN, 2002).

Levando em consideração somente as transferências de calores sensíveis, o processo industrial da Cálamo detém no seu atual delineamento, 6 correntes quentes e 12 correntes frias. A Tabela 35 apresenta um conjunto de dados referentes às essas correntes do processo que irão compor a análise de integração energética, sendo importante notar que, para o calor específico das mesmas, foi considerado um valor médio no intervalo de temperaturas em causa, sendo essas por sua vez, determinadas por meio de balanços materiais e de energia, bem como por valores de projeto.

Após identificar no processo industrial as necessidades de aquecimento e arrefecimento das correntes do processo que envolvem transferências de calores sensíveis, e em ciência do sistema de utilidades disponível na indústria, prosseguiu-se com a análise de integração energética.

Para tanto, a diferença mínima de temperatura ( $\Delta T_{\min}$ ) atingida entre duas correntes, entre as quais ocorre transferência de calor, foi adotada como sendo 10 °C, e estabelecida segundo critério de projeto, visto que ela tem influência direta nos

custos de capital do processo, e é comumente determinada segundo uma otimização do custo total (RELVAS et al., 2002).

**Tabela 35:** Correntes Quentes e Frias da unidade industrial.

Número da Corrente	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Calor Específico (kJ/kg.°C)	Vazão Mássica (t/h)	Capacidade Térmica (kW/°C)	Tipo de Corrente
51.1	105,0	32,0	3,86	895,7	960,67	Quente
53	37,1	32,0	3,78	706,9	741,36	Quente
66	78,5	25,0	2,51	2,8	1,93	Quente
68	83,1	25,0	2,21	0,2	0,14	Quente
84	175,1	110,0	2,21	4,7	2,89	Quente
97.1	82,6	25,0	2,60	56,5	40,81	Quente
10	25,0	80,0	4,15	133,6	154,00	Fria
15	39,0	105,0	4,16	512,6	592,37	Fria
24	25,0	80,0	4,15	36,0	41,46	Fria
33	25,0	30,0	4,15	138,7	159,87	Fria
36	25,0	67,1	4,15	173,3	199,70	Fria
48	30,0	40,0	0,87	6,8	1,63	Fria
50	33,9	96,0	4,14	197,4	227,07	Fria
51	58,6	105,0	3,86	895,7	960,67	Fria
54	25,0	32,0	1,30	84,4	30,59	Fria
55	32,0	40,0	0,88	51,3	12,54	Fria
57	28,8	96,0	4,07	676,5	764,12	Fria
62	40,0	96,0	4,13	57,5	66,03	Fria

Fonte: Autoria Própria (2018).

A primeira etapa consistiu em calcular as temperaturas corrigidas para correntes frias ( $T_F'$ ) e quentes ( $T_Q'$ ), por meio das Equações (6) e (7), garantindo que em qualquer intervalo de temperatura, as temperaturas das correntes quentes e frias, diferirão, de pelo menos, o valor de  $\Delta T_{\min}$ .

$$T_F' = T_{\text{FRIA}} + \frac{\Delta T_{\min}}{2} \quad (6)$$

$$T_Q' = T_{\text{QUENTE}} - \frac{\Delta T_{\min}}{2} \quad (7)$$

. Desse modo, a nova representação do conjunto de dados referentes às correntes do processo que compõem a análise de integração energética, em termos de temperaturas corrigidas estão dispostos na Tabela 36.

**Tabela 36:** Temperaturas corrigidas.

Número da Corrente	Número	T <sub>INICAL</sub> ' (°C)	T <sub>FINAL</sub> ' (°C)	Calor Específico (kJ/kg.°C)	Vazão Mássica (t/h)	Capacidade Térmica (kW/°C)	Tipo de Corrente
51.1	1	100,0	27,0	3,86	895,7	960,67	Quente
53	2	32,1	27,0	3,78	706,9	741,36	Quente
66	3	73,5	20,0	2,51	2,8	1,93	Quente
68	6	78,1	20,0	2,21	0,2	0,14	Quente
84	5	170,1	105,0	2,21	4,7	2,89	Quente
97.1	4	77,6	20,0	2,60	56,5	40,81	Quente
10	15	30,0	85,0	4,15	133,6	154,00	Fria
15	14	44,0	110,0	4,16	512,6	592,37	Fria
24	16	30,0	85,0	4,15	36,0	41,46	Fria
33	17	30,0	35,0	4,15	138,7	159,87	Fria
36	18	30,0	72,1	4,15	173,3	199,70	Fria
48	9	35,0	45,0	0,87	6,8	1,63	Fria
50	13	38,9	101,0	4,14	197,4	227,07	Fria
51	7	63,6	110,0	3,86	895,7	960,67	Fria
54	10	30,0	37,0	1,30	84,4	30,59	Fria
55	8	37,0	45,0	0,88	51,3	12,54	Fria
57	12	33,8	101,0	4,07	676,5	764,12	Fria
62	11	45,0	101,0	4,13	57,5	66,03	Fria

Fonte: Autoria Própria (2018).

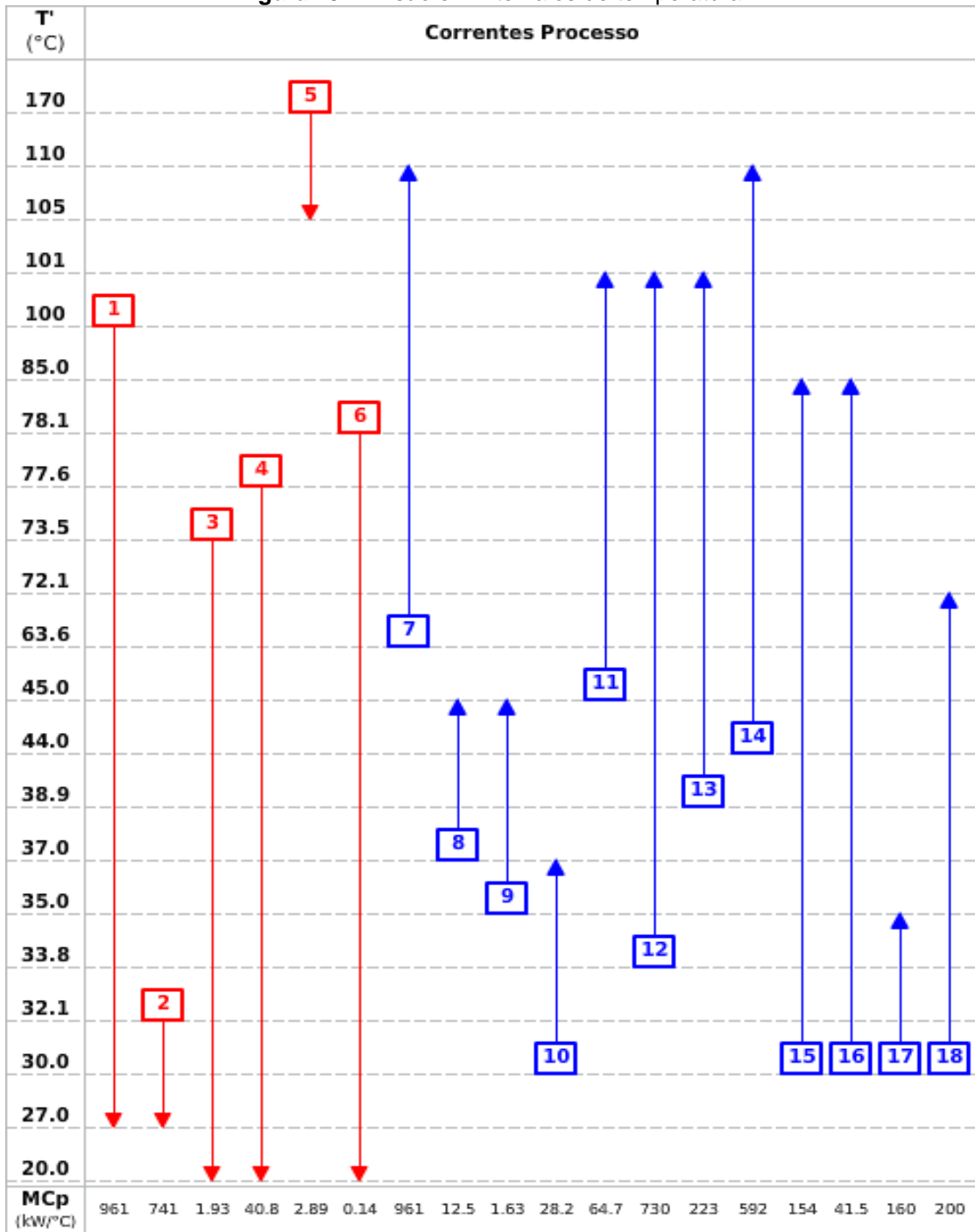
Na etapa subsequente, dividiu-se o processo em intervalos de temperatura utilizando a Ferramenta Informática para a Integração Energética de Processos Industriais (FI<sup>2</sup>EPI), conforme apresentado na Figura 49. Em seguida, efetuou-se o balanço de energia para os intervalos de temperatura corrigidas (Equação 9), sendo as respectivas capacidades caloríficas desses intervalos determinadas por meio da Equação 8.

$$\Delta MCP_i = \sum_{\text{Correntes frias}} (M \times CP_F) - \sum_{\text{Correntes Quentes}} (M \times CP_F) \quad (8)$$

$$Q_i = \Delta MCP_i \times \Delta T_i' \quad (9)$$

Assim, foi possível quantificar o consumo mínimo de utilidades externas, recorrendo-se a FI<sup>2</sup>EPI, por meio da realização da Cascata de Calor, a qual consiste em verificar para cada intervalo de temperatura determinado anteriormente, a quantidade de energia disponível entre as correntes que contemplam a análise de integração energética, e transferir o excesso de energia de cada nível térmico para o nível imediatamente inferior, conforme apresentado na Figura 50.

Figura 49: Divisão em intervalos de temperatura.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 50: Cascata de Calor.

T' (°C)	$\Delta T'i$ (°C)	$\Delta MCp_i$ (kW/°C)	$\Delta Q_i$ (kW)	Cascata de Calor (kW)	
<b>170</b>				$Q_{UQ} = 0$	$Q_{UQ} = 102628$
<b>110</b>	60.1	-2.88	-173	173	Q1=-173 102801
<b>105</b>	5	1550	7751	-7577	Q2=7751 95050
<b>101</b>	4	1553	6212	-13790	Q3=6212 88838
<b>100</b>	1	2571	2571	-16361	Q4=2571 86267
<b>85.0</b>	15	1611	24158	-40518	Q5=24158 62109
<b>78.1</b>	6.9	1806	12461	-52980	Q6=12461 49648
<b>77.6</b>	0.5	1806	903	-53882	Q7=903 48745
<b>73.5</b>	4.1	1765	7237	-61119	Q8=7237 41509
<b>72.1</b>	1.4	1763	2468	-63587	Q9=2468 39040
<b>63.6</b>	8.5	1963	16684	-80271	Q10=16684 22357
<b>45.0</b>	18.6	1002	18640	-98911	Q11=18640 3717
<b>44.0</b>	1	952	952	-99863	Q12=952 2765
<b>38.9</b>	5.1	359	1832	-101695	Q13=1832 933
<b>37.0</b>	1.9	136	258	-101953	Q14=258 675
<b>35.0</b>	2	152	303	-102256	Q15=303 372
<b>33.8</b>	1.2	310	372	-102628	Q16=372 0
<b>32.1</b>	1.7	-420	-714	-101913	Q17=-714 714
<b>30.0</b>	2.1	-1162	-2439	-99474	Q18=-2439 3154
<b>27.0</b>	3	-1745	-5234	-94240	Q19=-5234 8388
<b>20.0</b>	7	-42.9	-300	-93940	Q20=-300 8688
<b>MCp</b> (kW/°C)					$Q_{UF} = 8688$

Fonte: Autoria Própria (2018).

Para tanto, considera-se inicialmente que nenhuma quantidade de calor externa é adicionada ao processo, ou seja ( $Q_{UQ} = 0$ ) (RELVAS et al., 2002).

Todavia, quando se realiza essa análise, constata-se a presença de valores negativos na cascata, ou seja, um déficit de energia nos intervalos de temperatura em causa, sendo impossível transferir calor desses níveis térmicos com déficit de energia para suprimir as demandas de níveis inferiores.

Com a realização dessa primeira cascata, determina-se a quantidade mínima de utilidade quente demandada pelo processo, 102628 kW, a qual é igual em valor absoluto ao maior valor deficitário na primeira cascata.

Em sequência, procedeu-se com a realização da cascata de calor final, considerando o fornecimento dessa quantidade mínima de utilidade quente necessário ao funcionamento do processo, na qual se constatou que excesso de energia de 8688 kW no último nível térmico, deve ser removido por uma utilidade fria disponível na unidade industrial.

Além disso, a cascata de calor final permite elucidar que o ponto de estrangulamento corresponde a uma temperatura corrigida de 33,8 °C, traduzindo-se em 28,8°C para as correntes frias e em 38,8 °C para as correntes quentes, dado que o  $\Delta T_{\min}$  adotado para questões de projeto foi de 10,0 °C.

Neste nível, chamado de Ponto de estrangulamento (PE), corresponde à temperatura para qual não existe transferência de calor entre os níveis térmicos, conforme análise da cascata de calor apresentada na Figura 50, e sua identificação permite dividir o processo em duas zonas termodinâmicas distintas, a zona acima do PE e a zona abaixo do PE (RELVAS et al., 2002).

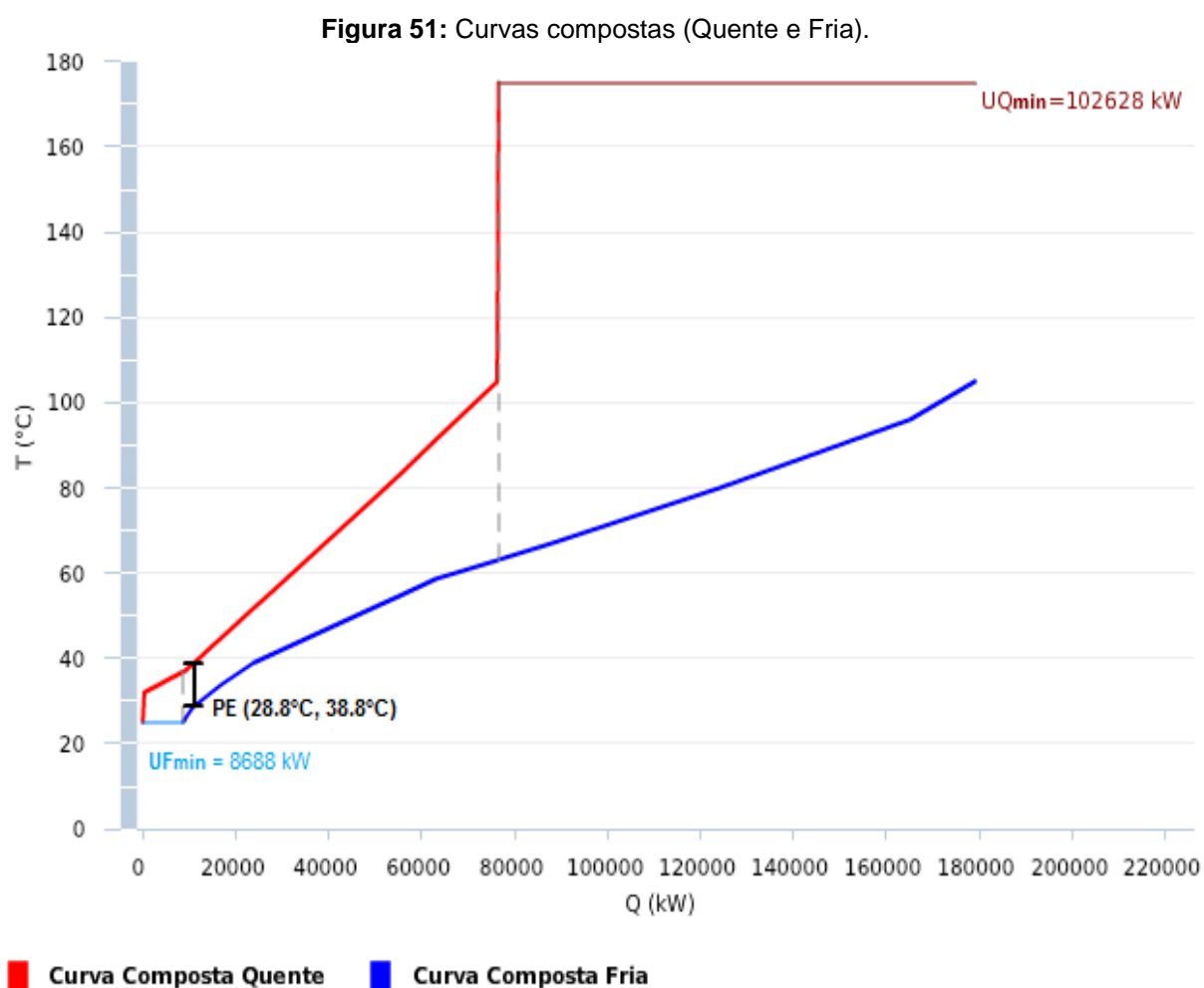
Enquanto na primeira, as correntes quentes transferem todo o calor disponível para aquecer as correntes frias do processo e qualquer fonte suplementar de energia é obtida por meio de uma utilidade quente, na zona abaixo do PE, por sua vez, todas as correntes frias são aquecidas por transferência de calor com as correntes quentes do processo, e qualquer excesso de energia é retirado utilizando-se uma utilidade fria do processo (RELVAS et al., 2002).

A representação gráfica das curvas compostas quente e fria, é um outro método que auxilia nas análises dos pontos acima referidos. Essa representação é realizada num diagrama temperatura corrigida *versus* variação de entalpia das correntes quentes e frias do processo, e a construção dessas curvas levam em consideração a mesma divisão do eixo das temperaturas realizada no algoritmo da



cascata de calor; e a capacidade calorífica em cada um desses intervalos corresponde à soma das capacidades caloríficas individuais das correntes quentes/frias compreendidas nesses intervalos (RELVAS et al., 2002).

Na Figura 51 está apresentado o posicionamento da curva composta fria face à curva composta quente do processo industrial da Cálamo. Por meio delas, também é possível identificar a localização do ponto de estrangulamento (28,8 °C e 38,8 °C), tendo em vista o ponto de maior aproximação das curvas compostas, bem como a quantidade mínima de calor a fornecer e retirar ao processo por meio de utilidade quente e fria, respectivamente, além da quantidade máxima de energia que é possível recuperar por meio da integração energética do processo.



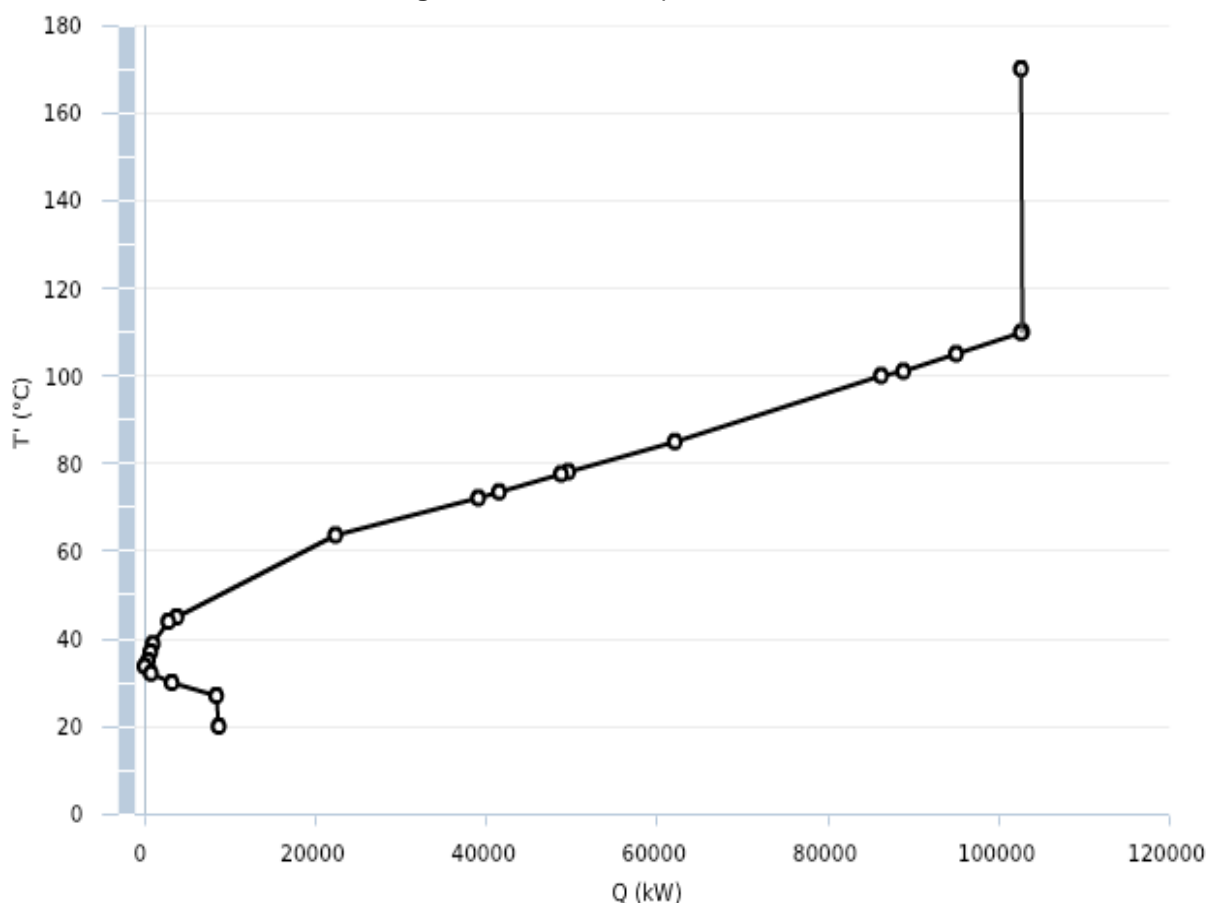
Fonte: Autoria Própria (2018).

Embora as Curvas Compostas apresentadas na Figura 51 possibilitem o estabelecimento demonstrar os objetivos energéticos da análise de integração, elas não são concebíveis para escolha das utilidades, fazendo-se necessário a construção

da Curva Composta Global, utilizando para tal, as temperaturas corrigidas e os valores de variação de entalpia acumulados obtidos da cascata de calor final (Figura 50).

A Figura 52 ilustra a Curva Composta Global referente ao processo de integração energética do projeto da Cálamo, para um consumo energético mínimo e  $\Delta T_{\min} = 10,0^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 52:** Curva Composta Global.



**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Essa Curva Composta Global evidencia o real cenário de utilização de utilidades quentes e frias no processo. Como observado, a zona acima do *Pinch* é caracterizada por segmentos de inclinação positiva, indicando que nesse intervalo existe um déficit de energia no processo. Já a zona abaixo do *Pinch*, somente dispõe de segmentos de declive negativo, o que conjectura que o processo necessita ser arrefecido empregando para isso, utilidade fria.

A presença das zonas abertas no topo e no fundo do diagrama elucidam que as necessidades residuais de aquecimento e arrefecimento por meio de utilidades frias e quentes, após esse estudo de integração energética do processo, será quase

equivalente ao processo sem integração das correntes que sofrem apenas calor sensível (RELVAS et al., 2002).

Depois de definido os consumos mínimos de utilidades, a temperatura do ponto de estrangulamento (PE), e de ter construído as curvas compostas quentes/frias, bem como a curva composta global, procedeu-se a análise de integração energética com a construção do diagrama de rede de trocadores de calor.

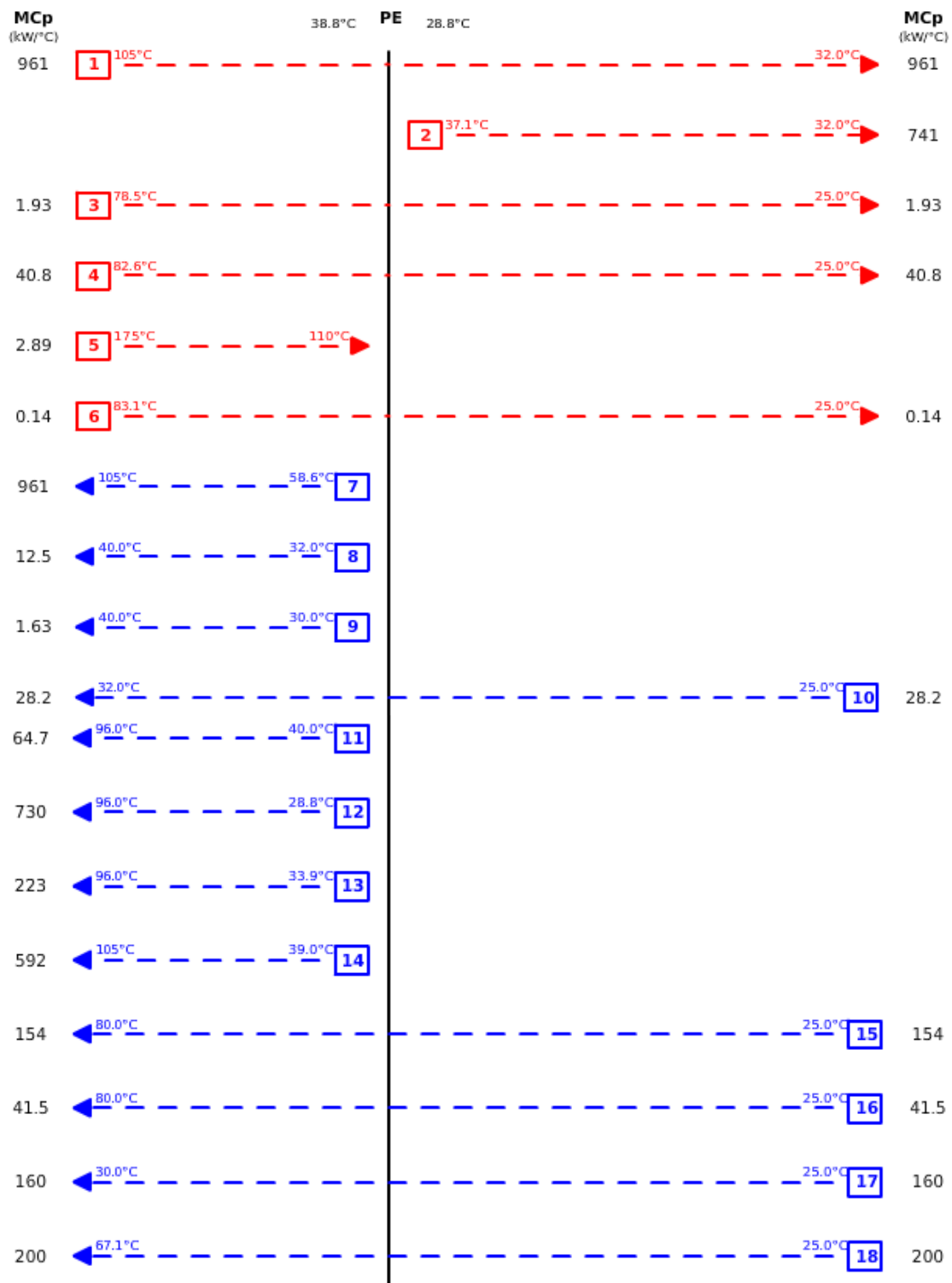
A Figura 53 apresenta o diagrama de rede referente ao processo, dispondo as correntes da unidade industrial que contemplaram a análise de integração energética, com indicação no ponto de estrangulamento determinado nas análises precedentes, bem como temperaturas de entrada e saída e suas respectivas capacidades caloríficas.

Desse modo, após a construção do diagrama de rede, realizou-se a síntese da rede de trocadores de calor que apresentará o Máximo de Energia Recuperada (MER), disposto no Apêndice E.1.

A representação esquemática dos trocadores de calor casco tubo que compõem a rede descrita acima, estão ilustrados no Apêndice E.2., e os dados de área de troca térmica dos trocadores de calor, bem como as temperaturas médias logarítmicas e o coeficiente global de transferência de calor, dos equipamentos que compõe a rede MER, estão apresentados no Apêndice E.3

Essa análise de integração energética do processo produtivo da Cálamo, diferente de seu escopo inicial, representa uma estrutura otimizada em relação ao consumo de utilidades no projeto industrial, mesmo que não necessariamente se reduza a quantidade de trocadores para esta operação. Porém, esta análise se baseia em uma metodologia eficiente de recuperação energética com respeito ao plano econômico da empresa.

Figura 53: Diagrama de rede do processo.



Fonte: Autoria Própria (2018).

## 12 SETOR 5000 - COGERAÇÃO E UTILIDADES

### 12.1 Área 5100: Sistema de Geração de Vapor

No cenário atual, a utilização de biomassa para produção de energia elétrica tem sido de grande relevância. Tendo em vista que o Brasil possui uma demanda de energia elétrica crescente, e afim de se tornar autossuficiente nesse setor, a Cálamo utilizará o excedente do bagaço de cana-de-açúcar, juntamente com a lignina, como combustível para a geração de vapor.

A empresa irá dispor de um sistema de geração de vapor para fornecer a quantidade necessária de utilidade quente para a processo industrial e utilizar o excedente para cogeração.

Baseando em análises de *Benchmarking*, a Cálamo instalará em sua unidade industrial uma caldeira de leito fluidizado borbulhante (Figura 54) fornecida pela empresa HPB Energia, visto que a mesma possibilita a queima não somente de bagaço e folhas, como também da lignina, subproduto do processo produtivo de etanol de segunda geração, aplicando uma tecnologia que representa o estado da arte em combustão de biomassa, com alto rendimento e baixo impacto ambiental.

Desse modo, o sistema de cogeração da Cálamo utilizará o bagaço e a lignina como combustíveis e terá capacidade de produzir 200 t/h de vapor superaquecido a 525 °C e pressão de 68 bar.

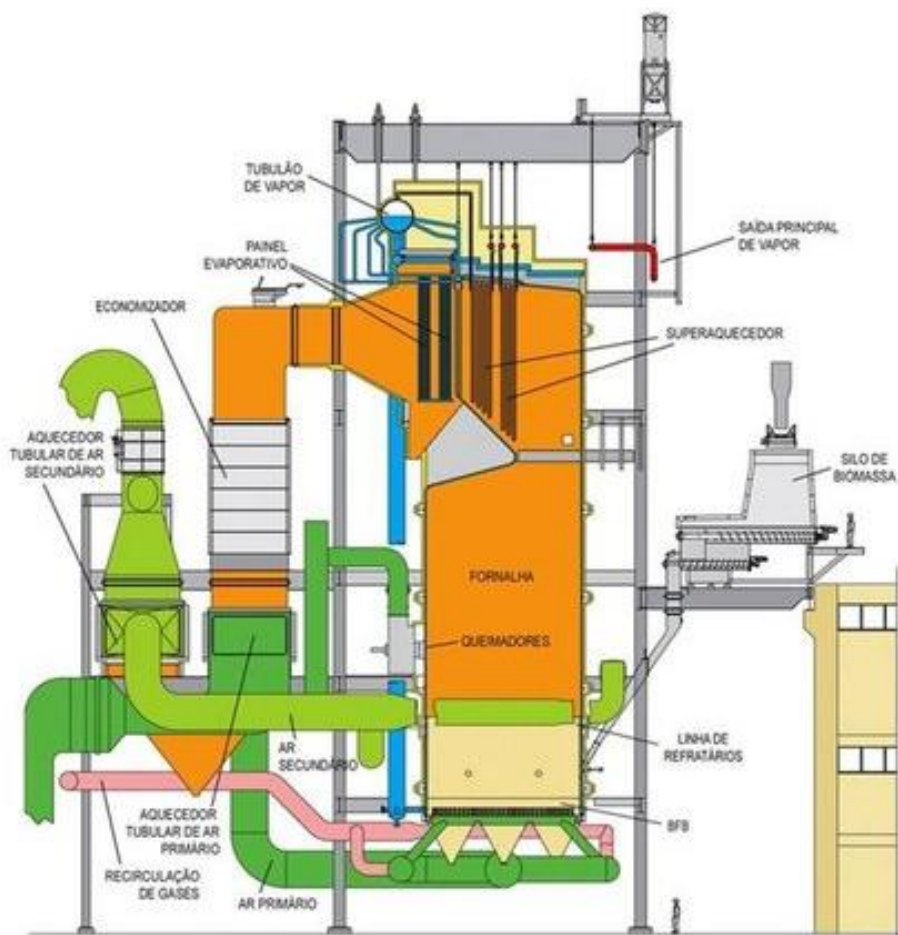
Operando na sua capacidade nominal e com alimentação de água na temperatura de 25 °C, a quantidade de energia útil que deverá ser absorvida pelo fluido de trabalho na caldeira é 183353,3 kW.

Como o rendimento térmico bruto da caldeira da Cálamo é de aproximadamente 90%, a quantidade de energia introduzida na instalação com a massa de combustíveis, para compensar essas perdas de energias inevitáveis nos vários elementos da instalação, será de 203726,1 kW (BPH ENERGIA, 2018).

Essa energia introduzida na instalação é denominada de energia disponível, e a quantidade de energia absorvida pelo fluido de trabalho é a energia útil, sendo que a diferença entre a energia disponível e a energia útil é em virtude de perdas de calor para o meio ambiente, combustão incompleta dos combustíveis, e a não maximização

das taxas de transferência de calor dos produtos de combustão para as superfícies de absorção de calor (PINHEIRO; CERQUEIRA, 1995).

**Figura 54:** Caldeira de leito fluidizado borbulhante.



**Fonte:** HPB Energia (2018).

A energia disponível dos combustíveis queimados é aproximadamente a soma dos produtos dos poderes caloríficos inferiores dos combustíveis por suas respectivas vazões de alimentação, desprezando o calor sensível dos combustíveis pré-aquecidos por uma fonte externa de calor, além da energia introduzida na caldeira com o ar de combustão, pré-aquecido fora da caldeira (PINHEIRO; CERQUEIRA, 1995).

Desta forma, como a unidade industrial produz 138,1 ton/h de bagaço com 50% de umidade (Corrente 11) e 34,3 ton/h de lignina (Corrente 40), e de conhecimento que o poder calorífico inferior (PCI) desses combustíveis são, respectivamente, 7494,7 kJ/kg e 9743,1 kJ/kg (LEITE E PINTO, 1983), a Cálamo

queimará somente 38,6% do bagaço destinado ao sistema de cogeração, sendo o excedente (84,8 ton/h) armazenado para produção de energia elétrica na entressafra.

Para minimização das perdas de energia por combustão incompleta, ar será alimentado com 40% em excesso no sistema de geração de vapor. Tal porcentagem foi determinada pela unidade industrial visando minimizar o consumo de combustível, bem como diminuir perdas de energia do sistema à saída dos gases à custa da energia liberada do combustível (FRANCISCO, 2012).

O carbono e o hidrogênio foram considerados para efeito de balanços materiais e de energia, como os únicos elementos combustíveis no processo de combustão do bagaço e a da lignina, sendo as reações apresentadas nas Equações 10 e 11.



A composição dos combustíveis e do ar seco, adotadas nos balanços materiais do sistema de cogeração, estão expostas nas Tabelas 37 e 38, respectivamente.

Para queima de 53,3 ton/h de bagaço (Corrente 11), pode-se determinar a quantidade estritamente necessária de oxigênio para combustão do carbono (32,3 ton/h) e para combustão do hidrogênio (35,9 ton/h), tomando como base a queima total dos elementos combustíveis, conforme esquematizado nas reações apresentadas nas Equações 10 e 11 e os dados da Tabela 37.

Como essa quantidade de bagaço já contém 35,0 ton/h de oxigênio, a alimentação de ar ainda deve fornecer 33,1 ton/h desse comburente.

Realizando um procedimento análogo ao descrito para a queima do bagaço, pode-se conjecturar que o ar deverá fornecer também 36,6 ton/h de oxigênio para combustão de 34,3 ton/h de lignina (Corrente 40).

**Tabela 37:** Composição percentual mássica elementar dos combustíveis.

Elemento	Bagaço de cana-de-açúcar (50% de umidade)	Lignina
Carbono	0,227	0,363
Hidrogênio	0,084	0,074
Oxigênio	0,657	0,496
Outros	0,032	0,067

Fonte: Saliba et al. (2001) e Pereira e Seye (2016).

**Tabela 38:** Composição do ar seco.

Gases	Fração molar
N <sub>2</sub>	0,7808
O <sub>2</sub>	0,2095
Ar	0,0093
CO <sub>2</sub>	0,0003

Fonte: Helmenstine (2018).

Baseando-se no fato que 40% de excesso de ar é alimentado no sistema de geração de vapor, e na quantidade estritamente de oxigênio proveniente do ar, será necessária para combustão completa dos elementos (H e C) de ambos combustíveis (69,7 ton/h) 3050,5 kmol/h de gás oxigênio (O<sub>2</sub>) provenientes do ar que serão alimentados no processo, e que desse total, 871,6 kmol/h não reagem (excesso), saindo com os gases.

Tomando a composição do ar seco apresentada na Tabela 38, e sabendo que a alimentação de gás oxigênio no processo é proveniente do ar, serão também alimentados ao sistema 11371,2 kmol/h de gás nitrogênio, 136 kmol/h de argônio e 5,1 kmol/h de gás carbônico, que estarão presentes na corrente de ar, o que resulta em 337261,3 m<sup>3</sup>/h (421,7 ton/h) de ar pré-aquecido a 150 °C nos aquecedores tubulares primários e secundários da unidade de cogeração, e à uma pressão de 0,15 MPa.

Desse modo, as vazões mássicas das correntes do sistema de cogeração assim como seus respectivos componentes, estão sumarizados na Tabela 38. A diferença na magnitude das vazões mássicas das correntes 102 e 103 é em virtude da consideração de perda de 5% de água no sistema de geração de vapor.



**Tabela 39:** Vazões mássicas no sistema de cogeração (Área 5100).

<b>Número da corrente</b>	<b>11.1</b>	<b>40</b>	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>102</b>	<b>103</b>
Temperatura (°C)	25,0	25,0	150,0	700,0	25,0	525,0
Pressão (MPa)	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	6,8
Vazão mássica (t/h)	53,3	34,3	421,7	509,3	210	200
Vazão por Componente (t/h)						
Gás Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	-	-	318,4	318,4	-	-
Gás Oxigênio (O <sub>2</sub> )	-	-	97,6	27,9	-	-
Argônio (Ar)	-	-	5,4	5,4	-	-
Dióxido de Carbono	-	-	0,2	90,3	-	-
Água	26,7	9,3	-	63,3	210	200
Lignina	-	20,5	-	-	-	-
Outros	5,7	4,5	-	4,0	-	-
Açúcares Fermentáveis	0,8	-	-	-	-	-
Fibras	20,1	-	-	-	-	-

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

Nesse sistema de geração de vapor da unidade industrial, um dos principais parâmetros que serão monitorados será a temperatura média dos gases na saída da caldeira (700 °C), visando otimizar a combustão e proteger o sistema de geração de vapor.

Essa temperatura prevê uma indicação direta das perdas radiativas pelas paredes e visa minimizar a formação de escória, o que reduziria a eficiência de transferência térmica nas paredes dos tubos, e poderia ocasionar um aumento das operações de fuligem e possíveis problemas de segurança (LUMASENSE TECHNOLOGIES, 2018).

Com esse controle, a Cálamo poderá averiguar a qualidade dos combustíveis utilizados, bem como alterar a vazão de ar alimentada no sistema e minimizar possíveis perdas de energia.

Vale destacar que esses gases provenientes da caldeira passam por um sistema de filtragem, contendo filtro manga e lavador de gases, no qual se retêm gás carbônico e materiais particulados, colocando em prática a política de sustentabilidade da empresa.

## 12.2 Área 5200: Unidade de Geração de Energia Elétrica

O sistema de cogeração da Cálamo dispõe de quatro turbinas de contrapressão e uma de condensação, ligadas a um gerador, que irá converter a energia mecânica desenvolvida nas mesmas em energia elétrica. Dessa forma, a

energia gerada poderá ser destinada para autoconsumo, e o excedente, comercializado para aumento da receita da empresa.

Desse modo, serão destinados 58,2 ton/h de vapor vivo da caldeira para a turbina de contrapressão, o que levará a geração de 10970,9 KWh, além de extrair vapor saturado na temperatura de 202,5 °C e pressão de 1,57 MPa, condição essa requerida para etapa de explosão a vapor (Área 2300) da unidade industrial.

Aos turboacionadores, responsáveis pelo acionamento dos equipamentos, serão destinados 9,5 ton/h de vapor vivo da caldeira. Além disso, a Cálamo utilizará utilidade de alta qualidade (vapor vivo) e de baixa entropia, promovendo o melhor aproveitamento energético. De acordo com a análise de integração energética do processo, uma demanda de 103,9 ton/h utilidade quente para o processo será utilizada.

Assim, excetuando-se a quantia de energia destinada para autoconsumo da indústria (iluminação, acionamentos elétricos, funcionamento de escritórios e pátios, entre outros), o que corresponde em torno de 6500 kWh, a Cálamo irá comercializar a produção excedente de energia (10,0 MWh) durante a época de safra, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e aumentando a receita da unidade industrial.

O excedente do bagaço de bagaço que será armazenado nas dependências da unidade industrial durante época de safra (84,8 ton/h), será suficiente para que a caldeira opere na sua capacidade nominal durante todo o período de entressafra, o que corresponde à um adicional de (37,8 MWh), excetuando-se a parcela de consumo da parte administrativa e iluminação da Cálamo, dentre outros fins, neste período.

### **12.3 Área 5300: Torre de Resfriamento**

A unidade industrial possuirá uma torre de resfriamento atmosférica, que possibilitará a diminuição da temperatura de 28 para 18 °C. O projeto da torre arrefecerá uma vazão de 628 m<sup>3</sup>/h. Para isso será necessário que a torre possua 15 m de altura por 6 m de diâmetro, como exemplificado no Apêndice F. Esta unidade do processo se faz útil devido o consumo de utilidades frias que, em tais condições de temperatura, permite reduzir a quantidade utilizada ao longo do processo.

## **13 SETOR 6000: ARMAZENAMENTO**

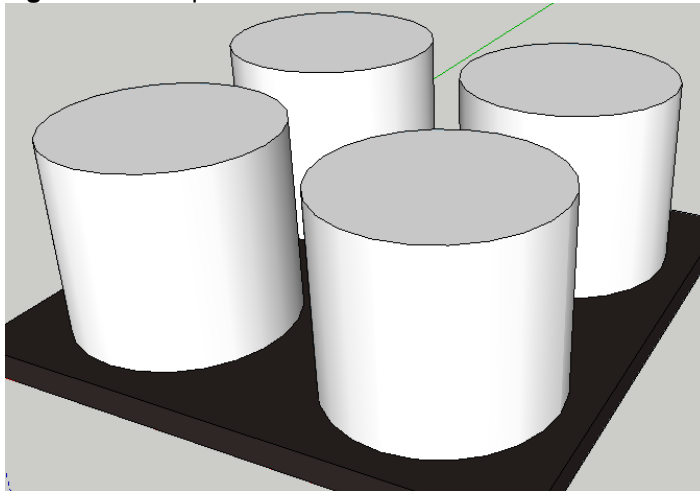
Esta parte da planta corresponde ao espaço reservado para o armazenamento de produtos químicos de processo e o etanol produzido pela Cálamo.

Os produtos químicos armazenados nesta área incluem enzimas, leveduras, sulfato de amônio, leite de cal, entre outros. O suprimento para água de incêndio também é armazenado nessa área da unidade industrial. Para os insumos que são armazenados em sacas, a unidade produtiva dispõe de um depósito coberto onde as sacas podem ser depositadas.

O volume de produção de etanol hidratado diário, obtido pelo balanço material, é de 1785 m<sup>3</sup>. A capacidade de armazenamento desse produto foi estipulada para a quantidade produzida durante uma semana completa, pois o escoamento da produção é planejado, de modo que o prazo máximo não exceda 7 dias. Assim sendo, é necessário um volume de armazenagem, com uma tolerância de 15000 m<sup>3</sup>.

A Cálamo utilizará 6 tanques para armazenamento de etanol hidratado, com volume de 2840 m<sup>3</sup> cada um. Estes equipamentos estão ilustrados na Figura 55, e as especificações gerais do projeto dos tanques estão dispostas no Apêndice G.

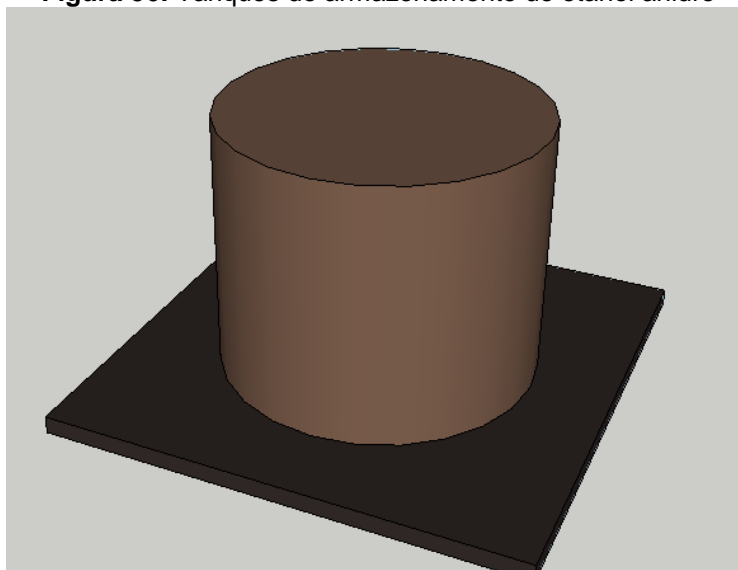
**Figura 55:** Tanques de armazenamento de etanol hidratado



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Analogamente, o volume de etanol anidro produzido diariamente é de 22.178,64 galões, e a capacidade de armazenamento, para uma semana de produção, utilizando uma tolerância de 20%, é de 186.300,58 galões. Sendo assim, a unidade armazenadora, representada na Figura 56, terá a capacidade de 200.000 galões.

**Figura 56:** Tanques de armazenamento de etanol anidro



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Em cumprimento à norma obrigatória para as indústrias do ramo, a Cálamo dispõe de um tanque de armazenamento de água para incêndio, com a capacidade de 600 mil galões.

Esta área da unidade industrial também possui um tanque para armazenagem de ácido sulfúrico que será construído na cor laranja, indicando a presença de material ácido, em SS316, com capacidade de 12.600 galões.

## **14 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

Nessa seção será apresentado o dimensionamento dos equipamentos, bem como suas especificações. Para realização do mesmo, levou-se em consideração os dados obtidos por meio dos balanços de massa e energia realizados.

Para cada Área industrial, foram fornecidas as informações necessárias para projeto e/ou especificação de cada item, e a representação de cada um dos equipamentos se encontra nos Apêndices das respectivas áreas,; no Apêndice H estão apresentados os equipamentos do Setor 1000, no Apêndice I estão dispostos os equipamentos do Setor 2000 e no Apêndice J os do Setor da Destilaria.

As bombas para transporte de fluidos utilizadas em toda a unidade industrial serão do tipo centrífuga, e tem por finalidade diminuir as ações das perdas de carga durante o transporte dos fluidos. A mesma foi escolhida por possibilitar a utilização de diversos tipos de rotores e ser aplicável para diferentes fluidos.

Ao todo terão dispostos dentre a unidade fabril aproximadamente 180 bombas que possuirão diferentes conformações, deste modo atendendo as necessidades de cada operação.

### **14.1 Setor 1000 – Processo de 1ª Geração**

#### **14.1.1 Área 1110**

Essa área possui uma sonda na qual realiza 6 coletas por hora, sendo que cada uma aferi 150 gramas de cana colhida. Além disso, o processo de recepção contém uma esteira para o transporte e limpeza da cana, que opera a 20 m/s e tem capacidade para transportar até 700 toneladas de cana por hora. Visto a necessidade da maior remoção de impurezas minerais, a esteira possui uma angulação de 10° e é vibratória. No apêndice H.1 são apresentadas as dimensões de ambos equipamentos.

#### **14.1.2 Área 1200**

Essa área também possui uma esteira para o transporte e limpeza da cana, que opera a 20 m/s e tem capacidade para transportar até 700 toneladas de cana por

hora. Visto a necessidade da maior remoção possível da palha, a esteira possui uma angulação de 10° que juntamente com a corrente de ar (o que difere a esteira da área 1110) promoverá uma maior retirada de impurezas minerais e palhas. Pode-se verificar no apêndice H.2 as dimensões dos equipamentos.

#### 14.1.3 Área 1300

Essa área contém o Preparação para moagem (PM-1301) juntamente com a esteira que o auxilia; neste processo, são retirados da cana-de-açúcar possíveis metais por meio de um imã, sem necessidade de intervenção manual e interrupção do fluxo. As especificações e desenho técnico desta área é apresentada no Apêndice H.3.

#### 14.1.4 Área 1400

Essa área contém o desfibrador D-1401 juntamente com a esteira que o auxilia. Neste processo a cana-de-açúcar aumenta sua área específica por meio de facas e martelos anexados ao eixo rotativo, com velocidade de 100 RPM. Pode-se verificar no apêndice H.4 as dimensões dos equipamentos.

#### 14.1.5 Área 1500

Essa área contém a moenda MO-1501 juntamente com a esteira que o auxilia, e neste processo é extraído o caldo por compressão (pressão 21 kg/f/cm<sup>2</sup>) por meio de um conjunto de 6 ternos, os quais estão com dimensões apresentadas no Apêndice H.5.

#### 14.1.6 Área 1620

O vaso de aquecimento possui 600 m<sup>3</sup>, com dimensões dispostas no apêndice H.6 e devido ao seu grande volume, se faz necessário a utilização de serpentinas

dispersas em seu interior para promover o aumento de temperatura. Destaca-se que o aquecimento no vaso é realizado pelo uso de utilidade quente, já discutida na análise de Integração Energética do processo Cálamo.

#### 14.1.7 Área 1630

O vaso de flasheamento possui um volume útil de 700 m<sup>3</sup> e suas dimensões estão expressas no Apêndice H.7. Visto que neste processo ocorrem tanto compressão e descompressão do recipiente, se faz necessário a utilização de uma bomba vácuo de 70 bar, que promoverá as condições ideais de operação para o equipamento.

#### 14.1.8 Área 1640

O tanque de Calagem possui um sistema de mistura do tipo pás em ancoras que consomem 12 kW, além de possuir um volume de 140 m<sup>3</sup>. Devido ao sistema promover a formação de vortex, será utilizado um sistema de chicanas no intuito de minimizar a perda de volume útil no equipamento. O dimensionamento deste equipamento se encontra no Apêndice H.8

#### 14.1.9 Área 1650

O decantador (D-1651) deve ter uma velocidade de entrada de caldo lenta para diminuir ao máximo as turbulências provocadas pelo mesmo. O equipamento deve conter no eixo central pás do tipo raspagem, de agitação lenta (10 RPM) pelo mesmo motivo já citado.

O D-1651, com volume igual a 700m<sup>3</sup>, possui tempo de residência do caldo de uma hora, sendo que a retirada do lodo deve ser contínua para não haver desenvolvimento de microorganismos.

O dimensionamento deste equipamento se encontra no Apêndice H.9.

#### 14.1.10 Área 1700

O sistema de filtração é composto por um filtro rotativo à vácuo, cuja área de filtração foi determinada por meio do balanço de massa e resultou em um valor de 30 m<sup>2</sup>, com dimensões expressas no Apêndice 10.

#### 14.1.11 Área 1710

A área de Junção dos Caldos receberá aproximadamente 660 m<sup>3</sup>/h de caldo, e visto que serão necessários apenas 10 minutos para fazer a junção e misturação, a Cálamo irá utilizar um tanque de 112 m<sup>3</sup> que está representado e dimensionado no Apêndice H.11.

Por se tratar de uma solução com alto grau de viscosidade, se utilizará pás do tipo âncora que promoverão a homogeneidade do sistema. O rotor do misturador tem um consumo de 10 kW.

### 14.2 Setor 2000 – Processo de 2ª Geração

#### 14.2.1 Área 2100

Nesta área da unidade industrial de recebimento do palhiço será composto por uma esteira transportadora fixa que realizará o transporte da matéria até a área de armazenamento. Por possuir um sistema de controle de velocidade, esse modelo possibilita o transporte de até 60 toneladas de palhiço por hora, se enquadrando deste modo às necessidades da Cálamo. O dimensionamento e representação da esteira se encontra no Apêndice I.1.

#### 14.2.2 Área 2200

Essa Área, que corresponde ao transporte e manuseio da matéria-prima 2G, possui duas esteiras, sendo uma vibratória, que possibilita a remoção das impurezas do palhiço em sua totalidade; e outra fixa, que realizará o transporte do bagaço e da



palha até o alimentador da explosão a vapor. Ambas possuem uma angulação de 10°, e trabalham em uma velocidade que varia de 10 a 30 m/s.

O dimensionamento e a exemplificação destes equipamentos estão apresentados no Apêndice I.2.

#### 14.2.3 Área 2300

Como especificado no Apêndice I.3 e I.4, essa área é composta por um alimentador rosca sem fim e 5 reatores de explosão a vapor que irão operar em paralelo.

O Alimentador é composto por um parafuso sem-fim e uma tremonha, que permite manter a alimentação contínua no reator. De acordo com dados de Perry (1988) para a quantidade de matéria prima que a Cálamo irá processar, será necessário que o equipamento opere a 55 RPM.

Devido o reator de explosão a vapor possuir um tempo de descompressão de apenas 2 segundos, e um tempo total de trabalho de 2 minutos, seria necessário um reator de 238 m<sup>3</sup>; esse valor foi determinado por meio da razão entre a vazão de cada componente e suas respectivas massas específicas. A Cálamo, visando possuir um melhor controle do processo, utilizará 5 reatores de 48 m<sup>3</sup>.

#### 14.2.4 Área 2400

O filtro F-2401 situado na área 2400 da área industrial é do tipo tambor rotativo horizontal e tem a capacidade de processar até 200 m<sup>3</sup>/h, visto que a operação requer um equipamento de alta capacidade. Sua tela de separação tem uma abertura tipo mesh de 270, o que possibilitará a remoção de 98 % dos sólidos, além de possuir um sistema operacional automático de descarga, o que facilitará o manuseio do mesmo.

No Apêndice I.5 pode-se verificar o tamanho e formato deste equipamento.

#### 14.2.5 Área 2500

Com base nas vazões mássicas das correntes 35, 36 e 42 e nas suas respectivas massas específicas, determinou-se o volume do misturador considerando

um nível de segurança de 20%, e o valor obtido foi de 286 m<sup>3</sup> para uma hora de operação.

Como o processo de mistura não envolve reações químicas e, neste caso, pode ser considerado de alta miscibilidade, adotou-se um tempo de residência de 10 minutos, deste modo sendo necessário apenas um misturador de 48 m<sup>3</sup>.

Os agitadores serão de pás radiais, e haverá instalação de chicanas para minimizar a formação de vortex que promoveriam a perda de volume útil do equipamento. As dimensões do misturador estão apresentadas no Apêndice I.6.

#### 14.2.6 Área 2600

Na hidrólise enzimática será utilizado um reator de escoamento com agitação e sistema de arrefecimento, assim minimizando regiões de estagnação e possíveis superaquecimentos locais.

Com base nos balanços de massa e energia, e sabendo que para as reações acontecerem se faz necessário um tempo de residência de 24 horas, verificou-se que serão necessários 16 reatores de 424 m<sup>3</sup>, como exemplificado no Apêndice I.7.

O sistema de arrefecimento será composto por serpentinas internas para manter a temperatura homogênea (isotérmica) ao longo de toda a extensão do reator, deste modo minimizando a formação de zonas que possibilitariam o aquecimento e desnaturação da enzima.

O sistema de agitação terá 10 pás helicoidais, distribuídas axialmente que promoverão a homogeneidade do sistema.

#### 14.2.7 Área 2700

O filtro presente na Área 2700 segue o mesmo dimensionamento e especificações do filtro F-2401 situado na Área 2400; porém, devido existir uma menor diferença de massa específica entre os produtos a serem separados, haverá uma eficiência de 95% de separação. As dimensões do mesmo estão apresentadas no Apêndice I.8.

#### 14.2.8 Área 2800

A unidade industrial utilizará a centrífuga separadora tipo SCM 2000, que é projetada para separação contínua de sólidos em destilarias de álcool.

Esse tipo de centrífuga possui uma eficiência de 50% e seu motor de acionamento opera a 1775 RPM, possibilitando uma capacidade de operação de até 270 m<sup>3</sup>/h, que está dentro o valor requerido pela Cálamo. A exemplificação do equipamento bem como as dimensões está apresentado no Apêndice I.9.

### 14.3 Setor 3000 – Destilaria

#### 14.3.1 Área 3100

Baseado nos balanços de massa de energia da Área 3100, determinou-se que será necessário a utilização de um tanque de 900 m<sup>3</sup> para o sistema de pasteurização. Devido haver grande volume de operação, optou-se por utilizar pás do tipo ancora para promover uma maior homogeneidade do sistema. A representação e dimensão do tanque de misturação está apresentado no Apêndice J.1.

#### 14.3.2 Área 3200

A unidade industrial utilizará um evaporador de simples efeitos, que possuirá uma área de troca térmica de 287,15 m<sup>2</sup>, valor esse determinado por meio de embasamento nos balanços de massa e energia. O valor adotado pela Cálamo de coeficiente global de troca térmica para efetuar o cálculo foi de 2500 kcal.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> (SOUSA, 2012).

O tipo de evaporador será de calandras verticais, e segundo análise de dados de Araujo (2012), a unidade industrial utilizará tubos de aço com 4,5 m de comprimento e 30 mm de diâmetro, totalizando 678 tubos.

Devido ao evaporador operar a vácuo, será utilizado uma bomba de 50 torr que permitirá manter o sistema na pressão ideal. As especificações, bem com a representação do equipamento se encontra no Apêndice J.2.

#### 14.3.3 Área 3310

O sistema de fermentação compreendido nessa área foi dimensionado para operações em bateladas, que proporcionarão, em conjunto, um processo contínuo.

Em posse dos dados de vazões mássicas determinados por meio da realização do balanço material e dada que a massa específica do mosto é de  $1,06 \text{ t/m}^3$ , determinou-se a vazão volumétrica de alimentação do sistema de fermentação de açúcares C6 ( $967,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ), levando em consideração um fator de segurança de 30% que engloba aspectos como: contenção de gases e a formação de espuma.

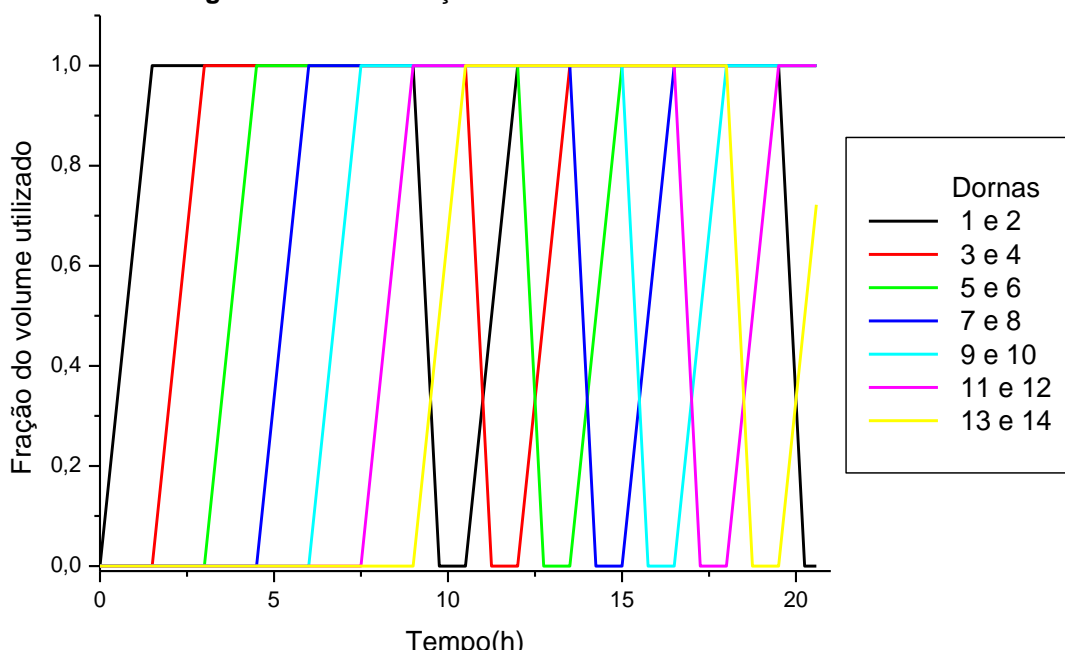
A alimentação das dornas de  $750 \text{ m}^3$  será realizada em paralelo, duas a duas, demandando dessa forma um tempo de enchimento de 1,5 h. O tempo de fermentação e esvaziamento, serão de 7,5 h e 0,75 h, respectivamente, sendo requerido um tempo de 10,1 h para essa operação, a qual engloba também os 20 minutos de limpeza dos equipamentos.

Em posse dessas informações de processo, construiu-se a Figura 57, por meio da qual é possível determinar o número mínimo de dornas que serão necessárias na Área 3310 da empresa para um processo contínuo.

Por meio da Figura 57 constata-se que no processo de fermentação de açúcares C6 da Cálamo, serão necessárias 14 dornas de  $750 \text{ m}^3$  cada. Todavia, em virtude de fatores de segurança, a unidade industrial contará com duas dornas reservas, compondo um conjunto de 16 dornas.

Essas dornas alocadas nessa Área terão formato cilíndrico, e serão construídas em aço inox, com altura equivalente a 1,1 do seu diâmetro, em média, sendo instaladas sobre suportes metálicos de 1 m de altura, o que permite sua construção em formato cônico na base.

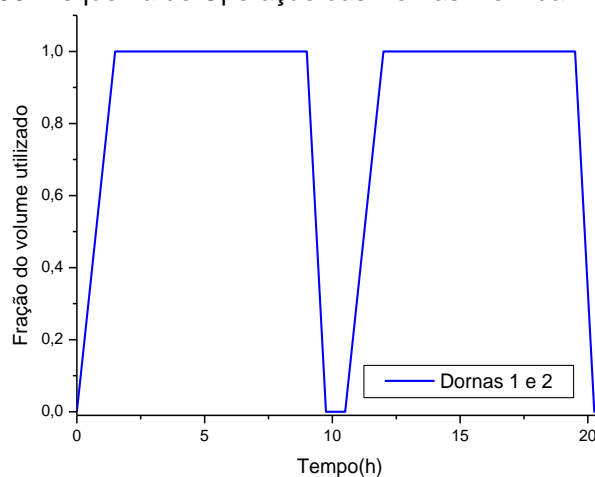
O fundo desses equipamentos é cônico, com válvula de descarga de lodo no seu vértice, e descarga de água de lavagem, bem como limpeza e envio de vinho para o sistema de centrifugação após a fermentação.

**Figura 57:** Determinação do número de dornas da Área 3310.

Esses equipamentos serão fechados para a recuperação do etanol arrastado pelos gases desprendidos no processo exotérmico de transformação dos açúcares em etanol, no qual há desprendimento de gás carbônico e calor.

Desse modo, as dornas utilizam sistema de refrigeração interna por meio de serpentinas, em circulação fechada, para manter a temperatura do mosto das dornas nas condições ideais para as leveduras e para a otimização do processo de fermentação alcoólica.

As dimensões básicas de projeto desses equipamentos estão apresentadas no Apêndice J.3, e a Figura 58 ilustra o esquema de operação das Dornas 1 e 2 situadas nessa Área.

**Figura 58:** Esquema de Operação das Dornas 1 e 2 da Área 3510.

Fonte: Autoria Própria (2018).

#### 14.3.4 Área 3320

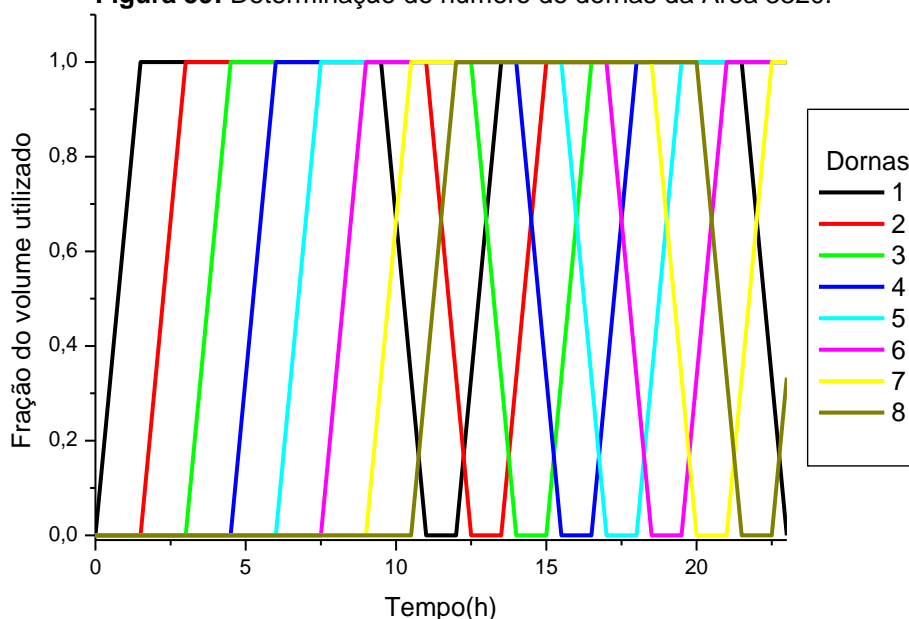
Análogo ao processo de dimensionamento realizado na fermentação de açúcares C6, o sistema de fermentação de pentoses compreendido na Área 3320 da unidade industrial foi concebido para um processo contínuo com operação em batelada.

Para termos de projeto, com base na composição da corrente de alimentação dessa etapa da unidade produtiva, estimou a massa específica do mosto ( $1,04 \text{ t/m}^3$ ), sendo possível determinar a vazão volumétrica de alimentação do sistema de fermentação de açúcares C5 ( $261,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ), levando em consideração um fator de segurança de 30%.

Como o volume de operação da fermentação de pentoses é menor quando comparado com o processo fermentativo de C6, as dornas alocadas nessa Área dispõem de um volume inferior ( $400 \text{ m}^3$  cada) e o sistema não apresenta alimentação paralela, o que demanda desse modo um tempo de enchimento de 1,5 h para cada tanque.

Os tempos de fermentação e esvaziamento serão de 8 h e 1,5 h, respectivamente, sendo totalizado um tempo de 11,3 h para essa operação, a qual engloba também 20 minutos de limpeza desses equipamentos.

Em posse dessas informações de processo, construiu-se a Figura 59, por meio da qual é possível determinar o número mínimo de dornas que serão necessárias na Área 3520 da empresa para um processo contínuo.

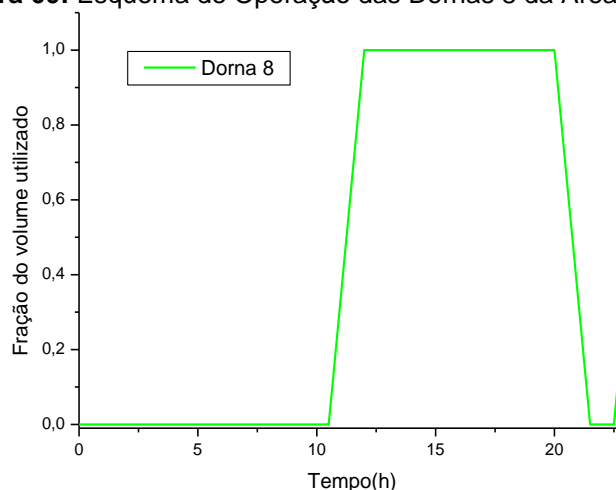
**Figura 59:** Determinação do número de dornas da Área 3320.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Por meio da Figura 59 constata-se que no processo de fermentação de pentoses da Cálamo serão necessárias 8 dornas de 400 m<sup>3</sup> cada. Todavia, em virtude de fatores de segurança, a unidade industrial também irá dispor de uma dorna reserva, o que corresponderá a um conjunto de 9 dornas.

Os equipamentos situados nessa Área terão os mesmos diferenciais e especificações das dornas alocadas na Área 3510, excetuando-se as dimensões básicas de projeto, bem como os respectivos volumes úteis, pormenorizados no Apêndice J.4.

A Figura 60 ilustra o esquema de operação da Dorna 8 situada nessa Área do processo produtivo.

**Figura 60:** Esquema de Operação das Dornas 8 da Área 3520.

Fonte: Autoria Própria (2018).

### 14.3.5 Área 3400

O etanol arrastado com o dióxido de carbono, desprendido nas dornas de fermentação situadas nas Áreas 3310 e 3320 da unidade industrial, será recuperado por absorção em contracorrente com água, numa coluna de pratos com eficiência de 30%.

Para determinação do número teóricos de pratos dessa coluna de absorção, utilizou-se a equação de Kremser (Equação 12), e dados de solubilidade do etanol em água ( $m = 1,0682$ ), o qual corresponde à inclinação da linha de equilíbrio (LABVIRTUAL, 2018).

$$N = \frac{\log \left[ \frac{y_1 - m \cdot x_2}{y_2 - m \cdot x_2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{A_1 A_2}} \right) + \frac{1}{\sqrt{A_1 A_2}} \right]}{\sqrt{A_1 A_2}} \quad (12)$$

em que:  $A_1$  e  $A_2$  correspondem aos fatores de absorção, determinados respectivamente pelas razões  $(L_1/(m \cdot G_1))$  e  $(L_2/(m \cdot G_2))$ , nos quais os sub-índices 1 e 2 correspondem à base e o topo da coluna.

Desse modo, em posse dos dados dispostos na Tabela 40, determinados por meio do balanço material realizado anteriormente, e aplicando a Equação 12, considerando-se a eficiência (30%), conjectura-se que a coluna de absorção compreendida nessa área deverá ter 3 estágios reais.

**Tabela 40: Dados para dimensionamento da coluna de absorção**

Vazões Molares (kmol/h)		Fração molar de etanol	
$L_1$	3090,6	$x_1$	1,32E-02
$L_2$	3131,9	$x_2$	0
$G_1$	1318,3	$y_1$	5,64E-02
$G_2$	1277,1	$y_2$	3,26E-04

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

As dimensões básicas de projeto dessa coluna de absorção estão representadas no Apêndice J.5.



#### 14.3.6 Área 3510

Nessa área, o sistema de centrifugação utilizado será composto por 4 centrifugas tubulares, das quais uma se encontrará em *stand-by*. Sabe-se que a mesma opera a 7830 RPM, e cada uma possui uma capacidade de centrifugação de 50 m<sup>3</sup>/h, valor esse já considerando 15% de fator de segurança.

Visto que a fração líquida expedida deste equipamento possui grandes quantidades de sólidos, e a mesma poderá danificar os equipamentos em sequência, escolheu utilizar-se uma centrifuga que possui 95% de eficiência de remoção de sólidos. A exemplificação do equipamento bem como as dimensões está apresentado no Apêndice J.6.

#### 14.3.7 Área 3520

A Área em questão possui um sistema de centrifugação e peneiramento, no qual as centrifugas dessa área possuem as mesmas especificações e dimensões da Área 3510; entretanto, por processar uma vazão menor de produtos, será necessário apenas 2 centrifugas (das quais somente uma irá operar e outra permanecerá em estado ocioso).

Após o sistema de centrifugação, a fração sólida passa por peneiras do tipo mesh 160, que possuem uma eficiência de separação de 50%. A especificação deste equipamento se encontra no Apêndice J.7.

#### 14.3.8 Área 3600

Nesta Área há um tanque para tratamento da levedura. Por meio da vazão mássica processada, verificou-se que o volume útil do tanque é de 140 m<sup>3</sup>, e será necessário que a construção deste tanque seja em uma liga metálica Incoloy devido a utilização de ácidos durante o tratamento.

O sistema de agitação utilizado deverá ser moderado de forma a evitar a perda de atividade da levedura. Em vista disto, será utilizado um impelidor para a agitação. A potência dos agitadores será de 10 kW. Os dimensionamentos dos tanques de tratamento de levedura se encontram no Apêndice J.8.

### 14.3.9 Área 3700

Os dados da unidade de destilação inerentes ao processo produtivo da Cálamo foram concebidos por meio de um processo de *Benchmarking* com uma indústria em operação do mesmo segmento, visando captar o cenário real de produção e operação, conforme descrito na Tabela 42.

Para termos de projeto, considerou-se regime estacionário, sistema adiabático, negligenciou-se o trabalho, bem como as variações de energias cinética e potencial nas colunas.

A especificação das colunas deste sistema de destilação é possível visto que: i) a razão de refluxo adotada para operação; ii) as temperaturas e iii) as composições das correntes de alimentação e saída dessa área da unidade produtiva são iguais aos da indústria em operação.

As dimensões básicas desse sistema de destilação estão pormenorizadas nos Apêndices J.9 e J.10.

**Tabela 42:** Especificação da unidade de destilação.

Coluna	Número de Pratos	Prato de Alimentação			P <sub>BASE</sub> (kPa)	P <sub>TOPO</sub> (kPa)
		Alimentação		Refluxo		
<b>A</b>	19	Base A1	-	19	152,5	139,3
<b>A1</b>	8	Topo A / Base D	2	-	139,3	136,3
<b>D</b>	6	Topo A1	-	1	136,3	133,8
<b>B</b>	23	Topo B1	22	1	125,8	116
<b>B1</b>	23	Base B	-	23	135,7	125,8

Fonte: JUNQUEIRA, 2010.

### 14.3.10 Área 3800

Para especificação da coluna de destilação extrativa foi considerado muitas informações já fixadas na literatura e atualmente em operação nas demais indústrias do segmento.

Em termos de projeto, especificou-se uma coluna de extração com 32 estágios, com alimentação do solvente (MEG) no terceiro prato, e a corrente de etanol hidratado no vigésimo quarto prato.

As dimensões básicas de projeto dessa coluna estão detalhadas no Apêndice J.11.

#### 14.3.11 Área 3900

Semelhante à etapa de especificação da coluna de destilação extrativa, a coluna de recuperação do solvente MEG foi especificada com base em dados já fixados na literatura e que estão em operação nas demais indústrias desse segmento que optam por esse processo de obtenção do etanol anidro.

Nesse sentido, a coluna de recuperação situada nessa Área da unidade industrial terá 18 pratos, com a alimentação da corrente proveniente da Área 3800 no nono prato. As demais informações e dimensões básicas dessa coluna estão indicadas no Apêndice J.12.

## **15 LAYOUT DA EMPRESA**

É de prévio conhecimento que durante a realização do projeto de uma indústria os processos realizados devem ser fisicamente arranjados de forma que o deslocamento de pessoas e matérias seja mínimo. Baseado nesses fatores, o layout da unidade industrial, apresentado no Apêndice K, foi projetado de modo a utilizar a menor área possível, e visando a redução de custos com o transporte das matérias primas e produtos.

Visando realizar boas práticas de engenharia e de modo a viabilizar a aprovação, vistoria e fiscalização dos órgãos competentes, pode-se verificar pelo layout que os tanques de armazenamento de etanol da empresa possuirão uma distância considerável da planta industrial, no intuito de evitar qualquer descarga acidental desses líquidos, que poderão ameaçar importantes instalações além da segurança dos trabalhadores da empresa (ABNT, 2000).

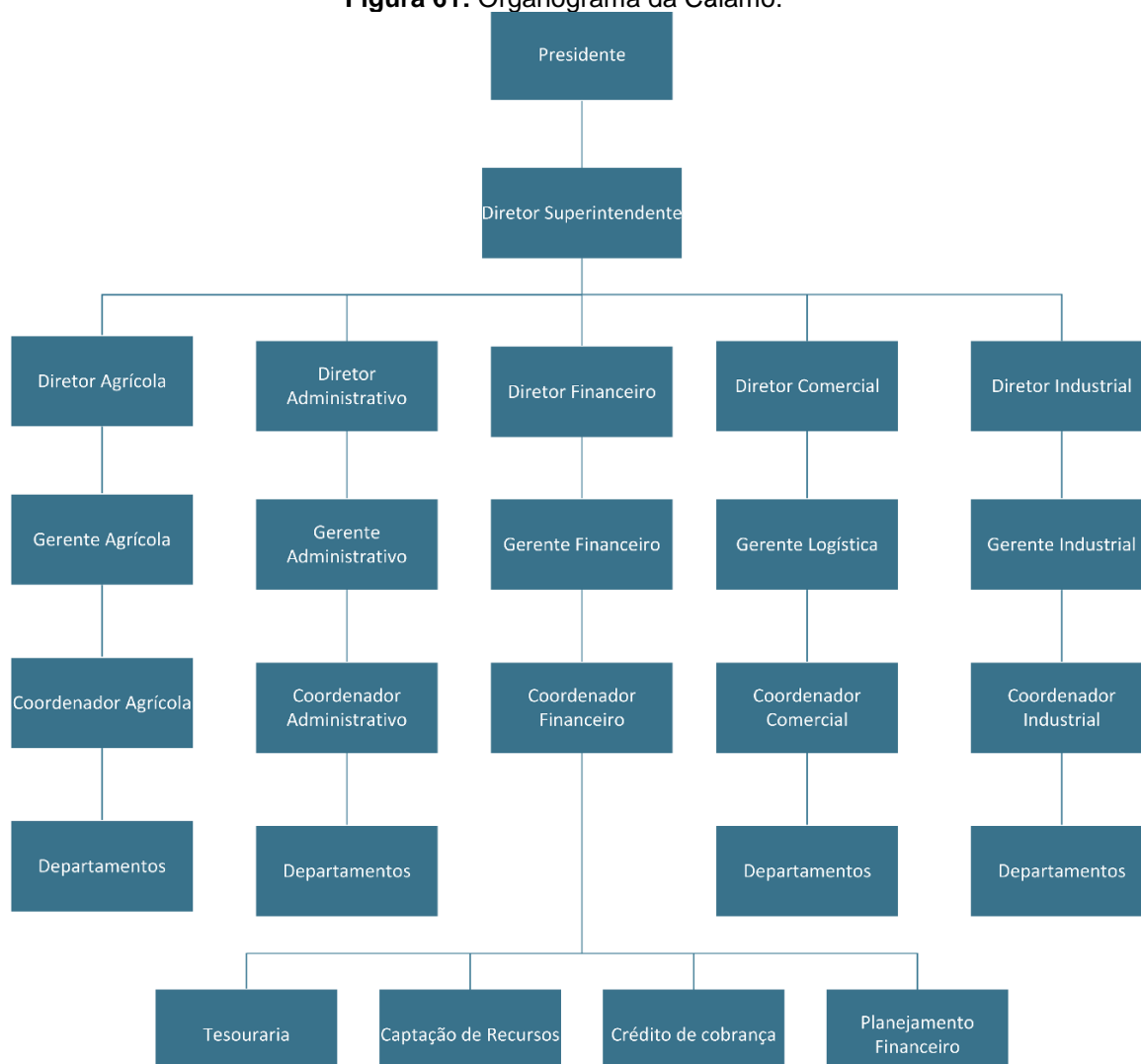
## 16 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

### 16.1 Organograma

Baseando em seu planejamento estratégico e na manutenção da cultura organizacional, a Cálamo adotará uma estrutura menos rígida e mais participativa nas tomadas de decisão.

Desse modo, a estrutura da empresa, apresentada na Figura 61, composta por cinco áreas, sendo agrícola, administrativa, financeira, comercial e industrial, preza pela comunicação inter-departamental e possibilita um ambiente mais interativo, refletindo diretamente na produtividade e na excelência operacional da unidade produtiva.

**Figura 61:** Organograma da Cálamo.



**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

O presidente da Cálamo será o responsável por promover a expansão e internacionalização da empresa, além de zelar das relações com a sociedade e o governo, por meio de alianças estratégicas e o cultivo da cultura organizacional, como forma de dar prosseguimento ao trabalho ou como mudança de ação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2005).

O diretor superintendente trabalhará em parceria com a presidência, sendo responsável por administrar as decisões financeiras, industriais, administrativas, comerciais e agrícolas, além de ser o responsável por suprir a ausência do presidente (CÔRREA e CÔRREA, 2007).

Os gerentes, em suas respectivas áreas, planejarão e desenvolverão estratégias e processos, atuando de forma conjunta com os coordenadores, os quais conduzirão diariamente os processos traçados pelos diretores, sendo ainda responsáveis pelo treinamento e motivação dos departamentos subordinados (FAYOL, 1978).

A área agrícola será estruturada por intermédio das atividades do coordenador agrícola, que integrará o time corporativo da unidade industrial, planejando as áreas de preparo, plantio, tratos culturais e irrigação, e buscando constantemente o monitoramento dos canaviais, bem como coordenar os trabalhos relativos às operações de equipamentos automotivos diversos. Esses acompanhamentos serão realizados pelos departamentos de planejamento ambiental, assistência agrícola e de engenharia rural.

O coordenador industrial será responsável pelas atividades do processo, desde a chegada de matérias-primas, até o despacho dos produtos, e suas atividades estarão vinculadas aos departamentos de manutenção, qualidade, produção, segurança no trabalho e almoxarifado. Cada um desses departamentos irá dispor de um conjunto de profissionais capacitados, composto por operadores, engenheiros e técnicos (GAITHER e FRAZIER, 2002)

Alinhar a produção com a demanda de mercado, definir preços, traçar metas e objetivos para equipe comercial, serão atividades do coordenador comercial. É por ele que passará as estratégias de marketing, a análise da concorrência, orçamentos, vendas e compras da unidade industrial. Suas atividades estarão vinculadas aos departamentos de vendas, logística, marketing, compras e o Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC). Em cada um desses departamentos, a Cálamo contará com colaboradores especializados e antenados ao mercado nacional.

A elaboração da folha de pagamentos, e todo planejamento financeiro da unidade industrial, serão algumas das atribuições do coordenador financeiro em conjunto com os departamentos de tesouraria e captação de recursos, créditos de cobrança e planejamento financeiro.

O setor burocrático e o demonstrativo de resultados trimestrais da Cálamo serão sistematizados pelo coordenador administrativo, em parceria com os departamentos alocados nessa área: jurídico, contábil, recursos humanos, qualidade no trabalho e de tecnologia da informação. Tais departamentos facilitarão o trabalho dos responsáveis pelas relações externas da empresa, por meio da elaboração de documentos, contratos e licitações da empresa, além de transmitir com clareza e objetividade as estatísticas da Cálamo.

O departamento de qualidade no trabalho instalado na área administrativa, garantirá a qualidade de vida dos colaboradores de todas as áreas da unidade produtiva, por meio do trabalho de profissionais qualificados da área da saúde, como psicólogo, nutricionista, enfermeiro e médico do trabalho, visando melhorar o ambiente de trabalho e dar suporte aos funcionários.

## **16.2 Quadro de colaboradores**

O quadro de colaboradores da Cálamo foi estruturado com base na previsão do volume de operações da unidade industrial, fundamentando-se no porte do empreendimento, na tecnologia aplicada aos processos e na qualidade de vida oferecida pela empresa aos seus membros.

Na Tabela 43 está apresentado as vagas que serão oferecidas pela empresa, para compor o quadro de colaboradores da Cálamo.

Em futuras oportunidades, no caso de expansão da unidade industrial, o quadro de colaboradores será reestruturado, de modo a atender às demandas da empresa, averiguando quais áreas carecem de novos profissionais e quais vagas serão oferecidas.

**Tabela 43:** Quadro de Colaboradores.

<b>Cargo</b>	<b>Vagas</b>
Presidente	1
Diretor Superintendente	1
Diretor Industrial	1
Gerente Industrial	1
Coordenador Industrial	1
Engenheiro de Segurança no Trabalho	1
Engenheiro Químico	3
Químico Industrial	3
Engenheiro Mecânico	3
Engenheiro de Produção	3
Engenheiro Eletricista	3
Técnico em Eletrotécnica/Produção Sucroalcooleira/Segurança no trabalho/Química	18
Químico	3
Operadores	150
Diretor Agrícola	1
Gerente Agrícola	1
Coordenador Agrícola	1
Engenheiro Ambiental	2
Agrônomo	2
Técnico Ambiental/Agrícola	4
Diretor Comercial	1
Gerente Comercial	1
Coordenador Comercial	1
Encarregado do departamento de Vendas	1
Encarregado do departamento de Compras	1
Encarregado do departamento de Logística	1
Encarregado do departamento de Marketing	1
Técnico em Logística	2
Técnico em Vendas	2
Técnico Administrativos	3
Diretor Financeiro	1
Gerente Financeiro	1
Coordenador Financeiro	1
Contador	2
Diretor Administrativo	1
Gerente Administrativo	1
Coordenador Administrativo	1
Gerente de RH	1
Auxiliar de Escritório	8
Recepcionista	3
Porteiro	6
Zelador	3
Advogado	1
Cozinheiro	6
Nutricionista	1
Médico	1
Enfermeiro	1
Psicólogo	1
Jovem Aprendiz	5
Estagiário	10

**Fonte:** Autoria Própria (2018).



## **17 ANÁLISE FINANCEIRA**

Com o fim de quantificar a viabilidade do empreendimento Cálamo, a seguir será pormenorizado a análise econômica do mesmo, na qual foram considerados diversos fatores, entre eles a localização e construção fabril, os custos de produção e investimento dos equipamentos utilizados, assim como o quadro de funcionários e tributações necessárias.

### **17.1 Terreno da planta industrial e construção civil**

Como já mencionado na sessão Decisão Locacional, a implantação da Cálamo na cidade de Itupeva –SP tem grande influência do projeto municipal “InovAção Itupeva”, na qual contempla a mesma com o terreno de 105.607 m<sup>2</sup> doados, visando a grande empregabilidade da indústria na região.

#### **17.1.1 Unidade Sede Cálamo**

Para a construção da sede da indústria, serão necessários R\$70.580.375,72, os quais incluem os gastos em construção civil, que compreende a área produtiva, o setor administrativo e financeiro, além do refeitório/vestiário; este valor está levando em consideração o padrão de acabamento normal, que atende de maneira satisfatória as necessidades da Cálamo. Serão gastos mais R\$24.200.000,00 em toda a estruturação metálica e isolamento das tubulações, um total de R\$101.780.375,72 de investimento em construção.

### **17.2 Equipamentos**

Na Tabela 44 são explanados os valores necessários para o investimento inicial em cada setor para a compra dos equipamentos e/ou estrutura física. Os valores foram baseados em pesquisas de campo e cotações entre possíveis fornecedores. A descrição completa, contendo o preço individual de cada setor, está pormenorizado no Apêndice L.

**Tabela 44:** Investimento inicial setorizado.

<b>Setorização</b>	<b>Valor investido</b>
Setor 1000 - 1º Geração	R\$25.676.263,88
Captação e distribuição de Água	R\$2.244.889,85
Sistema de combate à incêndio e Segurança do Trabalho	R\$4.403.058,00
Setor 2000 - 2º Geração	R\$194.639.557,64
Geração de Vapor e Eletricidade	R\$74.235.571,49
Serviços Gerais	R\$4.876.820,99
Estocagem e Carregamento do Etanol	R\$15.754.619,37
Estação de Tratamento de efluentes	R\$492.112,96
Setor 3000 – Destilaria	R\$82.917.475,61
Investimento em Infraestrutura	R\$175.781.779,12
Instituto Cálamo e Laboratórios	R\$966.657,54
<b>Total</b>	<b>R\$581.988.806,45</b>

**Fonte:** Autoria própria (2018).

Vale também destacar que a partir do primeiro ano de operação já há desgaste dos equipamentos, chamado de depreciação, e o mesmo pode ser causado pelo uso, obsolescência ou desgaste natural do bem. Desta forma, para o cálculo do mesmo, considerou-se uma taxa de depreciação de 10% para os equipamentos industriais, máquinas, instalações em geral e móveis. Para os veículos, utilizou-se 20%, e 4% para as construções civis, totalizando em R\$ 52.293.204,93 anuais de valor depreciado.

### 17.3 Colaboradores Cálamo

Visando no melhor produto fina para seus clientes, a Cálamo investe em mão-de-obra especializada e bem remunerada. Os custos destes referem-se aos gastos com funcionários que colaboram para transformar a matéria-prima em produtos, de forma direta ou indireta. Nesse custo está incluso os valores referentes à remuneração e aos encargos tanto social como trabalhistas.

Visando atender o artigo 7 da constituição brasileira, a Cálamo terá jornadas de trabalho de oito horas diárias, totalizando 44 horas semanais, o que proporcionará a seus funcionários uma remuneração superior ao piso salarial, além de repouso semanal remunerado, bem como os demais direitos descritos neste artigo.

Visto que todos os trabalhadores da unidade industrial estão expostos a riscos invisíveis, é necessário o pagamento de um adicional de 30% sobre o salário para todos os funcionários, além de um acréscimo de 20% para os colaboradores que

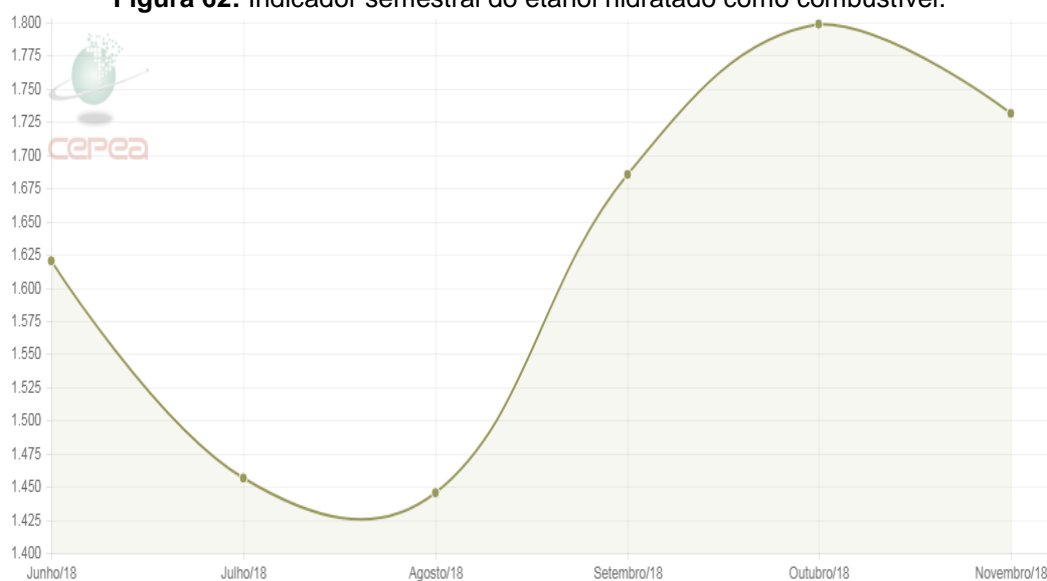
exercem atividades no período entre as 22:00 e 5:00 horas da manhã, uma vez que a empresa opera em 24 horas diárias divididos em três turnos, por um período de 6 meses.

Os cargos referentes a unidade industrial apresentados na Tabela 43 serão alocados conforme a necessidade de cada setor. Os salários referentes a cada função, assim como os encargos, estão dispostos no Apêndice M e representam um custo de aproximadamente R\$ 16,3 milhões ao ano.

#### **17.4 Resumo da Receita anual**

Em condições nas quais a unidade produtiva trabalha com 100% de sua capacidade, e considerando 24 horas de trabalho ao longo de 170 dias por ano, a receita anual compreende todo o ganho associado aos produtos e subprodutos com valor agregado da Cálamo. Vale ressaltar que no período de entressafra não há a colheita da cana, logo não há a produção de etanol e seus subprodutos; porém haverá a venda da produção de energia excedente, a partir da queima do bagaço estocado (esta área terá duração de 345 dias por ano).

O álcool hidratado, um dos principais produtos da Cálamo, apresentou durante o ano de 2018 uma grande oscilação em seu valor de comércio, como mostra a Figura 62. Essa oscilação será levada em consideração para estimativa dos valores de comércio dos produtos Cálamo. Com isso, a primeira estimativa de valor será para todos os produtos Cálamo será a média anual de preços encontrados no mercado. Apesar das flutuações de preço que tanto a matéria-prima como os produtos obtidos pela Cálamo sofrem ao longo do ano, a média dos preços é uma estimativa segura que pode ser empregada para ser obter uma previsão do lucro da empresa.

**Figura 62:** Indicador semestral do etanol hidratado como combustível.

Fonte: CEPEA, 2018.

Na Tabela 45 é descrito todos os ganhos da Cálamo, assim como sua produção por hora e anual, preço unitário e a receita total propriamente dita.

**Tabela 45:** Receita anual Cálamo

Corrente	Produto	Produção (t/h)	Produção unitária/ano	Preço unitário	Receita anual
63	Álcool hidratado (L)	56,5	291428571,4	R\$1,69	R\$492.514.285,71
66	Álcool anidro (L)	2,8	14156133,8	R\$1,85	R\$26.188.847,58
61	Gás carbônico (t)	56,2	229296,0	R\$70,70	R\$16.211.227,20
22	Torta de filtro (t)	92,3	376584,0	R\$19,50	R\$7.343.388,00
58.1	Levedura (t)	39,6	161568,0	R\$25,00	R\$4.039.200,00
-	Créditos de Carbono	123,6	504288,0	R\$71,80	R\$36.207.878,40
-	Energia elétrica (MWh)	-	203680,4	R\$537,00	R\$109.376.396,28
<b>Total</b>					<b>R\$691.881.223,18</b>

Fonte: Autoria própria, 2018.

Vale ressaltar que a energia elétrica vendida compreende a energia elétrica excedente do processo industrial durante os 6 meses de operação, e nos outros dias subsequentes, a mesma compreende a quantidade de bagaço armazenado que é destinado para a caldeira.

Uma parcela considerável da receita da empresa é devida a venda de créditos de carbono, sendo que, segundo Junqueira (2002), para cada tonelada de cana processada, são gerados 0,2 toneladas de (Créditos de Carbono) CBios. Desta forma, o desenvolvimento sustentável, uma das bases da Cálamo, é garantido de forma integral no processo.

Em um sistema de cooperativismo, a Cálamo, juntamente com seus fornecedores de cana-de-açúcar, irá realizar a permutação da vinhaça tratada (rica em nutrientes para o solo) pela palha recolhida na colheita da cana-de-açúcar. Além disso, a empresa também realizará a venda da torta de filtro úmida, com o intuito de compostar o canavial, e conseqüentemente, melhorar a qualidade da cana processada.

A levedura já utilizada, proveniente da purga, será destinada para nutrição animal devido às suas propriedades nutritivas, por meio de um *joint-venture*, com a empresa do seguimento situada próximo a unidade fabril.

#### 17.4.1 Tributações Obrigatórias

Como já citado anteriormente na seção de Decisão Locacional, a cidade sede da empresa contém programa de incentivo à implantação e crescimento de indústria, o qual proporciona a mesma isenção total de alguns impostos, tais como: Imposto Sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana; isenção total do preço público; isenção total do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza; isenção da Taxa de Alvará de utilização, bem como de todos os Impostos e Taxas para legalização da inscrição junto ao Cadastro Municipal, sendo esses não contabilizado neste setor.

Desta forma, na Tabela 46 estão apresentados os valores dos índices dos principais impostos cobrados sobre todos os produtos da Cálamo, sendo que, segundo a Lei nº 10.925/2004 os produtos que são insumos agrícola são isentos dos impostos PIS, COFINS e ICMS.

**Tabela 46: Tributações sobre os produtos Cálamo.**

<b>Produto</b>	<b>Receita anual</b>	<b>PIS</b>	<b>COFINS</b>	<b>ICMS</b>	<b>Valor total</b>
Álcool hidratado (L)	R\$ 492.514.285,71	1,5%	6,9%	10,0%	R\$ 90.622.628,57
Álcool anidro (L)	R\$ 26.188.847,58	1,5%	6,9%	10,0%	R\$ 4.818.747,96
Gás carbônico (t)	R\$ 16.211.227,20	1,7%	7,6%	18,0%	R\$ 4.417.559,41
Torta de filtro (t)	R\$ 7.343.388,00	-	-	-	-
Levedura (t)	R\$ 4.039.200,00	2,0%	5,7%	22,0%	R\$ 1.199.642,40
Energia elétrica (MWh)	R\$ 109.376.396,28	0,7%	3,7%	18,0%	R\$ 24.390.936,37
<b>Total</b>					<b>R\$ 125.449.514,71</b>

**Fonte:** Autoria Própria, 2018.

### 17.4.2 Custos com a Produção

A unidade industrial possui custos fixos e variáveis, do qual o último refere-se ao gasto durante o processo produtivo, e o primeiro, que é independente do nível de atividade da empresa, sendo presente em todos os dias do ano. Além disso, há os custos indiretos que, para a Cálamo, compreende apenas ao custo de manutenção fabril, pois a energia elétrica é produzida na própria indústria a partir da cogeração.

Os custos fixos e variáveis serão dispostos nas Tabelas 47 e 48, respectivamente.

**Tabela 47:** Custos fixos da unidade produtiva

<b>Custos Fixos e variáveis</b>	<b>Valor</b>	
Mão de obra	R\$	16.224.426,98
Limpeza	R\$	96.000,00
Custos Financeiros e administrativos	R\$	240.000,00
Refeitório	R\$	48.000,00
Manutenção	R\$	4.183.456,35
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>20.791.883,33</b>

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

**Tabela 48:** Custos variáveis da unidade produtiva

<b>Produto</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>	<b>Valor (R\$/ t)</b>	<b>Gasto Anual</b>
Cana	2244000,00	R\$68,00	R\$152.592.000,00
Enzina	24072,00	R\$3.750,00	R\$90.270.000,00
Leveduras C5	13464,00	R\$1.080,00	R\$14.541.120,00
Leveduras C6	103360,00	R\$1.055,00	R\$109.044.800,00
Leite de Cal	41964,84	R\$215,00	R\$9.022.440,60
Ácido Sulfúrico	10200,00	R\$2,20	R\$22.440,00
Monotilenoglicol	19176,00	R\$1.950,00	R\$37.393.200,00
Fosfato de Amônio	0,30	R\$350,50	R\$105,15
Água	950852,5577	R\$11,28	R\$10.725.616,85
Frete/Transporte	1	2.644.478,26	R\$2.644.478,26
<b>Total</b>			<b>R\$426.256.200,86</b>

**Fonte:** Autoria própria, 2018.

Tendo em vista o alto custo da cana-de-açúcar para a produção do etanol e assumindo a importância do mesmo para a qualidade do produto final, a Cálamo prioriza o setor agrícola dentro os custos variáveis, o qual será pormenorizado a seguir.

#### 17.4.2.1 Setor Agrícola

Mediante a capacidade de extração de 600 t/h de cana-de-açúcar na unidade fabril, é necessária uma complexa logística do setor agrícola. Para garantir a excelência do mesmo, a Cálamo opta por comprar a principal matéria-prima já colhida. Fazendo uma média dos últimos 5 anos do preço da tonelada da cana-de-açúcar, tal valor gira em torno de R\$ 68,00 reais (UDOP, 2018).

Os agricultores deverão estar em um raio de 50 km da sede industrial, e serão responsáveis pelo plantio, colheita, maquinário e frete da cana; este último item representa um custo de R\$ 2.644.478,26 por ano em transporte, o que inclui o salário dos caminhoneiros, e custo com caminhões e manutenção.

#### 17.4.3 Capital de Giro

O capital de giro engloba o investimento total para a construção da indústria assim como o capital necessário para o funcionamento durante os 3 primeiros meses. Desta forma, o capital de giro será de R\$149.014.537,90, o que corresponde ao valor trimestral dos custos fixos e variáveis de produção.

#### 17.4.4 Financiamento

O valor total a ser financiado é de aproximadamente R\$731 milhões, o que compreende ao investimento somado ao capital de giro. Pelo fato do alto valor de empréstimo, é necessário realizar dois financiamentos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES), sendo ambos pelo programa “BNDES - Proreforma Industrial”, pois o empreendimento se encaixa na categoria de Inovação e Tecnologia, além da baixa taxa de juros, 5.6% a.a., por um prazo de 10 anos.

O financiamento é do tipo SAC, ou seja, contempla a amortização constante e contém um tempo de carência, não amortizada, de dois anos, visando que a construção do empreendimento é de dois anos.

Nas Tabelas 49 e 50 estão dispostos o cálculo dos dois financiamentos realizados, contendo a amortização, juros, saldo devedor e a parcela paga por ano pela Cálamo.

**Tabela 49:** Primeiro financiamento Cálamo com prazo de 10 anos.

Ano	Juros	Saldo Devedor	Amortização	Parcela anual
0	-	R\$365.501.672,18	0	0
1	R\$20.468.093,64	R\$385.969.765,82		
2	R\$21.614.306,89	R\$407.584.072,70	0	0
3	R\$22.824.708,07	R\$366.825.665,43	R\$40.758.407,27	R\$63.583.115,34
4	R\$20.542.237,26	R\$326.067.258,16	R\$40.758.407,27	R\$61.300.644,53
5	R\$18.259.766,46	R\$285.308.850,89	R\$40.758.407,27	R\$59.018.173,73
6	R\$15.977.295,65	R\$244.550.443,62	R\$40.758.407,27	R\$56.735.702,92
7	R\$13.694.824,84	R\$203.792.036,35	R\$40.758.407,27	R\$54.453.232,11
8	R\$11.412.354,04	R\$163.033.629,08	R\$40.758.407,27	R\$52.170.761,31
9	R\$9.129.883,23	R\$122.275.221,81	R\$40.758.407,27	R\$49.888.290,50
10	R\$6.847.412,42	R\$81.516.814,54	R\$40.758.407,27	R\$47.605.819,69
11	R\$4.564.941,61	R\$40.758.407,27	R\$40.758.407,27	R\$45.323.348,88
12	R\$2.282.470,81	R\$0,00	R\$40.758.407,27	R\$43.040.878,08

**Fonte:** Autoria Autoria, 2018.

**Tabela 50:** Segundo financiamento Cálamo com prazo de 10 anos.

Ano	Juros	Saldo Devedor	Amortização	Parcela anual
0	-	R\$365.501.672,18	0	0
1	R\$20.468.093,64	R\$385.969.765,82		
2	R\$21.614.306,89	R\$407.584.072,70	0	0
3	R\$22.824.708,07	R\$366.825.665,43	R\$40.758.407,27	R\$63.583.115,34
4	R\$20.542.237,26	R\$326.067.258,16	R\$40.758.407,27	R\$61.300.644,53
5	R\$18.259.766,46	R\$285.308.850,89	R\$40.758.407,27	R\$59.018.173,73
6	R\$15.977.295,65	R\$244.550.443,62	R\$40.758.407,27	R\$56.735.702,92
7	R\$13.694.824,84	R\$203.792.036,35	R\$40.758.407,27	R\$54.453.232,11
8	R\$11.412.354,04	R\$163.033.629,08	R\$40.758.407,27	R\$52.170.761,31
9	R\$9.129.883,23	R\$122.275.221,81	R\$40.758.407,27	R\$49.888.290,50
10	R\$6.847.412,42	R\$81.516.814,54	R\$40.758.407,27	R\$47.605.819,69
11	R\$4.564.941,61	R\$40.758.407,27	R\$40.758.407,27	R\$45.323.348,88
12	R\$2.282.470,81	R\$0,00	R\$40.758.407,27	R\$43.040.878,08

**Fonte:** Autoria Autoria, 2018.

#### 17.4.5 Demonstrativo de Rendimento no Exercício

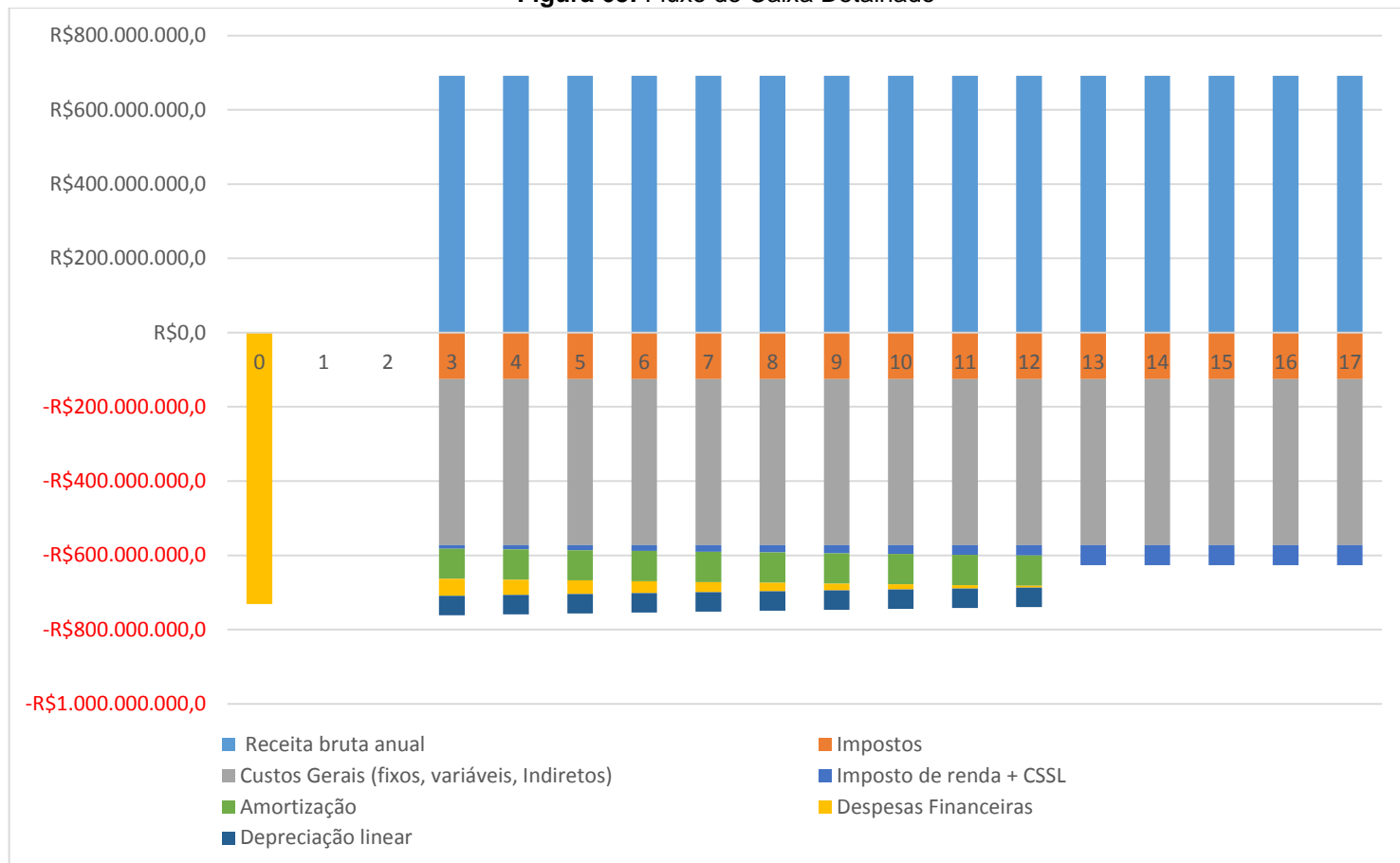
A Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) é uma ferramenta contábil que auxilia em um maior detalhamento dos resultados da empresa, possibilitando uma melhor visão dos lucros e despesas sabendo, assim, a viabilidade do negócio e quais fatores proporcionam riscos para a empresa (SEBRAE, 2018).

A Figura 63 demonstra a receita bruta anual, impostos, custos gerais, imposto de renda e CSSL (contribuição social sobre o lucro líquido), depreciação, despesas



financeiras e a amortização, formando assim o fluxo de caixa, com um horizonte de 15 anos de operação.

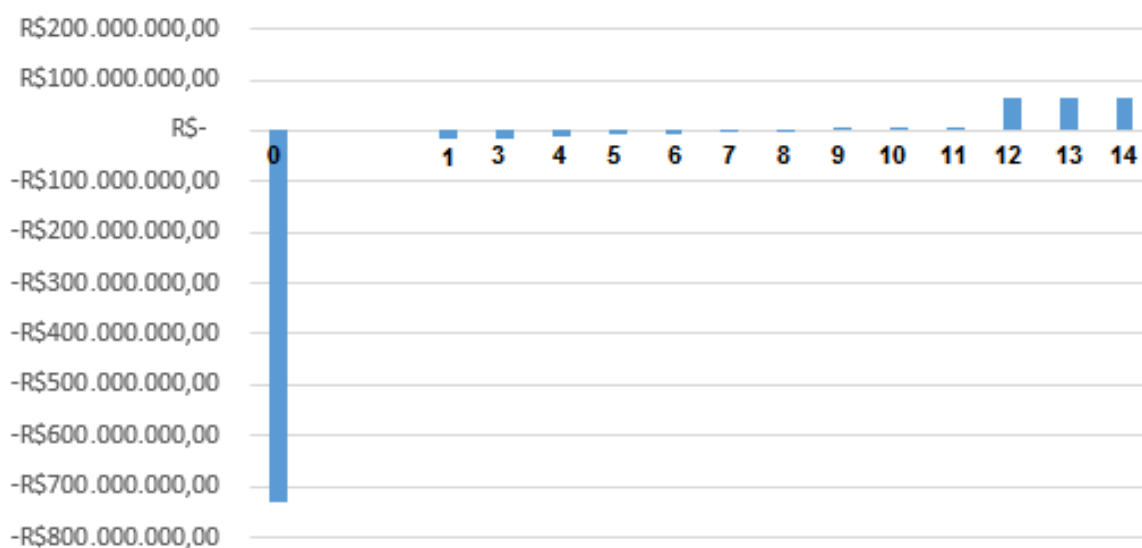
**Figura 63: Fluxo de Caixa Detalhado**



**Fonte:** Autoria Autoria, 2018.

Por meio da Figura 63, pode-se concluir que a empresa começa a ter lucro a partir do oitavo ano de operação, e que no mínimo cerca de 50% das despesas compreende aos custos de operação.

Na Figura 64 pode-se analisar o fluxo de caixa líquido, no qual é apresentado o primeiro ano de operação lucrativa, sendo que a partir do 12º ano não há mais débitos com o financiamento bancário e, portanto, o lucro líquido é de aproximadamente R\$65 milhões por ano, mostrando-se um empreendimento altamente lucrativo.

**Figura 64:** Fluxo de caixa líquido.

**Fonte:** Aatoria Aatoria, 2018.

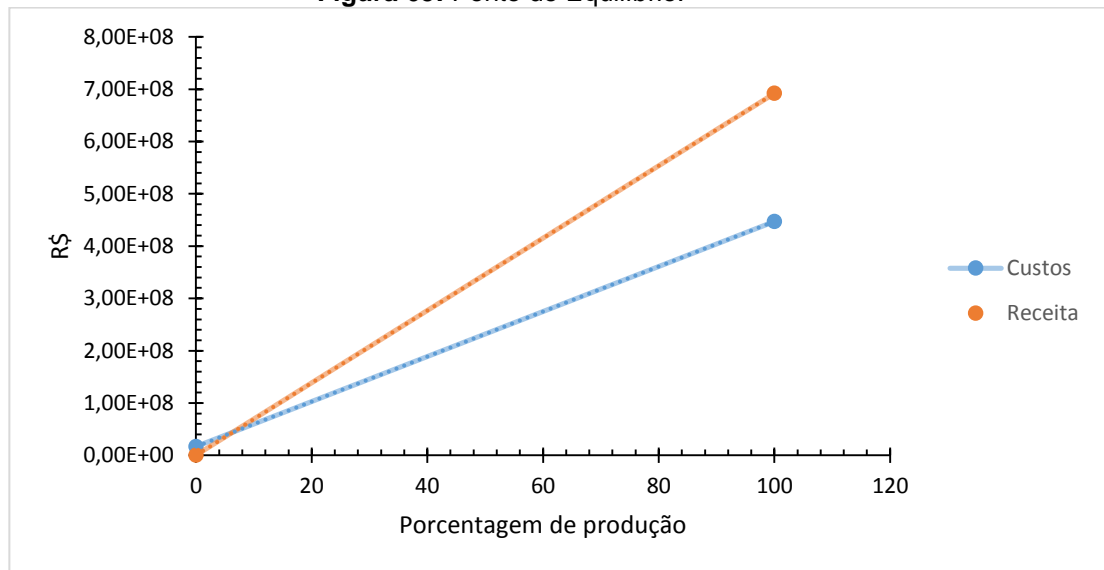
A partir dos dados do fluxo de caixa pode-se calcular a taxa interna de retorno (TIR) que é um indicador utilizado para medir o retorno de projeto ou investimento. Para a Cálamo, a TIR obtida é de -10%, o que evidencia o alto custo de investimento e conseqüentemente de pagamento de juros, justificando assim a alta taxa mínima de atratividade (TMA) de 70%.

#### 17.4.6 Ponto de Equilíbrio

Por meio da análise do ponto de equilíbrio é possível verificar o quanto é necessário produzir para que a produção seja suficiente para que se tenha lucro, considerando os custos fixos e variáveis de produção da unidade industrial.

Neste caso, os parâmetros desde a produção nula até sua capacidade máxima são variados linearmente. Desta forma, são obtidas duas retas de receita e custos que, ao se interceptarem, indicam a produção mínima.

Para a Cálamo, as retas de receita e custos são apresentadas na Figura 65, e indicam que uma produção mínima de 6,5% é necessária. Este resultado é possível devido ao baixo valor dos custos fixos, além de uma grande receita, o qual viabiliza o empreendimento, além de demonstrar a independência de acionistas.

**Figura 65:** Ponto de Equilíbrio.

**Fonte:** Autoria Autoria, 2018.

## 18 CONCLUSÃO

O projeto industrial da Cálamo definiu os fatores analisados na concepção e desenvolvimento do mesmo, tais como: escopo, estudo de mercado, projeções de consumo, decisão locacional, o processo produtivo do empreendimento, o balanço material e energético, a especificações dos equipamentos, e ademais, as análises de integração energética e financeira.

No projeto conceitual, a unidade industrial da Cálamo produzirá e comercializará derivados da cana-de-açúcar, buscando a integração e maximização do seu aproveitamento por meio de soluções biotecnológicas, promovendo o desenvolvimento sustentável.

A concepção do projeto foi alicerçada por meio da realização do estudo de mercado e projeções de consumo, que apontaram a retomada da demanda de etanol pela crescente frota nacional, e que planos de incentivo ao benefício ambiental dos biocombustíveis, como o RenovaBio, abrirão perspectivas promissoras para o mercado da Cálamo, sobretudo, considerando seu diferencial: o etanol de segunda geração.

Fundamentadas essas premissas básicas do projeto, na etapa de decisão locacional, a análise de aspectos como demanda, proximidade com o mercado consumidor, oferta de incentivos fiscais e facilidade de financiamentos, despontaram o município do Itupeva-SP como potencial candidato a receber a unidade produtiva.

Seguindo a hierarquia do projeto do processo produtivo da Cálamo, a realização do balanço material e energético dos setores da unidade industrial, indicaram que o processamento concomitante de 600 t/h de cana-de-açúcar, 53 t/h de palhiço de cana-de-açúcar e de 12 t/h de bagaço (que equivale à 8% do total gerado), produzirão 71430 litros por hora de etanol hidratado e 3470 litros por hora de etanol anidro.

Essa produção é 24,3% superior à obtida por empresas do segmento em operação, e que processam a mesma quantidade de cana-de-açúcar. Tal acréscimo verificado, é em virtude da sinergia implementada no processo produtivo da Cálamo, que contempla a produção de etanol de primeira e segunda geração.

Essa sinergia também se reflete na receita da empresa, visto que uma parcela considerável desse montante provém da venda de créditos de carbono, o que se refere ao fato da produção de etanol celulósico ser mais eficiente do ponto de vista energético e ambiental, permitindo que a Cálamo desponte no mercado por um simples e importante detalhe: sua maior recuperação de CO<sub>2</sub>.

As especificações dos equipamentos do empreendimento foram mutuamente acordadas com dados da seção dos balanços material e energético, e incluíram o aproveitamento das novas tecnologias e práticas de engenharia disponíveis no mercado, apresentando configurações altamente detalhadas, para precisão na cotação dos mesmos.

Uma dessas tecnologias que representam o estado da arte em combustão de biomassa, é a caldeira de leito fluidizado borbulhante que será instalada na unidade industrial, possibilitando a queima não somente de bagaço, como também da lignina, subproduto do processo produtivo de etanol de segunda geração. Desse modo, o sistema de cogeração da Cálamo tornará a empresa autossuficiente em energia e a produção excedente proporcionará 110 milhões de reais anualmente para empresa.

Em relação à análise econômica do projeto, a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE), ferramenta contábil utilizada no detalhamento dos resultados financeiros da empresa, indicou que a empresa começará a ter lucro a partir do oitavo ano de operação, e que, no mínimo, cerca de 50% das despesas referem-se aos custos de operação.

Além disso, a análise do fluxo de caixa líquido da unidade industrial, apontou que a partir do 12º ano de operação, não há mais débitos com o financiamento bancário realizado pelo BNDES (R\$731 milhões, o que compreende ao investimento somado ao capital de giro) e, portanto, o lucro líquido é de aproximadamente R\$65 milhões por ano, mostrando-se um empreendimento altamente lucrativo.

Entretanto, a taxa interna de retorno (TIR) evidenciou que o alto custo de investimento num processo ainda em desenvolvimento, somado aos elevados juros envolvidos na implementação do projeto, apontaram que o projeto ainda não é atrativo frente a alta taxa mínima de atratividade (TMA) de 70%.

Todavia, a análise do ponto de equilíbrio indicou que a produção mínima necessária para que se alcance o mínimo de lucro, equivale a 6,5% da capacidade nominal. Este percentual viabiliza o empreendimento, além de demonstrar a independência de acionistas, tendo em vista o baixo valor dos custos fixos frente a uma grande receita.

Assim, esse projeto descortina novos horizontes para o setor e colabora para direcionar pesquisas em engenharia de processos e premissas de projeto de instalações nessa área.

## 19 SUJESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O projeto industrial da Cálamo descortina novos horizontes para trabalhos futuros, nesse âmbito de projetos de usinas que integram a produção de etanol de primeira e segunda geração.

Como sugestão para esses projetos, recomenda-se desenvolver uma unidade industrial que contemple a produção autônoma e autossuficiente de coquetel enzimático, tendo em vista, que as tecnologias avançam no sentido de cada vez mais a própria usina produzir suas enzimas e que isso se torne um investimento atrativo a longo e curto prazo.

Os fundadores da Cálamo também preconizam atitudes e projetos pioneiros para também serem incorporados nos escopos de trabalhos futuros, como por exemplo, a conversão da torta de filtro em biogás para geração de energia elétrica, recentemente implantada em escala comercial por uma concorrente nacional.

Além disso, para promoção do aumento da receita e visando agregar valor às correntes purgadas de leveduras do processo, aconselha-se implementar em projetos porvindouros, um setor de produção de leveduras secas, comumente comercializadas para suplementação da alimentação de todos os grupos de animais, e que apresenta valor econômico adicionado do que a atual forma de comercialização desse output por parte da Cálamo.

Concomitante, recomenda-se a análise da implantação do projeto para produção de vinhoto granulado, utilizado para fertilização de solos, visando mercados consumidores próximos às futuras unidades industriais projetadas.

Diante das propostas apresentadas, vislumbra-se emergir uma nova tendência para futuros processos industriais, o projeto de biorrefinarias, unidades industriais que integram equipamentos e processos de conversão de biomassa na produção de combustíveis, eletricidade, calor, e derivados refinados, e que continuarão a escrever o futuro sustentável preconizado pela Cálamo.

## REFERÊNCIAS

ABRINQ, Fundação. **Programa Empresa Amiga da Criança**. 1995. Disponível em: <<https://www.fadc.org.br/programas-institucionais/protECAo-empresa-amiga-da-crianca>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

ALBARELLI, Juliana Queiroz. **PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO: SIMULAÇÃO, INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA CAMPINAS 2013**. 2013. 244 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2013.

ALCARDE, André Ricardo. **Tratamento do Caldo**. 2018. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_104\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_104_22122006154841.html), 2018. Acesso em 15 mar 2018.

ALVES, Moisés. **Simulação do Processo de Destilação Extrativa usando líquido iônico e o modelo de não equilíbrio na desidratação do etanol**. 2014. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2014.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018**. Brasília: ANFAVEA, 2018.

ARAÚJO, Frederico Augusto de. **Tratamento e clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação**. 2005. 30 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Especialização em Tecnologia Ambiental, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2005.

ARAUJO, E. C. DA C. **EVAPORADORES**. SÃO CARLOS: EDUFSCAR, 2012. 89 P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2015b. 36 p.

BAUDEL, H. M. **Pré-tratamento e hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol**. III Workshop Tecnológico sobre: Hidrólise para Produção de Etanol. São Paulo, 2006.



BARRETO, T.V.; DUARTE-COELHO, A.C. 2008. **Otimização do dimensionamento de aparelhos para produção de álcool hidratado**. Anais do 9º Congresso Nacional da STAB, Maceió. 2008.

BASTOS, Valéria Delgado. **Etanol, álcoolquímica e biorrefinaria**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

Batista, F. R. M. **Estudo do processo de destilação alcoólica contínua: simulação de plantas industriais de produção de álcool hidratado, álcool neutro e cachaça**. 2008. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas - SP: [s.n.], 2008.

BERNADO NETO, Osvaldo. **Integração das principais tecnologias de obtenção etanol através do processamento de celulose (2ª geração) nas atuais usinas de processamento de cana-de-açúcar (1ª geração)**. 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BONOMI, A. et al. **Virtual Biorefinery**. Londres: Springer, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília : Ministério de Minas e Energia : Empresa de Pesquisa Energética, 2007a.

BRASIL. INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRAFICO. **Região Administrativa de Campinas**. 2007b.

BRASIL. Centro Nacional de Pesquisa em energia e Materiais. **Conheça o CTBE**. 2010. Disponível em: <<http://ctbe.cnpem.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

BRASIL.ANP. **Certificado de Qualidade do Etanol Combustível**. 2015a.

Disponível em:

<[http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/biocombustiveis/Etanol/Manual\\_do\\_usuario\\_para\\_emissao\\_do\\_Certificado\\_da\\_Qualidade.pdf](http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/biocombustiveis/Etanol/Manual_do_usuario_para_emissao_do_Certificado_da_Qualidade.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2018.

BRASIL.BNDES. **Etanol 2G: inovação em biocombustíveis**. 2015b. Disponível em:

<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol-2g-inovacao-biocombustiveis>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

BRASIL. **Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina.** 2015c. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/adicao-de-27-de-etanol-na-gasolina-e-estabelecida-pelo-governo>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada:** para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. 2015d. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL\\_INDC\\_portugues\\_FINAL.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL_INDC_portugues_FINAL.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2018.

BRASIL. **Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima.** 2017a.

BRASIL.CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar - Safra 2017/18.** v.4. n.3. 2017b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris.** 2017c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

BRASIL. CNPEM. **Etanol de segunda geração deve custar 80% do preço do combustível de cana.** 2017d. Disponível em: <<http://cnpem.br/etanol-de-segunda-geracao-deve-custar-80-do-preco-do-combustivel-de-cana/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio.** 2017e. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/objetivos>>. Acesso em: 03 mar. 2018

BRASIL. ANP. **Anuário Estatístico do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis:** 2017f. Rio de Janeiro: ANP, 2017.

BRASIL.CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. **Palha da cana pode gerar 35,5 TWh de energia.** 2017g. Disponível em: <<http://cnpem.br/palha-da-cana-pode-gerar-355-twh-de-energia/>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

BRASIL. SUCRE. **Estudo revela impurezas minerais da palha de cana-de-açúcar recebida pelas usinas e os efeitos no processamento na indústria.** 2018.

Disponível em: <<http://pages.cnpem.br/sucro/2018/01/31/estudo-revela-impurezas-minerais-da-palha-de-cana-de-acucar-recebida-nas-usinas-e-os-efeitos-no-processamento-na-industria/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

BONSUCRO. **Guia para a Bonsucro.** 2013. Disponível em:

<[https://www.bonsucro.com/wp-content/uploads/2017/01/PORTUGUESE-A-Guide-to-Bonsucro-FINAL\\_DEC2013.pdf](https://www.bonsucro.com/wp-content/uploads/2017/01/PORTUGUESE-A-Guide-to-Bonsucro-FINAL_DEC2013.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BORZANI, W. et al. Biotecnologia industrial. São Paulo, SP: E. Blücher, 2001. 3 v.

BRASKEM. **A Cana-de-Açúcar.** 2018. Disponível em:

<<http://www.braskem.com/site.aspx/Cana-de-Acucar>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **OHSAS 18001:** Sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho - Requisitos. São Paulo, 2007. 35 p.

CALLE. F. R.; BAJAY. S. V.; ROTMAN. H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas: CLE/UNICAMP, 2005. 447 p.

CANAVIEIRA, Motocana. **SONDA OBLÍQUA.** 2018. Disponível em:

<<http://www.motocana.com/2016/produtos.php?id=25>>. Acesso em: 30 maio 2018

CARB. **Conselho de qualidade do ar da califórnia.** 2015. Disponível em:

<<https://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/reportingtool/biofuelregistration.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

CAUNETO, HEITOR. **Estudo de viabilidade econômica e projeto conceitual de planta industrial para produção de etanol de palha e bagaço de cana e comparação com a produção de energia elétrica.** 2013. 129 f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Maringá. Maringá.

CORRÊA, H, CORRÊA, C. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Atlas, 2007.

CORTEZ, Luiz A.B. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade.** 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2010.

CORSINI, R. **Saneamento: Como impermeabilizar canais de vinhaça.** 2012. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/17/artigo263085-1.aspx>>. Acesso em: 30 set. 2018

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço.** 2008. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.

DUARTE, A. F. B. et al. Usina Bataguassu. 2015. 215 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

ENSINAS, A.V. **Integração térmica e otimização termoecômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.** 2008. 229 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

FARIAS, D. **Produção de etanol de segunda geração por *Scheffersomyces stipitís* a partir de pentoses em processo extrativo a vácuo.** 2014. 263 f. Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2014.

FAYOL, H. **Administração Industrial e geral.** São Paulo: Atlas, 1978.

FERNANDES, Antonio Carlos. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 3. ed. Piracicaba: Stab, 2011. 416 p.

FRANCISCO, R. P. **Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia.** 2012. 144f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del Rei, Minas Gerais. 2012.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos.** 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2006. xiv, 798 p.

GAITHER, N. e FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Pioneira-Thomson Learning, 2002.

GODOY, Leandro Móvio. **Extração de caldo de cana-de-açúcar com uso de moenda a vapor.** 2013. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de

Engenharia de Produção, Centro Universitário Eurípides de Marília – Univem, Marília, 2013.

GOMES, D.; GAMA, M.; DOMINGUES, LUCÍLIA. Determinants on an efficient cellulase recycling process for the production of bioethanol from recycled paper sludge under high solid loadings. *Biotechnol Biofuels*. v.11, n.1111. 2018.

GONÇALES FILHO, M.; BARROS, M. J.; CAMPOS, F. C. **Sustentabilidade no Processo de Recepção da Cana de Açúcar em Usina Sucroalcooleira**. 2015. 10 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo, 2015.

GUNDERSEN, T. **A Process Integration Primer**. Second. ed. Trondheim, NO: SINTEF Energy Research, 2002.

HAMERSKI, F. **Estudo de Variáveis no Processo de Carbonatação do Caldo de Cana-de-Açúcar**. 2009. 148 f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Acesso em 15 mar. 2018.

HELMENSTINE, A. M. **The Chemical Composition of Air**. 2018. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/chemical-composition-of-air-604288>> . Acesso em: 28 set. 2018.

HPB ENERGIA. **BFB - Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante**. 2018. Disponível em: <<http://www.hpbenergia.com.br/produtos/detalhes/bfb/>>. Acesso em: 15 de set. 2018.

HUMBIRD, D.; et al. **Process design and economics for biochemical conversion of lignocellulosic biomass to ethanol: dilute-acid pretreatment and enzymatic hydrolysis for corn stover**. 2011.

ITAL. **Separadores magnéticos**. Disponível em: <<http://www.italpro.com.br/produto/separadores-magneticos.html>>. Acesso em: 30 maio 2018.

ITUPEVA. **Distrito Industrial**. 2015. Disponível em: <<http://www.itupeva.com.br/distrito-industrial/>>. Acesso em 18 mar. 2018.

JUNQUEIRA, Marcelo Schunn Diniz. "Adicionalidade" ambiental do álcool combustível: um benefício ambiental verdadeiro ou somente mais uma matriz energética - um estudo do ciclo de vida deste combustível. **RAE electron.**, São Paulo , v. 1, n. 1, p. 1-11, June 2002 .

JUNQUEIRA, T. L. **Simulação de colunas de destilação convencional, extrativa e azeotrópica no processo de produção de bioetanol através da modelagem de não equilíbrio e da modelagem de estágios de equilíbrio com eficiência.** Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, São Paulo, 2010.

KON, ANITA. **Economia industrial.** São Paulo: Nobel, 1994.

LABVIRTUAL. Aplicações e casos de estudo. 2018. Disponível em: <[http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=157&Itemid=314](http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=157&Itemid=314)>. Acesso em: 16 de set. 2018.

LEITE, R.C.C.; CONTEZ, L. A. B. **Biocombustíveis no brasil: Realidades e perspectivas:** O etanol combustível no Brasil. Brasília: Brasil. Ministério das Relações Exteriores, 2008.

LEITE, W. B.; PINTO, L. A. **O valor do bagaço como combustível: avaliação do bagaço de cana-de-açúcar.** São Paulo: UNESP, 1983.

LIMA, U.A.; BASSO, L.C.; AMORIN, H.V.Ed. **Biotecnologia Industrial**, v. 3. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001.

LUMASENSE TECHNOLOGIES. **Medição de Temperatura dos Gases de Saída de fornos (FEGT).** 2018. Disponível em: <<https://www.lumasenseinc.com/BR/solutions/energy/geracao-de-energia/furnace-exit-gas-temperature/measurement-of-furnace-exit-gas-temperature-fegt.html>>. Acesso em: 08 de out. 2018.

MALTA, Hélia Lucila. **Estudos de parâmetros de propagação de fermento (Saccharomyces cerevisiae) para produção de cachaça de alambique.** 2006. 70 f. Dissertação de Mestrado do curso de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar.** São Paulo: Ícone, 1993. 148p.

MARQUES, D. G.; CARDOSO, F. H.; COLOMBO, M. S.. **2GENFUTURE**. 2016. 126 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, UEM, Maringá, 2016.

MARQUES, Marcos O.; MARQUES, Tadeu A.; JÚNIOR, Luiz Carlos T. **Tecnologia do açúcar**: produção e industrialização da cana-de-açúcar. 1.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

MARQUINI et al. Simulação e análise de um sistema industrial de colunas de destilação de etanol. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 29, n. 1, p. 23-28, 2007.

MARTINEZ, C. O. **Tecnologia de Cana-de-açúcar**. 2016. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/camilamartinez/tecnologia-de-cana-de-acucar.-2o-semester-2016>>. Acesso em: 16 out.2017.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **Princípio de funcionamento de um desareador**. 2018. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/266-principio-de-funcionamento-de-um-desareador/>>. Acesso em: 06 de out. 2018.

MELO, A. de S.; SAMPAIO, Y. de S. B. Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. **Revista de economia. contemporânea**. 2014, vol.18, n.1, p.56-83.

MEZAROBA, Silvana; MENEGUETTI, Claudio C.; GROFF, Andréa M. **Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema**. Disponível em:< [http://www.fecilcam.br/anais\\_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf](http://www.fecilcam.br/anais_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2018.

MÉ-ZÓCHI. **Perguntas Frequentes**. Empres MÉ-ZÓCHI. Disponível em: <[http://www.me-zochi.st//Que\\_matéria-prima.htm](http://www.me-zochi.st//Que_matéria-prima.htm) >. Acesso em: 25 out. 2017.

MIGUEL, J. V. P. **Produção integrada de bioetanol de cana-de-açúcar de primeira e segunda geração**. 2013. 61 f. Trabalho de conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Produção Mecânica, USP, São Carlos, 2013.

MILANEZ, A. Y.; et al. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da plataforma para o biofuturo. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p. 285-340.

MORO, M. K. **Pré-tratamento da biomassa de cana-de-açúcar por extrusão com dupla-rosca**. 2015. 119 f. Tese de Mestrado em Engenharia Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

NASTARI, Plínio. **A diferença entre o imposto sobre carbono e o RenovaBio**. 2017. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/impostos/diferenca-imposto-carbono-renovabio-221117/>>. Acesso em: 17 mar. 2018

INSTITUTO ECOLÓGICO. **Institucional**. 2000. Disponível em: <<http://www.ecologica.org.br/institucional/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

PATERNINA, Lia Margarita Cohen. **Modelagem e simulação do processo de fermentação extrativa a vácuo com uma câmara de flash e separação do CO<sub>2</sub> utilizando uma coluna de absorção**. 2011. 145 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2011.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. 2.ed. São Paulo, SP: Nobel, 2010. 245 p.

PEREIRA, F. da C. et al. Fermentation of hexoses and pentoses from hydrolyzed soybean hull into ethanol and xylitol by *Candida guilliermondii* BL 13. **Braz. J. Chem. Eng.** São Paulo, v. 34, n. 4, p. 927-936, 2017.

PEREIRA, T. V.; SEYE, O. **Caracterização física térmica de biomassa local**. 8º Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão (ENEPE) – UFGD. 2016.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

PETROBRAS. Adotamos nova política de preços de diesel e gasolina. 2016. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/adotamos-nova-politica-de-precos-de-diesel-e-gasolina.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

PINHEIRO, P. C. da C.; CERQUEIRA, S. A. A. da G. **Método de Cálculo do balanço térmico de caldeiras**. XVII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, Volta Redonda, RJ, set. de 1995.

PITARELO, A. P. **Avaliação de susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar à bioconversão via tratamento a vapor e hidrólise enzimática**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.



RELVAS et al. **Integração de Processos: Uma metodologia de otimização energética e ambiental**. Domínio Gráfico Ltda. 2002.

RIBEIRO, C.A.; BLUMER, S. A.G.; HORII, J. **Fundamentos da tecnologia sucroalcooleira**. Apostila Tecnologia do álcool. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1999. 70p.

ROCHA, G. J. M.; et al. Mass Balance of Pilot-Scale Pretreatment of Sugarcane Bagasse by Steam Explosion Followed by Alkaline Delignification. **Bioresource Technology**. Vol.111, p. 447–452, 2012.

ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; PEDROSA, E. M. R. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 155-171, 2013

SALIBA, E. de O. S; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L. de; PILO-VELOSO, D. Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 31, n. 5, p. 917-928, oct. 2001.

SÃO PAULO (ESTADO). FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2027: projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: FIESP, 2017a.

SÃO PAULO (ESTADO). PREFEITURA DE ITUPEVA. **Incentivos Fiscais**. 2017b. Disponível em: < <https://itupeva.sp.gov.br/site/a-prefeitura/incentivos-fiscais>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

SÃO PAULO (ESTADO). **Etanol Verde**. 2017c. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

SEABRA, J.E.A. **Avaliações técnico-econômica para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil**. 2008. 274 f. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SEBRAE. **O novo ciclo da cana: estudo sobre a competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e prospecção de novos empreendimentos**. 1.ed. Brasília: Editora IEL, 2005.

SERVICES, Scs Global. **Certificação Internacional de Sustentabilidade e Carbono**. 2009. Disponível em: <<https://www.scsglobalservices.com/pt-br/certificacao-iscc-ue>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

SIAMIG. **BP e Copersucar formam *joint venture* em Paulínia**. 2017. Disponível em: <<http://www.siamig.com.br/noticias/bp-e-copersucar-formam-joint-venture-em-paulinia>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

SILVA, W. C.; ARAÚJO, E. C. C.; BERNARDO, A.; GIULIETTI, M. **Avaliação de desempenho no uso da recompressão mecânica de vapor e da injeção direta de vapor na coluna de destilação para a produção de etanol (1G): análise exergética e econômica**. Simpósio Nacional de Bioprocessos e Simpósio de Hidrólise. set. 2015. DOI: 10.17648/sinaferm-2015-33507.

SLACK, N. CHAMBERS, S. e JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2005.

SOCCOL, C. R.; et al. **Bioethanol from lignocelluloses: status and perspectives in Brazil**. *Bioresource Technology*. p. 4820-4825. 2010.

SOARES, L. H. de B.; et al. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Embrapa, abr. 2009 (Circular Técnica, n. 27).

SOUSA, W. F. **Análise de custos e viabilidade econômica de usinas sucroalcooleiras com diferentes sistemas de funcionamento das linhas de evaporadores**. São Paulo, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

TECITEC. **Desmineralizadores - Resinas de Troca Iônica**. 2018. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/desmineralizadores-resinas-de-troca-ionica/>> . Acesso em: 01 de out. 2018.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers Section VII**. New York, 2001.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boilers**. New York, 1994.

TIPOGRAFOS. **Cálamo**. 2013. Disponível em: <<http://www.tipografos.net/glossario/calamo.html>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

TOLEDO, M. **Temer assina decreto que regulamenta o RenovaBio**. 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/03/temer-assina-decreto-que-regulamenta-o-renovabio.shtml>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI. **O que é desaeração e como funciona um desaerador**. 2018. Disponível em: <<http://www.tsambientali.com.br/o-que-e-des aeracao-e-como-funciona-um-des aerador/>>. Acesso em: 01 de out. 2018.  
TROVATI, J. **Tratamento de Água para geração de vapor: caldeiras**. Curso Online de tratamento de água. 2018.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Consumo de etanol atinge patamar recorde em janeiro**. 2018. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1162222>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

UNICA. **Frota Brasileira de autoveículos leve (Ciclo Otto)**. 2017.

UNICA. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de Açúcar e Etanol – safra 2016/2017**. 2018.

UNICA. **Projeto Etanol Verde**. 2009. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/12472387920338419546/projeto-etanol-verde-por-cento2C-que-deu-origem-ao-protocolo-agroambiental-por-cento2C-recebe-premio-mario-covas/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

UNICA. **Selo Energia Verde**. 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/selo-energia-verde/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

UDOP. **Valores de ATR e Preço da Tonelada de Cana-de-açúcar**. 2018. Disponível em: <[http://www.udop.com.br/cana/tabela\\_consecana\\_saopaulo.pdf](http://www.udop.com.br/cana/tabela_consecana_saopaulo.pdf)>. Acesso em: 02 nov. 2018

USINA SANTA ISABEL. **Subprodutos**. 2018. Disponível em: <<http://www.usinasantaisabel.com.br/subprodutos.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

VLECALC. Vapor-liquid equilibrium database, calculations and phase diagram drawing. 2018. Disponível em: <[http://vle-calc.com/phase\\_diagram.html](http://vle-calc.com/phase_diagram.html)>. Acesso em 15 de set. de 2018.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: Planejamento, elaboração, análise**. São Paulo: Atlas, 1996.

## 20 APÊNDICE A

- Diagrama de fluxo de processos da Cálamo, integrando os processos de primeira e segunda geração para a produção de etanol hidratado e anidro.

O PFD está disponível no link abaixo:

[https://drive.google.com/open?id=1u94FYmogJ7Vw4OL8yiOR8oUaWRaOly\\_E](https://drive.google.com/open?id=1u94FYmogJ7Vw4OL8yiOR8oUaWRaOly_E)

## 21 APÊNDICE B

A cana-de-açúcar recepcionada contém uma composição média (base livre de impurezas e palha), conforme a Tabela B.1 abaixo.

**Tabela B.1:** Composição média da cana-de-açúcar.

Componente	Fração mássica
Fibras	0,14
Água	0,71
Açúcares Fermentáveis	0,15

Fonte: CAUNETO, 2013.

E as composições médias das matérias primas do processo de segunda geração da Cálamo, para desenvolvimento dos balanços de massa por componentes no Setor 2000 da unidade industrial, foram determinadas com base nos dados apresentados na Tabela B.2 e B.3.

**Tabela B.2:** Composição da palha e do palhiço da cana-de-açúcar em percentual de base seca.

Componente	%(m/m)		Média
	Peláez Samaniego (2007)	Saad e Gonçalves (2005)	
Lignina	22,82	26,00	24,41
Celulose	41,42	37,00	39,21
Hemicelulose	32,65	28,00	30,33
Outros	3,11	9,00	6,05

Fonte: SEABRA, 2008.

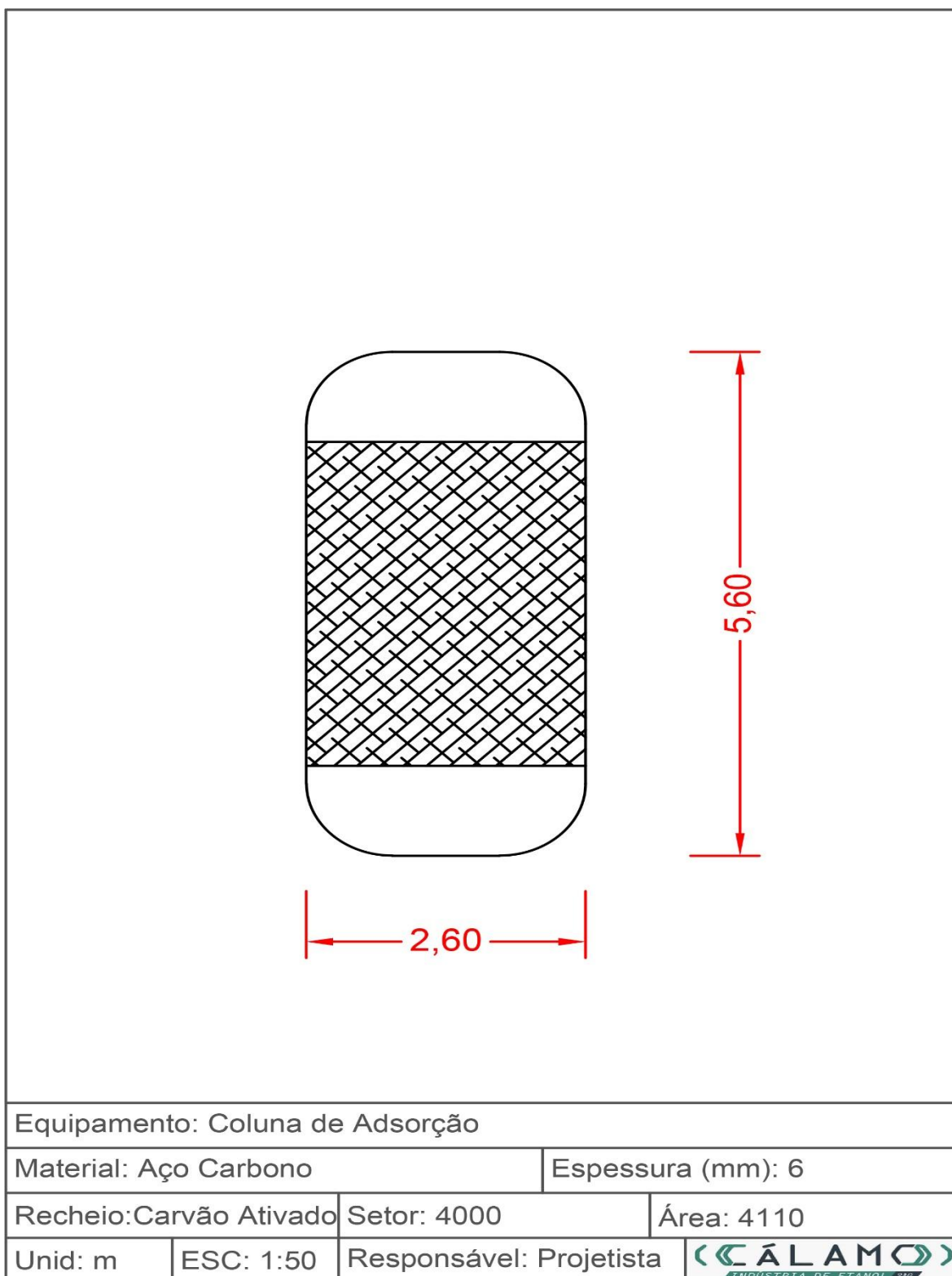
**Tabela B.3:** Composição do bagaço de cana-de-açúcar em percentual de base seca.

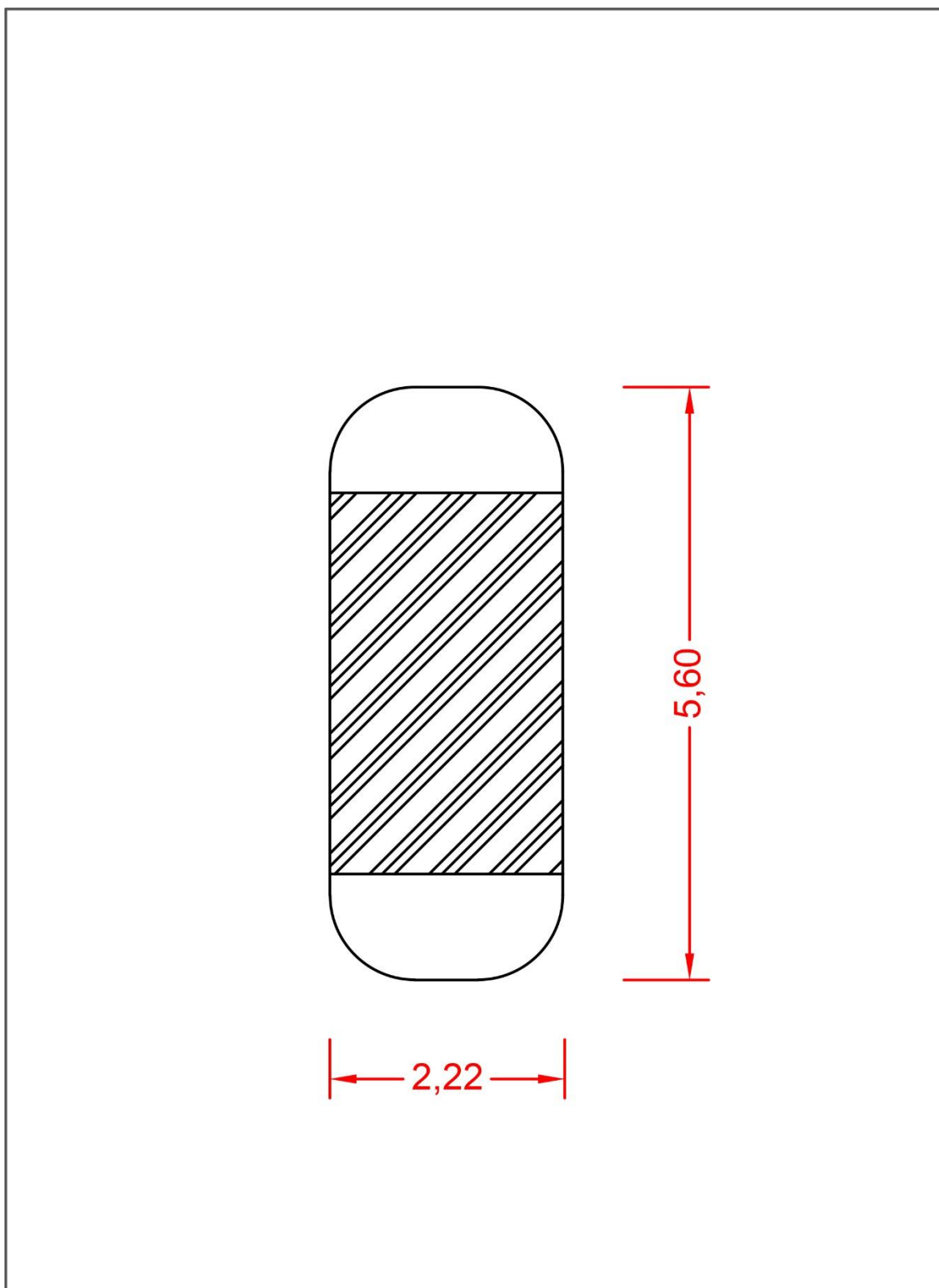
Componente	%(m/m)				Média
	Laser et al. (2002)	US DOE (2006)	Pasquini et al. (2005)	Gómez et al. (2006)	
Lignina	23,00	23,09	24,50	23,90	23,62
Celulose	44,00	39,01	43,50	38,90	41,35
Hemicelulose	28,00	24,91	29,00	26,20	27,03
Outros	5,00	12,99	3,00	11,00	8,00

Fonte: SEABRA, 2008.

## 22 APÊNDICE C

Dimensões básicas e parâmetros de projeto das colunas do sistema de desmineralização.





Equipamento: Coluna Catiônica

Material: Aço Carbono

Espessura (mm): 6

Recheio: Resina SAC

Setor: 4000

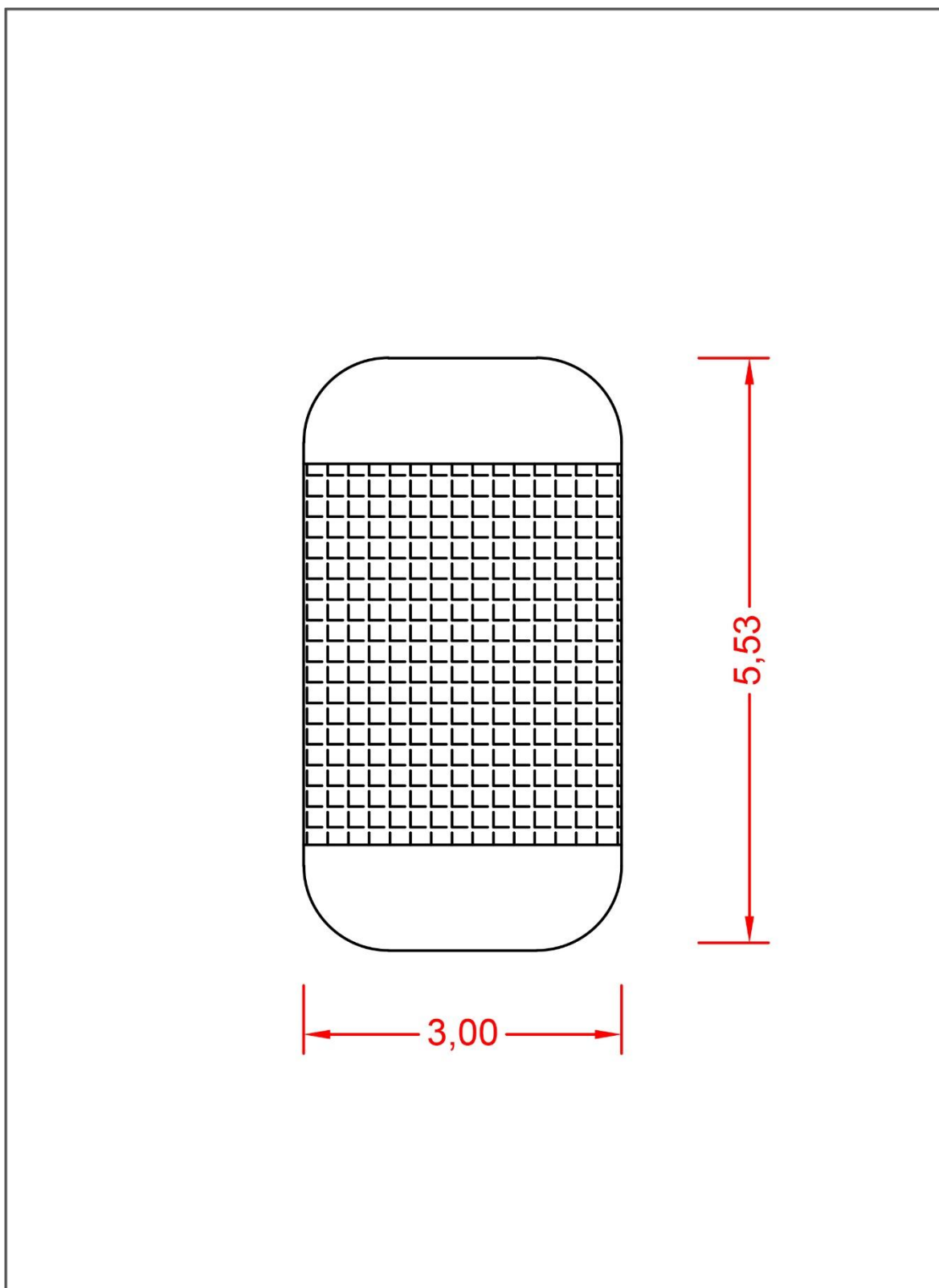
Área: 4110

Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista





Equipamento: Coluna Aniônica

Material: Aço Carbono

Espessura (mm): 6

Recheio: Resina SAB

Setor: 4000

Área: 4110

Unid: m

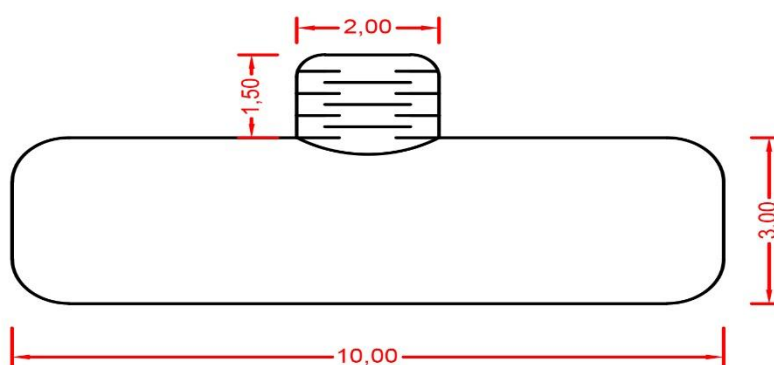
ESC: 1:50

Responsável: Projetista



## 23 APÊNDICE D.1

Dimensões básicas e parâmetros de projeto do desaerador.



Equipamento: Desaerador

Material: Aço Inoxidável

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): -

Setor: 4000

Área: 4120

Unid: m

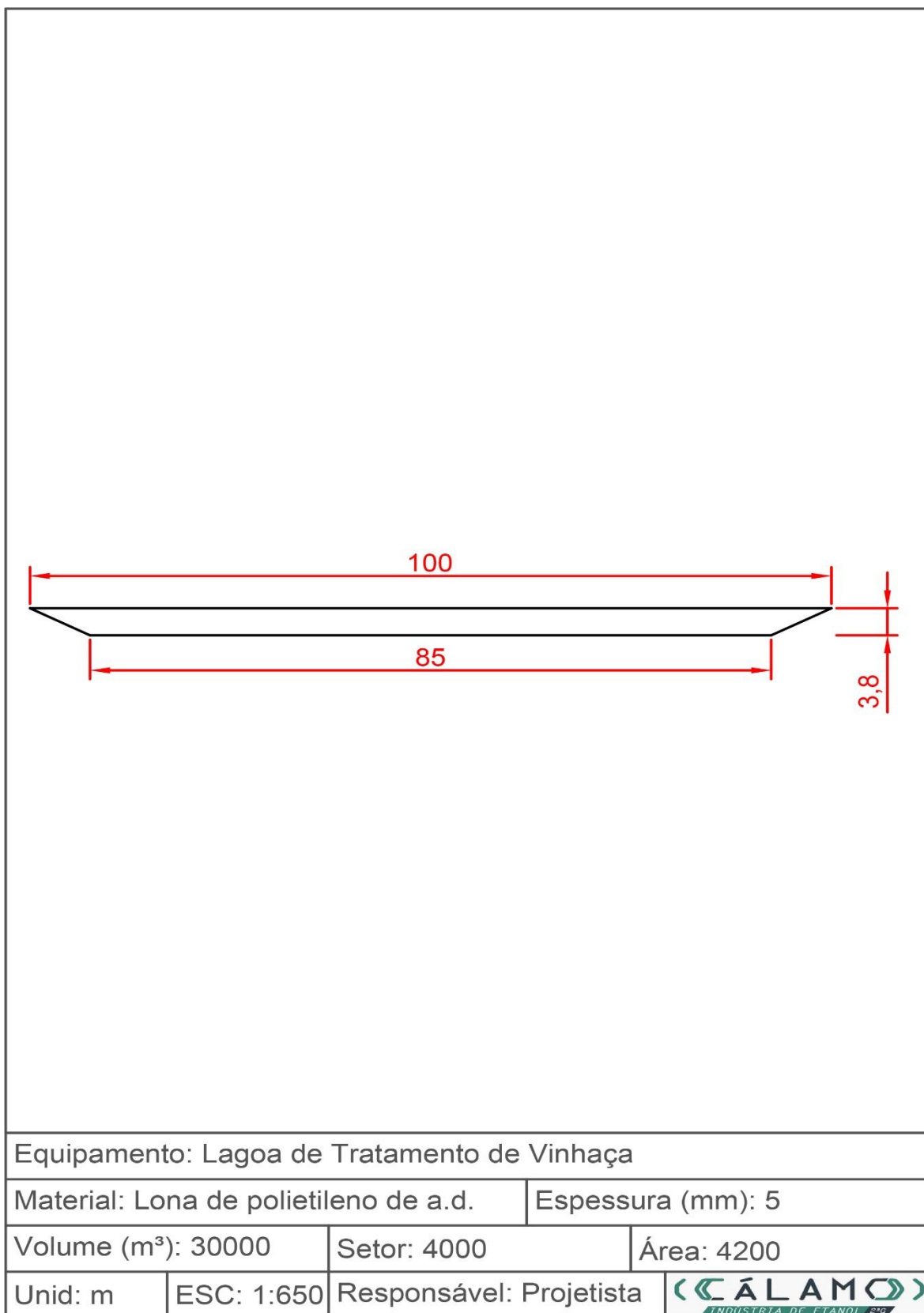
ESC: 1:100

Responsável: Projetista

**ÁLAMO**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2<sup>da</sup> G

## 24 APÊNDICE D.2

Dimensões básicas e parâmetros de projeto da lagoa.



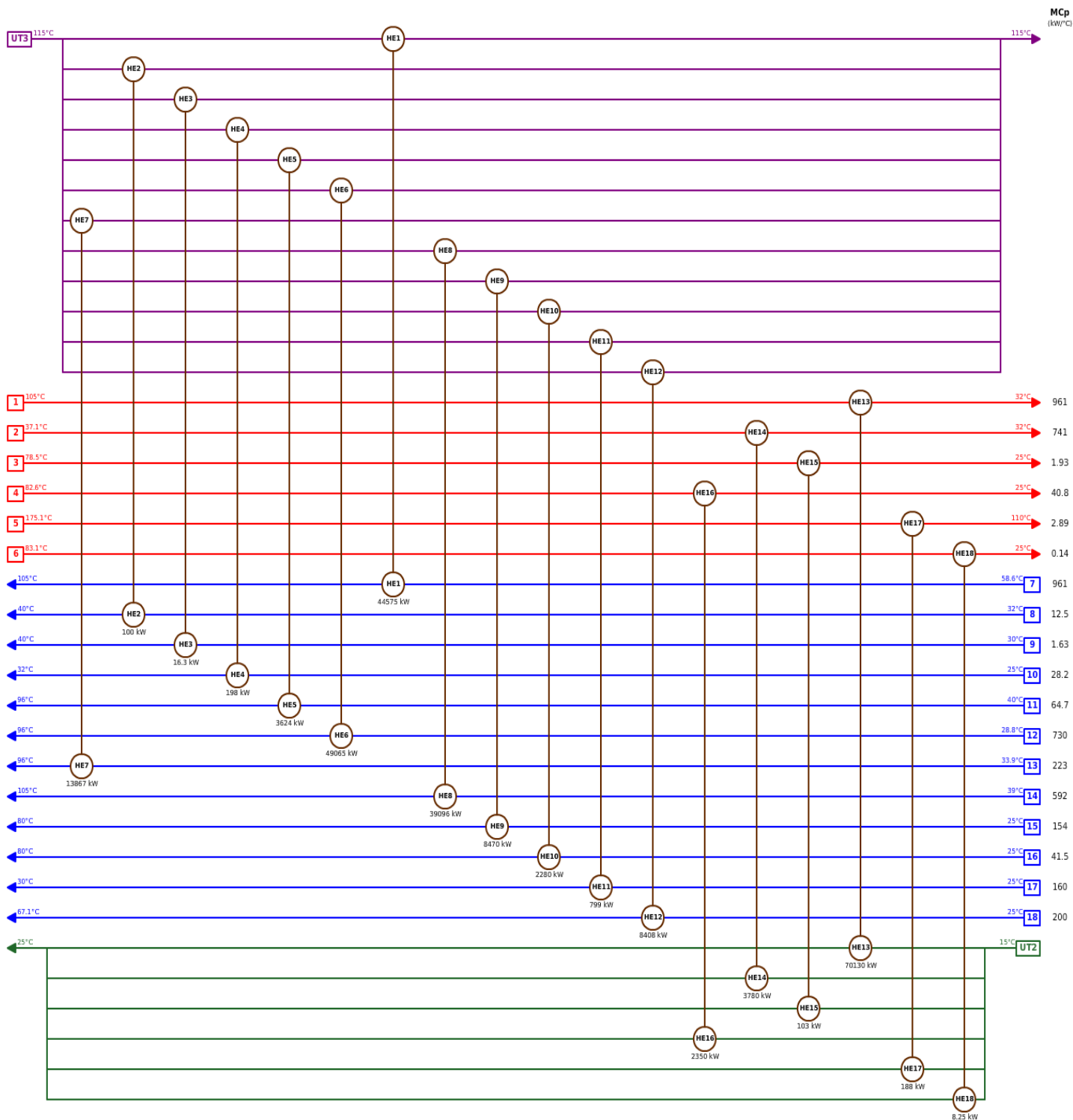
## 25 APÊNDICE E

Neste apêndice estão dispostos:

- Apêndice E.1 - Rede de trocadores de calor da Cálamo;
- Apêndice E.2 - representação esquemática dos trocadores de calor casco tubo que compõem a rede;
- Apêndice E.3 - Dados dos trocadores de calor compõe a rede MER.

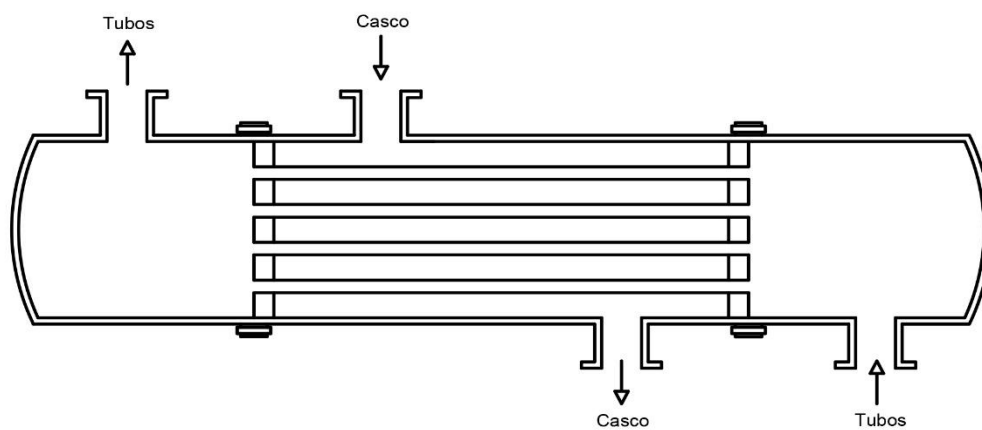
## APÊNDICE E.1

Está disposto abaixo a rede de trocadores de calor.



Fonte: Autoria Própria (2018).

## APÊNDICE E.2



Equipamento: Trocador de calor casco e tubos

Material: Aço Inoxidável

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): -

Setor: -

Área: -

Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista

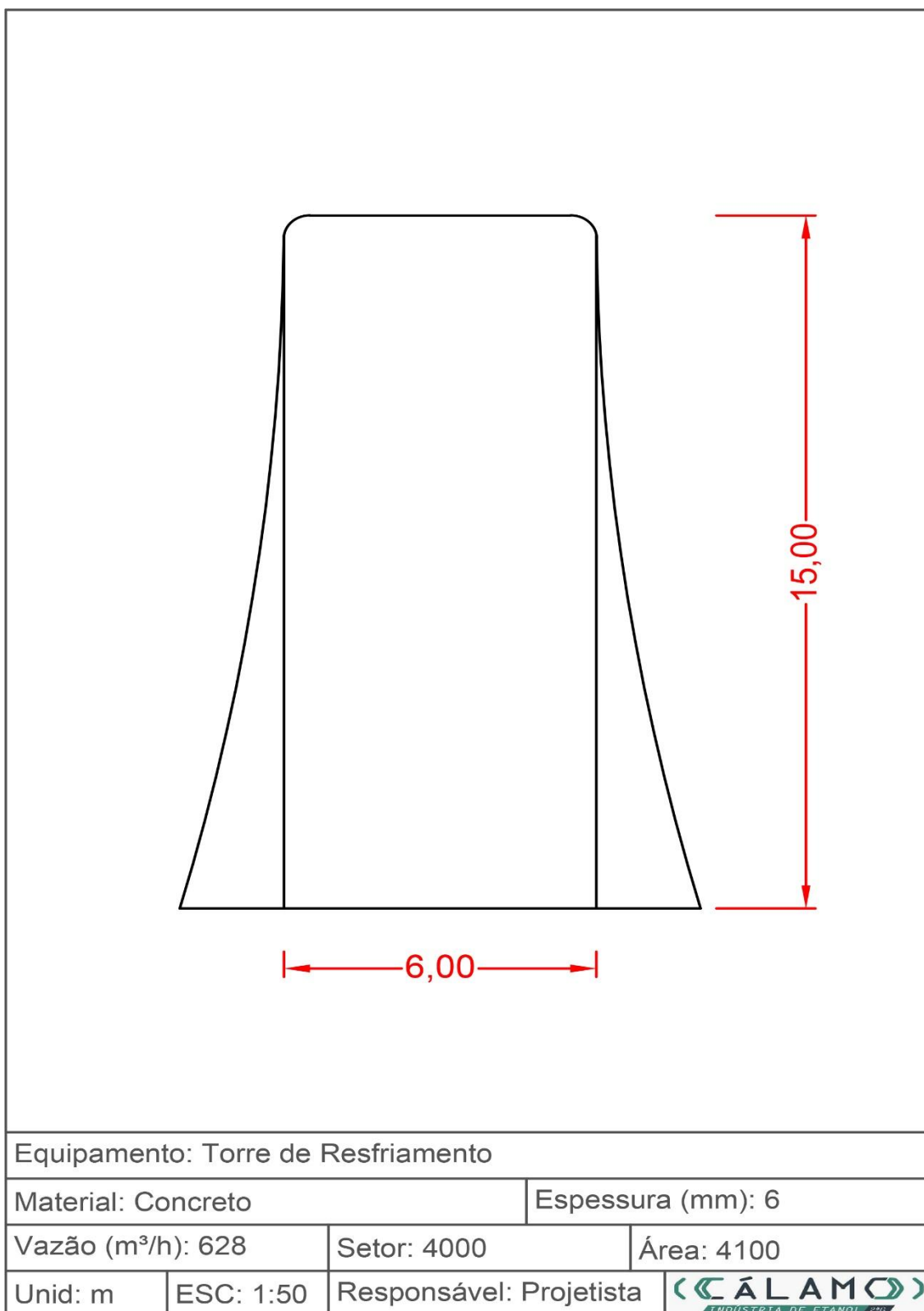


## APÊNDICE E.3

	Description	Hot		Cold		Q (kW)	U (kW/m <sup>2</sup> ·°C)	ΔT <sub>ln</sub> (°C)	Calculated Area (m <sup>2</sup> )	
		T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)					
UT3	Vapor Saturado	HE1	115	115	58.6	105	44575	0.25	26.8	6647
		HE2	115	115	32.0	40.0	100	0.25	78.9	5.08
		HE3	115	115	30.0	40.0	16.3	0.25	79.9	0.82
		HE4	115	115	25.0	32.0	198	0.25	86.5	9.15
		HE5	115	115	40.0	96.0	3624	0.25	40.8	355
		HE6	115	115	28.8	96.0	49065	0.25	44.4	4417
		HE7	115	115	33.9	96.0	13867	0.25	42.8	1296
		HE8	115	115	39.0	105	39096	0.25	32.5	4806
		HE9	115	115	25.0	80.0	8470	0.25	58.2	582
		HE10	115	115	25.0	80.0	2280	0.25	58.2	157
		HE11	115	115	25.0	30.0	799	0.25	87.5	36.6
		HE12	115	115	25.0	67.1	8408	0.25	66.8	504
UT2	Água de Resfriamento	HE13	105	32.0	15.0	25.0	70130	0.25	40.7	6896
		HE14	37.1	32.0	15.0	25.0	3780	0.25	14.4	1049
		HE15	78.5	25.0	15.0	25.0	103	0.25	25.9	15.9
		HE16	82.6	25.0	15.0	25.0	2350	0.25	27.2	346
		HE17	175	110	15.0	25.0	188	0.25	120.5	6.24
		HE18	83.1	25.0	15.0	25.0	8.25	0.25	27.3	1.21

## 26 APÊNDICE F

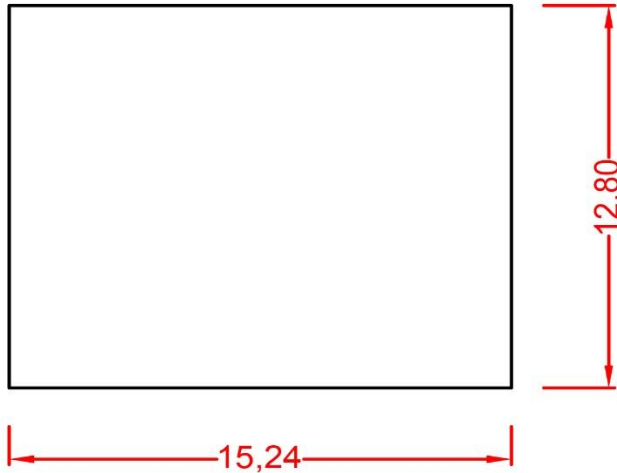

Dimensões básicas e parâmetros de projeto da torre de resfriamento.

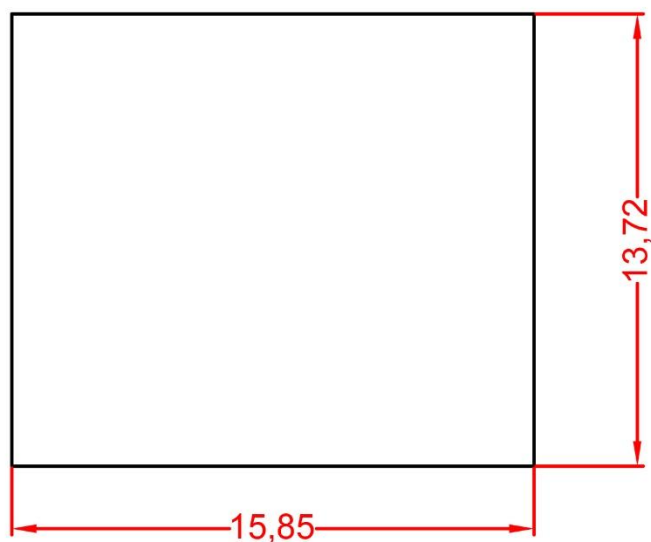




## 27 APÊNDICE G

Dimensões básicas e parâmetros de projeto dos tanques de armazenamento.

			
Equipamento: Reservatório de água de incêndio			
Material: Fibra de Vidro		Espessura (mm): 6	
Volume (gal): 600000	Setor: 6000	Área: 6100	
Unid: m	ESC: 1:200	Responsável: Projetista	



Equipamento: Tanque de armazenamento de etanol hidratado

Material: Aço carbono - A285C

Espessura (mm): 6

Volume (gal): 750000

Setor: 5000

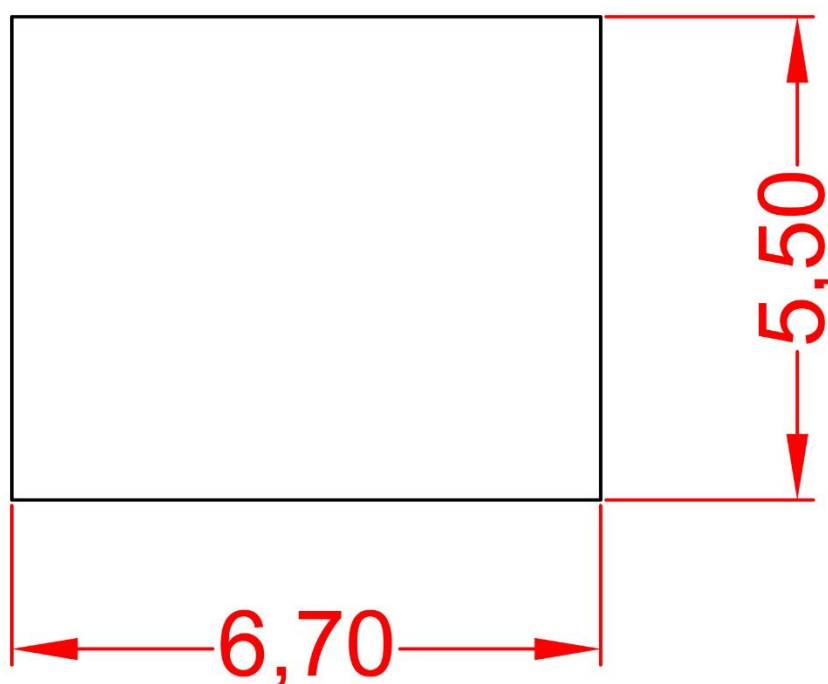
Área: 5100

Unid: m

ESC: 1:200

Responsável: Projetista





Equipamento: Tanque de armazenamento de etanol anidro

Material: Aço carbono A285C

Espessura (mm): 6

Volume (gal): 200.000

Setor: 5000

Área: 5100

Unid: m

ESC: 1:75

Responsável: Projetista

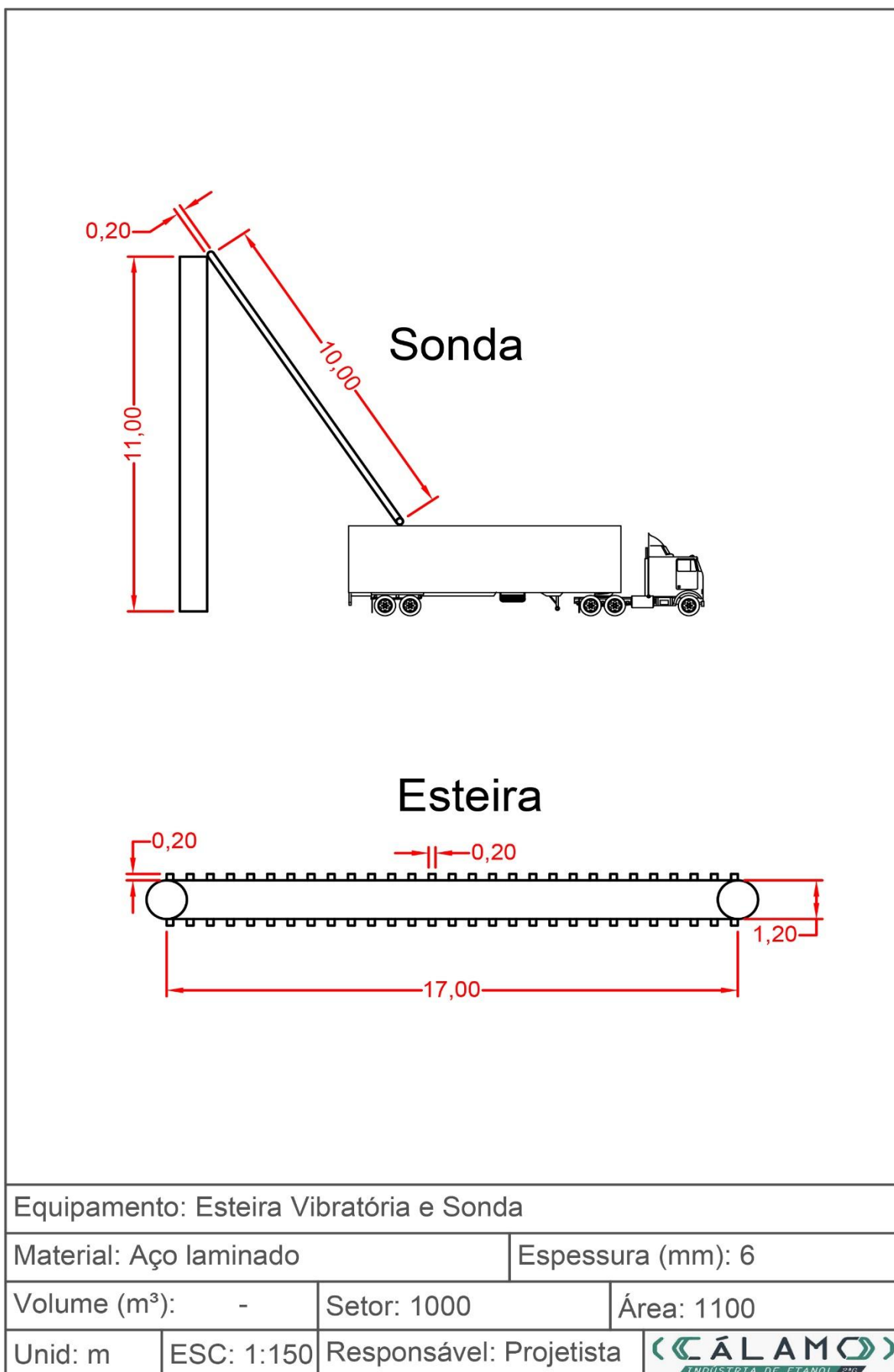

  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2AG

## 28 APÊNDICE H

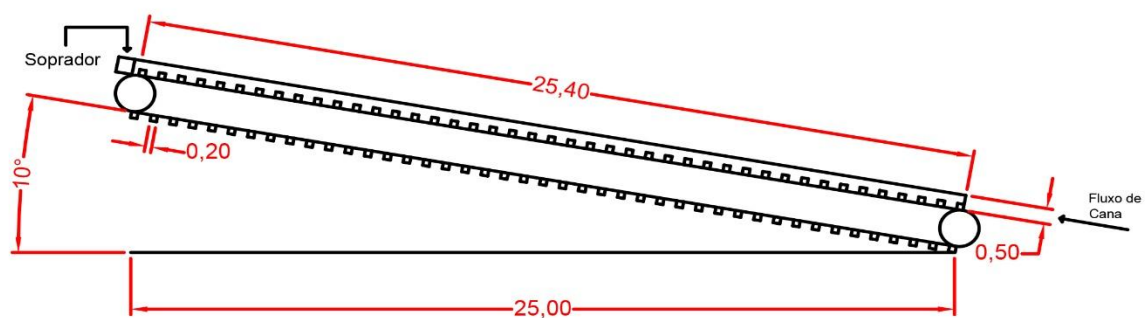
Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos das áreas:

- Apêndice H.1 – Área 1110;
- Apêndice H.2 – Área 1200;
- Apêndice H.3 – Área 1300;
- Apêndice H.4 – Área 1400;
- Apêndice H.5 – Área 1500;
- Apêndice H.6 – Área 1620;
- Apêndice H.7 – Área 1630;
- Apêndice H.8 – Área 1640;
- Apêndice H.9 – Área 1650;
- Apêndice H.10 – Área 1700;
- Apêndice H.11 – Área 1710.

## APÊNDICE H.1



## APÊNDICE H.2



Equipamento: Esteira com Soprador

Material: Aço laminado

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): -

Setor: 1000

Área: 1200

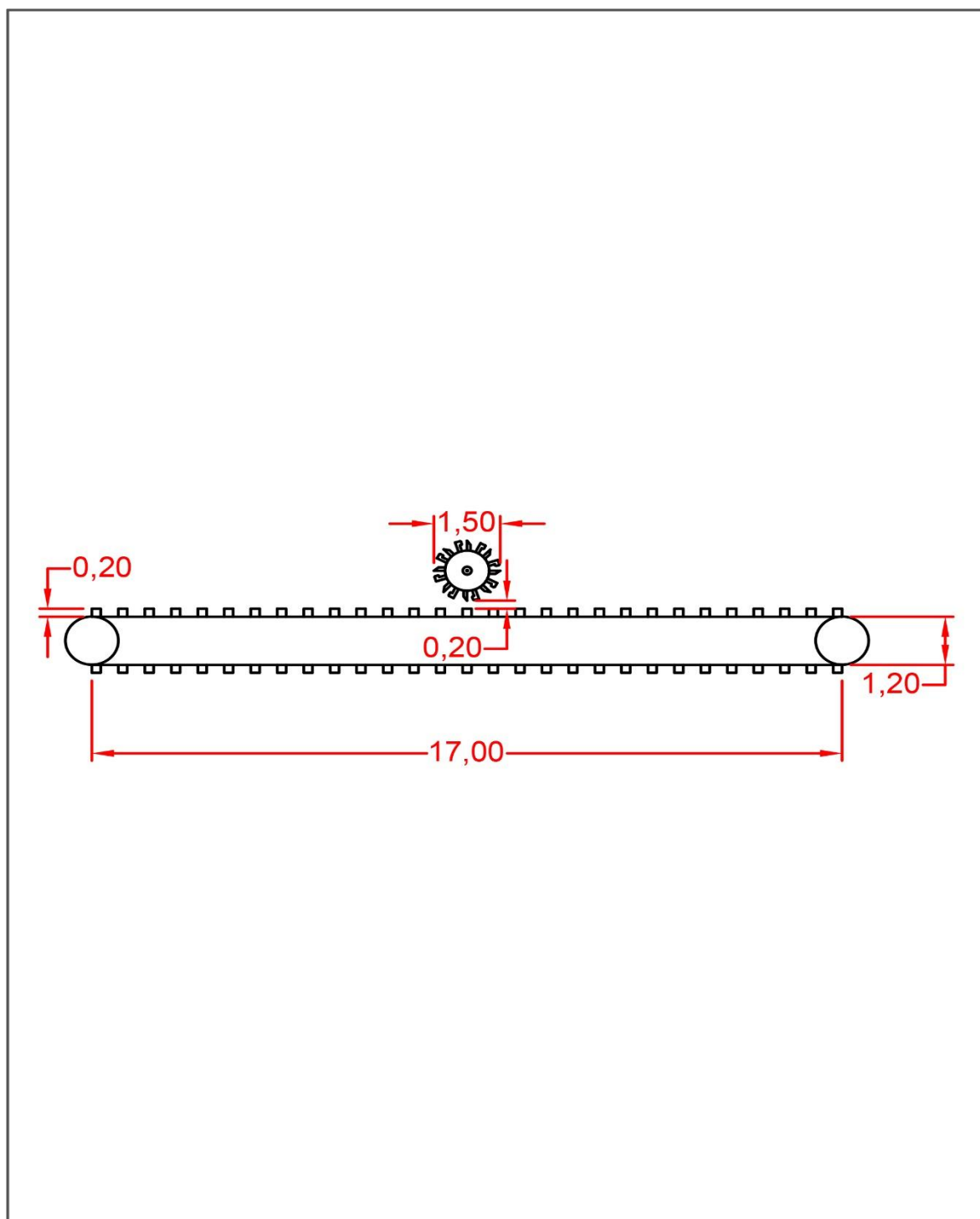
Unid: m

ESC: 1:200

Responsável: Projetista



## APÊNDICE H.3



Equipamento: Esteira com desfibrador

Material: Ferro Galvanizado

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): -

Setor: 1000

Área: 1300

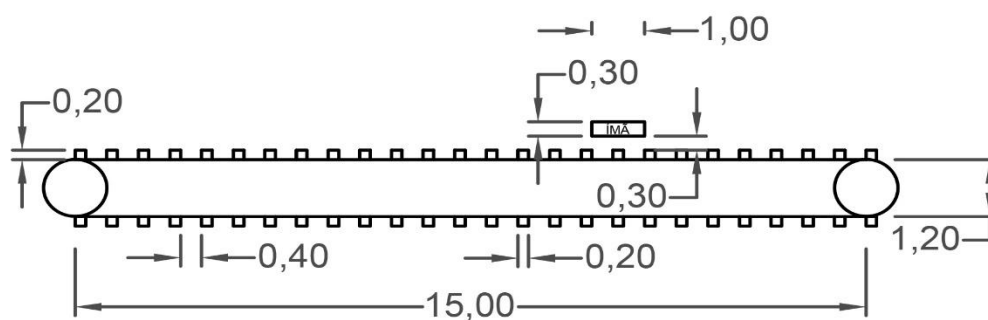
Unid: m

ESC: 1:125

Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ªG

## APÊNDICE H.4



Equipamento: Esteira com separador magnético

Material: Ferro Galvanizado

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): -

Setor: 1000

Área: 1400

Unid: m

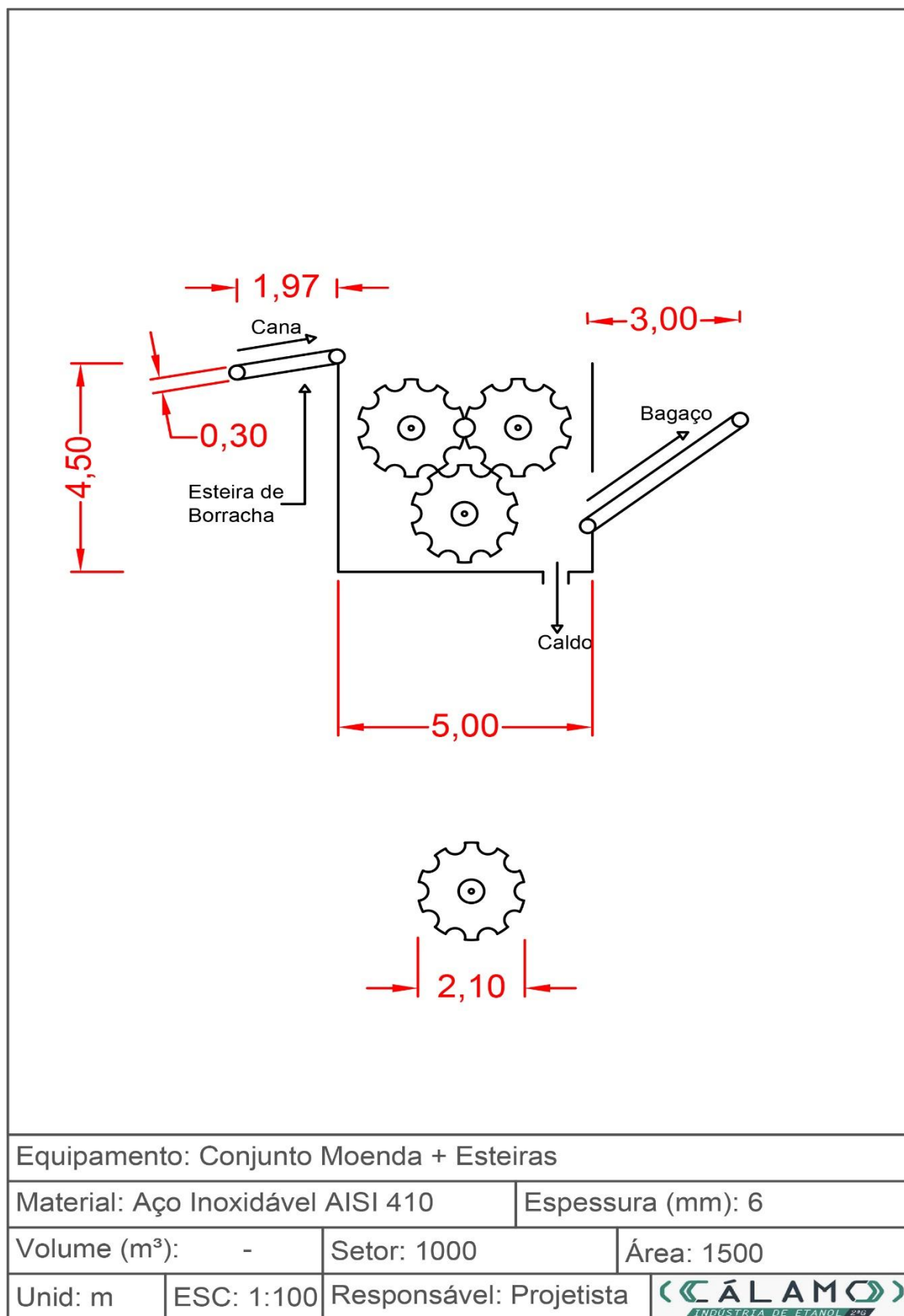
ESC: 1:125

Responsável: Projetista

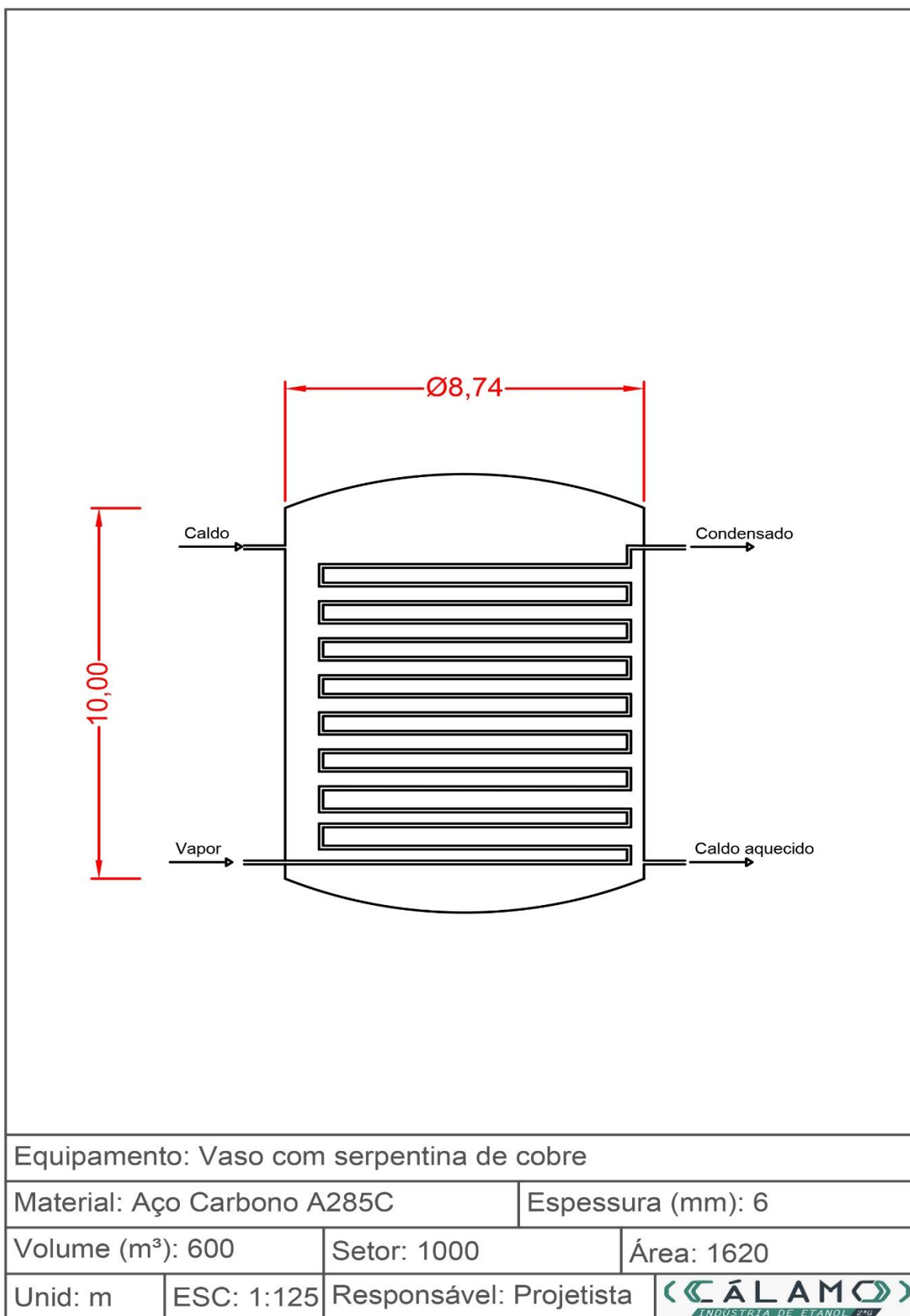
**Á L A M O**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G



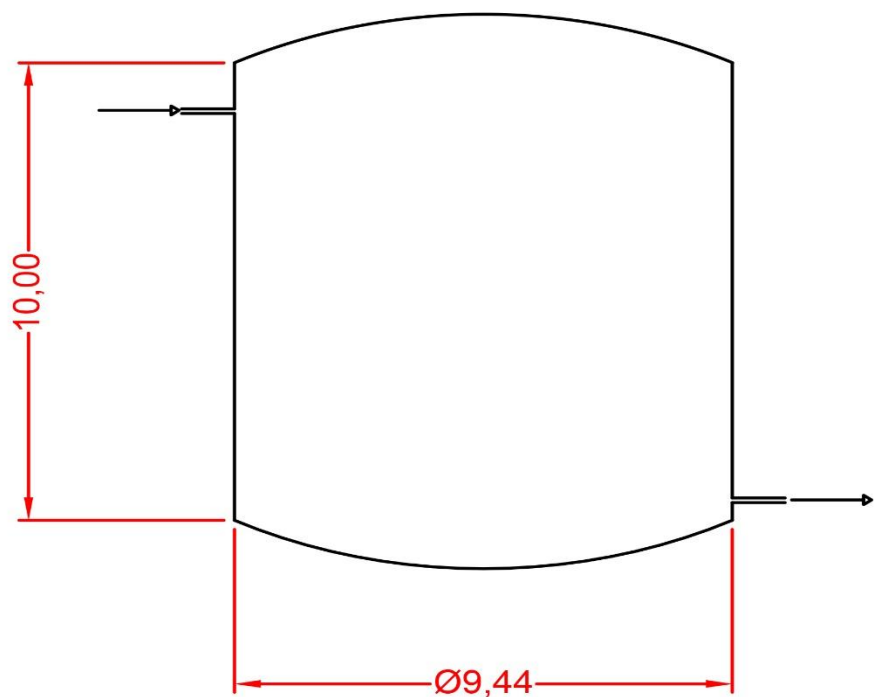

## APÊNDICE H.5



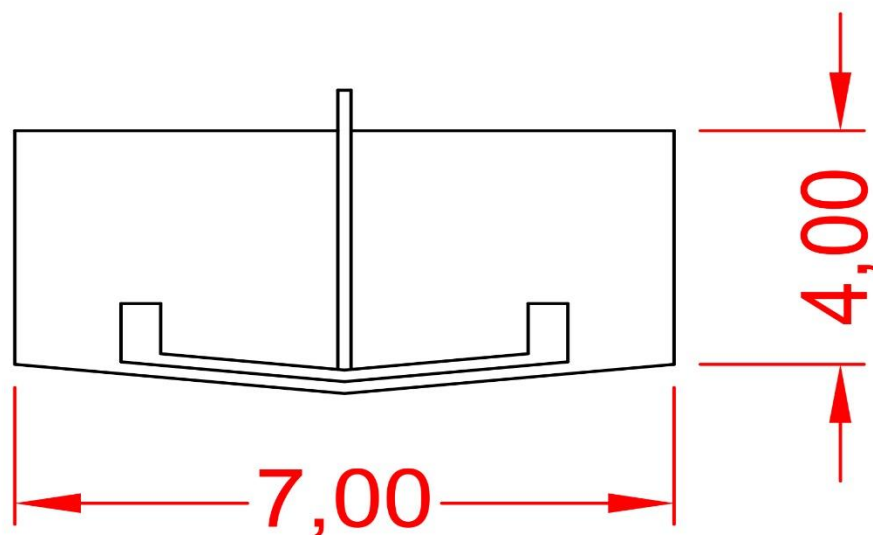
## APÊNDICE H.6



## APÊNDICE H.7

			
Equipamento: Balão de Flash			
Material: Aço Carbono A285C		Espessura (mm): 6	
Volume (m <sup>3</sup> ): 700	Setor: 1000	Área: 1630	
Unid: m	ESC: 1:125	Responsável: Projetista	

## APÊNDICE H.8



Equipamento: Tanque de Calagem

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 140

Setor: 1000

Área: 1640

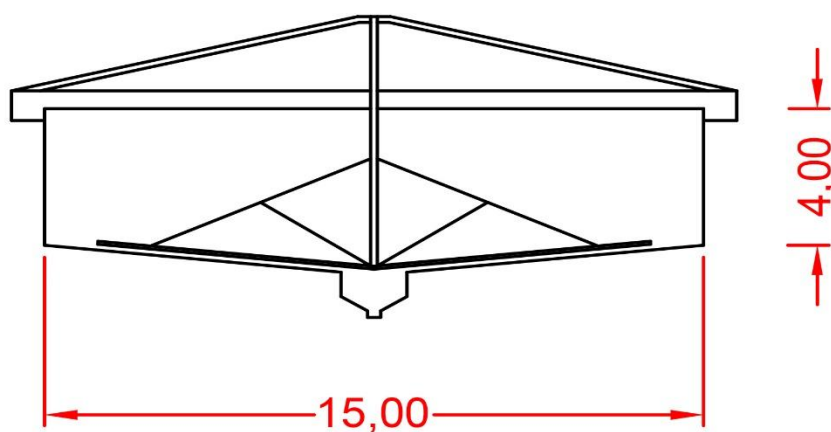
Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista

Á L A M O  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2007

## APÊNDICE H.9



Equipamento: Decantador

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 700

Setor: 1000

Área: 1650

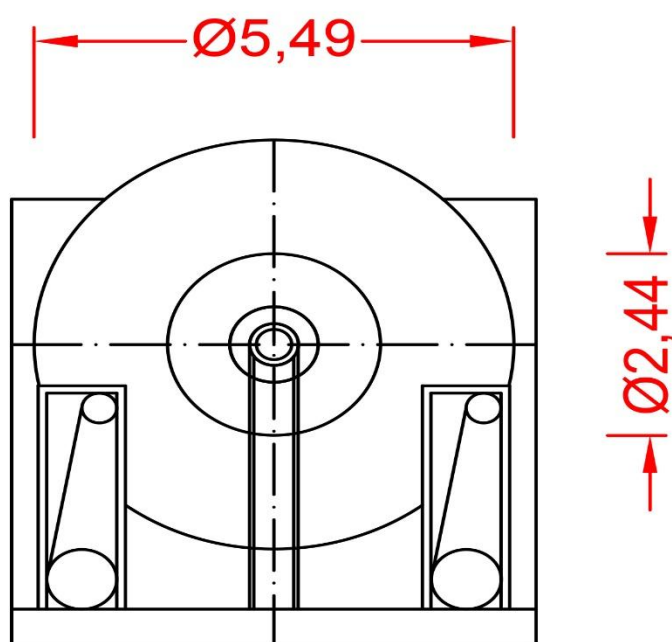
Unid: m

ESC: 1:100

Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G

## APÊNDICE H.10



Equipamento: Filtro Rotativo

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Área filtrante (m<sup>2</sup>): 33

Setor: 1000

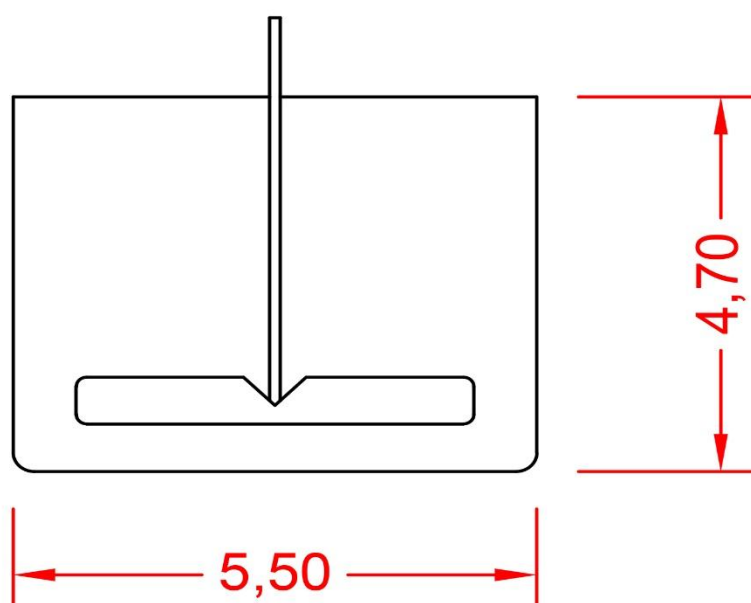
Área: 1700

Unid: m

ESC: 1:75

Responsável: Projetista

## APÊNDICE H.11



Equipamento: Tanque de junção de caldos

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 112

Setor: 1000

Área: 1710

Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista



## 29 APÊNDICE I

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos das áreas:

- Apêndice I.1 – 2100;
- Apêndice I.2 – 2200;
- Apêndice I.3 – 2300;
- Apêndice I.4 – 2300;
- Apêndice I.5 – 2400;
- Apêndice I.6 – 2500;
- Apêndice I.7 – 2600;
- Apêndice I.8 – 2700;
- Apêndice I.9 – 2800.



## APÊNDICE I.1



Equipamento: Esteira

Material: Aço laminado

Espessura (mm): 6

Largura (m): 1,5

Setor: 2000

Área: 2100

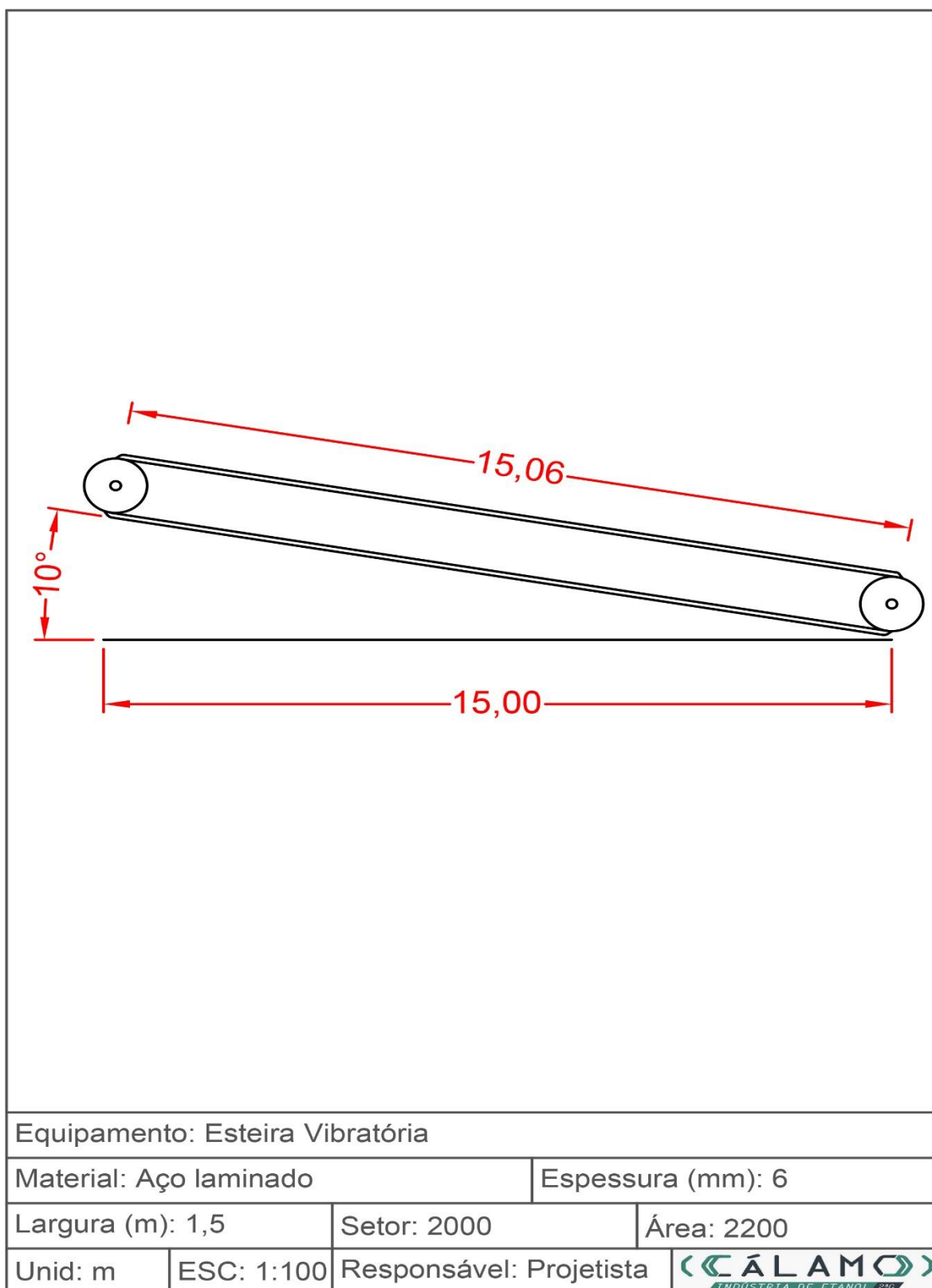
Unid: m

ESC: 1:100

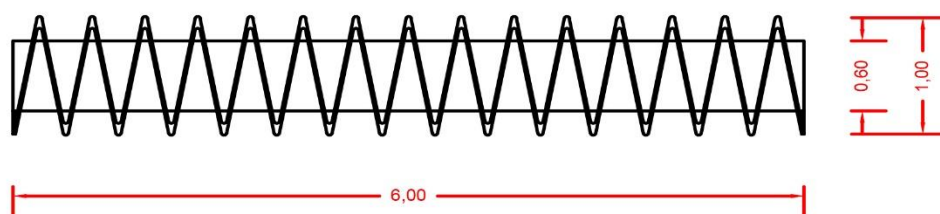
Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª

## APÊNDICE I.2



## APÊNDICE I.3



Equipamento: Alimentador rosca sem fim

Material: Aço laminado

Espessura (mm): 6

Largura (m): 1,5

Setor: 2000

Área: 2200

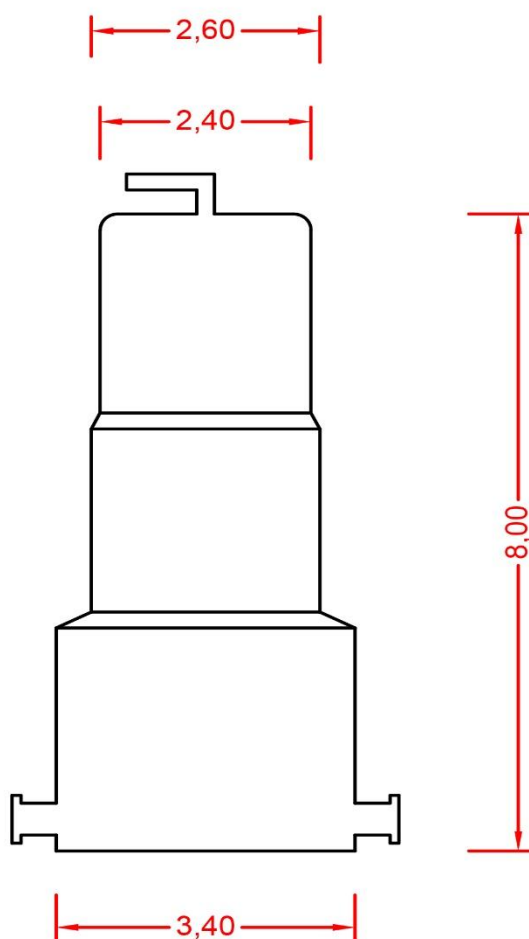
Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista



## APÊNDICE I.4



Equipamento: Reator de Explosão a Vapor

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 48

Setor: 2000

Área: 2300

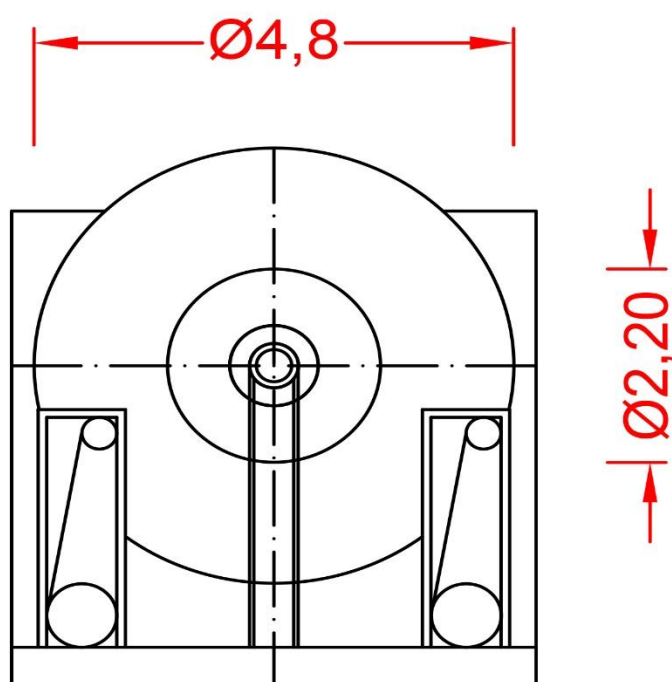
Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista



## APÊNDICE I.5



Equipamento: Filtro Rotativo

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Área filtrante (m<sup>3</sup>): 42

Setor: 2000

Área: 2400/2700

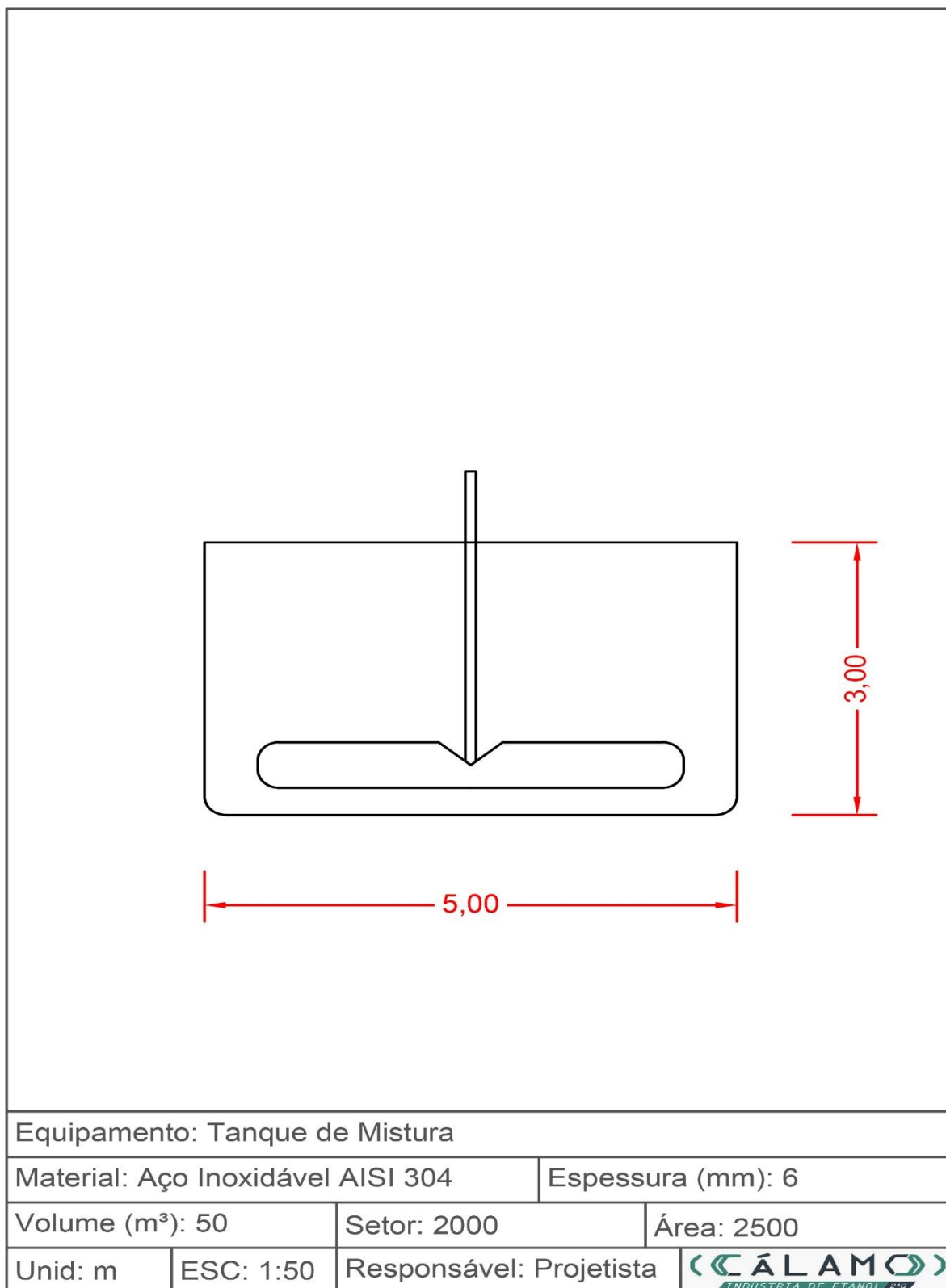
Unid: m

ESC: 1:75

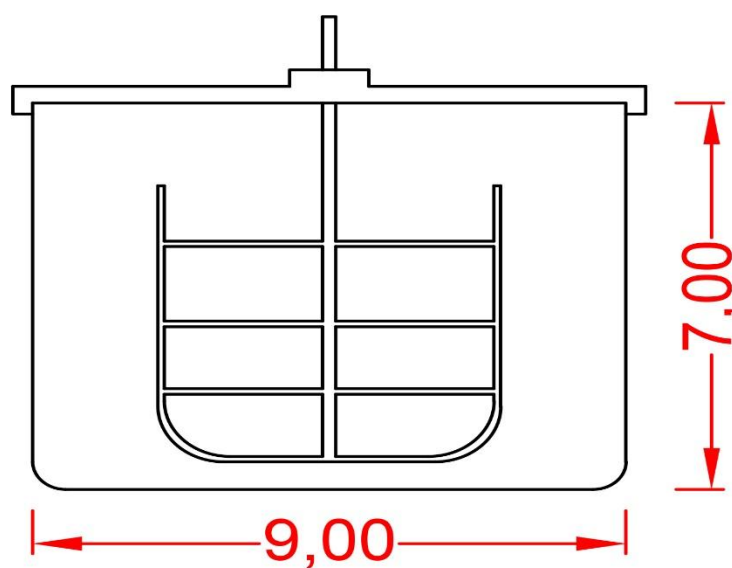
Responsável: Projetista



## APÊNDICE I.6



## APÊNDICE I.7



Equipamento: Reator de Hidrólise Enzimática

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 400

Setor: 2000

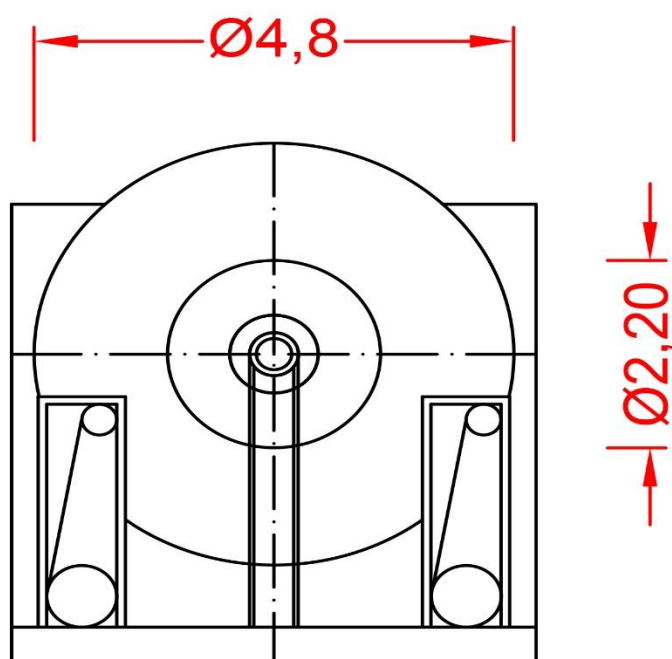
Área: 2600

Unid: m

ESC: 1:100

Responsável: Projetista

## APÊNDICE I.8



Equipamento: Filtro Rotativo

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Espessura (mm): 6

Área filtrante ( $\text{m}^3$ ): 42

Setor: 2000

Área: 2400/2700

Unid: m

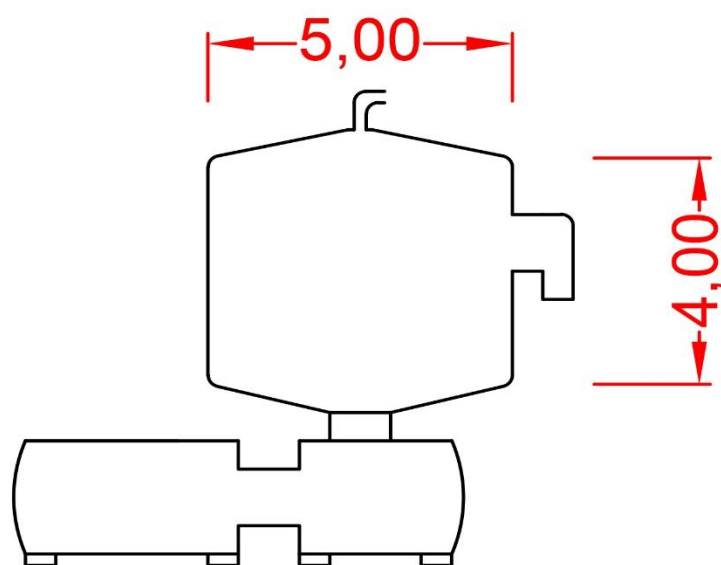
ESC: 1:75

Responsável: Projetista


  
 ALAMO
   
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G



## APÊNDICE I.9



Equipamento: Centrífuga

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 50

Setor: 2000

Área: 2800

Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista

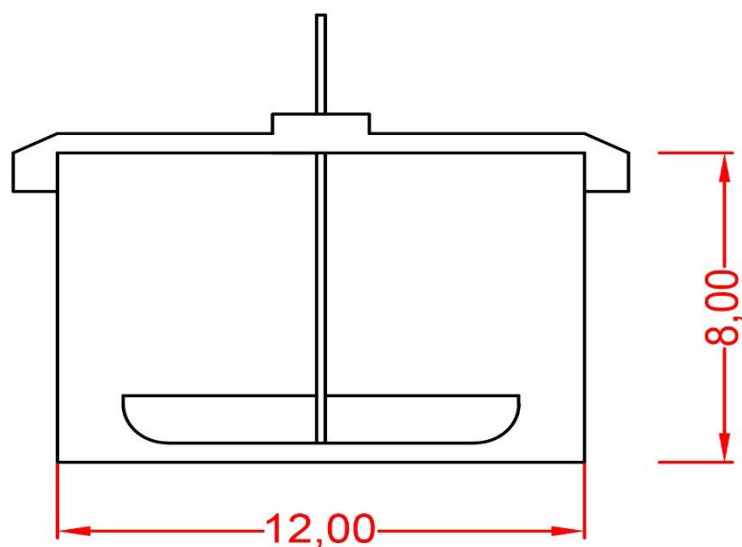

**ALAMO**  
 INDÚSTRIA DE ETANOL 210

## 30 APÊNDICE J

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos das áreas:

- Apêndice J.1 – 3100;
- Apêndice J.2 – 3200;
- Apêndice J.3 – 3310;
- Apêndice J.4 – 3320;
- Apêndice J.5 – 3400;
- Apêndice J.6 – 3510;
- Apêndice J.7 – 3520;
- Apêndice J.8 – 3600;
- Apêndice J.9 – 3700;
- Apêndice J.10 – 3700;
- Apêndice J.11 – 3800;
- Apêndice J.12 – 3900.

## APÊNDICE J.1



Equipamento: Tanque de Mistura

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 900

Setor: 3000

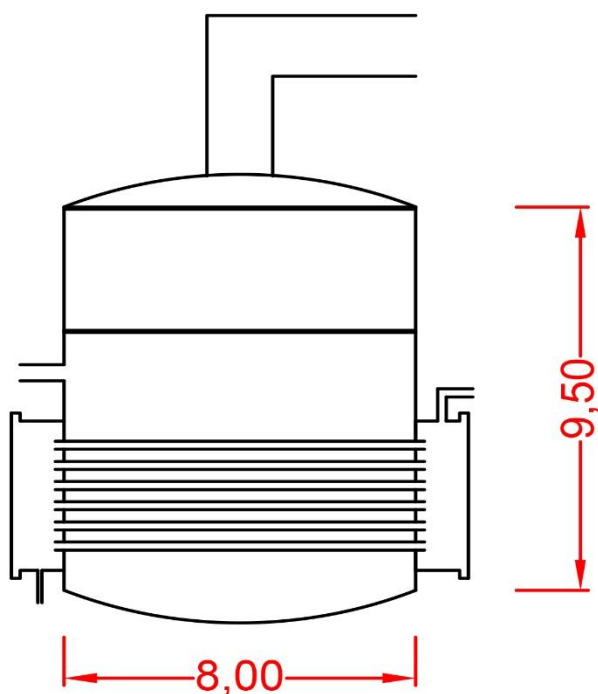
Área: 3100

Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista

## APÊNDICE J.2



Equipamento: Evaporador

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 400

Setor: 3000

Área: 3200

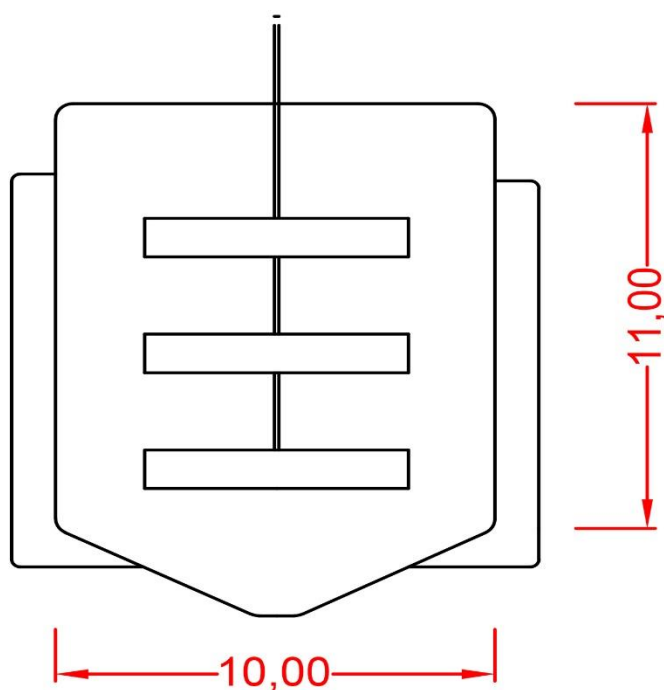
Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista


  
 ALAMO
   
INDÚSTRIA DE ETANOL 24h

## APÊNDICE J.3



Equipamento: Dorna de Fermentação C6

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 750

Setor: 3000

Área: 3310

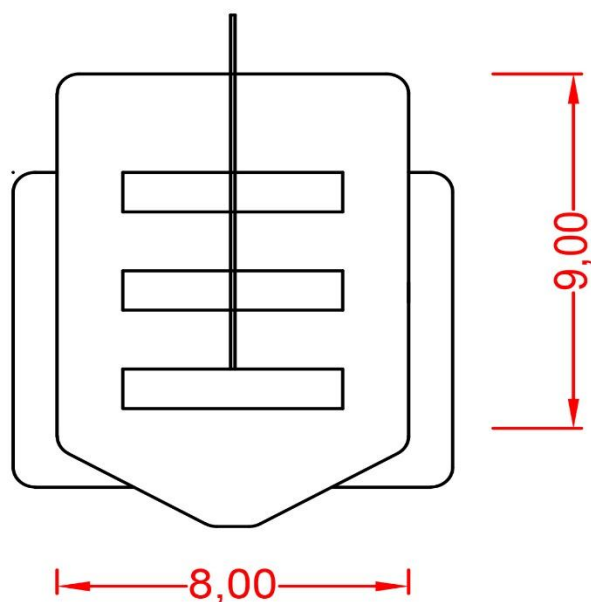
Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista


  
 ALAMO
   
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G

## APÊNDICE J.4



Equipamento: Dorna de Fermentação C5

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 400

Setor: 3000

Área: 3320

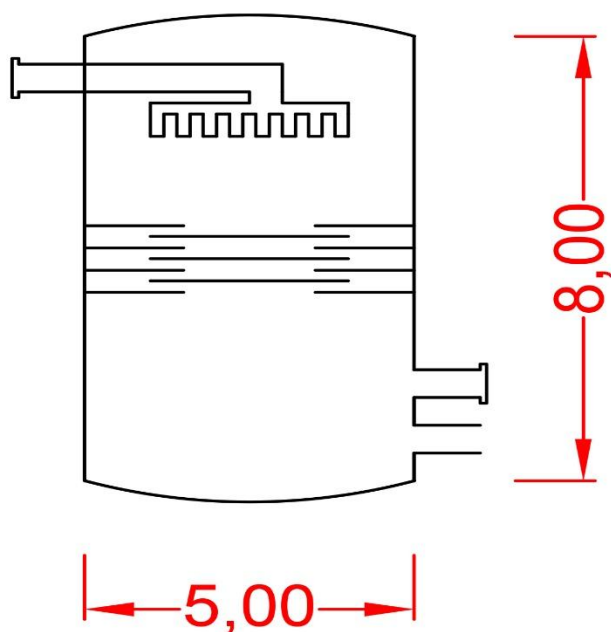
Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ªG

## APÊNDICE J.5



Equipamento: Coluna de Absorção

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Nº de pratos: 3

Setor: 3000

Área: 3400

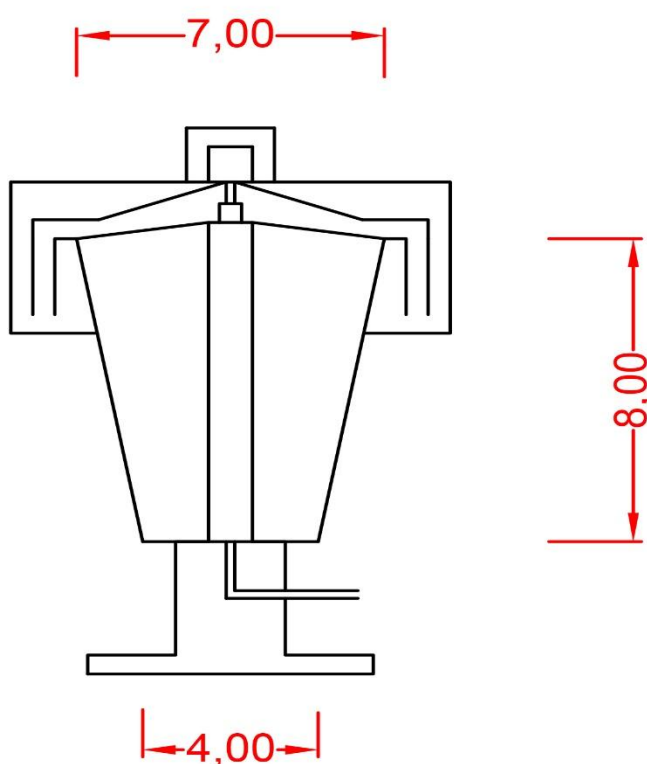
Unid: m

ESC: 1:100

Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 240

## APÊNDICE J.6



Equipamento: Centrífuga

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 50

Setor: 3000

Área: 3510/3520

Unid: m

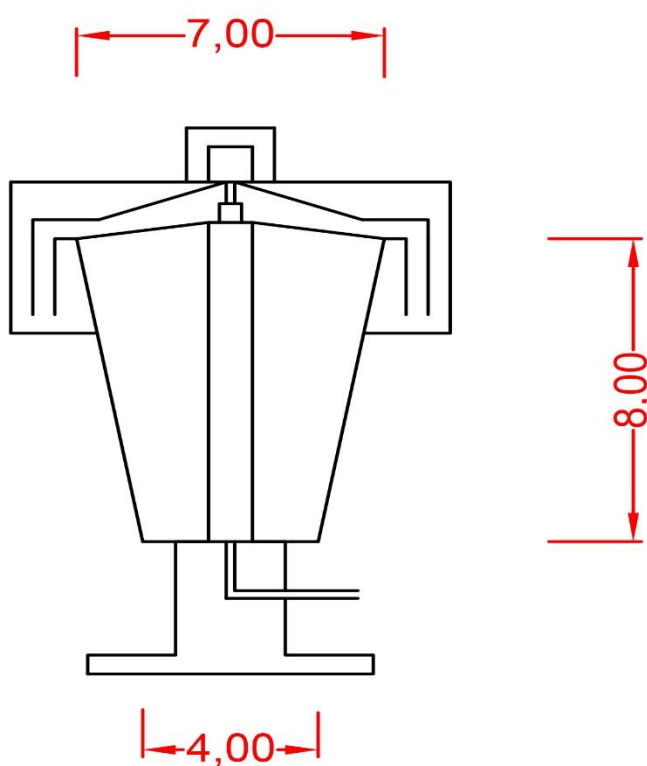
ESC: 1:150

Responsável: Projetista


**Á L A M O**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G



## APÊNDICE J.7



Equipamento: Centrífuga

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 50

Setor: 3000

Área: 3510/3520

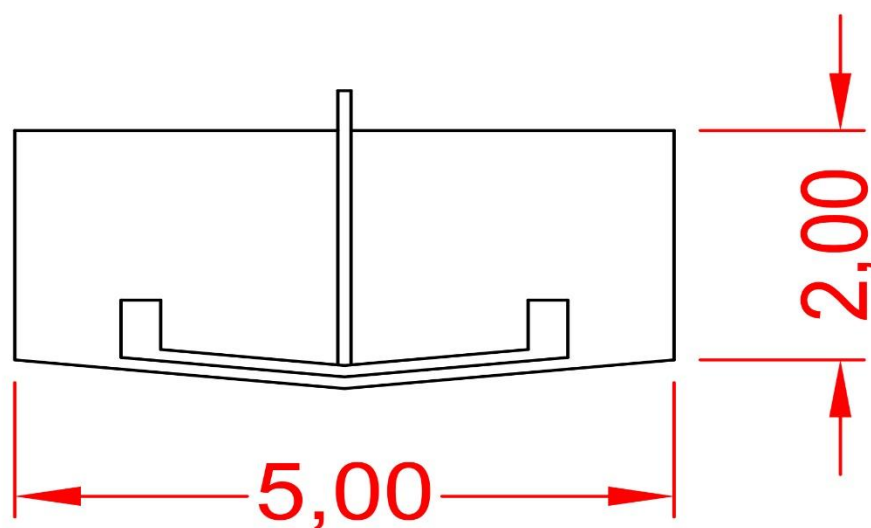
Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista


**ALAMO**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G

## APÊNDICE J.8



Equipamento: Tanque de Tratamento de Leveduras

Material: Incoloy 825 - Clad

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 140

Setor: 3000

Área: 3600

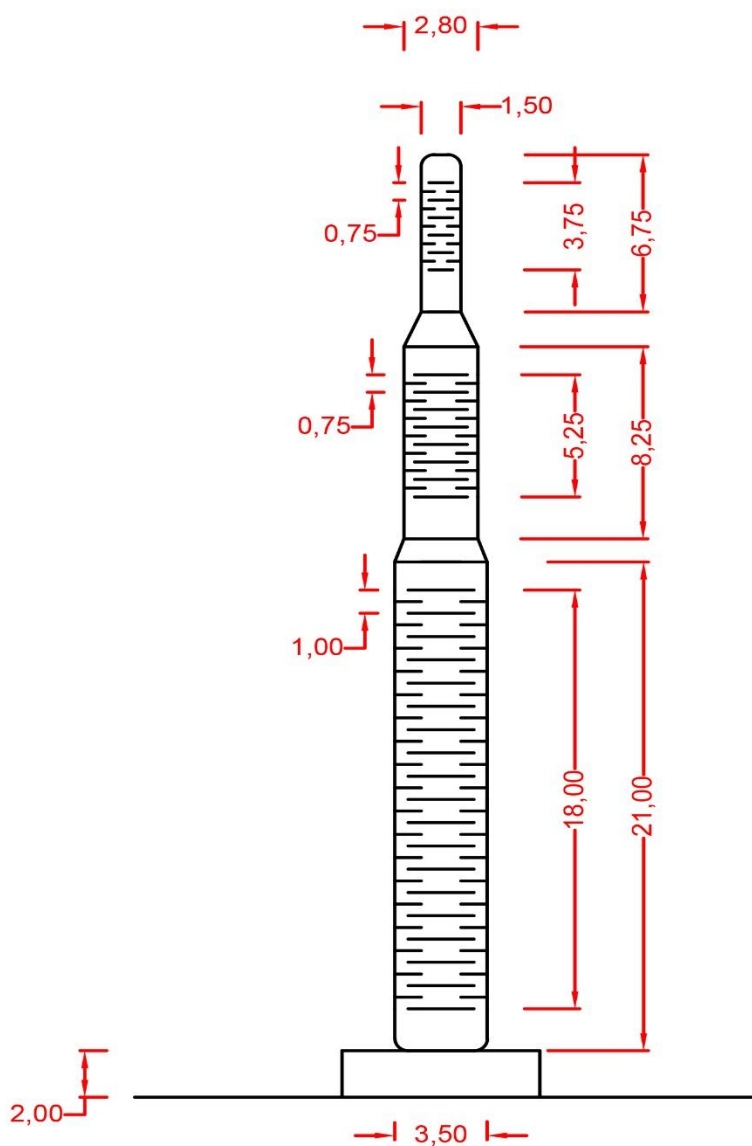
Unid: m

ESC: 1:50

Responsável: Projetista


**Á L A M O**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G

## APÊNDICE J.9



Equipamento: Colunas de Retificação

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Nº de pratos: 32

Setor: 3000

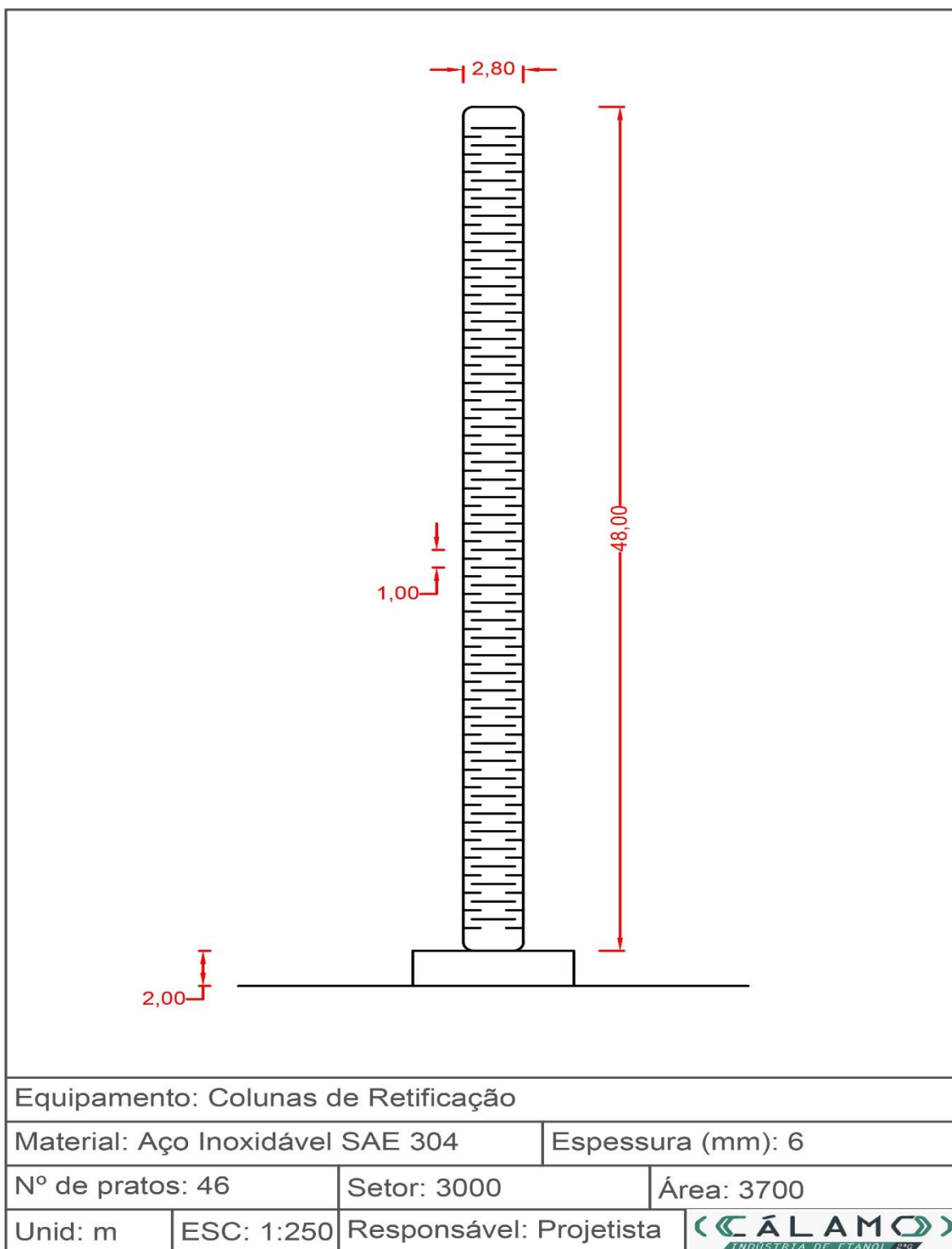
Área: 3700

Unid: m

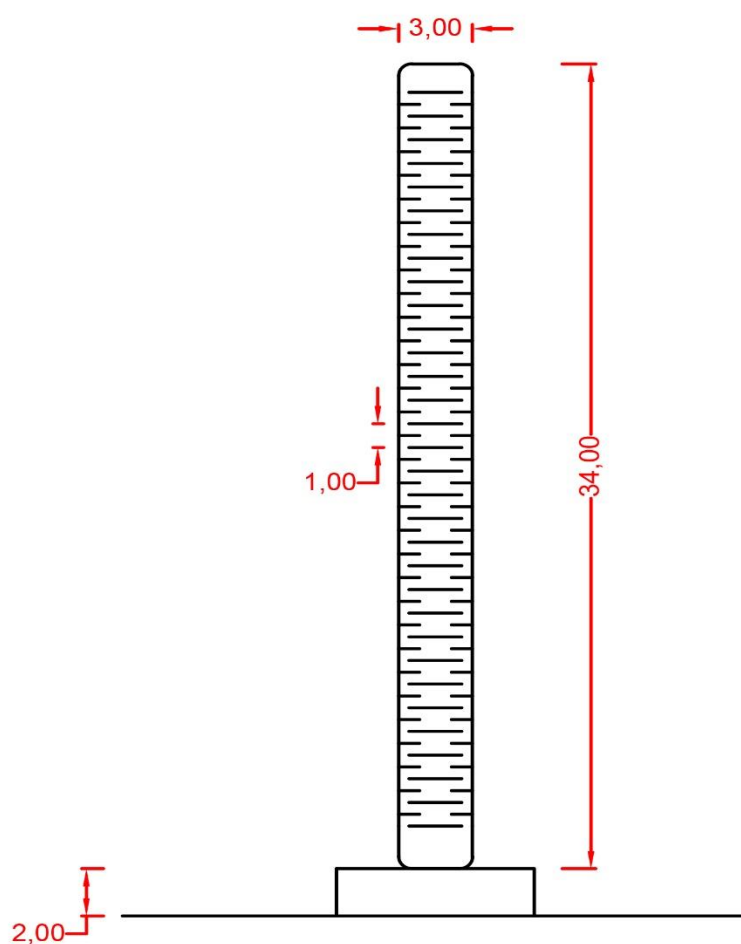
ESC: 1:250

Responsável: Projetista

## APÊNDICE J.10



## APÊNDICE J.11



Equipamento: Colunas de Destilação Extrativa

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Nº de pratos: 32

Setor: 3000

Área: 3800

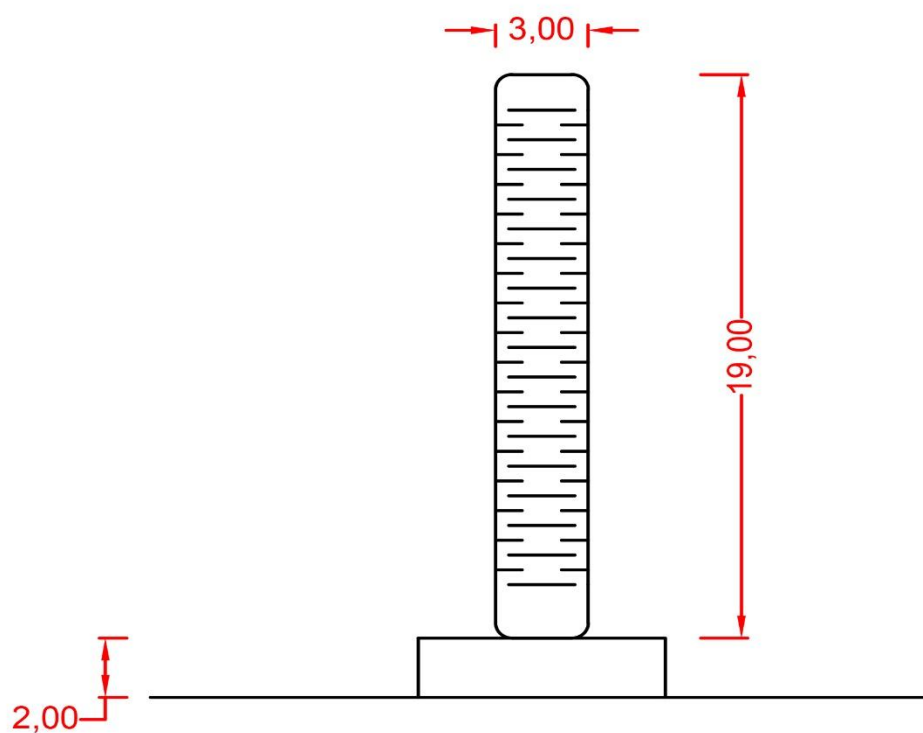
Unid: m

ESC: 1:250

Responsável: Projetista


**Á L A M O**  
INDÚSTRIA DE ETANOL 24h

## APÊNDICE J.12



Equipamento: Colunas de Recuperação

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Nº de pratos: 18

Setor: 3000

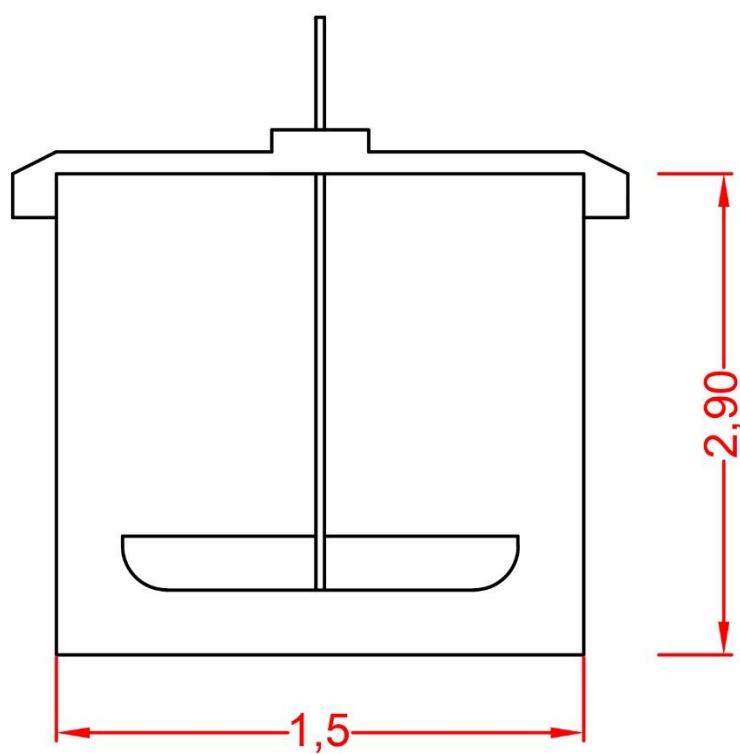
Área: 3900

Unid: m

ESC: 1:250

Responsável: Projetista


  
INDÚSTRIA DE ETANOL 2ª G



Equipamento: Tanque de Mistura MEG

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Espessura (mm): 6

Volume (m<sup>3</sup>): 5,1

Setor: 3000

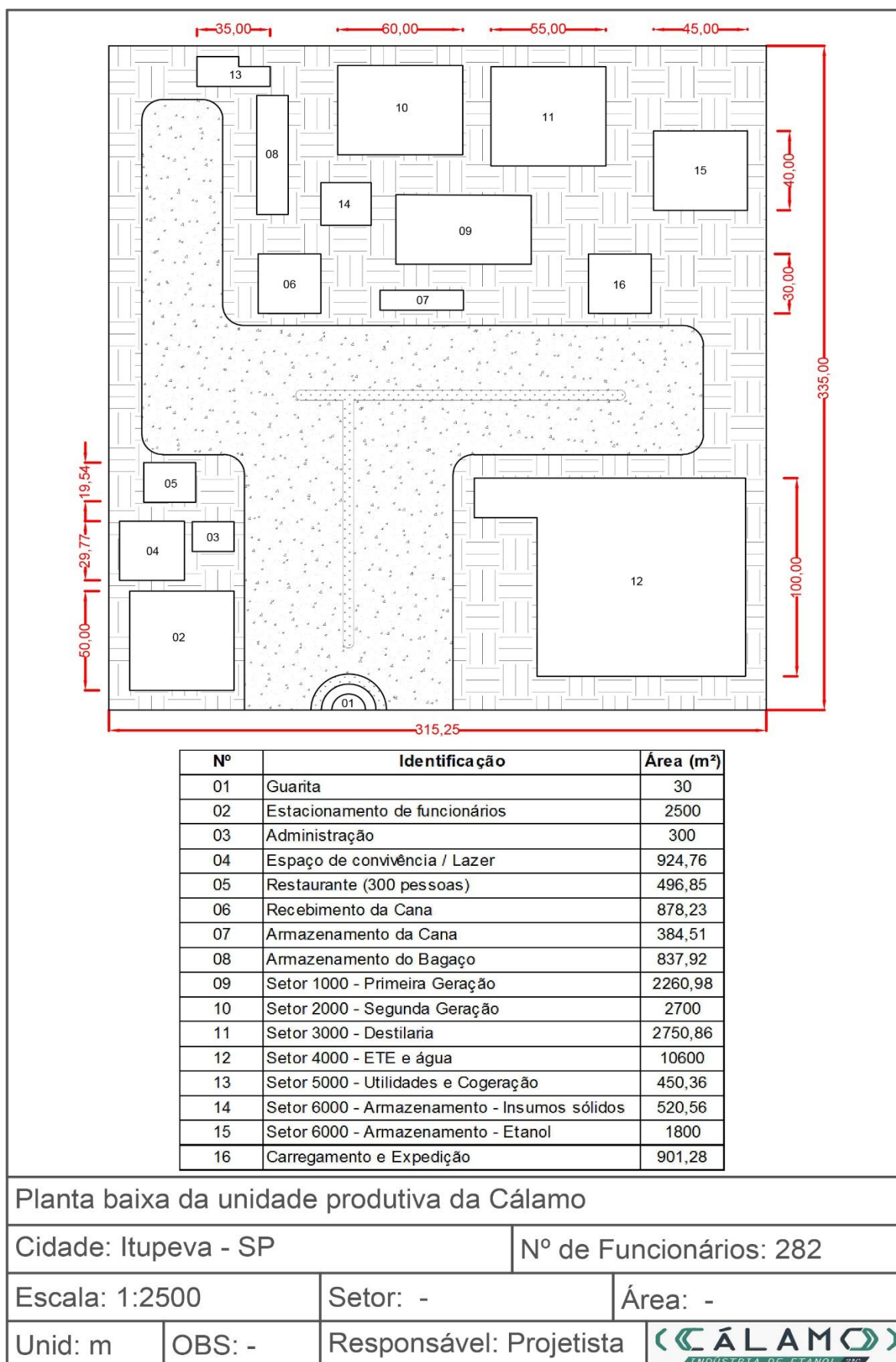
Área: 3900

Unid: m

ESC: 1:150

Responsável: Projetista

## 31 APÊNDICE K





## 32 APÊNDICE M

Cargo	Vagas	Salário	INSS	Ticket Alimentação	13°	1/3 Férias	Periculosidade e Insalubridade	Adicional Noturno	FGTS	Custo Mensal	Custo Anual
Presidente	1	20500,00	621,04	350,00	1708,33	569,44	6150,00		1640,00	30969,37	371632,48
Diretor Superintendente	1	16300,00	621,04	350,00	1358,33	452,78	4890,00		1304,00	24823,37	297880,48
Diretor Industrial	1	14751,00	621,04	350,00	1229,25	409,75	4425,30		1180,08	22556,67	270680,04
Gerente Industrial	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00		844,00	16409,21	196910,48
Coordenador Industrial	1	6300,00	621,04	350,00	525,00	175,00	1890,00		504,00	10190,04	122280,48
Engenheiro de Segurança no Trabalho	1	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00		628,00	12458,21	149498,48
Engenheiro Químico	3	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00	1570,00	628,00	42084,62	505015,44
Químico Industrial	3	4500,00	495,00	350,00	375,00	125,00	1350,00	900,00	360,00	24990,00	299880,00
Engenheiro Mecânico	3	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00	1570,00	628,00	42084,62	505015,44
Engenheiro de Produção	3	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00	1570,00	628,00	42084,62	505015,44
Engenheiro Eletricista	3	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00	1570,00	628,00	42084,62	505015,44
Técnico em Eletrotécnica/Produção	18	1550,00	124,00	350,00	129,17	43,06	465,00	310,00	124,00	54939,00	659268,00
o Sucroalcooleira/Segurança no trabalho/Química											
Químico	3	4500,00	495,00	350,00	375,00	125,00	1350,00	900,00	360,00	24990,00	299880,00
Operadores	150	1695,00	152,55	350,00	141,25	47,08	508,50	339,00	135,60	498285,00	5979420,00
Diretor Agrícola	1	14751,00	621,04	350,00	1229,25	409,75	4425,30		1180,08	22556,67	270680,04
Gerente Agrícola	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00		844,00	16409,21	196910,48

Coordenador Agrícola	1	6300,00	621,04	350,00	525,00	175,00	1890,00	504,00	10190,04	122280,48
Engenheiro Ambiental	2	7850,00	621,04	350,00	654,17	218,06	2355,00	628,00	24916,41	298996,96
Agrônomo	2	5220,00	574,20	350,00	435,00	145,00	1566,00	417,60	17125,60	205507,20
Técnico Ambiental/Agrícola	4	1550,00	124,00	350,00	129,17	43,06	465,00	124,00	10968,67	131624,00
Diretor Comercial	1	14751,00	621,04	350,00	1229,25	409,75	4425,30	1180,08	22556,67	270680,04
Gerente Comercial	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00	844,00	16409,21	196910,48
Coordenador Comercial	1	6300,00	621,04	350,00	525,00	175,00	1890,00	504,00	10190,04	122280,48
Encarregado do departamento de Vendas	1	2850,00	256,50	350,00	237,50	79,17	855,00	228,00	4777,00	57324,00
Encarregado do departamento de Compras	1	2850,00	256,50	350,00	237,50	79,17	855,00	228,00	4777,00	57324,00
Encarregado do departamento de Logística	1	2850,00	256,50	350,00	237,50	79,17	855,00	228,00	4777,00	57324,00
Encarregado do departamento de Marketing	1	2850,00	256,50	350,00	237,50	79,17	855,00	228,00	4777,00	57324,00
Técnico em Logística	2	1550,00	124,00	350,00	129,17	43,06	465,00	124,00	5484,33	65812,00
Técnico em Vendas	2	1550,00	124,00	350,00	129,17	43,06	465,00	124,00	5484,33	65812,00
Técnico Administrativos	3	1550,00	124,00	350,00	129,17	43,06	465,00	124,00	8226,50	98718,00
Diretor Financeiro	1	14751,00	621,04	350,00	1229,25	409,75	4425,30	1180,08	22556,67	270680,04
Gerente Financeiro	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00	844,00	16409,21	196910,48
Coordenador Financeiro	1	6300,00	621,04	350,00	525,00	175,00	1890,00	504,00	10190,04	122280,48
Contador	2	4328,00	476,08	350,00	360,67	120,22	1298,40	346,24	14318,77	171825,28
Diretor Administrativo	1	14751,00	621,04	350,00	1229,25	409,75	4425,30	1180,08	22556,67	270680,04

Gerente Administrativo	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00		844,00	16409,21	196910,48
Coordenador Administrativo	1	6300,00	621,04	350,00	525,00	175,00	1890,00		504,00	10190,04	122280,48
Gerente de RH	1	10550,00	621,04	350,00	879,17	293,06	3165,00		844,00	16409,21	196910,48
Auxiliar de Escritório	8	1420,00	113,60	350,00	118,33	39,44	426,00		113,60	20332,27	243987,20
Recepcionista	3	1200,00	96,00	350,00	100,00	33,33	360,00		96,00	6606,00	79272,00
Porteiro	6	1799,00	161,91	350,00	149,92	49,97	539,70	359,80	143,92	21025,48	252305,76
Zelador	3	1290,00	103,20	350,00	107,50	35,83	387,00		103,20	7022,70	84272,40
Advogado	1	5430,00	597,30	350,00	452,50	150,83	1629,00		434,40	8893,20	106718,40
Cozinheiro	6	1760,00	158,40	350,00	146,67	48,89	528,00		140,80	18503,20	222038,40
Nutricionista	1	4320,00	475,20	350,00	360,00	120,00	1296,00		345,60	7146,80	85761,60
Médico	1	7200,00	621,04	350,00	600,00	200,00	2160,00		576,00	11507,04	138084,48
Enfermeiro	1	2747,00	247,23	350,00	228,92	76,31	824,10		219,76	4617,01	55404,08
Psicólogo	1	4320,00	475,20	350,00	360,00	120,00	1296,00		345,60	7146,80	85761,60
Jovem Aprendiz	5	1046,90	83,75	350,00	87,24	29,08	314,07		83,75	9828,58	117942,94
Estagiário	10	1250,00		350,00	104,17	34,72	375,00		100,00	21791,67	261500,00
<b>Total</b>	<b>272,00</b>	<b>325630,90</b>	<b>21876,62</b>	<b>17500,00</b>	<b>27135,91</b>	<b>9045,30</b>	<b>97689,27</b>	<b>9088,80</b>	<b>26050,47</b>	<b>1352035,58</b>	<b>R\$16.224.426,98</b>

## 33 APÊNDICE L

Setor 1000 - 1ª Geração

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço final
Balança de Caminhão	1	R\$30.000,00	R\$30.000,00
Amostrador	1	R\$586.464,78	R\$586.464,78
Hillo	1	R\$45.671,20	R\$45.671,20
Transportador metálico de cana	4	R\$1.802.315,09	R\$7.209.260,36
Bomba centrífuga	5	R\$434.472,43	R\$2.172.362,15
Desfibrador de cana	1	R\$2.046.723,35	R\$2.046.723,35
Calha	1	R\$39.323,67	R\$39.323,67
Sistema de lubrificação	1	R\$294.241,03	R\$294.241,03
Separador Magnético	1	R\$368.848,21	R\$368.848,21
Moenda	1	R\$5.188.323,00	R\$5.188.323,00
Tansportador helicoidal	1	R\$35.213,11	R\$35.213,11
Motor eletro-hidraulico	4	R\$26.554,12	R\$106.216,47
Motor-bomba recalque de agua quente (embebição)	6	R\$56.739,56	R\$340.437,36
Tanque pulmão do leite de cal	1	R\$21.093,00	R\$21.093,00
Sistema de controle de pH	1	R\$17.815,74	R\$17.815,74
Tanque armazenagem caldo do difusor	1	R\$100.061,01	R\$100.061,01
Tanque de calagem	1	R\$118.887,82	R\$118.887,82
Aquecedor vertical de caldo	1	R\$525.233,16	R\$525.233,16
Tanque de polimero	1	R\$162.276,65	R\$162.276,65
Motor-bomba dosagem de polímero	1	R\$55.120,00	R\$55.120,00
Decantador de caldo rápido	1	R\$1.080.885,56	R\$1.080.885,56
Moto-bomba de lodo do decantador	1	R\$173.742,86	R\$173.742,86
Tanque de caldo clarificado	1	R\$96.225,92	R\$96.225,92
Peneira para caldo clarificado	2	R\$606.641,68	R\$1.213.283,36
Filtro rotativo a vácuo	1	R\$2.665.213,98	R\$2.665.213,98
Moto bomba centrifugas para Caldo limpo e turvo	1	R\$26.827,62	R\$26.827,62
Motor-bomba de recirculação de lodo/bagacilho	1	R\$80.704,32	R\$80.704,32
Vaso de flasheamento	1	R\$434.934,19	R\$434.934,19
Moto-bomba caldo limpo	6	R\$73.479,00	R\$440.874,00
<b>Total</b>			<b>R\$25.676.263,88</b>

**Captação e distribuição de Água**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
Bomba para captação/distribuição de água	13	R\$50.285,71	R\$653.714,23
Tanque de agua	4	R\$131.787,68	R\$527.150,72
Torre de resfriamento	1	R\$350.371,43	R\$350.371,43
Bomba de dosagem	6	R\$44.855,26	R\$269.131,56
Tanque p/ dosadores	3	R\$148.173,97	R\$444.521,91
<b>Total</b>			<b>R\$2.244.889,85</b>

**Sistema de combate a incendio e Segurança do Trabalho**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
Sist de Comb a incendio	1	R\$4.358.058,00	R\$4.358.058,00
EPI's diversos	1	R\$45.000,00	R\$45.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$4.403.058,00</b>

**Setor 2000 - 2º Geração**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
Esteira	2	R\$28.000,00	R\$56.000,00
Esteira vibratória	1	R\$60.000,00	R\$60.000,00
Alimentador rosca sem fim	1	R\$35.000,00	R\$35.000,00
Reator Explosão	5	R\$34.200.000,00	R\$171.000.000,00
Reator hidrolise	16	R\$1.416.182,79	R\$22.658.924,64
Filtro rotativo	2	R\$60.000,00	R\$120.000,00
Tanque de misturação	1	R\$249.783,00	R\$249.783,00
Centrifuga	2	R\$165.000,00	R\$330.000,00
Bomba	5	R\$25.970,00	R\$129.850,00
<b>Total</b>			<b>R\$194.639.557,64</b>

**Geração de Vapor e Eletricidade**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
Esteira - elevadora de bagaço	1	R\$746.767,50	R\$746.767,50
Esteira distribuidora de bagaço	1	R\$692.457,14	R\$692.457,14
Esteira de bagaço ao pátio	1	R\$2.308.191,46	R\$2.308.191,46
Sistema de Caldeira	1	R\$18.471.244,91	R\$18.471.244,91
Tanque de descarga contínua	1	R\$16.734,94	R\$16.734,94
Turbo retutor de contrapressão	1	R\$4.857.142,86	R\$4.857.142,86
Gerador Diesel	2	R\$3.277.272,62	R\$6.554.545,24
Tanque de diesel	1	R\$17.780,88	R\$17.780,88
Sist de recuperação de água de lavagem dos gases	1	R\$6.340.714,29	R\$6.340.714,29
Estação dessuperaquecedora	1	R\$38.895,67	R\$38.895,67
Válvulas redutoras para vapor	1	R\$183.833,35	R\$183.833,35
Válvulas de alívio para vapor	1	R\$256.206,75	R\$256.206,75
Turbinas	5	R\$6.750.211,30	R\$33.751.056,50
<b>Total</b>			<b>R\$74.235.571,49</b>

## Serviços Gerais

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço final
Compressor 1	1	R\$142.711,71	R\$142.711,71
Compressor 2	1	R\$199.876,65	R\$199.876,65
Tanque para Leite de Cal	1	R\$87.161,16	R\$87.161,16
motor-bomba p/ sol	1	R\$173.742,86	R\$173.742,86
trocadores de calor	18	R\$237.407,15	R\$4.273.328,61
<b>Total</b>			<b>R\$4.876.820,99</b>

## Estocagem e Carregamento do Etanol

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço final
Reservatórios para etanol	7	R\$2.179.792,00	R\$15.258.544,00
Plataforma de carregamento de álcool	1	R\$294.282,23	R\$294.282,23
Moto-bombas para carregamento de álcool	2	R\$100.896,57	R\$201.793,14
<b>Total</b>			<b>R\$15.754.619,37</b>

## Estação de Tratamento de efluentes

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço final
Lagoa de Tratamento	1		R\$200.000,00
Bombas	3	R\$80.704,32	R\$242.112,96
utilidades	1	R\$50.000,00	R\$50.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$492.112,96</b>

## Setor 3000 - Destilaria

Equipamento	Quantidade	Preço unitário	Preço final
Tanque de Mistura	4	R\$96.225,92	R\$384.903,68
Trocador de calor	2	R\$983.671,43	R\$1.967.342,86
Evaporador	1	R\$1.565.414,45	R\$1.565.414,45
Dorna de Fermentação C6	16	R\$2.745.576,57	R\$43.929.225,12
Dorna de Fermentação C5	9	R\$2.745.576,57	R\$24.710.189,13
Coluna de Absorção	1	R\$1.405.962,08	R\$1.405.962,08
Centrífugas C6	4	R\$176.812,08	R\$707.248,32
Centrífugas C5	2	R\$318.261,74	R\$636.523,49
Peneiras	2	R\$606.641,68	R\$1.213.283,36
Tanque de tratamento leveduras	1	R\$8.716,12	R\$8.716,12
Coluna A/A1	1	R\$1.015.287,01	R\$1.015.287,01
Coluna D	1	R\$97.075,56	R\$97.075,56
Coluna B/B1	1	R\$1.532.443,42	R\$1.532.443,42
Condensador	6	R\$77.067,02	R\$462.402,12
Refervedor	5	R\$64.783,97	R\$323.919,85
Coluna de Desidratação e Recuperação	1	R\$432.527,90	R\$432.527,90
Bomba Rotativa	1	R\$31.891,15	R\$31.891,15
Bombas para transporte de fluidos	96	R\$25.970,00	R\$2.493.120,00
<b>Total</b>			<b>R\$82.917.475,61</b>

**Investimento em Infraestrutura**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
Rede elétrica industrial + Subestação		R\$48.810.250,15	R\$48.810.250,15
Sistema de controle e Automação		R\$6.972.892,88	R\$6.972.892,88
Terreno		R\$0,00	R\$0,00
Construção Civil		R\$70.580.375,72	R\$70.580.375,72
Estruturas metálicas em geral		R\$14.000.000,00	R\$14.000.000,00
Interligação e isolamento		R\$10.200.000,00	R\$10.200.000,00
Montagem mecânica		R\$7.038.920,31	R\$7.038.920,31
Peças de Reposição		R\$743.223,22	R\$743.223,22
Oficina mecanica e elétrica		R\$622.579,72	R\$622.579,72
Seguros		R\$10.972.081,71	R\$10.972.081,71
Burocracia		R\$200.000,00	R\$200.000,00
Frota de carros	2	R\$50.000,00	R\$100.000,00
Contigências		R\$5.541.455,41	R\$5.541.455,41
<b>Total</b>			<b>R\$175.781.779,12</b>

**Instituto Cálamo e Laboratórios**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço final</b>
conjunto de equipamentos	1	R\$900.076,02	R\$900.076,02
Sist conjunto de Análise	1	R\$16.581,52	R\$16.581,52
Investimento em Inovação	1	R\$50.000,00	R\$50.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$966.657,54</b>