

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA

**PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA: DIMENSIONAMENTO DE
EQUIPAMENTOS E ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS DE
ENGENHARIA**

Camila Alves dos Santos

Campo Grande – MS
2024

Camila Alves dos Santos

**PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA: DIMENSIONAMENTO DE
EQUIPAMENTOS E ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS DE
ENGENHARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Instituto de Química
como requisito básico para a conclusão do Curso de Bacharelado em
Engenharia Química.

Orientador (a): Prof^a Dr^a Danieli Cristine Anversa

Campo Grande - MS
2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



ATA

Aos oito dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e quatro, às nove horas, reuniu-se nas dependências do Instituto de Química (INQUI) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, a Banca Examinadora composta pelos membros Danieli Cristine Anversa (UFMS), Erickson Hatanaka (ADM) e Patrícia Cristina de Araújo Puglia de Carvalho (UFMS) sob a presidência do primeiro, para avaliar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA: DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS E ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS DE ENGENHARIA" da estudante CAMILA ALVES DOS SANTOS – (RGA 2020.2304.014-8) do Curso de Engenharia Química, sob a orientação da Profa.Dra. Danieli Cristine Anversa. A presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos, agradeceu a presença de todos os Membros e concedeu a palavra à estudante que expôs o trabalho. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, a presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu parecer expresso conforme segue:

Membro da banca	Assinatura	Conceito
Danieli Cristine Anversa (UFMS)		APROVADA
Erickson Hatanaka (ADM)		APROVADA
Patrícia Cristina de Araújo Puglia de Carvalho (UFMS)		APROVADA

Campo Grande, 8 de julho de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Danieli Cristine Anversa, Professora do Magistério Superior**, em 08/07/2024, às 15:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Erickson Tadashi Hatanaka, Usuário Externo**, em 08/07/2024, às 15:50, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Cristina de Araújo Puglia de Carvalho, Professora do Magistério Superior**, em 09/07/2024, às 09:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4891132** e o código CRC **347818BE**.

COLEGIADO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA (BACHARELADO)

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.018285/2023-77

SEI nº 4891132

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, irmãs e tios, que sempre acreditaram em mim e me proporcionaram todo o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui, oferecendo amor, apoio e encorajamento em cada etapa concluída. Também agradeço aos amigos que fiz ao longo desses anos. As risadas, conversas e momentos compartilhados foram fundamentais para tornar tudo mais leve. Por fim, agradeço aos meus professores por toda a compreensão, conhecimento e experiências compartilhados. A todos, minha sincera gratidão.

RESUMO

A soja, originária da Ásia Oriental, é uma leguminosa amplamente cultivada no mundo, conhecida por suas sementes ricas em proteínas. Nos últimos anos, a demanda por óleo de soja tem crescido significativamente devido à expansão das indústrias alimentícias e de biocombustíveis. O Brasil, com suas vastas áreas agrícolas e condições climáticas favoráveis, consolidou-se como um dos principais produtores e exportadores de soja. A contínua expansão desse setor no país evidencia a importância do estudo acerca dos processos de produção e processamento da soja e obtenção dos seus subprodutos. O presente trabalho buscou dimensionar uma indústria de processamento de soja para extração de óleo bruto, adotando uma metodologia qualiquantitativa. A pesquisa envolveu uma revisão bibliográfica, fornecendo a fundamentação teórica necessária, seguida pela elaboração do fluxograma do processo, que descreveu cada etapa do processo produtivo detalhadamente. Além disso, foram realizados os balanços de massa e energia, dimensionamento de equipamentos e tubulações e posterior composição do fluxograma de engenharia, evidenciando a instrumentação do projeto. Finalmente, foi desenvolvido o layout industrial, considerando a disposição física dos equipamentos e a logística interna. Este estudo contribui para o desenvolvimento de conhecimento teórico e prático sobre o processamento de soja, abordando aspectos técnicos e operacionais essenciais na indústria de extração de óleo bruto de soja.

Palavras-chave: Óleo de soja. Extração. Engenharia de processos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos	14
Figura 2 - Capacidade de processamento das indústrias de soja no Brasil em 2023 (t/dia)	23
Figura 3 – Balança de fluxo	88
Figura 4 - Máquina de pré-limpeza.....	88
Figura 5 - Secador contínuo	90
Figura 6 – Silo plano.....	91
Figura 7 – Moinho de craqueamento	92
Figura 8 – Separador de cascas	93
Figura 9 – Condicionador de grãos	94
Figura 10 – Laminador de grãos	95
Figura 11 –Secador-resfriador	96
Figura 12 – Extrator	96
Figura 13 – Dessolventizador-tostador-secador-resfriador.....	97
Figura 14 – Tanque de armazenamento de óleo	99
Figura 15 – Misturador estático	100
Figura 16 – Decantador.....	102
Figura 17 – Separador de fases	103
Figura 18 – Tanque de armazenamento	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de área e produção das safras de soja 2021/22 e 2022/23.....	13
Tabela 2 – Composição das correntes da balança de fluxo BF-100	34
Tabela 3 – Composição das correntes da máquina de pré-limpeza P-100.....	35
Tabela 4 – Composição das correntes de sólidos do secador SE-100	37
Tabela 5 – Composição das correntes de utilidades do secador SE-100	37
Tabela 6 – Composição das correntes do silo SI-100	38
Tabela 7 – Composição das correntes da máquina de limpeza P-200	39
Tabela 8 – Composição das correntes de sólidos do secador SE-200	40
Tabela 9 – Composição das correntes de utilidades do secador SE-200	41
Tabela 10 – Composição das correntes do quebrador Q-200	42
Tabela 11 – Composição das correntes do separador de cascas SC-200	43
Tabela 12 – Composição das correntes de sólidos condicionador C-200.....	43
Tabela 13 – Composição das correntes de utilidades do condicionador C-200.....	44
Tabela 14 – Composição das correntes de sólidos do secador-resfriador SR-200	44
Tabela 15 – Composição das correntes de utilidades do secador-resfriador SR-200	44
Tabela 16 – Composição das correntes do extrator EX-300.....	46
Tabela 17 – Composição das correntes de sólidos do dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300	47
Tabela 18 – Composição das correntes de vapor do dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300.....	48
Tabela 19 – Composição das correntes ar do dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300	48
Tabela 20 – Composição das correntes líquidas do evaporador EV-300	49
Tabela 21 – Composição das correntes de vapor do evaporador EV-300	49
Tabela 22 – Composição das correntes líquidas do evaporador EV-310	50
Tabela 23 – Composição das correntes de vapor do evaporador EV-310	50
Tabela 24 – Composição das correntes líquidas da coluna de stripping ST-300.....	51
Tabela 25 – Composição das correntes de vapor da coluna de stripping ST-300	51
Tabela 26 – Composição das correntes do misturador M-300.....	52
Tabela 27 – Composição das correntes do condensador CN-300.....	52
Tabela 28 – Composição das correntes de utilidades do condensador CN-300	52
Tabela 29 – Composição das correntes separador de fases SF-300.....	53

Tabela 30 – Composição das correntes do condensador CN-310.....	54
Tabela 31 – Composição das correntes de utilidades do condensador CN-310	54
Tabela 32 – Composição das correntes do decantador D-300	55
Tabela 33 – Tubulações para as correntes de fluidos.....	84
Tabela 34 – Tubulações para as correntes gases e vapores.....	86
Tabela 35 - Especificações técnicas e dimensões da balança de fluxo	88
Tabela 36 - Especificações técnicas e dimensões da máquina de pré-limpeza.....	89
Tabela 37 - Especificações técnicas e dimensões da máquina de limpeza	90
Tabela 38 - Especificações técnicas e dimensões do secador de grãos	91
Tabela 39 - Especificações técnicas e dimensões dos silos de armazenamento	92
Tabela 40 - Especificações técnicas e dimensões do moinho de craqueamento.....	93
Tabela 41 - Especificações técnicas e dimensões do separador de cascas.....	94
Tabela 42 - Especificações técnicas e dimensões do condicionador de grãos.....	95
Tabela 43 - Especificações técnicas e dimensões do laminador de grãos	95
Tabela 44 - Especificações técnicas e dimensões do secador-resfriador	96
Tabela 45 - Especificações técnicas e dimensões do extrator.....	97
Tabela 46 - Especificações técnicas e dimensões do dessolventizador-tostador-secador-resfriador.....	98
Tabela 47 - Especificações técnicas e dimensões do tanque de armazenamento de óleo.....	100
Tabela 48 - Especificações técnicas e dimensões do decantador.....	102
Tabela 49 - Especificações técnicas e dimensões do separador de fases.....	104
Tabela 50 - Especificações técnicas e dimensões do tanque de armazenamento de hexano	106
Tabela 51 - Especificações técnicas e dimensões da bomba B-300	108
Tabela 52 - Especificações técnicas das bombas centrífugas	109
Tabela 53 – Lista de equipamentos do projeto	111
Tabela 54 – Lista de instrumentos do projeto	114
Tabela 55 – Lista de utilidades do projeto	117

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. JUSTIFICATIVA.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 GERAL	13
3.2 ESPECÍFICOS	14
4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO	14
4.1 DESCRIÇÃO POR SETORES.....	14
4.2 DESCRIÇÃO POR EQUIPAMENTO	15
5. PROJETO.....	22
5.1 CAPACIDADE DO PROCESSO.....	22
5.2 BALANÇO DE MASSA	23
5.3 BALANÇO DE ENERGIA	23
5.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSO.....	23
5.5 DIAGRAMA DE TUBULAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO	23
5.6 LAYOUT	24
5.7 DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES	24
5.8 DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS.....	24
5.9 LISTA DE EQUIPAMENTOS.....	24
5.10 LISTA DE INSTRUMENTOS	24
5.11 LISTA DE UTILIDADES	24
6. CONCLUSÕES	24
7. REFERÊNCIAS	25
APÊNDICE A – BALANÇO DE MASSA	32
APÊNDICE B – BALANÇO DE ENERGIA.....	56
APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DE PROCESSO	74
APÊNDICE D – FLUXOGRAMA DE TUBULAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO.....	76

APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES	80
APÊNDICE F – DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS	87
APÊNDICE G – LISTA DE EQUIPAMENTOS	110
APÊNDICE H – LISTA DE INSTRUMENTOS.....	113
APÊNDICE I – LISTA DE UTILIDADES.....	116
ANEXOS.....	118
ANEXO A – CATÁLOGO DE BALANÇAS DE FLUXO	119
ANEXO B – CATÁLOGO DE MÁQUINAS DE LIMPEZA	122
ANEXO C – CATÁLOGO DE SECADORES.....	124
ANEXO D – CATÁLOGO DE SILOS.....	126
ANEXO E – CATÁLOGO DE QUEBRADORES.....	128
ANEXO F – CATÁLOGO DE SEPARADORES DE CASCAS.....	131
ANEXO G – CATÁLOGO DE CONDICIONADORES.....	133
ANEXO H – CATÁLOGO DE LAMINADORES.....	135
ANEXO I – CATÁLOGO DE SECADORES-RESFRIADORES.....	137
ANEXO J – CATÁLOGO DE SEPARADORES DE FASES	139
ANEXO K – CATÁLOGO DE TANQUES.....	141
ANEXO L – DIMENSÕES NORMALIZADAS PARA TUBOS DE AÇO – NORMAS ANSI B.36.10 E B.36.19, VEDATECH (2021)	143
ANEXO M – VELOCIDADE DE ESCOAMENTO RECOMENDADA PARA FLUIDOS, TERRON (2012).....	146
ANEXO N – PERDAS DE CARGA RECOMENDADAS PARA 100 METROS DE TUBO, TERRON (2012).....	148
ANEXO O – VELOCIDADE DE ESCOAMENTO RECOMENDADA PARA VAPORES E GASES, USP (2024)	150
ANEXO P – VALORES PARA O COEFICIENTE K NO CÁLCULO DE PERDA DE CARGA	152
ANEXO Q – CATÁLOGO BOMBAS CENTRÍFUGAS	154

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma planta leguminosa com origem na China há mais de 5 mil anos. Reconhecida por sua riqueza em proteínas, bem como por conter algumas vitaminas do complexo B e vitamina C, a soja é uma das *commodities* mais importantes nacionalmente. Seus principais usos incluem alimentação humana, alimentação animal, produção de biodiesel e como matéria-prima em diversas indústrias, como cosméticos, farmacêutica, veterinária e plásticos (SYNGENTA, 2024).

Na antiga cultura chinesa, a soja era reconhecida como uma planta sagrada. Sua introdução no Ocidente ocorreu apenas no século XV, inicialmente com propósitos ornamentais na Europa. Levou mais de quinhentos anos para que o Ocidente percebesse o valor nutricional da soja. As primeiras tentativas de cultivo na Europa falharam, possivelmente devido a questões climáticas e falta de conhecimento sobre sua cultura. Foi somente entre o final do século XIX e o início do século XX que os norte-americanos conseguiram desenvolver com sucesso o cultivo comercial da soja, criando variedades com maior teor de óleo. A partir desse ponto, houve uma expansão significativa de seu cultivo (SINDMILHO & SOJA, 2024).

A introdução da soja no Brasil ocorreu através de cultivos experimentais na Bahia ainda no século XIX, porém sem sucesso. Em 1892, foi cultivada pela primeira vez em São Paulo, no Instituto Agrônomo de Campinas, com resultados mais promissores. Os imigrantes japoneses alcançaram ainda melhores resultados a partir de 1908. Em 1914, a cultura chegou ao Rio Grande do Sul, onde os primeiros plantios comerciais começaram em 1924 (SYNGENTA, 2024). Até as décadas de 1960 e 1970, a região sul, especialmente Rio Grande do Sul e Paraná, era a principal produtora do país. A partir dos anos 80, a soja se expandiu para o cerrado, ação impulsionada por estudos sobre fertilização do solo, topografia favorável à mecanização e desenvolvimento de variedades adaptadas à região. Como resultado, o cerrado tornou-se a maior região produtora de soja no Brasil (SINDMILHO & SOJA, 2024).

Atualmente, com uma produção de 156 milhões de toneladas de soja na safra 2022/2023, o Brasil é o maior produtor do grão. Brasil (42%), Estados Unidos (31%), Argentina (7%), China (5%), Índia (3%) e Paraguai (2%) são os responsáveis pela produção de 90% da soja no mundo. Além disso, o país detém o título de exportador de soja do mundo, realizando cerca de 7,8% de toda a exportação desses grãos. Dentro do país os principais estados produtores são: Mato Grosso (26%), Paraná (15%), Rio Grande do Sul (14%), Goiás (10%) e Mato Grosso do Sul (8%) (TENHER, 2023).

A cadeia agroindustrial de oleaginosas abrange diversos mercados, destacando-se não só a produção e o comércio de grãos, mas também a produção de óleos vegetais (óleos brutos e refinados) e a produção de rações, através do farelo (CASTRO, 1993).

O óleo de soja é o óleo vegetal extraído das sementes da soja e é amplamente utilizado em todo o mundo, tanto para consumo humano quanto para fins industriais. É rico em gorduras saudáveis, como ácidos graxos poliinsaturados e vitamina E, que oferecem benefícios para a saúde do coração e atuam como antioxidantes. No entanto, contém também gorduras saturadas, que devem ser consumidas com moderação (LEGNAIOLI, 2023).

Sendo um dos principais óleos vegetais no mercado mundial, o óleo de soja ocupa a segunda posição em termos de produção e oferta, com uma participação de 27%. Os principais países produtores são a China (27,4%), Estados Unidos (19,7%,) e Brasil (16,9%). Já entre os maiores exportadores, destacam-se a Argentina (40,2%) e o Brasil (19,9%). China, Estados Unidos e Brasil são os maiores consumidores desse derivado, respondendo por 62% da demanda global. Esses dados refletem a importância significativa do óleo de soja no mercado internacional e a forte influência dos principais países produtores e consumidores (ZEFERINO, 2023).

Dessa forma, considerando o panorama atual da produção e comércio de soja e óleo de soja no Brasil, uma análise sobre a implantação de uma indústria de processamento de soja se mostra pertinente e estratégica.

2. JUSTIFICATIVA

De acordo com a Abiove (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais), a demanda por óleo de soja em 2024 deve chegar a 5,8 bilhões de litros, 20,83% a mais que em 2023 (4,8 bilhões). Os números são impulsionados principalmente pelo setor de biodiesel, onde o óleo de soja é responsável por 70% da produção (FAEB, 2024). O aumento gradual da mistura do biocombustível no diesel também motivará o crescimento do setor do óleo vegetal. Além da previsão de um teor de 15% em 2025, o Projeto de Lei 4.516/2023 vem buscando implementar um teor obrigatório de 20% (CAMPOS, 2024).

Consoante ao aumento da demanda, os dados mostrados na Tabela 1, fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), apontam um crescimento significativo na produção e na área plantada de soja no Brasil.

Tabela 1 - Comparativo de área e produção das safras de soja 2021/22 e 2022/23

REGIÃO/UFD	ÁREA (Em mil ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 21/22	Safra 22/23	VAR. %	Safra 21/22	Safra 22/23	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(e)	(f)	(f/e)
NORTE	2.577,0	3.005,9	16,6	8.379,9	10.158,5	21,2
NORDESTE	3.821,3	4.016,6	5,1	13.876,9	15.202,0	9,5
CENTRO-OESTE	19.140,9	20.494,5	7,1	68.126,0	77.708,2	14,1
MT	11.108,5	12.086,0	8,8	41.490,2	45.600,5	9,9
MS	3.554,6	3.775,0	6,2	8.932,7	14.054,3	57,3
GO	4.393,6	4.547,4	3,5	17.389,9	17.734,9	2,0
DF	84,2	86,1	2,2	313,2	318,5	1,7
SUDESTE	3.198,4	3.468,2	8,4	11.767,0	13.257,9	12,7
SUL	12.754,4	13.087,7	2,6	23.400,0	38.276,8	63,6
NORTE/NORDESTE	6.398,3	7.022,5	9,8	22.256,8	25.360,5	13,9
CENTRO-SUL	35.093,7	37.050,4	5,6	103.293,0	129.242,9	25,1
BRASIL	41.492,0	44.072,9	6,2	125.549,8	154.603,4	23,1

Fonte: Adaptado de Conab, 2024

Com um crescimento de 23,1% na produção de soja e um aumento de 6,2% na área plantada entre as safras de soja de 21/22 e 22/23, nota-se um desenvolvimento significativo do setor.

Diante do exposto, o aumento expressivo na demanda do setor e um crescimento substancial na produção, justificam a escolha do projeto.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

O objetivo do projeto é dimensionar uma indústria de processamento de soja voltada para a extração de óleo bruto.

3.2 ESPECÍFICOS

Para o dimensionamento, o trabalho busca abordar aspectos técnicos e operacionais essenciais para a implementação do processo industrial, como:

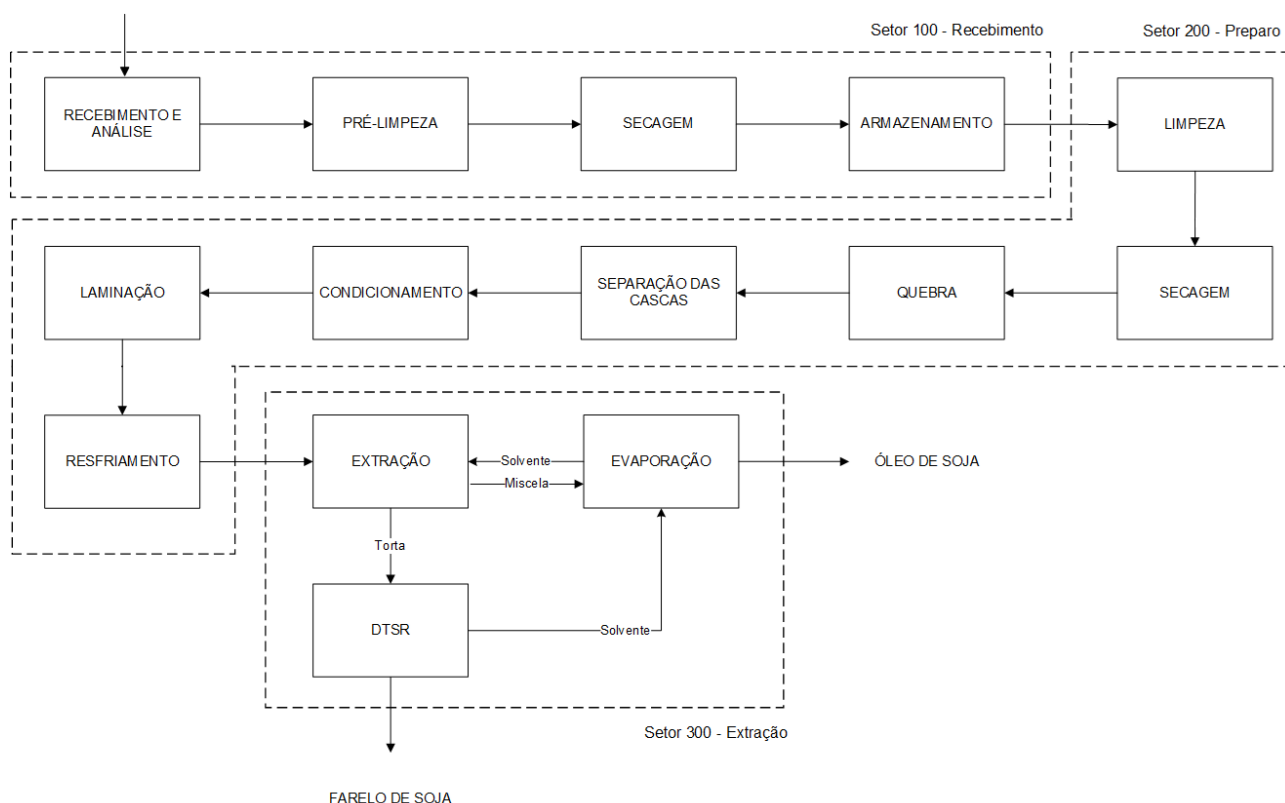
- Definir a capacidade de processamento da unidade;
- Elaborar o fluxograma de processo e fluxograma de tubulação e instrumentação;
- Desenvolver os balanços de massa e energia;
- Dimensionar os equipamentos e tubulações;
- Elaborar o layout da planta.

4. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

4.1 DESCRIÇÃO POR SETORES

A Figura 1 demonstra como os grãos de soja serão transformados no produto de interesse e em demais subprodutos.

Figura 1 – Diagrama de blocos



Fonte: Autor, 2024

O processo produtivo será dividido em três setores: 100, 200 e 300, correspondentes as etapas de recebimento, preparo e extração. O setor de recebimento é o responsável por receber a matéria-prima que chega à fábrica e realizar a análise de amostras para garantir a qualidade da soja recebida, verificando aspectos como umidade, impurezas e danos. Além disso, o setor prepara a soja recebida

para o armazenamento, o que inclui operações como limpeza e secagem, dependendo das necessidades específicas do grão (FONTES, 2020).

O setor de preparo garante que a etapa de extração seja eficiente, rápida e econômica (FONTES, 2020). Além de realizar novas etapas de limpeza e secagem, ele efetua a remoção da casca externa da soja, reduz o tamanho dos grãos e os submete a tratamentos que aumentarão a aderência da soja ao solvente.

O setor de extração separa o óleo da parte sólida da soja. Nessa etapa os grãos são misturados com um solvente (hexano), que dissolve o óleo. Após a operação, dois subprodutos são gerados: a miscela, uma corrente líquida composta por uma mistura de óleo e solvente, e a torta, uma corrente sólida que consiste em farelo misturado com solvente. A torta é encaminhada para o dessolventizador-tostador (DTSR), onde o hexano é recuperado e o farelo de soja obtido, enquanto a miscela segue para o sistema de evaporação e destilação, onde o resíduo de hexano também será removido do óleo bruto (FONTES, 2020).

4.2 DESCRIÇÃO POR EQUIPAMENTO

Recebimento e análise

O processo tem início com a recepção das sementes oleaginosas provenientes dos campos e armazéns. Nessa etapa, é realizada a classificação do produto por amostragem, com o intuito de avaliar a qualidade da matéria-prima. Uma quantidade previamente estabelecida de grãos é coletada da carga total recebida e análises são realizadas para determinar alguns parâmetros (FONTES, 2020).

A Instrução Normativa nº 11 de 15 de maio de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabelece o Regulamento Técnico da Soja. A soja encaminhada para a produção de óleo de soja está enquadrada no Grupo II, que se refere à soja não destinada ao consumo in natura. Dessa forma, os principais requisitos de classificação durante a amostragem e os limites máximos de tolerância são:

- Umidade: quantidade de água presente na amostra do produto, excluindo matérias estranhas e impurezas, medida por métodos oficiais ou equipamentos equivalentes. O excesso de umidade pode aumentar a acidez e os produtos de oxidação da soja (PEREIRA; CASTRO, 2015). Recomenda-se que não ultrapasse 14%.
- Matérias estranhas e impurezas: elementos estranhos aos grãos, tais como galhos, folhas e pedras. Sugere-se um máximo de 1%.
- Grãos avariados: grãos ou fragmentos de grãos queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos. O excesso desses grãos com defeitos pode afetar a acidez, as gomas não hidratáveis e a formação de produtos

oxidados na soja (PEREIRA; CASTRO, 2015). A tolerância para esse parâmetro é de 8%.

Balança

Quando chegam à fábrica, os grãos de soja são submetidos a uma balança cujo objetivo é regular o fluxo inicial de soja (ARANHA, 2018).

Máquina de pré-limpeza

A máquina de pré-limpeza é responsável pela remoção de impurezas maiores, como materiais ferrosos, pedras, poeira, areia, talos e folhas dos grãos provenientes da colheita. Além de economizar espaço no silo ao eliminar impurezas de baixa massa específica, essa etapa melhora a eficiência da secagem e reduz os riscos de danos aos equipamentos (ZANGARINI, 2019). Normalmente são empregadas peneiras vibratórias. A soja entra pela parte superior do equipamento e, à medida que passa pelos estágios, as impurezas são retidas conforme o *mesh* (abertura) das peneiras. A soja então sai pela parte inferior do equipamento e a corrente de impurezas é encaminhada para o descarte (OLIVEIRA, 2021).

Secador

Para serem armazenados, os grãos de soja devem apresentar um teor de umidade de cerca de 12%. Quando a umidade excede esse percentual, a deterioração afeta a qualidade das proteínas, carboidratos, fosfolipídios, entre outros componentes, produzindo compostos lipossolúveis que contaminam o óleo, impactando sua cor, odor e sabor (ZANGARINI, 2019). Por isso, o processo de secagem é fundamental para garantir que os grãos possam ser armazenados sem risco de deterioração (FONTES, 2020).

Nos secadores contínuos, as sementes são introduzidas com umidade na parte superior do secador e movem-se lentamente, expostas ao calor do ar para secagem contínua, até alcançarem a parte inferior, onde são resfriadas (OLIVEIRA; ROSA; CARVALHO, 2021). Os secadores contínuos podem ou não incluir sistemas de reaproveitamento de ar (PERES; PESKE, 2016). O projeto não incluirá o reaproveitamento de ar.

Silos

Após o processo de secagem, a soja é encaminhada para os silos. Devido à sua capacidade de escoamento, os grãos de soja são comumente armazenados em silos verticais enquanto aguardam o processamento subsequente (ZANGARINI, 2019). As condições de armazenamento da soja têm impacto direto no rendimento e na qualidade do produto final. Por isso, durante esta fase, são realizadas diversas operações, como aeração, monitoramento de temperatura, tratamento

fitossanitário e limpeza. Caso os grãos de soja sejam armazenados em condições inadequadas por um período prolongado, podem surgir diversos problemas, incluindo superaquecimento até a carbonização, aumento da acidez, escurecimento do óleo contido nos grãos, alterações sensoriais e mudanças estruturais (FONTES, 2020).

Máquina de limpeza

Ao ingressar na planta de preparação, os grãos passam por uma máquina de limpeza para uma limpeza fina, que tem como objetivo remover impurezas menores que não foram retidas na etapa da pré-limpeza. Utiliza-se um equipamento que possui o mesmo princípio de funcionamento da etapa de pré-limpeza, com diferentes tamanhos de aberturas (*mesh*) (OLIVEIRA, 2021).

Secador

A soja limpa é encaminhada para secadores contínuos a fim de reduzir o teor de umidade de 12% para cerca de 10%. Estes procedimentos tornam-se necessários para que a etapa a seguir, de quebra dos grãos, seja facilitada e eficiente. Se a soja estiver muito úmida nos quebradores, ela tende a amassar ao invés de quebrar (FONTES, 2020). Para realizar a secagem dos grãos, utiliza-se um secador com o mesmo princípio de funcionamento da primeira etapa de secagem.

Quebrador

Para reduzir as dimensões do grão e facilitar os processos subsequentes de condicionamento e laminação com o aumento da área de superfície de contato, a soja é direcionada aos quebradores, onde é dividida em quatro a oito partes (FONTES, 2020). Os moinhos quebradores (ou de rolos), normalmente são compostos por dois pares de rolos. Os pares de rolos possuem uma superfície raiada e giram com velocidades diferentes com o objetivo de provocar ação cisalhante nos grãos, fazendo com que um “segure” a soja e o outro a quebre (ZANGARINI, 2019).

Separador de cascas

Com o intuito de remover as cascas geradas durante a quebra dos grãos, a soja passa por um sistema de descascamento. Aproximadamente 8% do peso da soja é composto por cascas (ERICKSON, 1995). Esse processo é essencial para garantir o teor mínimo de proteína no farelo de soja, conforme exigido pela legislação, uma vez que as cascas possuem baixo teor de óleo e proteína, mas são ricas em fibras. Ademais, as cascas são altamente abrasivas, podendo causar desgaste nos equipamentos ao longo do processo. O separador de cascas é composto por colunas de aspiração, onde a soja entra pelo topo e o ar, à temperatura ambiente, entra pela base. O ar arrasta as cascas, que são a parte mais leve da soja, e em seguida ocorre um processo de peneiramento para recuperar

fragmentos de grãos que possam ter sido acidentalmente removidos junto com as cascas (FONTES, 2020).

O controle adequado das cascas de soja durante o processo de extração de óleo é essencial devido a várias razões, sendo um dos principais o potencial explosivo das cascas de soja. Durante o processamento da soja, a manipulação das cascas pode gerar poeira fina. Essa poeira, quando suspensa no ar em concentrações adequadas e na presença de uma fonte de ignição, pode resultar em uma explosão. Para mitigar esse risco, medidas rigorosas de controle de poeira devem ser implementadas, incluindo a instalação de sistemas de coleta de poeira e ventilação eficaz. Além disso, é crucial utilizar equipamentos à prova de explosão, eliminar fontes de faísca e monitorar continuamente a presença de poeira no ar. A adoção de procedimentos operacionais seguros e treinamento adequado dos funcionários também são fundamentais para garantir a segurança operacional na indústria de processamento de soja (HTE, 2024).

Condicionador

Os condicionadores têm a função de aquecer os grãos quebrados, proporcionando-lhes maior plasticidade e ajustando sua umidade antes do processo de laminação. É necessário que o produto alcance uma temperatura de 72 °C e uma umidade em torno de 10 a 10,5% (ERICKSON, 1995). O equipamento utilizado para esse aquecimento é chamado de condicionador, que consiste em uma estrutura com um feixe de tubos internos. Por esses tubos, passa vapor, que entra em contato com a soja de forma indireta. Além de conferir elasticidade aos grãos, essa operação oferece vários outros benefícios, como o controle da umidade da soja, a coagulação parcial das proteínas, a aglomeração das gotículas de óleo, a redução da viscosidade do óleo e o aquecimento necessário para uma extração eficiente a temperatura ideal (FONTES, 2020).

Laminador

Depois de aquecida, a soja é transformada em lâminas finas através de laminadores, que são formados por rolos lisos de aço inoxidável. A finalidade da laminação é aumentar a superfície exposta do produto, reduzir a distância que o solvente precisa percorrer e facilitar a ruptura dos tecidos e das paredes celulares que contêm o óleo. Ao processar os grãos quebrados, obtêm-se flocos (também conhecidos como lâminas ou *flakes*) com espessura entre 0,40 e 0,45 mm e diâmetro variando de 10 a 30 mm. A qualidade dos flocos produzidos é crucial para uma extração eficiente (ZANGARINI, 2019). Quanto à velocidade do processo de laminação, ele deve ser realizado o mais rapidamente possível, pois a desintegração dos grãos ativa enzimas celulares como a lipase e a peroxidase, o que pode prejudicar a qualidade do produto final (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Secador-resfriador

Os flocos que saem dos laminadores precisam ter uma umidade de 10% e estar a uma temperatura de 55°C quando chegam ao extrator. Para isso, passam por um secador e um resfriador que removem o excesso de umidade e calor adquiridos no condicionador (ZANGARINI, 2019). O equipamento utilizado é um eixo cilíndrico rotativo inclinado, que permite que os flocos desçam gradualmente. Nesse processo, uma corrente de ar em temperatura ambiente é introduzida, misturando-se ao produto e efetuando o resfriamento (ARANHA, 2018).

Extrator

Após serem transformados em flocos, os grãos de soja são encaminhados para a etapa de extração, que tem como objetivo remover o óleo e obter o farelo de soja. A extração por solvente, amplamente utilizada na indústria moderna, otimiza o consumo de energia e oferece um excelente rendimento, produzindo uma torta com menos de 1% de óleo residual. O tipo mais comum de equipamento nas indústrias é o extrator por percolação, que ocupa menos espaço e simplifica a drenagem do solvente. Esse método reduz o teor de óleo nos flocos de cerca de 19% para menos de 1%, frequentemente alcançando valores entre 0,5% e 0,6% (FONTES, 2020). Um exemplo de extrator por percolação é o extrator de correias perfuradas, que utiliza uma esteira para transportar o material enquanto é irrigado por uma "chuva de solvente". Ao final do processo, são geradas duas correntes: a miscela, composta de óleo e solvente, e a torta, composta de farelo e solvente. A torta é então encaminhada ao dessolventizador-tostador-secador-resfriador (DTSR) e a miscela segue para destilação (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

O solvente padrão para essa extração é o hexano, com ponto de ebulição em torno de 70 °C (ZANGARINI, 2019). Sua popularidade se deve à sua eficácia, pois se mistura bem com o óleo, não interfere nos outros componentes dos grãos, não forma azeótropos com soluções aquosas e possui uma composição homogênea. Além disso, oferece alta estabilidade, baixa corrosão, baixo conteúdo de óleo residual e menor odor no farelo desengordurado. Contudo, apresenta desvantagens como o custo elevado e a alta inflamabilidade. O processo de extração libera vapores tóxicos que podem causar explosões em tanques de estocagem, extratores e equipamentos de recuperação do solvente (PRADO, 2014). Para atenuar os riscos, os equipamentos frequentemente operam sob pressão negativa. A pressão negativa impede que os vapores de hexano escapem para o ambiente de trabalho, reduzindo a formação de atmosferas inflamáveis, consequente exposição dos trabalhadores a esses vapores tóxicos e possibilita que os vapores sejam capturados e reciclados, minimizando a perda de solvente e melhorando a eficiência do processo (EXAUSTFARMA, 2024).

Dessolventizador-tostador-secador-resfriador

A torta de soja, que contém farelo, água, óleo residual e 25 a 35% de hexano, é processada no dessolventizador-tostador-secador-resfriador (DTSR) para remover o hexano, tornando-a adequada para ração animal (FONTES, 2020). Este equipamento vertical combina evaporação de solvente, cocção úmida, secagem e resfriamento. Inicialmente, o vapor indireto remove o solvente sem alterar a umidade; posteriormente, o vapor direto retira a maior parte do solvente. No prato inferior, a válvula rotativa e o vapor direto eliminam qualquer resíduo de solvente. O solvente recuperado é reutilizado na destilação da miscela (ARANHA, 2018). Após a passagem pela seção de secagem, onde a umidade é reduzida para 12%, o farelo é resfriado com ar ambiente, que deve ser filtrado através de um filtro biológico para remover quaisquer bactérias (KEMPER, 2018). O controle microbiológico é essencial para garantir a qualidade e a segurança do farelo de soja como determinam as normas regulatórias. Contaminações microbiológicas comprometem a qualidade nutricional e comercial do produto e representam um risco para a saúde. A contaminação por *Salmonella* é uma das mais comuns e, para garantir a segurança alimentar, as empresas devem adotar boas práticas como manter as condições ideais de armazenamento, seguir protocolos rigorosos de higiene e saneamento, controlar pragas, realizar testes regulares e, se necessário, realizar tratamentos avançados como a aplicação de ácidos orgânicos (ECOTEC, 2024).

Evaporador

A solução de óleo e solvente, conhecida como miscela, sai do extrator com uma concentração de óleo entre 20% e 30% em massa. Para recuperar o hexano do óleo e reutilizá-lo no processo de extração, e também para concentrar a miscela visando obter óleo de soja bruto, é utilizado um sistema de destilação composto por dois evaporadores em série e uma torre de stripping. Os evaporadores são equipamentos verticais com tubos internos longos, onde a miscela é aquecida para vaporizar o hexano. No primeiro evaporador, a miscela é aquecida com vapores condensados do dessolventizador-tostador-secador-resfriador (DTSR), alcançando uma concentração entre 65% e 67% (FONTES, 2020).

Evaporador

No segundo evaporador, utilizando vapor d'água saturado para o aquecimento, a miscela alcança uma concentração de óleo de 95% a 98% em massa. Esse é o limite máximo de concentração alcançado nos evaporadores, devido à reduzida taxa de evaporação do hexano nessa fase do processo (FONTES, 2020).

Coluna de stripping

O equipamento stripper, também conhecido como coluna de dessorção, é utilizado para remover o baixo teor de solvente que permanece no óleo após a fase de evaporadores (FONTES, 2020). Dividido em estágios, o equipamento atua em contracorrente e é composto por pratos. A miscela entra na parte superior do equipamento e é distribuída nos pratos do stripper, onde entra em contato com vapor direto que é introduzido na parte inferior. Esse contato promove o stripping do hexano, fazendo com que a miscela, à medida que desce pelos estágios, saia no fundo do stripper contendo apenas óleo. Durante o processo, uma corrente de vapor é formada, composta por hexano e vapor d'água. Para garantir eficiência, a miscela deve entrar no stripper a uma temperatura superior a 107 °C, enquanto o vapor direto deve estar superaquecido a cerca de 177 °C, com uma pressão de operação em torno de 4 kgf/cm² e a pressão de vácuo do equipamento deve ser de aproximadamente 610 mmHg. O óleo bruto que sai do stripper tem uma temperatura de aproximadamente 114 °C (OLIVEIRA, 2021).

Separador de fases

Ao término do processo, o fluido de aquecimento que sai do evaporador primário apresenta-se em duas fases: uma parte permanece líquida e outra está no estado gasoso. Isso ocorre porque nem toda a vazão da corrente de entrada para aquecimento necessitou liberar calor latente para o processo (OLIVEIRA, 2021). No separador de fases, ocorre um fenômeno físico resultante da diferença de estados entre os componentes da mistura (ARANHA, 2018).

Condensador

A corrente de vapor proveniente do separador de fases é direcionada para um condensador, onde é condensada através da troca de calor indireta com água como fluido refrigerante (OLIVEIRA, 2021). Durante este processo, os vapores transferem calor para o fluido refrigerante, resultando na transformação completa da corrente gasosa em líquida ao final (ARANHA, 2018). A corrente líquida resultante do condensador é combinada com a corrente líquida do separador de fases, ambas contendo solvente e água, e são encaminhadas para o decantador.

Misturador

As correntes de vapor contendo solvente puro, provenientes dos evaporadores primário e secundário, e a corrente de vapor proveniente da coluna de stripping, são combinadas e, devido às diferentes temperaturas em que saem, precisam ser misturadas em um misturador para que a corrente resultante seja uniforme e alcance a mesma temperatura (OLIVEIRA, 2021). Na indústria, são comumente utilizados misturadores estáticos para homogeneizar misturas de líquidos, gases ou

ambos. Esses dispositivos são instalados diretamente nas tubulações e possuem geometrias internas diversas que favorecem uma mistura eficaz (ARANHA, 2018).

Condensador

O condensador para os vapores de hexano e água dos evaporadores e coluna de stripping, opera segundo o mesmo princípio do condensador para o separador de fases. Quando os vapores provenientes do misturador entram no equipamento, começam a condensar. Além de condensar a corrente, este equipamento também realiza o resfriamento necessário para garantir que todas as correntes que serão direcionadas ao decantador estejam na mesma temperatura (ARANHA, 2018).

Decantador

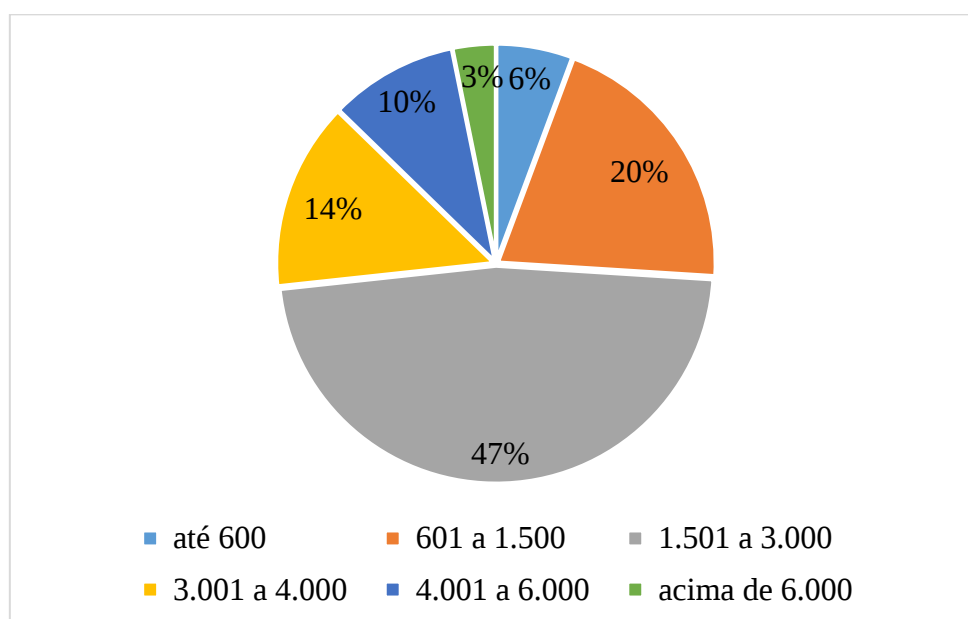
As correntes provenientes dos condensadores, contendo água e solvente, são encaminhadas ao decantador, onde ocorre a separação com base na diferença de massa específica dos componentes da mistura. As correntes entram no decantador e são deixadas em repouso para que a separação ocorra naturalmente: a água se acumula na parte inferior devido à sua maior massa específica, enquanto o hexano permanece na parte superior por ter menor massa específica. Ao final do processo, obtém-se uma corrente contendo apenas água e outra contendo apenas solvente. A corrente de água é enviada para tratamento na estação adequada, enquanto o solvente recuperado retorna ao processo de extração (OLIVEIRA, 2021).

5. PROJETO

5.1 CAPACIDADE DO PROCESSO

Para determinar a capacidade produtiva, analisou-se a capacidade das indústrias de processamento de soja no Brasil através de dados disponibilizados pela Abiove (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais), apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Capacidade de processamento das indústrias de soja no Brasil em 2023 (t/dia)



Fonte: Abiove, 2023

Constatou-se que aproximadamente metade das indústrias de processamento de soja do Brasil possuem uma capacidade entre 1501 e 3000 toneladas por dia. Visando adequar-se ao mercado, a indústria de óleo de soja do projeto terá uma capacidade de processamento de 2400 toneladas por dia ou ainda 100 t/h de grãos de soja.

5.2 BALANÇO DE MASSA

O balanço de massa do processo é apresentado no Apêndice A.

5.3 BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia do processo é apresentado no Apêndice B.

5.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSO

O fluxograma de processo é apresentado no Apêndice C, mostrando as etapas, interações, fluxos de materiais e condições operacionais do processo industrial estudado.

5.5 DIAGRAMA DE TUBULAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

O diagrama de tubulação e instrumentação (T+I) é apresentado no Apêndice D, representando as tubulações, instrumentos de controle e pontos de monitoramento essenciais ao processo industrial estudado.

5.6 LAYOUT

O layout do processo foi desenvolvido através de uma maquete e apresentado durante a disciplina de Projeto de Conclusão de Curso. Esta representação proporcionou uma visualização concreta e detalhada da disposição dos equipamentos, fluxos de materiais e áreas operacionais da planta industrial projetada.

5.7 DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES

O dimensionamento de tubulações é apresentado no Apêndice E.

5.8 DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

O dimensionamento de equipamentos é apresentado no Apêndice F.

5.9 LISTA DE EQUIPAMENTOS

A lista de equipamentos é apresentada no Apêndice G.

5.10 LISTA DE INSTRUMENTOS

A lista de instrumentos é apresentada no Apêndice H.

5.11 LISTA DE UTILIDADES

A lista de utilidades é apresentada no Apêndice I.

6. CONCLUSÕES

O aumento da demanda global por soja e seus derivados têm destacado a necessidade de explorar informações sobre os processos e o setor. O trabalho realizado busca atender a uma demanda crescente por produtos derivados da soja.

Ademais, a pesquisa e o dimensionamento da indústria de processamento de soja para extração de óleo bruto abordaram os aspectos técnicos e operacionais essenciais. A metodologia empregada permitiu integrar efetivamente a compreensão teórica com sua aplicação prática, incorporando diversos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Química, consolidando teorias acadêmicas.

Para futuros estudos, sugere-se a realização de análises econômicas, visando a determinação da viabilidade de instalação de uma indústria de processamento de soja, além da abordagem de aspectos ambientais.

7. REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Disponível em: <http://www.abiove.com.br>. Acesso em 27 mar. 2024.

AGRIACO. Catálogo Agriclean. Disponível em: https://www.agriaco.com.br/uploads/catalogos/catalogo_agriclean_final_dividido_.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

ALFA INSTRUMENTOS. Balança de Fluxo. Disponível em: https://alfainstrumentos.com.br/wp-content/uploads/2023/05/WEB0014CL.01_BALANCA_FLUXO.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

ARANHA, Ana Caroline Raimundini et al. MaraSul: indústria de óleos vegetais. 2018. 277 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 21, de 24 de novembro de 2009. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMpa&chave=1194426968>. Acesso em: 3 jul. 2024.

BÜHLER. Screening Machine. Disponível em: https://www.buhlergroup.com/global/en/products/screening_machine.html. Acesso em: 15 jun. 2024.

CAMPOS, Geraldo. "Setor de biodiesel diz ter como atender aumento na mistura para 20%". Disponível em: <https://www.poder360.com.br/energia/setor-de-biodiesel-diz-ter-como-atender-aumento-na-mistura-para-20/>. Acesso em 27 mar. 2024.

CASTRO, Ana C. Competitividade das indústrias de óleos vegetais. Campinas: UNICAMP, 1993. 128p.(Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira).

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica. Sétima edição. AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 03 de Abril de 2024.

CONSILOS. Catálogo Consilos 2022. Disponível em: <https://consilos.com.br/app/webroot/img/uploads/files/CATALOGO-CONSILOS-2022.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

CORAZZA, Elloy. "Caderno Nº 006/2021 – Indústria de Óleos Vegetais. Disponível em: https://corecondf.org.br/caderno-no-006-2021-industria-de-oleos-vegetais/?doing_wp_cron=1712267778.4068269729614257812500. Acesso em 27 mar. 2024.

CPM. Flaking Mill. Disponível em: https://www.cpm.net/downloads/CPM_12653_FlakingMill_4pg_broch_Portuguese.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

CPM. Roskamp Series 1200/1400/1600 Cracking Mill. Disponível em: https://www.cpm.net/downloads/Roskamp%20Series%201200_1400_1600%20Cracking%20Mill%20Brochure.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

CUSTÓDIO, Aline Ferrão. Modelagem e Simulação do Processo de Separação de óleo de soja-hexano por evaporação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003.

DESHPANDE, S. D.; BAL, Satish. Specific Heat of Soybean. Journal of Food Process Engineering. v. 22, p. 469-477, 1999.

DRYERATION. Catálogo Dry Secador 2019. Disponível em: <https://dryeration.com.br/wp-content/uploads/2020/05/cat%C3%A1logo-dry-secador-2019-redondo-web.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ECOTEC FUMIGATION. Como prevenir a contaminação por Salmonella no farelo de soja. Disponível em: <https://www.ecotecfumigation.com/pt/como-prevenir-a-contaminacao-por-salmonella-no-farelo-de-soja/#:~:text=Salmonela%20%C3%A9%20um%20dos%20pat%C3%B3genos,animal%20em%20to do%20o%20mundo..> Acesso em: 12 jul. 2024.

EMBRAPA. Considerações sobre o Armazenamento de Grãos. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1072657/1/246.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ENGINEERING TOOLBOX. Engineering Toolbox. 2024. Disponível em: <https://www.engineeringtoolbox.com/>. Acesso em: 3 jul. 2024.

ERICKSON, D. R. Practical handbook of soybean processing and utilization. Champaign, Illinois: AOCS Press, 1995. 564 p.

ETL. Dessolventizador. Disponível em: <https://www.etl.ind.br/service/dessolventizador/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

EXAUSTFARMA. Pressurização. Disponível em: <https://exhaustfarma.com.br/pressurizacao/>. Acesso em: 12 jul. 2024.

FAEB - Federação da Agricultura e Pecuária da Bahia."Com demanda para biodiesel, mercado interno deve elevar influência no preço da soja. Disponível em: <https://sistemafaeb.org.br/com-demanda-para-biodiesel-mercado-interno-deve-elevar-influencia-no-preco-da-soja/>. Acesso em 27 mar. 2024.

FASINA, O. O.; COLLEY, Z. Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature: 35 °C to 180°C. International Journal of Food Properties. V. n. 4, p. 738-746, 2008. Disponível em: Acesso em: 15 jun. 2024.

FEECO. Dryers and Coolers. Disponível em: <https://feeco.com/wp-content/uploads/2022/07/FEECO-Dryers-and-Coolers.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FERNANDES JUNIOR, Carlos Coutinho. Energetic integration of extraction step of soybean oil, using Pinch analysis. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Toledo, 2009.

FONTES, Amanda Vilaça. Processo de industrialização da soja no Brasil. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

HB AR COMPRIMIDO. Catálogo Separador de Condensado. Disponível em: https://hb-arcomprimido.com/docs/catalogos/catalogo_separador_de_condensado_sa_produtoshb.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

HTE Consultoria. Perigos de explosão em silos de grãos: A atmosfera interna e a importância da umidade do ar. Disponível em: <https://hteconsultoria.com.br/perigos-de-explosao-em-silos-de-graos-a-atmosfera-interna-e-a-importancia-da-umidade-do-ar/>. Acesso em: 12 jul. 2024.

HUM. Hum Vertical Seed. Disponível em: https://www.hum.com.tr/_userfiles/dosyalar/2022/01/hum-vertical-seed.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

KEMPER, Timothy G. Meal desolventizing, toasting, drying and cooling. AOCS lipid library, oils and fats, 2018.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. Determinação da qualidade física dos grãos de soja colhidos na safra 2015/16. 2017.

LEGNAIOLI, Stella."Óleo de soja: usos, benefícios e desvantagens". Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/oleo-de-soja/>. Acesso em 27 mar. 2024.

MADE-IN-CHINA. ISO Standard Edible Oil Tank. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_sinoprettech/product_ISO-Standard-Edible-Oil-Tank-Storage-Tank-for-Storing_uoeeyniong.html. Acesso em: 15 jun. 2024.

MALLET, Adriano. Secadores de Grãos – Rentabilize Sua Operação. 2009. Disponível em: Acesso em: 15 jun. 2024.

MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI M. H.; ROESSING A. C. "Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos". Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126080/1/Doc171-OL.pdf>. Acesso em 27 mar. 2024.

OLIVEIRA, Amanda Fernanda de et al. Inogran: indústria de óleos vegetais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2021.

OLIVEIRA, J. A., da ROSA, S. D. V. F., & CARVALHO, E. R. Secagem de sementes. 2021.

PARAÍSO, P. R. Modelagem e análise do processo de obtenção do óleo de soja. 2001. 200 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PAULO, A. B. Esmagadoras de soja dos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás.

PEREIRA, Marco Antônio; CASTRO, V. A. Cadeia produtiva do farelo de soja: Um enfoque na produção nacional. Universidade de Rio Verde, 2015.

PERES, W.B.; PESKE, S.T. Secagem de sementes. Seed News, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 45-50, nov. 2016. Disponível em: <https://seednews.com.br/artigos/816-secagem-de-sementes-edicao-novembro-2016>. Acesso em: 3 jul. 2024.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. Perry's chemical engineers' handbook. 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

PRADO, Eduardo Rasi de Almeida. Modelagem e simulação do sistema de evaporadores de miscela de uma destilaria de óleo de soja. 2013. Dissertação - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

PRADO, R. Avaliação comparativa entre a extração do óleo de soja com hexano e com álcool anidro e as diferenças físico-químicas no farelo. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

PRIMIX BV. Agitador. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/primix-bv/product-104869-1862344.html>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RAUTER. Ficha Técnica do Hexano. Disponível em: <https://www.rauter.com.br/wp-content/uploads/2021/04/HEXANO-FICHA-TECNICA-172-REV-02.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RODRIGUES, Robson. Extração, refino e hidrogenação de óleos e gorduras. 2014. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis, 2014.

ROQUE, Teresa MV. Análise das Perdas de Hexano numa Unidade de Extração de Óleos e Bagaços. Caso de Estudo Iberol. Lisboa, 2015.

SILOS CONDOR. Equipamentos para Armazenagem de Grãos. Disponível em: <https://www.siloscondor.com.br/ver.php?codigo=5606>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SINDMILHO & SOJA - Sindicato da Indústria do Milho, Soja e seus Derivados no Estado de São Paulo. "Soja e suas riquezas – História". Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/sindimilho/sobre-o-sindmilho/curiosidades/soja-e-suas-riquezas-historia/>. Acesso em 27 mar. 2024.

SOEIRO, Enio Costa. Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para auxiliar no dimensionamento de tubulações à vapor. 2007.

SYNGENTA. "Cultura da soja". Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/cultura/soja>. Acesso em 27 mar. 2024.

TENHER, Thais. "Os 3 principais produtores de grãos do mundo". Disponível em: <https://exame.com/agro/os-3-principais-produtores-de-graos-do-mundo/>. Acesso em 27 mar. 2024.

TERMOPROL. Cuidados na secagem e armazenagem de grãos de soja. Disponível em: <https://www.termoprol.com.br/noticias/cuidados-na-secagem-e-armazenagem-de-graos-de-soja>. Acesso em: 3 jul. 2024.

TERRON, Luiz Roberto. Operações unitárias para químicos, farmacêuticos e engenheiros: fundamentos e operações unitárias do escoamento de fluidos. Rio de Janeiro: LTC, 2012. xix, 589 p., il.

USP. Avaliação e Projeto de Tubulações. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2024. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5697963/mod_resource/content/1/AVALIA%C3%87%C3%83O%20E%20PROJETO%20DE%20TUBULA%C3%87%C3%95ES.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

UFRRJ. Tabelas de Material para IT 503. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Graduacao/IT%20503/MC_A2740_42_44_4P_E_S_5%5B1%5D.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

VEDATECH. Tabelas de Tubos de Aço. Disponível em: http://vedatech.com.br/global/tabelas/TUBOS_DE_ACO_DIMENSOES_NORMALIZADAS.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

YAWS, Carl L. Handbook of chemical compound data for process safety. Elsevier, 1997.

ZANGARINI, Guilherme Rossi. Preparação de grãos de soja. LinkedIn Pulse. 25 jun. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/prepara%C3%A7%C3%A3o-de-gr%C3%A3os-soja-guilherme-rossi-zangarini/>. Acesso em: 3 jul. 2024.

ZEFERINO, M; RAMOS, S. de F. Mercado Mundial de Óleos Vegetais: panorama e perspectivas. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 18, n. 5, p. 1-8, maio 2023. Disponível em: www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=16138#:~:text=O%20óleo%20de%20soja%20ocupa,ao%20verificado%20no%20ano%20passado. Acesso em 27 mar. 2024.

APÊNDICE A – BALANÇO DE MASSA

Balança BF-100

Ao serem descarregados, os grãos de soja passam por uma balança de fluxo objetivando a medição e controle da quantidade de material que está sendo alimentado no processo ao longo do tempo. Admitiu-se que a soja recebida contém 14% de umidade, 2% de impurezas e 6% de grãos avariados em relação a capacidade de processamento de 100 t/h. Assim, os grãos devem passar pelas etapas de recebimento e preparo para avançarem no processo com as condições adequadas. A temperatura e pressão ambientes adotadas são referentes a cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Então:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{01} &= \dot{m}_{s,01} + \dot{m}_{i,01} + \dot{m}_{av,01} + \dot{m}_{ag,01} \\ \dot{m}_{01} &= x_s \dot{m}_{01} + x_i \dot{m}_{01} + x_{av} \dot{m}_{01} + x_{ag} \dot{m}_{01}\end{aligned}$$

Onde:

$\dot{m}_{01}$: Vazão mássica da Corrente 01, em t/h.

$\dot{m}_{s,01}$: Vazão mássica de soja da Corrente 01, em t/h.

$\dot{m}_{i,01}$: Vazão mássica de impurezas da Corrente 01, em t/h.

$\dot{m}_{av,01}$: Vazão mássica de grãos avariados da Corrente 01, em t/h.

$\dot{m}_{ag,01}$: Vazão mássica de água da Corrente 01, em t/h.

x_s : Fração mássica de soja.

x_i : Fração mássica de impurezas.

x_{av} : Fração mássica de grãos avariados.

x_{ag} : Fração mássica de água.

Definindo os valores para os componentes:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{01} &= 0,78 \times 100 + 0,02 \times 100 + 0,06 \times 100 + 0,14 \times 100 \\ \dot{m}_{01} &= 78 + 2 + 6 + 14 \\ \dot{m}_{01} &= 100 \text{ t/h}\end{aligned}$$

A Tabela 2 descreve a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 2 – Composição das correntes da balança de fluxo BF-100

Corrente	Corrente 01		Corrente 02	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	78,000%	78,000	78,000%
Impurezas	2,000	2,000%	2,000	2,000%
Avariados	6,000	6,000%	6,000	6,000%
Água	14,000	14,000%	14,000	14,000%
Total	100,000	100,000%	100,000	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		25	

Fonte: Autor, 2024

Máquina de pré-limpeza P-100

De acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a quantidade máxima de matérias estranhas e impurezas no processamento da soja não deve ultrapassar 1%. Sendo assim, objetivou-se alcançar um teor 1% de impurezas após o peneiramento preliminar. Considerou-se que o teor de umidade é mantido nas correntes de saída, dessa forma, fazendo o balanço para grãos avariados e soja:

$$\dot{m}_{s,av,02} = \dot{m}_{s,av,03} + \dot{m}_{s,av,04}$$

$$\dot{m}_{s,av,02} = 0 + \dot{m}_{s,av,04}$$

$$\dot{m}_{s,av,02} = \dot{m}_{s,av,04}$$

Onde:

$\dot{m}_{s,av,02}$: Vazão mássica de soja e grãos avariados da Corrente 02, em t/h.

Sendo 0,840 a fração mássica de soja e grãos avariados na Corrente 02 e 0,850 na Corrente 04:

$$x_{s,av}\dot{m}_{02} = x_{s,av}\dot{m}_{04}$$

Onde:

$x_{s,av}$: Fração mássica de soja e grãos avariados.

Então:

$$0,84 \times 100 = 0,85 \times \dot{m}_{04}$$

$$\dot{m}_{04} = \frac{0,84 \times 100}{0,85}$$

$$\dot{m}_{04} = 98,824 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões e frações mássicas da Corrente 04, obtém-se:

$$\dot{m}_{i,04} = x_i \dot{m}_{04} = 0,01 \times 98,824 = 0,988 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,04} = x_{ag} \dot{m}_{04} = 0,14 \times 98,824 = 13,835 \text{ t/h}$$

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,04}}{\dot{m}_{04}} = \frac{78,000}{98,824} = 0,789$$

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,04}}{\dot{m}_{04}} = \frac{6,000}{98,824} = 0,060$$

Determinando as vazões mássicas da Corrente 03, tem-se:

$$\dot{m}_{i,03} = \dot{m}_{i,02} - \dot{m}_{i,04} = 2,000 - 0,988 = 1,012 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,03} = \dot{m}_{ag,02} - \dot{m}_{ag,04} = 14,000 - 13,835 = 0,165 \text{ t/h}$$

Totalizando:

$$\dot{m}_{03} = 1,012 + 0,165 = 1,176 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_i = \frac{\dot{m}_{i,03}}{\dot{m}_{03}} = \frac{1,012}{1,176} = 0,860$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,03}}{\dot{m}_{03}} = \frac{0,165}{1,176} = 0,140$$

A Tabela 3 descreve a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 3 – Composição das correntes da máquina de pré-limpeza P-100

Corrente	Corrente 02		Corrente 03		Corrente 04	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	78,000%	0,000	0,000%	78,000	78,929%
Impurezas	2,000	2,000%	1,012	86,000%	0,988	1,000%
Avariados	6,000	6,000%	0,000	0,000%	6,000	6,071%
Água	14,000	14,000%	0,165	14,000%	13,835	14,000%
Total	100,000	100,000%	1,176	100,000%	98,824	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		25		25	

Fonte: Autor, 2024

Secador SE-100

O Regulamento Técnico da Soja estabelece que os grãos devem possuir no máximo 12% de umidade ao serem armazenados (BRASIL, 2009). Fazendo o balanço para a soja, grãos avariados e impurezas:

$$\dot{m}_{s,av,i,04} = \dot{m}_{s,av,i,07} + \dot{m}_{s,av,i,08}$$

$$\dot{m}_{s,av,i,04} = 0 + \dot{m}_{s,av,i,08}$$

$$\dot{m}_{s,av,04} = \dot{m}_{s,av,04}$$

Onde:

$\dot{m}_{s,av,i,04}$: Vazão mássica de soja, grãos avariados e impurezas da Corrente 04, em t/h.

Sendo 0,860 a fração mássica de soja, grãos avariados e impurezas na Corrente 04 e 0,880 na Corrente 08:

$$x_{s,av,i}\dot{m}_{04} = x_{s,av,i}\dot{m}_{08}$$

Onde:

$x_{s,av,i}$: Fração mássica de soja, grãos avariados e impurezas.

Então:

$$0,86 \times 98,824 = 0,88 \times \dot{m}_{08}$$

$$\dot{m}_{08} = \frac{0,86 \times 98,824}{0,88}$$

$$\dot{m}_{08} = 96,578 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões e frações mássicas da Corrente 08, obtém-se:

$$\dot{m}_{ag,08} = x_{ag}\dot{m}_{08} = 0,12 \times 96,578 = 11,589 \text{ t/h}$$

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,08}}{\dot{m}_{08}} = \frac{78,000}{96,578} = 0,808$$

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,08}}{\dot{m}_{08}} = \frac{6,000}{96,578} = 0,062$$

$$x_i = \frac{\dot{m}_{i,08}}{\dot{m}_{08}} = \frac{0,988}{96,578} = 0,010$$

Determinando a vazões mássicas de água Corrente 07, tem-se:

$$\dot{m}_{ag,07} = \dot{m}_{ag,04} - \dot{m}_{ag,08} = 13,835 - 11,589 = 2,246 \text{ t/h}$$

Pelo balanço de energia, a Corrente 05 fornece 319,349 t/h de ar aquecido e a Corrente 06 fornece 136,864 t/h de ar a temperatura ambiente. Então, a vazão mássica total da Corrente 07 é dada por:

$$\dot{m}_{07} = 319,349 + 136,864 + 2,246 = 458,459 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,07}}{\dot{m}_{07}} = \frac{2,246}{458,459} = 0,004$$

$$x_{ar} = \frac{\dot{m}_{ar,07}}{\dot{m}_{07}} = \frac{456,213}{458,459} = 0,995$$

Onde:

$\dot{m}_{ar,07}$: Vazão mássica de ar da Corrente 07, em t/h.

x_{ar} : Fração mássica de ar.

As Tabelas 4 e 5 descrevem a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 4 – Composição das correntes de sólidos do secador SE-100

Corrente	Corrente 04		Corrente 08	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	78,929%	78,000	80,764%
Impurezas	0,988	1,000%	0,988	1,023%
Avariados	6,000	6,071%	6,000	6,213%
Água	13,835	14,000%	11,589	12,000%
Total	98,824	100,000%	96,578	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		30	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 5 – Composição das correntes de utilidades do secador SE-100

Corrente	Corrente 05		Corrente 06		Corrente 07	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Água	0,000	0,000%	0,000	0,000%	2,246	0,490%
Ar	319,349	100,000%	136,864	100,000%	456,213	99,510%
Total	319,349	100,000%	136,86	100,000%	458,459	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	70		25		42,889	

Fonte: Autor, 2024

Silo SI-100

Ao ser armazenada no silo, a corrente não sofre alterações. Devido ao tempo de armazenamento, que pode chegar a uma semana, a sua temperatura se adapta à do ambiente. A Tabela 6 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 6 – Composição das correntes do silo SI-100

Corrente	Corrente 08		Corrente 09	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	80,764%	78,000	80,764%
Impurezas	0,988	1,023%	0,988	1,023%
Avariados	6,000	6,213%	6,000	6,213%
Água	11,589	12,000%	11,589	12,000%
Total	96,578	100,000%	96,578	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	30		25	

Fonte: Autor, 2024

Máquina de limpeza P-200

Após serem encaminhados para a balança BL-200, onde não ocorrem alterações na corrente do processo, os grãos seguem para as próximas etapas do setor de preparo. A máquina de limpeza removerá impurezas menores que não foram retidas na etapa de pré-limpeza. Considerou-se que o teor de impurezas e o teor de grãos avariados alcançam 0% e 2%, respectivamente. Fazendo o balanço para a soja:

$$\dot{m}_{s,10} = \dot{m}_{s,11} + \dot{m}_{s,12}$$

$$\dot{m}_{s,10} = 0 + \dot{m}_{s,12}$$

$$\dot{m}_{s,10} = \dot{m}_{s,12}$$

Sendo 0,808 a fração mássica de soja na Corrente 10 e 0,860 na Corrente 04:

$$x_s \dot{m}_{10} = x_s \dot{m}_{12}$$

$$0,808 \times 96,578 = 0,86 \times \dot{m}_{12}$$

$$\dot{m}_{12} = \frac{0,808 \times 96,578}{0,86}$$

$$\dot{m}_{12} = 90,698 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões e frações mássicas da Corrente 12, obtém-se:

$$\dot{m}_{av,12} = x_{av} \dot{m}_{12} = 0,02 \times 90,698 = 1,814 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,12} = x_{ag} \dot{m}_{12} = 0,12 \times 90,698 = 10,884 \text{ t/h}$$

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,12}}{\dot{m}_{04}} = \frac{78,000}{90,698} = 0,860$$

Determinando as vazões mássicas da Corrente 11, tem-se:

$$\dot{m}_{i,11} = \dot{m}_{i,10} - \dot{m}_{i,12} = 0,988 - 0,000 = 0,988 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{av,11} = \dot{m}_{av,10} - \dot{m}_{av,12} = 6,000 - 1,814 = 4,186 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,11} = \dot{m}_{ag,10} - \dot{m}_{ag,12} = 11,589 - 10,884 = 0,706 \text{ t/h}$$

Totalizando:

$$\dot{m}_{11} = 0,988 + 4,186 + 0,706 = 5,880 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_i = \frac{\dot{m}_{i,11}}{\dot{m}_{11}} = \frac{0,988}{5,880} = 0,168$$

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,11}}{\dot{m}_{11}} = \frac{4,186}{5,880} = 0,712$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,11}}{\dot{m}_{11}} = \frac{0,706}{5,880} = 0,120$$

A Tabela 7 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 7 – Composição das correntes da máquina de limpeza P-200

Corrente	Corrente 10		Corrente 11		Corrente 12	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	80,764%	0,000	0,000%	78,000	86,000%
Impurezas	0,988	1,023%	0,988	16,807%	0,000	0,000%
Avariados	6,000	6,213%	4,186	71,193%	1,814	2,000%
Água	11,589	12,000%	0,706	12,000%	10,884	12,000%
Total	96,578	100,000%	5,880	100,000%	90,698	100,00%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		25		25	

Fonte: Autor, 2024

Secador SE-200

Conforme Fontes (2020), os secadores contínuos do setor de preparo reduzem o teor de umidade dos grãos de 12% para cerca de 10%, a fim de facilitar a etapa de quebra. Fazendo o balanço para a soja e grãos avariados:

$$\dot{m}_{s,av,12} = \dot{m}_{s,av,15} + \dot{m}_{s,av,16}$$

$$\dot{m}_{s,av,12} = 0 + \dot{m}_{s,av,16}$$

$$\dot{m}_{s,av,12} = \dot{m}_{s,av,16}$$

Sendo 0,880 a fração mássica de soja e grãos avariados na Corrente 12 e 0,900 na Corrente 16:

$$x_{s,av}\dot{m}_{12} = x_{s,av}\dot{m}_{16}$$

$$0,88 \times 90,698 = 0,90 \times \dot{m}_{16}$$

$$\dot{m}_{16} = \frac{0,88 \times 90,698}{0,90}$$

$$\dot{m}_{16} = 88,682 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões e frações mássicas da Corrente 16, obtém-se:

$$\dot{m}_{ag,16} = x_{ag} \dot{m}_{16} = 0,10 \times 88,682 = 8,868 \text{ t/h}$$

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,12}}{\dot{m}_{12}} = \frac{78,000}{88,682} = 0,880$$

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,12}}{\dot{m}_{12}} = \frac{1,814}{88,682} = 0,020$$

Determinando a vazão mássica de água Corrente 15, tem-se:

$$\dot{m}_{ag,15} = \dot{m}_{ag,12} - \dot{m}_{ag,16} = 10,884 - 8,868 = 2,016 \text{ t/h}$$

Pelo balanço de energia, a Corrente 13 fornece 283,986 t/h de ar aquecido e a Corrente 14 fornece 121,708 t/h de ar a temperatura ambiente. Então, a vazão mássica total da Corrente 15 é dada por:

$$\dot{m}_{15} = 283,986 + 121,708 + 2,016 = 407,710 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,15}}{\dot{m}_{15}} = \frac{2,016}{407,710} = 0,004$$

$$x_{ar} = \frac{\dot{m}_{ar,15}}{\dot{m}_{15}} = \frac{405,695}{407,710} = 0,995$$

As Tabelas 8 e 9 descrevem a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 8 – Composição das correntes de sólidos do secador SE-200

Corrente	Corrente 12		Corrente 16	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	86,000%	78,000	87,955%
Avariados	1,814	2,000%	1,814	2,045%
Água	10,884	12,000%	8,868	10,000%
Total	90,698	100,00%	88,682	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		30	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 9 – Composição das correntes de utilidades do secador SE-200

Corrente	Corrente 13		Corrente 14		Corrente 15	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Água	0,000	0,000%	0,000	0,000%	2,016	0,494%
Ar	283,986	100,000%	121,708	100,000%	405,695	99,506%
Total	283,986	100,000%	121,708	100,000%	407,710	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	70		25		42,857	

Fonte: Autor, 2024

Quebrador Q-200

De acordo com Erickson (1995), a soja contém cerca de 8% da casca em peso. Determinando a vazão mássica de cascas que deve deixar o quebrador:

$$\dot{m}_{c,17} = \dot{m}_{s,16} \times 0,08 = 78,000 \times 0,08 = 6,240 \text{ t/h}$$

Onde:

$\dot{m}_{c,17}$: Vazão mássica de cascas da Corrente 17, em t/h.

Assim, tem-se a quantidade de grãos de soja restantes no processo:

$$\dot{m}_{s,17} = \dot{m}_{s,16} - \dot{m}_{c,17} = 78,000 - 6,240 = 71,760 \text{ t/h}$$

Para as frações mássicas da Corrente 17, obtém-se:

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,17}}{\dot{m}_{17}} = \frac{71,760}{88,682} = 0,809$$

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,17}}{\dot{m}_{17}} = \frac{1,814}{88,682} = 0,020$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,17}}{\dot{m}_{17}} = \frac{8,868}{88,682} = 0,100$$

$$x_c = \frac{\dot{m}_{c,17}}{\dot{m}_{17}} = \frac{6,240}{88,682} = 0,070$$

Onde:

x_c : Fração mássica de cascas.

A Tabela 10 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 10 – Composição das correntes do quebrador Q-200

Corrente	Corrente 16		Corrente 17	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	78,000	87,955%	71,760	80,918%
Avariados	1,814	2,045%	1,814	2,045%
Água	8,868	10,000%	8,868	10,000%
Cascas	0,000	0,000%	6,240	7,036%
Total	88,682	100,000%	88,682	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	30		30	

Fonte: Autor, 2024

Separador de cascas SC-200

O sistema de descascamento irá remover as cascas geradas durante a quebra. Além disso, considerou-se que os grãos avariados e algumas impurezas, por possuírem propriedades diferentes dos grãos saudáveis, também são arrastados durante essa etapa, de modo que a corrente de saída seja composta por 10% de umidade e 90% de grãos de soja. Após tratamento térmico e laminação, as mesmas proporções seguirão para o extrator. Fazendo o balanço para a soja:

$$\dot{m}_{s,17} = \dot{m}_{s,18} + \dot{m}_{s,19}$$

$$\dot{m}_{s,17} = 0 + \dot{m}_{s,19}$$

$$\dot{m}_{s,17} = \dot{m}_{s,19}$$

Sendo 0,809 a fração mássica de soja na Corrente 17 e 0,900 na Corrente 19:

$$x_s \dot{m}_{17} = x_s \dot{m}_{19}$$

$$0,809 \times 88,682 = 0,90 \times \dot{m}_{19}$$

$$\dot{m}_{19} = \frac{0,809 \times 88,682}{0,90}$$

$$\dot{m}_{19} = 79,733 \text{ t/h}$$

Determinando a vazão mássica de água da Corrente 19, obtém-se:

$$\dot{m}_{ag,19} = x_{ag} \dot{m}_{19} = 0,10 \times 79,733 = 7,973 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões mássicas da Corrente 18, tem-se:

$$\dot{m}_{av,18} = \dot{m}_{av,17} - \dot{m}_{av,19} = 1,814 - 0,000 = 1,814 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,18} = \dot{m}_{ag,17} - \dot{m}_{ag,19} = 8,868 - 7,973 = 0,895 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{c,18} = \dot{m}_{c,17} - \dot{m}_{c,19} = 6,240 - 0,000 = 6,240 \text{ t/h}$$

Totalizando:

$$\dot{m}_{18} = 1,814 + 0,895 + 6,240 = 8,949 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_{av} = \frac{\dot{m}_{av,18}}{\dot{m}_{18}} = \frac{1,814}{8,949} = 0,203$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,18}}{\dot{m}_{18}} = \frac{0,895}{8,949} = 0,100$$

$$x_c = \frac{\dot{m}_{ac,18}}{\dot{m}_{18}} = \frac{6,240}{8,949} = 0,697$$

A Tabela 11 descreve a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 11 – Composição das correntes do separador de cascas SC-200

Corrente	Corrente 17		Corrente 18		Corrente 19	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Soja	71,760	80,918%	0,000	0,000%	71,760	90,000%
Avariados	1,814	2,045%	1,814	20,270%	0,000	0,000%
Água	8,868	10,000%	0,895	10,000%	7,973	10,000%
Cascas	6,240	7,036%	6,240	69,730%	0,000	0,000%
Total	88,682	100,000%	8,949	100,000%	79,733	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		28		28	

Fonte: Autor, 2024

Condicionador C-200

No condicionador a temperatura dos grãos é elevada através do contato indireto com vapor. A composição mássica da corrente não é alterada. Pelo balanço de energia, a Corrente 20 fornece 2,759 t/h de vapor saturado à 100°C. As Tabelas 12 e 13 descrevem a as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 12 – Composição das correntes de sólidos condicionador C-200

Corrente	Corrente 19		Corrente 22	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	71,760	90,000%	71,760	90,000%
Água	7,973	10,000%	7,973	10,000%
Total	79,733	100,000%	79,733	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	28		72	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 13 – Composição das correntes de utilidades do condicionador C-200

Corrente	Corrente 20		Corrente 21	
Composição	t/h	%	t/h	%
Água	2,759	100,000%	2,759	100,000%
Total	2,759	100,000%	2,759	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	100		100	

Fonte: Autor, 2024

Secador-resfriador SR-200

Após adquirirem a forma de floco através do processo de laminação no laminador L-200, os grãos de soja são resfriados para adentrarem a etapa de extração com uma temperatura de 55°C (FONTES, 2020). O resfriamento acontece em um secador-resfriador que utiliza ar a temperatura ambiente para a realização do processo. A composição mássica da corrente não é alterada. Pelo balanço de energia, a Corrente 24 fornece 154,898 t/h de ar à 25°C. As Tabelas 14 e 15 descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 14 – Composição das correntes de sólidos do secador-resfriador SR-200

Corrente	Corrente 23		Corrente 26	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	71,760	90,000%	71,760	90,000%
Água	7,973	10,000%	7,973	10,000%
Total	79,733	100,000%	79,733	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	72		55	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 15 – Composição das correntes de utilidades do secador-resfriador SR-200

Corrente	Corrente 24		Corrente 25	
Composição	t/h	%	t/h	%
Ar	154,898	100,000%	154,898	100,000%
Total	154,898	100,000%	154,898	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		40	

Fonte: Autor, 2024

Extrator EX-300

Oliveira (2021) determina que a quantidade de solvente necessária para a extração corresponde a 90% em massa da vazão de soja laminada de entrada. Assim, a vazão mássica de solvente é dada por:

$$\dot{m}_{h,56} = \dot{m}_{26} \times 0,90 = 79,733 \times 0,90 = 71,760 \text{ t/h}$$

Onde:

$\dot{m}_{h,56}$: Vazão mássica de hexano da Corrente 56, em t/h.

Além disso, Fontes (2020) explica que o teor de óleo no floco de soja é de aproximadamente 20%, em massa. Então:

$$\dot{m}_{o,26} = \dot{m}_{s,26} \times 0,20 = 71,760 \times 0,20 = 14,352 \text{ t/h}$$

Onde:

$\dot{m}_{o,26}$: Vazão mássica de óleo da Corrente 26, em t/h.

A Corrente 26, dessa forma, também é composta por:

$$\dot{m}_{s,26} = \dot{m}_{s,26} - \dot{m}_{o,26} = 71,760 - 14,352 = 57,408 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,26} = \dot{m}_{26} \times 0,10 = 79,733 \times 0,10 = 7,973 \text{ t/h}$$

Sendo apenas 0,5 % do teor de óleo de soja é perdido para a torta, que conforme Aranha (2018), também possui em sua composição toda a vazão de umidade proveniente da corrente de entrada de soja, tem-se para a Corrente 28:

$$\dot{m}_{o,28} = \dot{m}_{o,26} \times 0,005 = 14,352 \times 0,005 = 0,072 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{ag,28} = \dot{m}_{ag,26} = 7,973 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{s,28} = \dot{m}_{s,26} = 57,408 \text{ t/h}$$

Ademais, a concentração de óleo na miscela que deixa o extrator através da Corrente 27 é de 30%. Fazendo o balanço para o óleo:

$$\dot{m}_{o,27} = \dot{m}_{o,26} - \dot{m}_{o,28} = 14,352 - 0,072 = 14,280 \text{ t/h}$$

Sendo 30% o teor de óleo, 70% será a composição do solvente:

$$\dot{m}_{h,27} = \frac{\dot{m}_{o,27} \times 0,70}{0,30} = \frac{14,280 \times 0,70}{0,30} = 33,321 \text{ t/h}$$

Fazendo o balanço para o solvente na Corrente 28:

$$\dot{m}_{h,28} = \dot{m}_{h,56} - \dot{m}_{h,27} = 71,760 - 33,321 = 38,439 \text{ t/h}$$

Totalizando para as Correntes 27 e 28:

$$\dot{m}_{27} = 14,280 + 33,321 = 47,601 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{28} = 57,408 + 0,072 + 38,439 + 7,973 = 103,893 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas para a Corrente 28:

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,28}}{\dot{m}_{28}} = \frac{57,408}{103,893} = 0,553$$

$$x_o = \frac{\dot{m}_{o,28}}{\dot{m}_{28}} = \frac{0,072}{103,893} = 0,00069$$

$$x_h = \frac{\dot{m}_{h,28}}{\dot{m}_{28}} = \frac{38,439}{103,893} = 0,367$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,28}}{\dot{m}_{28}} = \frac{7,973}{103,893} = 0,077$$

Onde:

x_o : Fração mássica de óleo.

x_h : Fração mássica de hexano.

A Tabela 16 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 16 – Composição das correntes do extrator EX-300

Corrente	Corrente 56		Corrente 27		Corrente 28	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Soja	0,000	0,000%	0,000	0,000%	57,408	55,257%
Óleo	0,000	0,000%	14,280	30,000%	0,072	0,069%
Solvente	71,760	100,000%	33,321	70,000%	38,439	36,999%
Água	0,000	0,000%	0,000	0,000%	7,973	7,675%
Total	71,760	100,000%	47,601	100,000%	103,893	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	55		55		55	

Fonte: Autor, 2024

Dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300

Através do contato direto com vapor d'água superaquecido à 180°C e pressão de 250 kPa, o hexano residual da torta é evaporado. Considerou-se que na corrente de vapor não há resíduo de óleo, que todo vapor utilizado deixa o equipamento e que há a perda de 1% de solvente. Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 29 fornece 7,883 t/h de vapor d'água. Sendo assim, fazendo o balanço para a Corrente 30:

$$\dot{m}_{30} = 7,883 + \dot{m}_{h,28} \times 0,99 = 7,883 + 38,439 \times 0,99 = 45,938 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas para a Corrente 30:

$$x_h = \frac{\dot{m}_{h,30}}{\dot{m}_{30}} = \frac{38,055}{45,938} = 0,828$$

$$x_v = \frac{\dot{m}_{v,30}}{\dot{m}_{30}} = \frac{7,973}{45,938} = 0,172$$

Onde:

$\dot{m}_{v,30}$: Vazão mássica de vapor d'água da Corrente 30, em t/h.

x_v : Fração mássica de vapor d'água.

A secagem é efetuada pela passagem de ar quente através dos pratos secadores. Em seguida, utiliza-se ar ambiente para promover o resfriamento na seção dos pratos resfriadores, onde o farelo atinge uma umidade de cerca de 12%, que é o percentual máximo permitido. Considerou-se que não há transferência de massa a secagem. Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 31 fornece 293,613 t/h de ar a temperatura ambiente. Sendo assim, fazendo o balanço para a Corrente 33:

$$\dot{m}_{33} = \dot{m}_{33} - \dot{m}_{h,28} * 0,99 = 103,893 - 38,439 * 0,99 = 65,837 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas para a Corrente 33:

$$x_s = \frac{\dot{m}_{s,33}}{\dot{m}_{33}} = \frac{57,408}{65,837} = 0,872$$

$$x_o = \frac{\dot{m}_{o,33}}{\dot{m}_{33}} = \frac{0,072}{65,837} = 0,001$$

$$x_h = \frac{\dot{m}_{h,33}}{\dot{m}_{33}} = \frac{0,384}{65,837} = 0,006$$

$$x_{ag} = \frac{\dot{m}_{ag,33}}{\dot{m}_{33}} = \frac{7,973}{65,837} = 0,121$$

As Tabelas 17, 18 e 19 descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 17 – Composição das correntes de sólidos do dessolventizador-tostador-secador-resfriador

DT-300

Corrente	Corrente 28		Corrente 33	
Composição	t/h	%	t/h	%
Soja	57,408	55,257%	57,408	87,197%
Óleo	0,072	0,069%	0,072	0,109%
Solvente	38,439	36,999%	0,384	0,584%
Água	7,973	7,675%	7,973	12,111%
Total	103,893	100,000%	65,837	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	55		32	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 18 – Composição das correntes de vapor do dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300

Corrente	Corrente 29		Corrente 30	
Composição	t/h	%	t/h	%
Solvente	0,000	0,000%	38,055	82,839%
Água	7,883	100,000%	7,883	17,161%
Total	7,883	100,000%	45,938	100,000%
Pressão (kPa)	250,000		35,000	
Temperatura (°C)	180		74	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 19 – Composição das correntes ar do dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300

Corrente	Corrente 31		Corrente 32	
Composição	t/h	%	t/h	%
Ar	293,613	100,000%	293,613	100,000%
Total	293,613	100,000%	293,613	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		55	

Fonte: Autor, 2024

Evaporador EV-300

De acordo com Fontes (2020), a miscela que entra no primeiro evaporador, com uma concentração de 30% em massa de óleo, é submetida a um aquecimento de vapores condensados provenientes do dessolventizador-tostador-secador-resfriador, e alcança uma concentração entre 65 e 67%. Considerou-se uma concentração de 65%. Sendo assim, para a Corrente 36:

$$x_o = 0,650$$

$$x_h = 0,350$$

Determinando a as vazões mássicas:

$$\dot{m}_{o,36} = 14,280 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{h,36} = \frac{\dot{m}_{o,36} \times 0,35}{0,65} = \frac{14,280 \times 0,35}{0,65} = 7,689 \text{ t/h}$$

Totalizando:

$$\dot{m}_{36} = 14,280 + 7,689 = 21,970 \text{ t/h}$$

Para a Corrente 35:

$$\dot{m}_{h,35} = \dot{m}_{h,27} - \dot{m}_{h,36} = 33,321 - 7,689 = 25,631 \text{ t/h}$$

Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 30 fornece 45,938 t/h de vapor de água e hexano à 74°C e pressão de 35 kPa, entretanto, apenas 17,849 t/h são necessárias. As Tabelas 20 e 21 descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 20 – Composição das correntes líquidas do evaporador EV-300

Corrente	Corrente 27		Corrente 36	
Composição	t/h	%	t/h	%
Óleo	14,280	30,000%	14,280	65,000%
Solvente	33,321	70,000%	7,689	35,000%
Total	47,601	100,000%	21,970	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		40,000	
Temperatura (°C)	55		59	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 21 – Composição das correntes de vapor do evaporador EV-300

Corrente	Corrente 30		Corrente 34		Corrente 35	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Solvente	38,055	82,839%	38,055	82,839%	25,631200	100,000%
Água	7,883	17,161%	7,883	17,161%	0,000	0,000%
Total	45,938	100,000%	45,938	100,000%	25,631	100,000%
Pressão (kPa)	35,000		35,000		40,000	
Temperatura (°C)	74		74		59	

Fonte: Autor, 2024

Evaporador EV-310

Ainda segundo Fontes (2020), no segundo evaporador, onde o aquecimento dá-se por vapor d'água à 127°C e pressão de 250 kPa, atinge-se uma concentração de 95 a 98% em massa de óleo. Considerou-se uma concentração de 97%. Sendo assim, para a Corrente 40:

$$x_o = 0,970$$

$$x_h = 0,03$$

Determinando as vazões mássicas:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{o,40} &= 14,280 \text{ t/h} \\ \dot{m}_{h,40} &= \frac{\dot{m}_{o,40} \times 0,03}{0,970} = \frac{14,280 \times 0,03}{0,970} = 0,442 \text{ t/h} \end{aligned}$$

Totalizando:

$$\dot{m}_{40} = 14,280 + 0,442 = 14,722 \text{ t/h}$$

Para a Corrente 39:

$$\dot{m}_{h,39} = \dot{m}_{h,36} - \dot{m}_{h,40} = 7,689 - 0,442 = 7,248 \text{ t/h}$$

Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 37 fornece 2,167 t/h de vapor d'água. As Tabelas 22 e 23, descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 22 – Composição das correntes líquidas do evaporador EV-310

Corrente	Corrente 36		Corrente 40	
Composição	t/h	%	t/h	%
Óleo	14,280	65,000%	14,280	97,000%
Solvente	7,689	35,000%	0,442	3,000%
Total	21,970	100,000%	14,722	100,000%
Pressão (kPa)	40,000		40,000	
Temperatura (°C)	59		120	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 23 – Composição das correntes de vapor do evaporador EV-310

Corrente	Corrente 37		Corrente 38		Corrente 39	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Solvente	0,000	0,000%	0,000	0,000%	7,248	100,000%
Água	2,167	100,000%	2,167	100,000%	0,000	0,000%
Total	2,167	100,000%	2,167	100,000%	7,248	100,000%
Pressão (kPa)	250,000		250,000		40,000	
Temperatura (°C)	127		127		120	

Fonte: Autor, 2024

Coluna de Stripping ST-300

Considerou-se que todo o solvente restante é evaporado nesta etapa por meio do contato direto com vapor d'água superaquecido à 180°C e pressão de 392,266 kPa. Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 41 fornece 2,153 t/h de vapor d'água. Sendo assim, para a Corrente 42:

$$\dot{m}_{42} = \dot{m}_{v,41} + \dot{m}_{h,40} = 2,153 + 0,442 = 2,595 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_v = \frac{\dot{m}_{v,42}}{\dot{m}_{42}} = \frac{2,153}{2,595} = 0,830$$

$$x_h = \frac{\dot{m}_{h,42}}{\dot{m}_{42}} = \frac{0,442}{2,595} = 0,170$$

Para a Corrente 43:

$$\dot{m}_{43} = \dot{m}_{o,43} = 14,280 \text{ t/h}$$

As Tabelas 24 e 25, descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 24 – Composição das correntes líquidas da coluna de stripping ST-300

Corrente	Corrente 40		Corrente 43	
Composição	t/h	%	t/h	%
Óleo	14,280	97,000%	14,280	100,000%
Solvente	0,442	3,000%	0,000	0,000%
Total	14,722	100,000%	14,280	100,000%
Pressão (kPa)	40,000		62,661	
Temperatura (°C)	120		114	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 25 – Composição das correntes de vapor da coluna de stripping ST-300

Corrente	Corrente 41		Corrente 42	
Composição	t/h	%	t/h	%
Solvente	0,000	0,000%	0,442	17,021%
Água	2,153	100,000%	2,153	82,979%
Total	2,153	100,000%	2,595	100,000%
Pressão (kPa)	392,266		74,660	
Temperatura (°C)	180		90	

Fonte: Autor, 2024

Misturador M-300

O misturador recebe os vapores provenientes dos evaporadores e coluna de stripping. Nele, as três correntes são equalizadas e seguem para o condensador. Sendo assim, para a Corrente 45:

$$\dot{m}_{45} = \dot{m}_{42} + \dot{m}_{44} = \dot{m}_{42} + (\dot{m}_{35} + \dot{m}_{39})$$

$$\dot{m}_{45} = 2,595 + (25,631 + 7,248) = 35,474 \text{ t/h}$$

Determinando as frações mássicas:

$$x_v = \frac{\dot{m}_{v,45}}{\dot{m}_{45}} = \frac{2,153}{35,474} = 0,061$$

$$x_h = \frac{\dot{m}_{h,45}}{\dot{m}_{45}} = \frac{33,321}{35,474} = 0,939$$

A Tabela 26 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 26 – Composição das correntes do misturador M-300

Corrente	Corrente 42		Corrente 44		Corrente 45	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Solvente	0,442	17,021%	32,879	100,000%	33,321	93,931%
Água	2,153	82,979%	0,000	0,000%	2,153	6,069%
Total	2,595	100,000%	32,879	100,000%	35,474	100,000%
Pressão (kPa)	74,660		40,000		33,836	
Temperatura (°C)	90		72,447		72,679	

Fonte: Autor, 2024

Condensador CN-300

No condensador, a mistura de vapores de água e hexano é condensada através do contato indireto com a água de resfriamento. A composição mássica da corrente não é alterada. Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 46 fornece 133,642 t/h de água de resfriamento. As Tabelas 27 e 28 descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 27 – Composição das correntes do condensador CN-300

Corrente	Corrente 45		Corrente 48	
Composição	t/h	%	t/h	%
Solvente	33,321	93,931%	33,321	93,931%
Água	2,153	6,069%	2,153	6,069%
Total	35,474	100,000%	35,474	100,000%
Pressão (kPa)	33,836		0,000	
Temperatura (°C)	72,679		65	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 28 – Composição das correntes de utilidades do condensador CN-300

Corrente	Corrente 46		Corrente 47	
Composição	t/h	%	t/h	%
Água	133,642	100,000%	133,642	100,000%
Total	133,642	100,000%	133,642	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		55	

Fonte: Autor, 2024

Separador de fases SF-300

Conforme o balanço de energia realizado para o Evaporador EV-300, apenas 38,855% da corrente de vapores provenientes do dessolventizador-tostador-secador-resfriador cedeu calor latente para o processo de evaporação. Portanto, a Corrente 34 apresenta 61,145% da vazão inicial na forma gasosa. Considerando que a composição não se altera em ambas as correntes (ARANHA, 2018), tem-se para a Corrente 49:

$$\dot{m}_{49} = \dot{m}_{34} \times 0,61145 = 45,938 \times 0,61145 = 28,089 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões mássicas:

$$\dot{m}_{v,49} = 0,172 \times \dot{m}_{49} = 0,172 \times 28,089 = 4,820 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{h,49} = 0,828 \times \dot{m}_{49} = 0,828 \times 28,089 = 23,269 \text{ t/h}$$

Para a Corrente 50:

$$\dot{m}_{50} = \dot{m}_{34} \times 0,38855 = 45,938 \times 0,38855 = 17,850 \text{ t/h}$$

Determinando as vazões mássicas:

$$\dot{m}_{ag,50} = 0,172 \times \dot{m}_{50} = 0,172 \times 17,850 = 3,063 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{h,50} = 0,828 \times \dot{m}_{50} = 0,828 \times 17,850 = 14,786 \text{ t/h}$$

A Tabela 29 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 29 – Composição das correntes separador de fases SF-300

Corrente	Corrente 34		Corrente 49		Corrente 50	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Solvente	38,055	82,839%	23,269	82,839%	14,786	82,839%
Água	7,883	17,161%	4,820	17,161%	3,063	17,161%
Total	45,938	100,000%	28,089	100,000%	17,850	100,000%
Pressão (kPa)	35,000		35,000		35,000	
Temperatura (°C)	74		74		74	

Fonte: Autor, 2024

Condensador CN-310

No condensador, a mistura de vapores de água e hexano é condensada através do contato indireto com a água de resfriamento. A composição mássica da corrente não é alterada. Pelo balanço de energia, determinou-se que a Corrente 51 fornece 121,369 t/h de água de resfriamento. As Tabelas 30 e 31 descrevem as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 30 – Composição das correntes do condensador CN-310

Corrente	Corrente 49		Corrente 53	
Composição	t/h	%	t/h	%
Solvente	23,269	82,839%	23,269	82,839%
Água	4,820	17,161%	4,820	17,161%
Total	28,089	100,000%	28,089	100,000%
Pressão (kPa)	35,000		0,000	
Temperatura (°C)	74		65	

Fonte: Autor, 2024

Tabela 31 – Composição das correntes de utilidades do condensador CN-310

Corrente	Corrente 51		Corrente 52	
Composição	t/h	%	t/h	%
Água	121,369	100,000%	121,369	100,000%
Total	121,369	100,000%	121,369	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		55	

Fonte: Autor, 2024

Decantador D-300

O decantador recebe os vapores condensados e a reposição de solvente. Sendo a perda de solvente durante o processo igual a 1% em relação ao que é encaminhado ao dessolventizador-tostador-secador-resfriador através da Corrente 28, temos para a Corrente 55, através do tanque de armazenamento de hexano:

$$\dot{m}_{55} = \dot{m}_{28} \times 0,01 = 38,439 \times 0,01 = 0,384 \text{ t/h}$$

A vazão mássica de solvente que retorna ao processo, dessa forma, é dada por:

$$\dot{m}_{56} = \dot{m}_{h,48} + \dot{m}_{h,54} + \dot{m}_{h,55} = 33,321 + 38,055 + 0,384 = 71,760 \text{ t/h}$$

Já a vazão mássica de água:

$$\dot{m}_{57} = \dot{m}_{ag,48} + \dot{m}_{ag,54} = 2,153 + 7,883 = 10,036 \text{ t/h}$$

A Tabela 32 descreve as informações referentes às correntes do equipamento.

Tabela 32 – Composição das correntes do decantador D-300

Corrente	Corrente 55		Corrente 56		Corrente 57	
Composição	t/h	%	t/h	%	t/h	%
Solvente	0,384	100,000%	71,760	100,000%	0,000	0,000%
Água	0,000	0,000%	0,000	0,000%	10,036	100,000%
Total	0,384	100,000%	71,760	100,000%	10,036	100,000%
Pressão (kPa)	0,000		0,000		0,000	
Temperatura (°C)	25		55		55	

Fonte: Autor, 2024

APÊNDICE B – BALANÇO DE ENERGIA

Secador SE-100

Com troca de calor sensível e latente ocorrendo no equipamento, realizou-se o balanço de energia para a etapa de secagem e para a etapa de resfriamento. Para obter o calor específico dos grãos de soja, dado em kJ/kg.°C, utilizou-se a equação proposta por Deshpande e Bal (1999):

$$C_{p,sM} = 1,444 \times (1 + 0,0406 \times M)$$

Onde:

$C_{p,sM}$: Calor específico da soja com teor de umidade M, em kJ/kg.°C.

Calculando o valor para as umidades na entrada e saída da primeira secagem, obtém-se:

$$C_{p,s0,14} = 1,444 \times (1 + 0,0406 \times 0,14) = 1,452 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{p,s0,12} = 1,444 \times (1 + 0,0406 \times 0,12) = 1,451 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

Como o valor da temperatura de saída do ar de secagem é desconhecida, inicia-se o balanço de energia pela etapa de resfriamento. Os grãos saem dos secadores contínuos com uma temperatura de 5 a 10 °C superior à temperatura ambiente (MALLET, 2009). Portanto, após o resfriamento, será considerado que os grãos chegam a uma temperatura de 30°C. Sabendo que a soja entra na etapa de resfriamento com uma temperatura de 42°C, calculou-se o calor sensível cedido a corrente de ar:

$$\dot{Q}_{04} = \dot{m}_{s,04} \times C_{p,s0,12} \times (T_{s,s,04} - T_{e,s,04}) + \dot{m}_{ag,04} \times C_{p,ag,04} \times (T_{s,ag,04} - T_{e,ag,04})$$

Onde:

$\dot{Q}_{04}$: Taxa de calor sensível cedido pela Corrente 04 aquecida, em kJ/h.

$T_{s,s,04}$: Temperatura de saída da soja na Corrente 04, em °C.

$T_{e,s,04}$: Temperatura de entrada da soja na Corrente 04, em °C.

$C_{p,ag,04}$: Calor específico da água na Corrente 04, em kJ/kg.°C.

$T_{s,ag,04}$: Temperatura de saída da água na Corrente 04, em °C.

$T_{e,ag,04}$: Temperatura de entrada da água na Corrente 04, em °C.

Sendo o calor específico da água na temperatura de 42°C igual a 4,175 kJ/kg°C (YAWS, 1997), tem-se:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{04} &= (84988,235) \times (1,451) \times (30 - 42) + (11589,305) \times (4,175) \times (30 - 42) \\ &= -2061170,549 \text{ kJ/h}\end{aligned}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido, obteve-se a vazão mássica de ar necessária para realizar o resfriamento.

$$\dot{Q}_{06} = \dot{m}_{ar,06} \times C_{p,ar,06} \times (T_{s,ar,06} - T_{e,ar,06})$$

Onde:

$C_{p,ar,06}$: Calor específico do ar na Corrente 06, em kJ/kg.°C.

$T_{s,ar,06}$: Temperatura de saída do ar na Corrente 06, em °C.

$T_{e,ar,06}$: Temperatura de entrada do ar na Corrente 06, em °C.

O calor específico do ar na temperatura de 25°C é de 1,004 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), assim:

$$\dot{m}_{ar,06} = \frac{\dot{Q}_{06}}{C_{p,ar,06} \times (T_{s,ar,06} - T_{e,ar,06})} = \frac{2061170,549}{1,004 \times (40 - 25)} = 136863,914 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ar,06} = 136863,914 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 136,863 \text{ t/h}$$

Considerando que a vazão de ar de resfriamento corresponde a 30% da capacidade do equipamento (ARANHA, 2018), calculou-se a vazão mássica de ar necessária para a etapa de secagem:

$$\dot{m}_{ar,05} = \frac{\dot{m}_{ar,06} \times 0,7}{0,3} = 319,349 \text{ t/h}$$

Durante o processo de secagem, é importante considerar duas temperaturas: a do ar utilizado no procedimento e a temperatura da massa dos grãos. Em sistemas de secagem contínua, as temperaturas do ar podem variar de 70 a 130°C, enquanto a temperatura da massa dos grãos deve permanecer em torno de 43°C para sementes com umidade entre 18% e 10% (TERMOPROL, 2024). Assim, para reduzir o teor de umidade para 12%, a corrente de soja proveniente da etapa de pré-limpeza é aquecida até atingir 42°C pelo fluxo de ar aquecido a 70°C. Obteve-se o calor recebido pela corrente de secagem.:

$$\dot{Q}_{04} = \dot{m}_{s,04} \times C_{p,s,04} \times (T_{s,s,04} - T_{e,s,04}) + \dot{m}_{ag,04} \times C_{p,ag,04} \times (T_{s,ag,04} - T_{e,ag,04}) + \dot{m}_{ag,07} \times \lambda_{ag,04}$$

Onde:

$\lambda_{ag,04}$: Entalpia de vaporização da água na Corrente 04, em kJ/kg.

Sendo o calor específico da água na temperatura de 25°C igual a 4,193 kJ/kg°C e a entalpia de vaporização da água na temperatura de 42°C igual a 2331,523 kJ/kg (YAWS, 1997):

$$\dot{Q}_{04} = (84988,235) \times (1,452) \times (42 - 25) + (13835,294) \times (4,193) \times (42 - 25) + (2245,989) \times (2331,523) = 8317860,413 \text{ kJ/h}$$

Com a taxa de calor sensível recebido pela Corrente 04, é possível calcular a temperatura de saída do ar de secagem:

$$\dot{Q}_{05} = \dot{m}_{ar,05} \times C_{par,05} \times (T_{sar,05} - T_{ear,05})$$

Sendo 1,011 kJ/kg°C o calor específico do ar à 70°C (ÇENGEL; BOLES, 2013):

$$T_{sar} = \frac{\dot{Q}_{05}}{\dot{m}_{ar,05} \times C_{par,05}} + T_{ear} = \frac{-8317860,413}{(319349,133) \times (1,011)} + 70 = 44,237^\circ\text{C}$$

Para obter a temperatura de saída da corrente com o ar de resfriamento, ar de secagem e água, a junção dos três elementos será denominada mistura. Utilizando a lei de conservação de energia:

$$\dot{m}_m \times C_{pm} \times T_m = \dot{m}_{ar,06} \times C_{par,06} \times T_{sar,06} + \dot{m}_{ar,05} \times C_{par,05} \times T_{sar,05} + \dot{m}_{ag,07} \times C_{pag,07} \times T_{sag,07}$$

Onde:

$\dot{m}_m$: Vazão mássica da mistura, em kg/h.

C_{pm} : Calor específico da mistura, em kJ/kg.°C.

T_m : Temperatura da mistura, em °C.

Na temperatura de 40°C, o calor específico do ar é de 1,006 kJ/kg°C. Já na temperatura de 44,137°C, esse valor é de 1,007 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013). Para o vapor de água, o calor específico à 42° é de 1,879 kJ/kg°C (ENGINEERING TOOLBOX, 2024). Através de uma média ponderada, chega-se ao valor do calor específico da mistura:

$$C_{pm} = \left(\frac{\dot{m}_{ar,06}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{par,06} + \left(\frac{\dot{m}_{ar,05}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{par,05} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,07}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{pag,07}$$

$$C_{pm} = \left(\frac{136863,914}{458459,037} \right) \times 1,006 + \left(\frac{319349,133}{458459,037} \right) \times 1,007 + \left(\frac{2245,989}{458459,037} \right) \times 1,879$$

$$C_{pm} = 1,011 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Substituindo:

$$\dot{m}_m \times C_{p_m} \times T_m = \dot{m}_{ar,06} \times C_{p_{ar,06}} \times T_{s_{ar,06}} + \dot{m}_{ar,05} \times C_{p_{ar,05}} \times T_{s_{ar,05}} + \dot{m}_{ag,07} \times C_{p_{ag,07}} \times T_{s_{ag,07}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_m \times C_{p_m} \times T_m &= (36863,914) \times (1,006) \times (40) + (319349,133) \times (1,007) \times (44,137) \\ &+ (2245,989) \times (1,879) \times (42) \end{aligned}$$

$$T_m = \frac{20095016,62}{(458459,03) \times (1,022)} = 42,889 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Secador SE-200

A segunda etapa de secagem ocorrerá em um equipamento semelhante ao utilizado na etapa de recebimento dos grãos. Os princípios de funcionamento serão os mesmos, entretanto, o teor de umidade dos grãos deve chegar a 10%. A soja será aquecida pelo ar de secagem à 70°C até atingir 42°C. Na etapa de resfriamento, ar à temperatura ambiente resfriará os grãos até que atinjam 30°C e deixará o equipamento em uma temperatura de 40°C. Para o resfriamento, calculou-se o calor específico final para a soja seguindo a equação proposta por Deshpande e Bal (1999):

$$C_{p,s_{0,10}} = 1,444 \times (1 + 0,0406 \times 0,10) = 1,450 \text{ kJ/kg. } ^\circ\text{C}$$

Sendo o calor específico da água na temperatura de 42°C igual a 4,175 kJ/kg°C (YAWS, 1997), obteve-se o calor sensível cedido a corrente de ar, onde $\dot{Q}_{12}$ é a taxa de calor sensível cedido pela Corrente 12 aquecida, em kJ/h:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{12} &= \dot{m}_{s,12} \times C_{p,s_{0,10}} \times (T_{s_{s,12}} - T_{e_{s,12}}) + \dot{m}_{ag,12} \times C_{p_{ag,12}} \times (T_{s_{ag,12}} - T_{e_{ag,12}}) \\ \dot{Q}_{12} &= (79813,953) \times (1,450) \times (30 - 42) + (8868,217) \times (4,175) \times (30 - 42) \\ &= -1832928,906 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido e sabendo que o calor específico do ar na temperatura de 25°C é de 1,004 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se a vazão mássica de ar necessária para realizar o resfriamento.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{14} &= \dot{m}_{ar,14} \times C_{p_{ar,14}} \times (T_{s_{ar,14}} - T_{e_{ar,14}}) \\ \dot{m}_{ar,14} &= \frac{\dot{Q}_{14}}{C_{p_{ar,14}} \times (T_{s_{ar,14}} - T_{e_{ar,14}})} = \frac{1832928,906}{1,004 \times (40 - 25)} = 121708,427 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{ar,014} = 121708,427 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 121,708 \text{ t/h}$$

Considerando que a vazão de ar de resfriamento corresponde a 30% da capacidade do equipamento (ARANHA, 2018), calculou-se a vazão mássica de ar necessária para a etapa de secagem:

$$\dot{m}_{ar,13} = \frac{\dot{m}_{ar,14} \times 0,7}{0,3} = 283,986 \text{ t/h}$$

Para obter o calor recebido pela corrente de secagem, considera-se que o calor específico da água na temperatura de 25°C é igual a 4,193 kJ/kg°C e a entalpia de vaporização da água na temperatura de 42°C igual a 2331,523 kJ/kg (YAWS, 1997):

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{12} &= \dot{m}_{s,12} \times C_{p,s,0,10} \times (T_{s,12} - T_{e,s,12}) + \dot{m}_{ag,12} \times C_{p,ag,12} \times (T_{s,ag,12} - T_{e,ag,12}) + \dot{m}_{ag,15} \times \lambda_{ag,12} \\ \dot{Q}_{12} &= (79813,953) \times (1,451) \times (42 - 25) + (8868,217) \times (4,193) \times (42 - 25) \\ &\quad + (2015,204) \times (2331,523) = 7443813,776 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Com a taxa de calor sensível recebido pela Corrente 12, calcula-se a temperatura de saída do ar de secagem. Sendo 1,011 kJ/kg°C o calor específico do ar à 70°C (ÇENGEL; BOLES, 2013):

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{13} &= \dot{m}_{ar,13} \times C_{p,ar,13} \times (T_{s,ar,13} - T_{e,ar,13}) \\ T_{s,ar,13} &= \frac{\dot{Q}_{13}}{T_{s,ar,13} - T_{e,ar,13}} + T_{e,ar,13} = \frac{-7443813,776}{(283986,329) \times (1,011)} + 70 = 44,073^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Para obter a temperatura de saída da corrente com o ar de resfriamento, ar de secagem e água, a junção dos três elementos será denominada mistura. Utilizou-se a lei de conservação de energia:

$$\dot{m}_m \times C_{p,m} \times T_m = \dot{m}_{ar,14} \times C_{p,ar,14} \times T_{s,ar,14} + \dot{m}_{ar,13} \times C_{p,ar,13} \times T_{s,ar,13} + \dot{m}_{ag,15} \times C_{p,ag,15} \times T_{s,ag,15}$$

Na temperatura de 40°C, o calor específico do ar é de 1,006. Já na temperatura de 44,073°C, esse valor é de 1,007 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013). Para o vapor de água, o calor específico à 42° é de 1,879 kJ/kg°C (ENGINEERING TOOLBOX, 2024). Através de uma média ponderada, chega-se ao valor do calor específico da mistura:

$$C_{p,m} = \left(\frac{\dot{m}_{ar,14}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,ar,14} + \left(\frac{\dot{m}_{ar,13}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,ar,13} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,15}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,ag,15}$$

$$C_{pm} = \left(\frac{121708,427}{407710,260} \right) \times 1,006 + \left(\frac{283986,329}{407710,260} \right) \times 1,007 + \left(\frac{2015,204}{407710,260} \right) \times 1,879$$

$$C_{pm} = 1,011 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Substituindo:

$$\dot{m}_m \times C_{pm} \times T_m = \dot{m}_{ar,14} \times C_{par,14} \times T_{sar,14} + \dot{m}_{ar,13} \times C_{par,13} \times T_{sar,13} + \dot{m}_{ag,15} \times C_{pag,15} \times T_{sag,15}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_m \times C_{pm} \times T_m &= (121708,427) \times (1,006) \times (40) + (283986,329) \times (1,007) \times (44,073) \\ &+ (2015,204) \times (1,879) \times (42) \end{aligned}$$

$$T_m = \frac{17854708,079}{(407710,260) \times (1,022)} = 42,844 \text{ }^\circ\text{C}$$

Condicionador C-200

Na etapa de condicionamento o produto deve atingir uma temperatura de 72 °C por meio do contato indireto com vapor (ERICKSON, 1995). O vapor utilizado possui baixa pressão e é aplicado na temperatura de 100°C. Até o fim do processo a temperatura não se alterará, apenas calor latente será fornecido. Considerando que as propriedades dos grãos e da água são válidas no processo, calcula-se o calor específico da mistura. Sendo o calor específico da água à 28°C igual a 4,189 kJ/kg°C, tem-se:

$$C_{pm} = \left(\frac{\dot{m}_{s,19}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,s,0,10} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,19}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{pag,19}$$

$$C_{pm} = \left(\frac{71760,000}{79733,333} \right) \times 1,450 + \left(\frac{7973,333}{79733,333} \right) \times 4,189$$

$$C_{pm} = 1,724 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Calculando o calor recebido pela Corrente 19 para alcançar 72°C:

$$\dot{Q}_{19} = \dot{m}_{19} \times C_{p_{19}} \times (T_{s_{19}} - T_{e_{19}})$$

Substituindo:

$$\dot{Q}_{19} = (79733,333) \times (1,724) \times (72 - 28) = 6047467,201 \text{ kJ/h}$$

Relacionando o calor recebido ao calor cedido e sabendo que a entalpia de vaporização da água na temperatura de 100°C é de 2192,151 kJ/kg (YAWS, 1997), tem-se a vazão mássica de ar necessária para realizar o resfriamento.

$$\dot{Q}_{19} = \dot{m}_{v,20} \times \lambda_{ag,20}$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{v,20} = \frac{\dot{Q}_{19}}{\lambda_{ag,20}} = \frac{6047467,201}{2192,151} = 2758,691 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v,20} = 2758,691 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 2,758 \text{ t/h}$$

Secador-resfriador SR-200

Os flocos oriundos dos laminadores devem apresentar uma temperatura de 55°C ao atingir o extrator. Por isso, passam por um secador-resfriador para atenuar a temperatura ganha no condicionador (ZANGARINI, 2019). Adiciona-se uma corrente de ar a temperatura ambiente que se mistura ao produto e realiza o resfriamento, saindo do sistema 40°C. Considerando que as propriedades dos grãos e da água são válidas no processo, calcula-se o calor específico da mistura. Sendo o calor específico da água à 72°C igual a 4,168 kJ/kg°C, tem-se:

$$C_{p_m} = \left(\frac{\dot{m}_{s,23}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,s,0,10} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,23}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p_{ag,23}}$$

$$C_{p_m} = \left(\frac{71760,000}{79733,333} \right) \times 1,450 + \left(\frac{7973,333}{79733,333} \right) \times 4,168$$

$$C_{p_m} = 1,721 \text{ kJ/kg°C}$$

Calculando o calor cedido pela Corrente 23 para alcançar 55°C:

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_m \times C_{p_m} \times (T_{s_m} - T_{e_m})$$

Onde:

T_{s_m} : Temperatura de saída da mistura, em °C.

T_{e_m} : Temperatura de entrada da mistura, em °C.

Substituindo:

$$\dot{Q}_{23} = (79733,333) \times (1,721) \times (55 - 72) = -2332758,133 \text{ kJ/h}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido e sabendo que o calor específico do ar na temperatura de 25°C é de 1,004 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se a vazão mássica de ar necessária para realizar o resfriamento.

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_{ar,24} \times C_{par,24} \times (T_{sar,24} - T_{ear,24})$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{ar,24} = \frac{\dot{Q}_{23}}{C_{par,24} \times (T_{sar,24} - T_{ear,24})} = \frac{2332758,133}{1,004 \times (40 - 25)} = 154897,618 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ar,24} = 154897,618 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 154,897 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300

O equipamento funcionará a uma pressão de 35 kPa. Para garantir o melhor desempenho na operação de dessolventização e tostagem, deve-se realizar a operação em fluxo contracorrente, utilizando vapor superaquecido a uma temperatura próxima de 180°C e pressão em torno de 250 kPa. A temperatura de saída desejada para a torta após o processo de tostagem deve ser de pelo menos 104°C, com um tempo de residência mínimo de 20 minuto (PARAÍSO, 2001). Já a temperatura dos gases deve ser mantida, no mínimo, a 72°C, com variações de 2 a 3°C (ROQUE, 2015). Calculando o calor específico da torta, composta pela soja, óleo, água e hexano:

$$C_{pt} = \left(\frac{\dot{m}_{s,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,s,10} + \left(\frac{\dot{m}_{o,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,o,23} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,ag,23} + \left(\frac{\dot{m}_{h,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,h,28}$$

Onde:

$\dot{m}_t$: Vazão mássica de torta, em t/h

C_{pt} : Calor específico da torta, em kJ/kg.°C.

$C_{p,o,23}$: Calor específico do óleo na Corrente 28, em kJ/kg.°C.

$C_{p,h,28}$: Calor específico do hexano na Corrente 28, em kJ/kg.°C.

O calor específico do óleo, da água e do hexano à 55°C são, respectivamente, 1,728 kJ/kg°C (FASINA, COLLEY, 2007), 4,168 kJ/kg°C e 2,331 kJ/kg°C (YAWS, 1997). Substituindo:

$$C_{pt} = \left(\frac{57408,000}{103892,533} \right) \times 1,450 + \left(\frac{71,760}{103892,533} \right) \times 1,728 + \left(\frac{7973,333}{103892,533} \right) \times 4,168 + \left(\frac{38439,440}{103892,533} \right) \times 2,331$$

$$C_{pt} = 1,985 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Sendo 333,391 kJ/kg a entalpia de vaporização do hexano (YAWS, 1997) e, considerando que a torta deixa a etapa de dessolventização e tostagem à 107 °C e os vapores de água e hexano à 74°C, obtém-se o calor que a corrente deve receber:

$$\dot{Q}_{28} = \dot{m}_t \times C_{pt} \times (T_{st} - T_{et}) + \dot{m}_{h,28} \times \lambda_{h,28}$$

Onde:

T_{st} : Temperatura de saída da torta, em °C.

T_{et} : Temperatura de entrada da torta, em °C.

$\lambda_{h,28}$: Entalpia de vaporização do hexano na Corrente 28, em kJ/kg.

Substituindo:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{28} &= (103892,533) \times (1,985) \times (107 - 55) + (38055,046) \times (333,391) \\ &= 23409686,022 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Relacionando o recebido ao calor cedido e sabendo que a entalpia específica do vapor superaquecido na temperatura de 180°C e pressão de 250 kPa é de 2969,540 kJ/kg (OLENDER, 2024), tem-se a vazão de vapor necessária:

$$\dot{Q}_{28} = \dot{m}_{v,29} \times h_{v,29}$$

Onde:

$h_{v,29}$: Entalpia específica do vapor na Corrente 29.

Substituindo:

$$\dot{m}_{v,29} = \frac{\dot{Q}_{28}}{h_{v,29}} = \frac{223409686,022}{2969,540} = 7883,270 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v,29} = 7883,270 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 7,883 \text{ t/h}$$

A torta que sai do DT é resfriada em bandejas de secagem localizadas logo abaixo dessa seção. A temperatura da torta ao sair do resfriador deve ser próxima a 32°C ou estar a 6°C acima da temperatura ambiente, aderindo a mais alta (ROQUE, 2015). Para o projeto, foi considerada a temperatura de 32°C.

O calor específico do óleo, da água e do hexano à 107°C são, respectivamente, 1,880 kJ/kg°C (FASINA, COLLEY, 2007), 4,203 kJ/kg°C e 2,562 kJ/kg°C (YAWS, 1997). Calculando o calor específico da torta para o resfriamento:

$$C_{pt} = \left(\frac{\dot{m}_{s,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,s,0,10} + \left(\frac{\dot{m}_{o,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,o,23} + \left(\frac{\dot{m}_{ag,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,ag,23} + \left(\frac{\dot{m}_{h,28}}{\dot{m}_t} \right) \times C_{p,h,28}$$

$$C_{pt} = \left(\frac{57408,000}{65837,488} \right) \times 1,451 + \left(\frac{71,760}{65837,488} \right) \times 1,880 + \left(\frac{7973,333}{65837,488} \right) \times 4,203 + \left(\frac{384,394}{65837,488} \right) \times 2,562$$

$$C_{pt} = 1,791 \text{ kJ/kg°C}$$

Calculando o calor cedido pela Corrente 28 para alcançar 32°C:

$$\dot{Q}_{28} = \dot{m}_t \times C_{pt} \times (T_{st} - T_{et})$$

Substituindo:

$$\dot{Q}_{28} = (65837,488) \times (1,791) \times (32 - 107) = -8843620,540 \text{ kJ/h}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido e sabendo que o calor específico do ar na temperatura de 25°C é de 1,004 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se a vazão mássica de ar necessária para realizar o resfriamento. Considerando que o ar de resfriamento deixa o equipamento à 55°C:

$$\dot{Q}_{28} = \dot{m}_{ar,31} \times C_{par,31} \times (T_{sar,31} - T_{ear,31})$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{ar,31} = \frac{\dot{Q}_{28}}{C_{par,31} \times (T_{sar,31} - T_{ear,31})} = \frac{8843620,540}{1,004 \times (55 - 25)} = 293612,900 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ar,31} = 293612,900 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 293,612 \text{ t/h}$$

Evaporador EV-300

O equipamento irá operar sob vácuo de 40 kPa. A miscela, submetida a um aquecimento de vapores condensados provenientes do dessolventizador-tostador-secador-resfriador à 74°C, deixará o equipamento à 59°C, assim como parte do solvente que será evaporada (PARAÍSO, 2001). Calculando o calor específico da miscela, composta por óleo de soja e hexano:

$$C_{p_{mi,27}} = \left(\frac{\dot{m}_{o,27}}{\dot{m}_{mi,27}} \right) \times C_{p_{o,27}} + \left(\frac{\dot{m}_{h,27}}{\dot{m}_{mi,27}} \right) \times C_{p_{h,27}}$$

Onde:

$\dot{m}_{mi,27}$: Vazão mássica da miscela na Corrente 27, em t/h

$C_{p_{mi,27}}$: Calor específico da miscela na Corrente 27, em kJ/kg.°C.

O calor específico do óleo de soja e do hexano à 55°C são, respectivamente, 1,728 kJ/kg°C (FASINA, COLLEY, 2007) e 2,331 kJ/kg°C (YAWS, 1997). Substituindo:

$$C_{p_{mi,27}} = \left(\frac{14280,240}{47600,800} \right) \times 1,728 + \left(\frac{33320,560}{47600,800} \right) \times 2,331$$

$$C_{p_{mi,27}} = 2,150 \text{ kJ/kg°C}$$

Sendo 345,569 kJ/kg a entalpia de vaporização do hexano à 59°C (YAWS, 1997), obtém-se o calor que a Corrente 27 deve receber:

$$\dot{Q}_{27} = \dot{m}_{mi,27} \times C_{p_{mi,27}} \times (T_{s_{mi,27}} - T_{e_{mi,27}}) + \dot{m}_{h,35} \times \lambda_{h,27}$$

Onde:

$T_{s_{mi,27}}$: Temperatura de saída da miscela na Corrente 27, em °C.

$T_{e_{mi,27}}$: Temperatura de entrada da miscela na Corrente 27, em °C.

Substituindo:

$$\dot{Q}_{27} = (47600,800) \times (2,150) \times (59 - 55) + (25631,200) \times (345,569) = 9266755,720 \text{ kJ/h}$$

Relacionando o recebido ao calor cedido e sabendo que a entalpia de vaporização dos vapores provenientes do processo de dessolventização e tostagem é de 519,160 kJ/kg, tem-se a vazão de vapor necessária:

$$\dot{Q}_{27} = \dot{m}_{v,30} \times \lambda_{v,30}$$

Onde:

$\lambda_{v,30}$: Entalpia de vaporização dos vapores provenientes do DTSR na Corrente 30, em kJ/kg.

Substituindo:

$$\dot{m}_{v,30} = \frac{\dot{Q}_{27}}{\lambda_{v,30}} = \frac{9266755,720}{519,160} = 17849,518 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v,30} = 17849,518 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 17,849 \text{ t/h}$$

Evaporador EV-310

O segundo evaporador também irá operar sob vácuo de 40 kPa, entretanto, a miscela será aquecida através de vapor d'água saturado à 127°C e 250 kPa. O vapor de aquecimento deixa o equipamento ainda à 127°C e a miscela e o solvente evaporado à 120°C (PARAÍSO, 2001). O calor específico do óleo de soja e do hexano à 59°C são, respectivamente, 1,741 kJ/kg°C (FASINA, COLLEY, 2007) e 2,346 kJ/kg°C (YAWS, 1997). Calculando o calor específico da miscela, composta por óleo de soja e hexano, tem-se:

$$C_{p_{mi,36}} = \left(\frac{\dot{m}_{o,36}}{\dot{m}_{mi,36}} \right) \times C_{p_{o,36}} + \left(\frac{\dot{m}_{h,36}}{\dot{m}_{mi,36}} \right) \times C_{p_{h,36}}$$

$$C_{p_{mi,36}} = \left(\frac{14280,240}{21969,600} \right) \times 1,741 + \left(\frac{7689,360}{21969,600} \right) \times 2,346$$

$$C_{p_{mi,36}} = 1,953 \text{ kJ/kg°C}$$

Sendo 291,101 kJ/kg a entalpia de vaporização do hexano à 120°C (YAWS, 1997), obtém-se o calor que a corrente deve receber:

$$\dot{Q}_{36} = \dot{m}_{mi,36} \times C_{p_{mi,36}} \times (T_{s_{mi,36}} - T_{e_{mi,36}}) + \dot{m}_{h,39} \times \lambda_{h,36}$$

Substituindo:

$$\dot{Q}_{36} = (21969,600) \times (1,953) \times (120 - 59) + (7247,703) \times (291,101) = 4726676,223 \text{ kJ/h}$$

Relacionando o recebido ao calor cedido e sabendo que a entalpia de vaporização da água à 127°C e 250 kPa é de 2181,323 kJ/kg, tem-se a vazão de vapor necessária:

$$\dot{Q}_{36} = \dot{m}_{v,37} \times \lambda_{ag,37}$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{v,37} = \frac{\dot{Q}_{36}}{\lambda_{ag,37}} = \frac{4726676,223}{2181,323} = 2166,885 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v,37} = 2166,885 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 2,166 \text{ t/h}$$

Coluna de Stripping ST-300

A coluna de stripping é constituída por dois estágios, sendo que as pressões no primeiro e segundo estágio são de 62,661 kPa e 74,660 kPa, respectivamente. Para a operação, deve ser fornecido vapor d'água superaquecido no segundo estágio com uma temperatura de 180°C e pressão de 392,266 kPa. O óleo bruto sai da coluna nesse mesmo estágio a 114°C (PARAÍSO, 2001).

Para as propriedades, foram consideradas as condições de operação do primeiro estágio. Nessas condições, a pressão de saturação da água e do hexano são 86 de 67,5 kPa e 13,83 kPa. Com o auxílio de uma tabela termodinâmica, determinou-se que a temperatura de saída da corrente contendo os vapores de água e hexano é de aproximadamente 90°C.

Sabendo que durante a operação a pressão parcial da água e do hexano são de 51,996 kPa e 10,666 kPa, respectivamente, foi possível por meio da Lei de Raoult, obter as frações de óleo e hexano na corrente de saída do stripper (calculados com base isenta no vapor) (OLIVEIRA, 2021). Assim, para o hexano:

$$y_{h,42} = \frac{p_h}{P_{\text{total}}} = \frac{10,666}{62,661} = 0,170$$

Onde:

$y_{h,42}$ Composição de hexano no vapor de saída da Corrente 42.

p_h : Pressão parcial do hexano no equipamento, em kPa.

P_{total} : Pressão de operação do equipamento, em kPa.

Para a água:

$$y_{ag,42} = \frac{p_{ag}}{P_{\text{total}}} = \frac{51,996}{62,661} = 0,830$$

Onde:

$y_{ag,42}$ Composição de água no vapor de saída da Corrente 42.

p_{ag} : Pressão parcial da água no equipamento, em kPa.

P_{total} : Pressão de operação do equipamento, em kPa.

Sabendo que a composição do vapor de água e hexano deve ser igual a um, obteve-se a vazão mássica de vapor d'água necessária:

$$\dot{m}_{v,41} = \frac{y_{ag,42} \times \dot{m}_{h,42}}{y_{h,42}} = \frac{(0,830) \times (441,657)}{0,170} = 2153,070 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{v,37} = 2153,070 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 2,153 \text{ t/h}$$

Condensador CN-310

O equipamento receberá o vapor proveniente do dessolventizador-tostador-secador-resfriador que não foi condensado durante a passagem pelo evaporador. O vapor, à 74°C, será resfriado com água à 25°C e deve deixar o equipamento à 65°C. Considerando a condensação total dos vapores e sabendo que o calor específico da água e do hexano à 74°C são, respectivamente, 4,169 kJ/kg°C e 2,405 kJ/kg°C (YAWS, 1997), calcula-se calor específico da mistura de água e hexano:

$$C_{pm} = \left(\frac{\dot{m}_{ag,49}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{pag,49} + \left(\frac{\dot{m}_{h,49}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{ph,49}$$

$$C_{pm} = \left(\frac{4820,194}{28088,798} \right) \times 4,169 + \left(\frac{23268,604}{28088,798} \right) \times 2,405$$

$$C_{pm} = 2,707 \text{ kJ/kg°C}$$

Sabendo que o equipamento atua à pressão atmosférica e que a entalpia de vaporização dos vapores provenientes do processo de dessolventização e tostagem é de 519,160 kJ/kg (PARAÍSO, 2001), obtém-se o calor cedido à corrente:

$$\dot{Q}_{49} = \dot{m}_{m,49} \times C_{pm,49} \times (T_{sm,49} - T_{em,49}) + \dot{m}_{m,49} \times \lambda_{v,49}$$

Substituindo:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{49} &= (28088,798) \times (2,707) \times (65 - 74) + (28088,798) \times (519,160) \\ &= -15267002,206 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido e sabendo que o calor específico da água na temperatura de 25°C é de 4,193 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se a vazão mássica de água necessária para realizar o resfriamento. Considerando que a água de resfriamento deixa o equipamento à 55°C:

$$\dot{Q}_{49} = \dot{m}_{ag,51} \times C_{p,ag,51} \times (T_{s,ag,51} - T_{e,ag,51})$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{ag,51} = \frac{\dot{Q}_{49}}{C_{p,ag,51} \times (T_{s,ag,51} - T_{e,ag,51})} = \frac{15267002,206}{4,193 \times (55 - 25)} = 121368,966 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ag,51} = 121368,966 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 121,368 \text{ t/h}$$

Misturador M-300

Para obter a temperatura de saída da corrente do misturador dos vapores provenientes dos evaporadores e coluna de stripping, utilizou-se a lei de conservação de energia:

$$\dot{m}_m \times C_{p,m} \times T_m = \dot{m}_{h,35} \times C_{p,h,35} \times T_{s,h,35} + \dot{m}_{h,39} \times C_{p,h,39} \times T_{s,h,39} + \dot{m}_{v,42} \times C_{p,v,42} \times T_{s,v,42}$$

Onde:

$C_{p,v,42}$: Calor específico do vapor proveniente da coluna de Stripping na Corrente 42, em kJ/kg.°C.

$T_{s,v,42}$: Temperatura do vapor proveniente da coluna de stripping na Corrente 42, em °C.

O calor específico do vapor de hexano dos evaporadores EV-300 e EV-310 e o calor específico do vapor proveniente da coluna de stripping são, respectivamente, 2,346 kJ/kg°C, 2,636 kJ/kg°C e 2,008 kJ/kg°C (YAWS, 1997). Obtém-se o calor específico da mistura de vapores das três correntes:

$$C_{p,m} = \left(\frac{\dot{m}_{h,35}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,h,35} + \left(\frac{\dot{m}_{h,39}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,h,39} + \left(\frac{\dot{m}_{v,42}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p,v,42}$$

$$C_{p,m} = \left(\frac{25631,200}{35473,630} \right) \times 2,346 + \left(\frac{7247,703}{35473,630} \right) \times 2,636 + \left(\frac{2594,727}{35473,630} \right) \times 2,008$$

$$C_{p,m} = 2,380 \text{ kJ/kg°C}$$

Substituindo:

$$\dot{m}_m \times C_{p_m} \times T_m = \dot{m}_{h,35} \times C_{p_{h,35}} \times T_{s_{h,35}} + \dot{m}_{h,39} \times C_{p_{h,39}} \times T_{s_{h,39}} + \dot{m}_{v,42} \times C_{p_{v,42}} \times T_{s_{v,42}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_m \times C_{p_m} \times T_m &= (25631,200) \times (2,346) \times (59) + (7247,703) \times (2,636) \times (120) \\ &+ (2594,727) \times (2,008) \times (90) \end{aligned}$$

$$T_m = \frac{6308525,918}{(35473,630) \times (2,380)} = 74,713 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Condensador CN-300

O equipamento receberá o vapor proveniente dos evaporadores e coluna de stripping. O vapor, à 74°C, será resfriado com água à 25°C e deve deixar o equipamento à 65°C. Considerando a condensação total dos vapores e sabendo que o calor específico da água e do hexano à 74,713°C são, respectivamente, 4,169 kJ/kg°C e 2,408 kJ/kg°C (YAWS, 1997), calcula-se calor específico da mistura de água e hexano:

$$\begin{aligned} C_{p_m} &= \left(\frac{\dot{m}_{ag,45}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p_{ag,45}} + \left(\frac{\dot{m}_{h,45}}{\dot{m}_m} \right) \times C_{p_{h,45}} \\ C_{p_m} &= \left(\frac{2153,070}{35473,630} \right) \times 4,169 + \left(\frac{33320,560}{35473,630} \right) \times 2,408 \\ C_{p_m} &= 2,514 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sendo a entalpia de vaporização da água e do hexano à 74°C, respectivamente, 2255,161 kJ/kg e 332,796 kJ/kg (YAWS, 1997), calcula-se a entalpia de vaporização da mistura de água e hexano:

$$\lambda_m = \left(\frac{\dot{m}_{ag,45}}{\dot{m}_m} \right) \times \lambda_{ag,45} + \left(\frac{\dot{m}_{h,45}}{\dot{m}_m} \right) \times \lambda_{h,45}$$

Onde:

λ_m : Entalpia de vaporização dos vapores provenientes do DTSR na Corrente 30, em kJ/kg.

Substituindo:

$$\left(\frac{2153,070}{35473,630} \right) \times 2255,161 + \left(\frac{33320,560}{35473,630} \right) \times 332,796$$

$$\lambda_m = 449,474 \text{ kJ/kg}$$

Sabendo que o equipamento atua à pressão atmosférica, obtém-se o calor cedido à corrente:

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{m,45} \times C_{p,m,45} \times (T_{s,m,45} - T_{e,m,45}) + \dot{m}_{m,45} \times \lambda_{m,45}$$

Substituindo:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{45} &= (35473,630) \times (2,514) \times (65 - 74,713) + (35473,630) \times (449,474) \\ &= -16810840,812 \text{ kJ/h}\end{aligned}$$

Relacionando o calor cedido ao calor recebido e sabendo que o calor específico da água na temperatura de 25°C é de 4,193 kJ/kg°C (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se a vazão mássica de água necessária para realizar o resfriamento. Considerando que a água de resfriamento deixa o equipamento à 55°C:

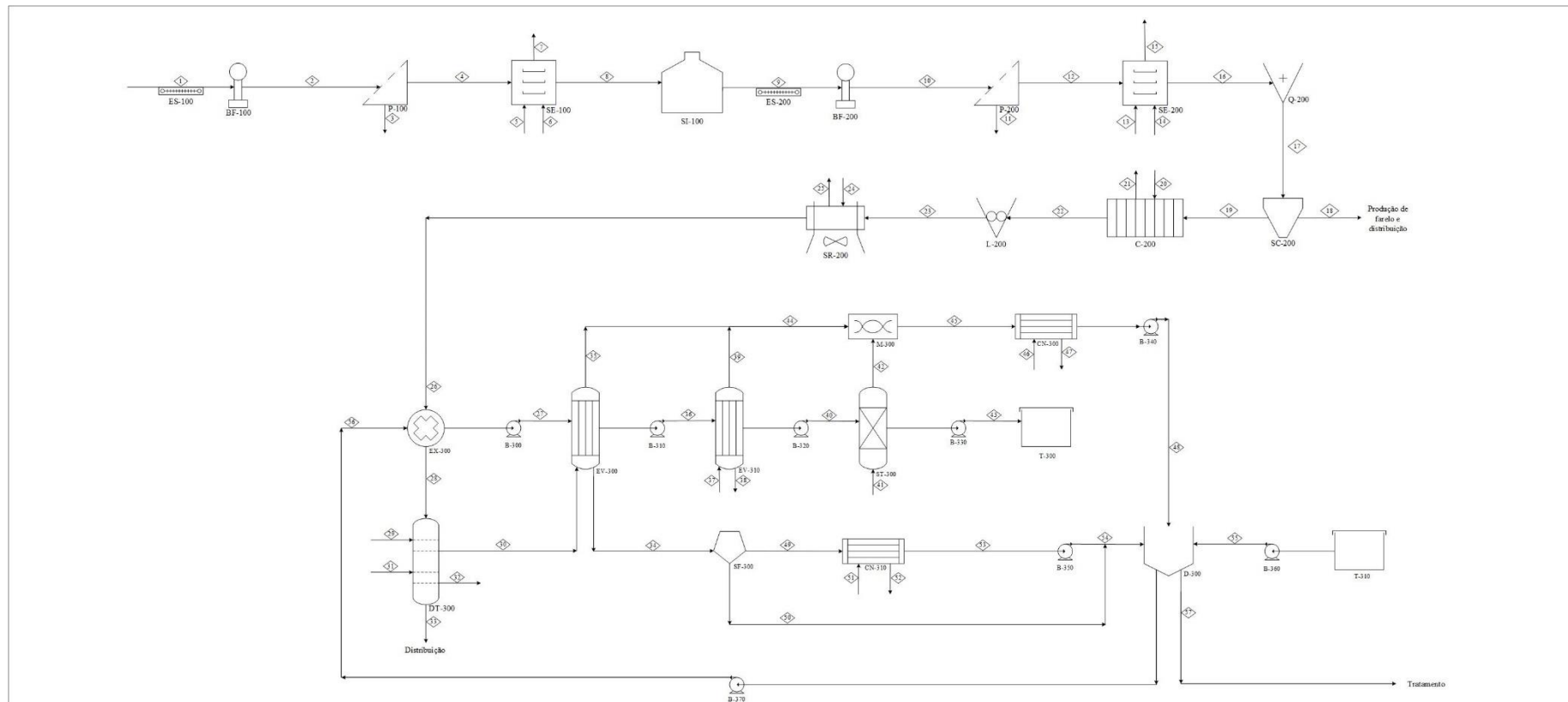
$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{ag,46} \times C_{p,ag,46} \times (T_{s,ag,46} - T_{e,ag,46})$$

Substituindo:

$$\dot{m}_{ag,46} = \frac{\dot{Q}_{45}}{C_{p,ag,46} \times (T_{s,ag,46} - T_{e,ag,46})} = \frac{16810840,812}{4,193 \times (55 - 25)} = 133642,108 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ag,46} = 133642,108 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 133,642 \text{ t/h}$$

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DE PROCESSO



Nº de corrente	Corrente 01	Corrente 02	Corrente 03	Corrente 04	Corrente 05	Corrente 06	Corrente 07	Corrente 08	Corrente 09	Corrente 10	Corrente 11	Corrente 12	Corrente 13	Corrente 14	Corrente 15	Corrente 16	Corrente 17	Corrente 18	Corrente 19
Composição	th	%	th	%	th	%	th	%	th	%	th	%	th	%	th	%	th	%	th
Água	14.000	14.000%	14.000	14.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Ar	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Armadilhas	6.000	6.000%	6.000	6.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Caracas	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Impurezas	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Óleo	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Sepa	78.000	78.000%	78.000	78.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Substrato	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Total	100.000	100.000%	100.000	100.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000	0.000%	0.000
Pressão (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura (°C)	25	25	25	25	70	25	40,059	30	25	25	25	25	70	25	42,837	30	28	28	28

Tag	Equipamento	Tag	Equipamento
BF-100	Tanque de flama	EV-310	Evaporador
SE-100	Máquina de pré-impulsa	ST-300	Coluna de Separação
ST-100	Secador	T-300 A,B,C,D,E,F	Tanque de armazenamento (óleo)
ST-100 A,B,C,D	Sepa	SE-200	Motor
SE-200	Extrator de óleo	ST-300	Condensador
BF-200	Tanque de flama	ST-300	Separador de fases
ST-200	Máquina de impulsa	ST-300	Condensador
ST-200	Secador	ST-300	De condensar
Q-200	Quebrador	T-310	Tanque de armazenamento (benzina)
ST-300	Separador de carcasas	B-300	Bomba centrífuga
C-200	Condensador	B-310	Bomba centrífuga
L-200 A,B,C	Laminador	B-320	Bomba centrífuga
ST-300	Secador-estirador	B-330	Bomba centrífuga
EV-300	Extrator de óleo	B-340	Bomba centrífuga
EV-300	Extrator	B-350	Bomba centrífuga
DT-300	Desolventador-estirador-secador-estirador	B-360	Bomba centrífuga
EV-310	Evaporador	B-370	Bomba centrífuga

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

TÍTULO: Produção de Óleo de Soja: Dimensionamento de Equipamentos e Elaboração de Documentos de Engenharia

ACADEMIA: Camila Alves dos Santos

ORIENTADORA: Daniela Cristine Amorim

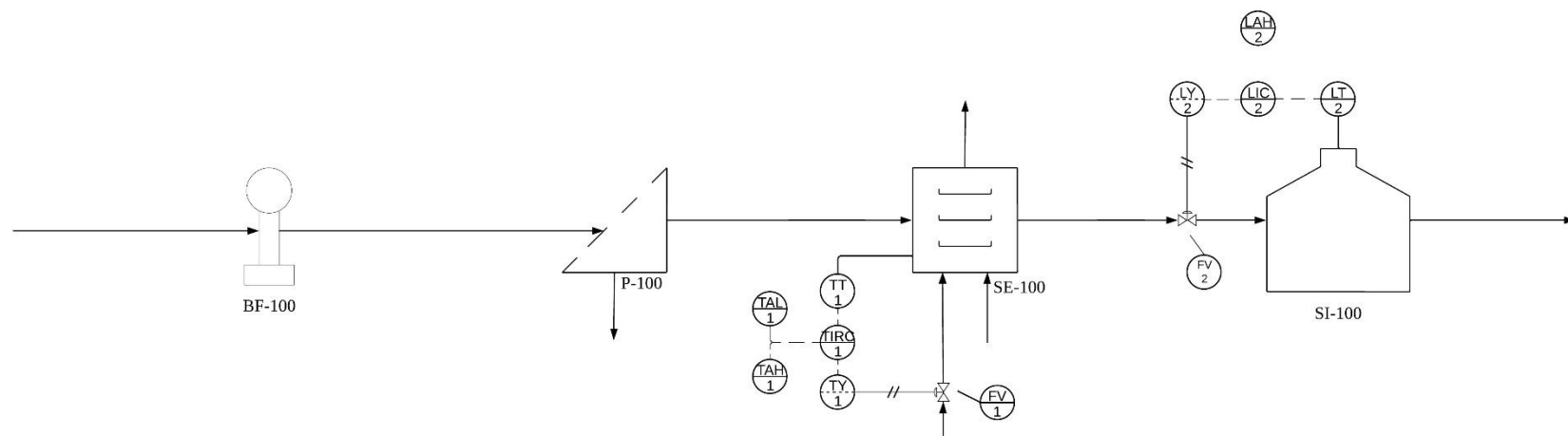
DISCIPLINA: Fenômenos de processos

PROFESSOR: RISPRA

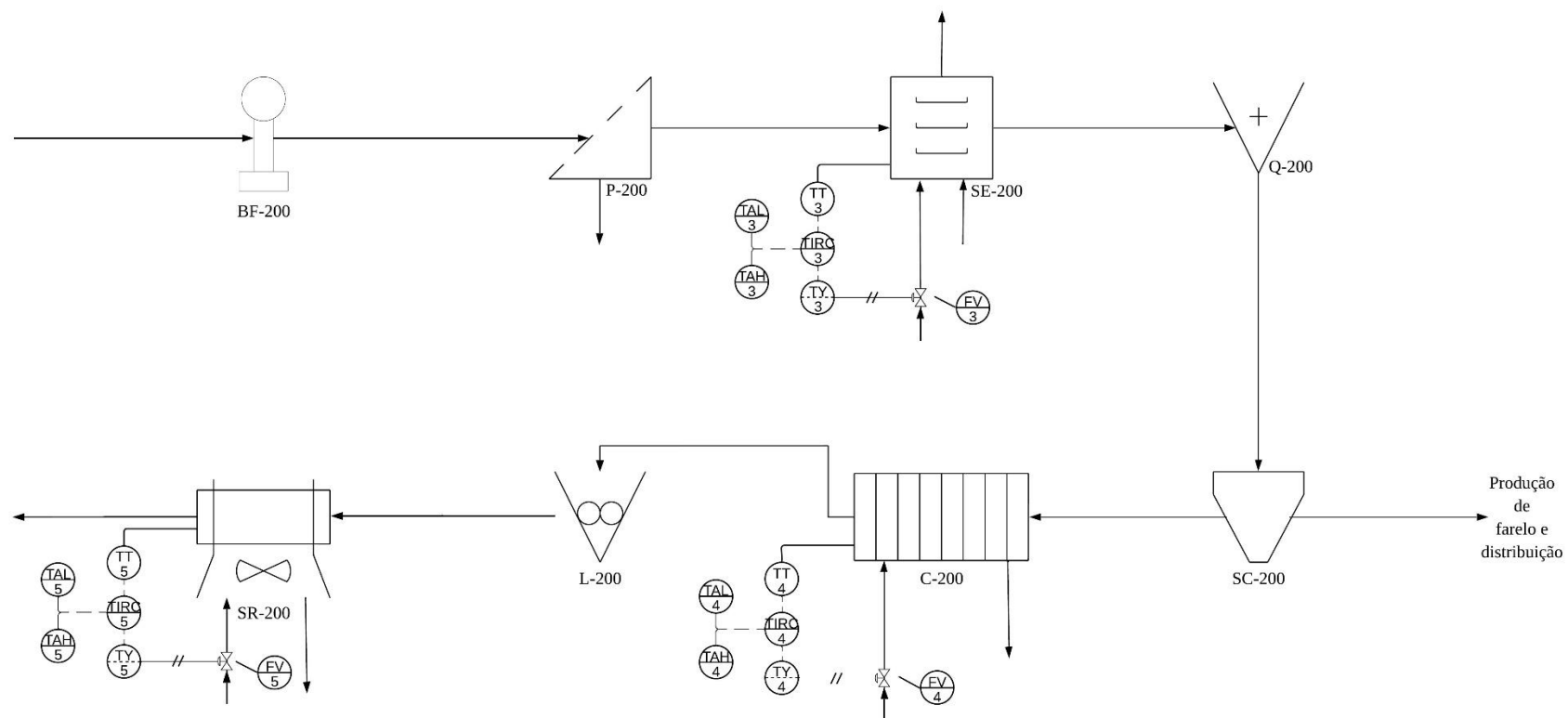
RECIBO: 07/2024

PÁGINA: 1/1

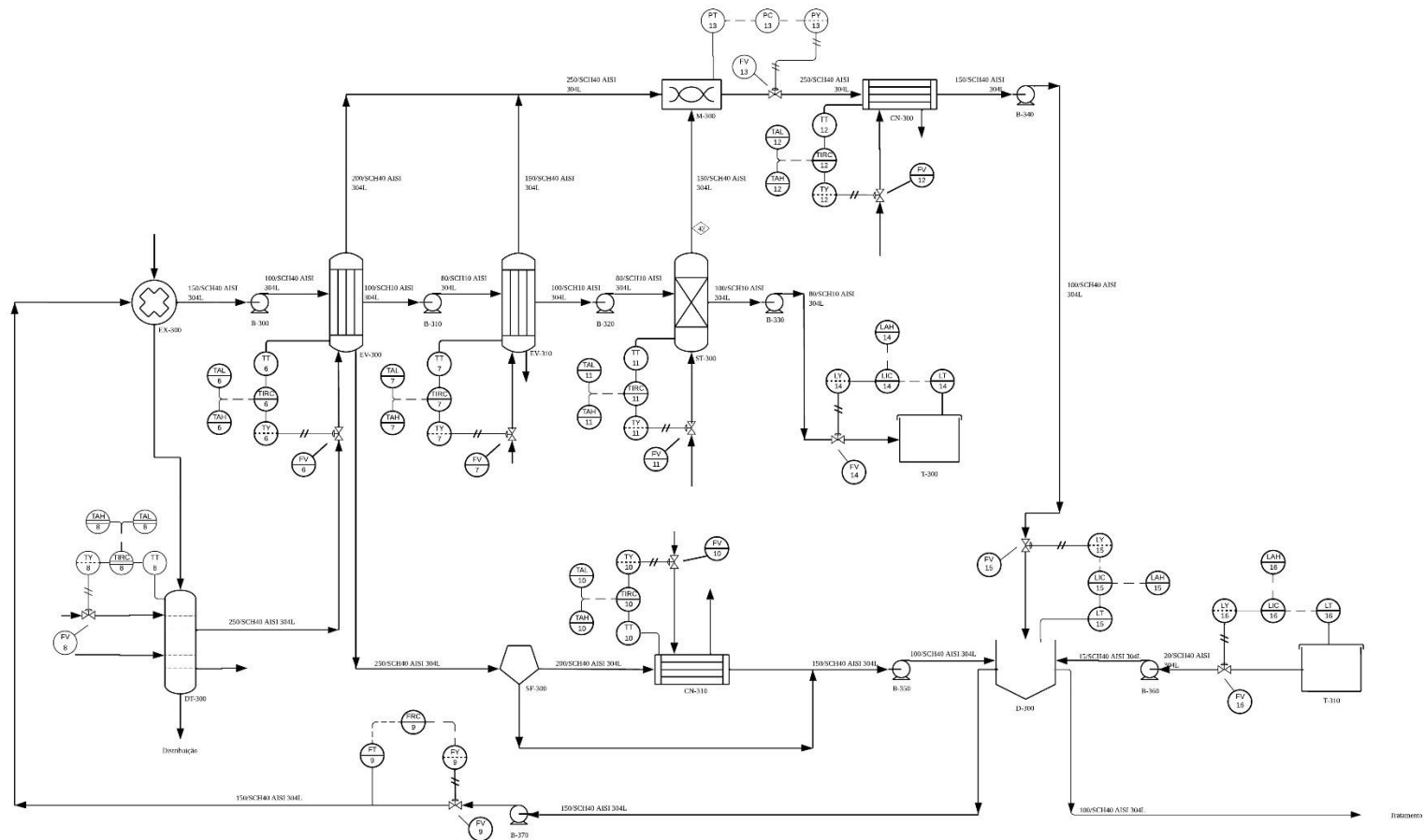
APÊNDICE D – FLUXOGRAMA DE TUBULAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO



	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul		
TÍTULO			
Produção de Óleo de Soja: Dimensionamento de Equipamentos e Elaboração de Documentos de Engenharia			
ACADÊMICA			
Camila Alves dos Santos			
ORIENTADORA			
Danieli Cristine Anversa			
DESCRIÇÃO	ETAPA		FOLHA
Fluxograma T+I	Recebimento		
ESCALA	DATA		
Sem escala	07/2024		1/3



		Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	
TÍTULO			
Produção de Óleo de Soja: Dimensionamento de Equipamentos e Elaboração de Documentos de Engenharia			
ACADÊMICA			
Camila Alves dos Santos			
ORIENTADORA			
Danieli Cristine Anversa			
DESCRIÇÃO		ETAPA	FOLHA
Fluxograma T+I		Preparo	2/3
ESCALA		DATA	
Sem escala		07/2024	



Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

TÍTULO		
Produção de Óleo de Soja: Dimensionamento de Equipamentos e Elaboração de Documentos de Engenharia		
ACADÊMICA		
Camila Alves dos Santos		
ORIENTADORA		
Danieli Cristine Anversa		
DESCRIÇÃO	ETAPA	FOLHA
Fluxograma T+I	Extração	
ESCALA	DATA	
Sem escala	07/2024	3/3

APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES

Neste projeto será realizado o dimensionamento das tubulações das correntes 27, 36, 40, 43, 48, 54, 55 e 56 (fluidos) e correntes 30, 34, 35, 39, 42, 44, 45 e 49 (gases e vapores).

Corrente 27

Inicialmente, calculou-se a vazão volumétrica da corrente. Sendo a massa específica da corrente igual a 731,140 kg/m³, tem-se:

$$\dot{v}_{27} = \frac{\dot{m}_{27}}{\rho_{27}} = \frac{47,600(\text{t/h}) \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}}\right)}{731,140 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 65,105 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{v}_{27} = 65,105 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Onde:

$\dot{v}_{27}$: Vazão volumétrica da Corrente 27, em m³/s

$\dot{m}_{27}$: Vazão mássica da Corrente 27, em t/h

ρ_{27} : Massa específica da Corrente 27, em kg/m³

Considerando as velocidades de escoamento recomendadas para fluidos, apresentadas no Anexo M, foram adotadas velocidades referentes ao valor para frações líquidas de petróleo e seus derivados de viscosidade média até 10 MPa. Para a tubulação de sucção, foi proposta uma velocidade de 1,8 m/s. Calculou-se, então, o diâmetro interno teórico da tubulação:

$$D_{it,27} = \sqrt{\frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times v_{27}}}$$

Onde:

$D_{it,27}$: Diâmetro interno teórico da tubulação da Corrente 27, em m

v_{27} : Velocidade de escoamento proposta para a Corrente 27, em m/s

Substituindo:

$$D_{it,27} = \sqrt{\frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times v_{27}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,018}{\pi \times 1,8}} = 0,113 \text{ m}$$

$$D_{it,27} = 0,113 \text{ m} \times \frac{39,3701 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 4,453 \text{ in}$$

O diâmetro de tubulação mais próximo ao diâmetro teórico obtido é o DN150, que corresponde a 6". Selecionou-se o Schedule 40, que possui diâmetro interno de 0,154 m. Determinando a velocidade para o diâmetro interno real:

$$v_{r,27} = \frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times D_{i,27}^2}$$

Onde:

$v_{r,27}$: Velocidade real de escoamento da Corrente 27, em m/s

$D_{i,27}$: Diâmetro interno real da tubulação da Corrente 27, em m

Substituindo:

$$v_{r,27} = \frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times D_{i,27}^2} = \frac{4 \times 0,018}{\pi \times 0,154^2} = 0,971 \text{ m/s}$$

Para calcular a perda de carga em 100 m de tubulação, é necessário obter o Fator de atrito de Fanning, dado pela equação de Churchill, válida para escoamentos em que Re é maior que 4000. Então:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times \varepsilon}{D_{i,27}} + \left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]$$

Onde:

f: Fator de atrito de Fanning, adimensional

ε : Rugosidade absoluta, em m

Re: Número de Reynolds, adimensional

Sendo a viscosidade absoluta da corrente igual a 0,00631 Pa.s, obtém-se o Número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho_{27} \times v_{r,27} \times D_{i,27}}{\mu_{27}}$$

Onde:

μ_{27} : Viscosidade absoluta da Corrente 27, em Pa.s

Substituindo:

$$\text{Re} = \frac{\rho_{27} \times v_{r,27} \times D_{i,27}}{\mu_{27}} = \frac{731,140 \times 0,971 \times 0,154}{0,00631} = 17312,664$$

Como $\text{Re} > 4000$, a equação de Churchill é válida. De acordo com Perry e Green (2007), o valor de rugosidade absoluta para tubulações feitas de materiais lisos, como o aço inoxidável, é de 0,00000152 m. Substituindo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times \varepsilon}{D_{i,27}} + \left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times 0,00000152}{0,154} + \left(\frac{7}{17312,664} \right)^{0,9} \right]$$

$$f = 0,00671$$

Assim, determinou-se a perda de carga em 100 m de tubulação:

$$\Delta P_{100,27} = \frac{2 \times \rho_{27} \times f \times L \times v_{r,27}^2}{D_{i,27}}$$

Onde:

$\Delta P_{100,27}$: Perda de carga em 100 m de tubulação para a Corrente 27

L: Comprimento da tubulação, em m

Substituindo:

$$\Delta P_{100,27} = \frac{2 \times \rho_{27} \times f \times L \times v_{r,27}^2}{D_{i,27}} = \frac{2 \times 731,140 \times 0,00671 \times 100 \times 0,971^2}{0,154} = 6003,449 \text{ Pa}$$

De acordo com o Anexo N, a perda de carga encontrada é admissível, uma vez se trata de uma corrente de sucção de bomba de água, óleos leves ou óleos viscosos.

Dimensionando a tubulação de descarga, foi proposta uma velocidade de 2,8 m/s. Calculou-se, então, o diâmetro interno teórico da tubulação:

$$D_{it,27} = \sqrt{\frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times v_{27}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,018}{\pi \times 2,8}} = 0,091 \text{ m}$$

$$D_{it,27} = 0,091 \text{ m} \times \frac{39,3701 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 3,570 \text{ in}$$

O diâmetro de tubulação mais próximo ao diâmetro teórico obtido é o DN100, que corresponde a 4". Selecionou-se o Schedule 40, que possui diâmetro interno de 0,1023 m. Determinando a velocidade para o diâmetro interno real:

$$v_{r,27} = \frac{4 \times \dot{v}_{27}}{\pi \times D_{i,27}^2} = \frac{4 \times 0,018}{\pi \times 0,1023^2} = 2,200 \text{ m/s}$$

Posteriormente, obtém-se o Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_{27} \times v_{r,27} \times D_{i,27}}{\mu_{27}} = \frac{731,140 \times 2,200 \times 0,1023}{0,00631} = 26062,075$$

Como $Re > 4000$, a equação de Churchill é válida. Considerando 0,00000152 m para a rugosidade absoluta, obtém-se:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times \varepsilon}{D_{i,27}} + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times 0,00000152}{0,1023} + \left(\frac{7}{26062,075} \right)^{0,9} \right]$$

$$f = 0,00606$$

Assim, determinou-se a perda de carga em 100 m de tubulação:

$$\Delta P_{100,27} = \frac{2 \times \rho_{27} \times f \times L \times v_{r,27}^2}{D_{i,27}} = \frac{2 \times 731,140 \times 0,00606 \times 100 \times 2,200^2}{0,1023} = 41946,914 \text{ Pa}$$

De acordo com o Anexo N, a perda de carga encontrada é admissível, uma vez se trata de uma corrente de descarga de bomba de água, óleos leves ou óleos viscosos.

Repetindo os cálculos para as demais tubulações de fluidos, foram obtidos os resultados representados pela Tabela 33. Para a Corrente 57, considerou-se escoamento por gravidade.

Tabela 33 – Tubulações para as correntes de fluidos

		Diâmetro nominal (mm)	Tamanho nominal (polegadas)	Schedule	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro externo (mm)
Corrente 27	Sucção	DN150	6	40	154	168
	Descarga	DN100	4	40	102,3	114
Corrente 36	Sucção	DN100	4	10	108,2	114
	Descarga	DN80	3	10	82,8	89
Corrente 40	Sucção	DN100	4	10	108,2	114
	Descarga	DN80	3	10	82,8	89
Corrente 43	Sucção	DN100	4	10	108,2	114
	Descarga	DN80	3	10	82,8	89
Corrente 48	Sucção	DN150	6	40	154	168
	Descarga	DN100	4	40	102,3	114
Corrente 54	Sucção	DN150	6	40	154	168
	Descarga	DN100	4	40	102,3	114
Corrente 55	Sucção	DN20	3/4	40	20,9	27
	Descarga	DN15	1/2	40	15,8	21
Corrente 56	Sucção	DN150	6	40	154	168
	Descarga	DN150	6	40	154	168
Corrente 57	-	DN100	4	40	102,3	114

Fonte: Autor, 2024

Corrente 30

O dimensionamento para tubulações de gases e vapores segue os mesmos princípios do dimensionamento para fluidos, entretanto a avaliação da perda de carga é feita através de outras considerações. Inicialmente, calculou-se a vazão volumétrica da corrente. Sendo a massa específica da corrente igual a $2,567 \text{ kg/m}^3$, tem-se:

$$\dot{v}_{30} = \frac{\dot{m}_{30}}{\rho_{30}} = \frac{45,938(t/h) \times 1000 (kg/t)}{2,567 (kg/m^3)} = 18180,942 m^3/h$$

$$\dot{v}_{30} = 18180,942 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 5,050 m^3/s$$

Considerando as velocidades de escoamento recomendadas para gases e vapores, apresentadas no Anexo O, foram adotadas velocidades referentes ao valor para vapor d'água saturado de baixa pressão para aquecimento. Foi proposta uma velocidade de 30 m/s. Calculou-se, então, o diâmetro interno teórico da tubulação:

$$D_{it,30} = \sqrt{\frac{4 \times \dot{v}_{30}}{\pi \times v_{30}}} = \sqrt{\frac{4 \times 5,050}{\pi \times 30}} = 0,463 m$$

$$D_{it,30} = 0,463 m \times \frac{39,3701 in}{1 m} = 18,227 in$$

O diâmetro de tubulação mais próximo ao diâmetro teórico obtido é o DN500, que corresponde a 20". Entretanto, devido à baixa perda de carga apresentada, selecionou-se um diâmetro menor visando os aspectos econômicos, de maneira que a faixa de admissão de perda de carga ainda fosse cumprida. Com um diâmetro DN250, e Schedule 40, que possui diâmetro interno de 0,2545 m, determinou-se a velocidade para o diâmetro interno real:

$$v_{r,30} = \frac{4 \times \dot{v}_{30}}{\pi \times D_{i,30}^2} = \frac{4 \times 5,050}{\pi \times 0,2545^2} = 99,276 m/s$$

Com a viscosidade absoluta da corrente sendo igual a $2,089 \times 10^{-6}$ Pa.s, obtém-se o Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_{30} \times v_{r,30} \times D_{i,30}}{\mu_{30}} = \frac{2,567 \times 99,276 \times 0,2545}{2,089 \times 10^{-6}} = 3,055 \times 10^7$$

Como $Re > 4000$, a equação de Churchill é válida. Considerando 0,00000152 m para a rugosidade absoluta, obtém-se:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times \varepsilon}{D_{i,30}} + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \times \log \left[\frac{0,27 \times 0,00000152}{0,2545} + \left(\frac{7}{3,055 \times 10^7} \right)^{0,9} \right]$$

$$f = 0,00201$$

Assim, determinou-se a perda de carga em 100 m de tubulação:

$$\Delta P_{100,30} = \frac{2 \times \rho_{30} \times f \times L \times v_{r,30}^2}{D_{i,30}} = \frac{2 \times 2,567 \times 0,00201 \times 100 \times 99,276^2}{0,2545} = 39374,116 Pa$$

Conforme Soeiro (2007), a perda de carga permitida em uma rede de vapor saturado é de 0,49 kPa por metro de comprimento ou 49,000 kPa em 100 metros de tubulação. Assim, a perda de carga encontrada é admissível.

Repetindo os cálculos para as demais tubulações de vapores, foram obtidos os resultados representados pela Tabela 34.

Tabela 34 – Tubulações para as correntes gases e vapores

	Diâmetro nominal DN (mm)	Tamanho nominal (polegadas)	Schedule	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro externo (mm)
Corrente 30	DN250	10	40	254,5	273
Corrente 34	DN250	10	40	254,5	273
Corrente 35	DN200	8	40	202,7	219
Corrente 39	DN150	6	40	154	168
Corrente 42	DN150	6	40	154	168
Corrente 44	DN250	10	40	254,5	273
Corrente 45	DN250	10	40	254,5	273
Corrente 49	DN200	8	40	202,7	219

Fonte: Autor, 2024

APÊNDICE F – DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

Balanças de fluxo BL-100 e BL-200

Figura 3 – Balança de fluxo



Fonte: AGRIAÇO, 2024

Para o dimensionamento das balanças de fluxo, considerou-se a vazão mássica de entrada de grãos em cada um dos equipamentos, sendo de 100 t/h para a Corrente 1 e 96,578 t/h para a Corrente 9. Selecionou-se a balança de fluxo fornecida pela empresa Alfa Instrumentos, modelo 6530/31/32, com capacidade de processamento de 5 a 2000 t/h, representada pela Figura 3. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 35, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo A.

Tabela 35 - Especificações técnicas e dimensões da balança de fluxo

Empresa	Alfa Instrumentos
Equipamento	Balança de fluxo
Modelo	6530/31/32
Capacidade (t/h)	5 a 2000 t/h
Precisão (%)	> 0,1
Material	Aço 1020

Fonte: Autor, 2024

Máquinas de pré-limpeza e limpeza P-100 E P-200

Figura 4 - Máquina de pré-limpeza



Fonte: AGRIAÇO, 2024

Para o dimensionamento da máquina de pré-limpeza, considerou-se a vazão mássica da Corrente 2 (100 t/h). Selecionou-se a máquina de pré-limpeza fornecida pela empresa Agrião, modelo AGRICLEAN - AC 120, com capacidade de processamento de 120 t/h, representada pela Figura 4. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 36, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo B.

Tabela 36 - Especificações técnicas e dimensões da máquina de pré-limpeza

Empresa	Agrião
Equipamento	Máquina de pré-limpeza
Modelo	AGRICLEAN - AC 120
Largura – máquina de pré-limpeza (m)	3,830
Altura – máquina de pré-limpeza (m)	4,67
Comprimento – máquina de pré-limpeza (m)	4,88
Largura/comprimento – ciclone (m)	1,79
Altura – ciclone (m)	7,23
Produção (t/h)	120
Grau de limpeza	4-2%
Abertura – peneira superior (mm)	11
Abertura – peneira inferior (mm)	3,5
Área total das peneiras (m ²)	20,8

Fonte: Autor, 2024

Para o dimensionamento da máquina de limpeza, considerou-se a vazão mássica da Corrente 10 (96,578 t/h). Selecionou-se o mesmo equipamento utilizado para a etapa de pré-limpeza, entretanto, com diferentes diâmetros de aberturas para as peneiras. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 37, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo B.

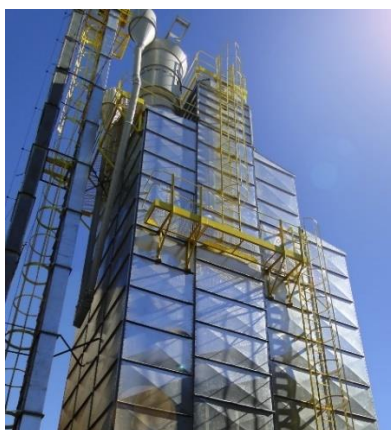
Tabela 37 - Especificações técnicas e dimensões da máquina de limpeza

Empresa	Agrição
Equipamento	Máquina de pré-limpeza
Modelo	AGRICLEAN - AC 120
Largura – máquina de pré-limpeza (m)	3,830
Altura – máquina de pré-limpeza (m)	4,67
Comprimento – máquina de pré-limpeza (m)	4,88
Largura/comprimento – ciclone (m)	1,79
Altura – ciclone (m)	7,23
Produção (t/h)	120
Grau de limpeza	3-1%
Abertura – peneira superior (mm)	9
Abertura – peneira inferior (mm)	4,5
Área total das peneiras (m ²)	20,8

Fonte: Autor, 2024

Secadores SE-100 e SE-200

Figura 5 - Secador contínuo



Fonte: Silos Condor, 2024

Para o dimensionamento dos secadores contínuos, considerou-se a vazão mássica de entrada dos grãos em cada um dos equipamentos, sendo de 98,824 t/h para a Corrente 4 e 90,698 t/h para a Corrente 12. O teor de umidade das correntes de entrada e saída também foram avaliados, remetendo a um equipamento que alcançasse um teor de 10% ao fim do processo. Selecionou-se o secador contínuo fornecido pela empresa Dryeration, modelo Original DRY – DRY1638, com capacidade de processamento de 125 t/h, representado pela Figura 5. As especificações técnicas e dimensões do

equipamento são descritos pela Tabela 38, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo C.

Tabela 38 - Especificações técnicas e dimensões do secador de grãos

Empresa	Dryeration
Equipamento	Secador de grãos
Modelo	Original DRY – DRY1638
Largura (m)	6,6
Altura (m)	21,7
Comprimento (m)	5,14
Capacidade volumétrica (m ³)	150
Capacidade estática (t)	121
Faixa de umidade	14 – 10%
Produção (t/h)	125
Volume de ar/hora (m ³ /h)	358400

Fonte: Autor, 2024

Silos SI-100

Figura 6 – Silo plano



Fonte: Consilos, 2022

Para o dimensionamento dos silos, foi considerado o armazenamento de grãos necessário para o processamento realizado durante uma semana. Sendo a capacidade de produção de 100 t/h, tem-se:

$$\frac{100 \text{ t}}{\text{h}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{dia}} \times \frac{7 \text{ dias}}{\text{semana}} = 16800 \frac{\text{t}}{\text{semana}}$$

A massa específica do grão de soja é de 0,770 t/m³ (EMBRAPA, 2017), dessa forma, o volume de soja utilizado durante o processamento semanal é dado por:

$$V_{s,semanal} = \frac{m_{s,semanal}}{\rho_s} = \frac{16800}{0,770} = 21818,181 \frac{m^3}{semana}$$

Foram selecionados quatro silos planos fornecido pela empresa Consilos, modelo CS 24, com capacidade de armazenamento de 6667,8 m³, representados pela Figura 6. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 39, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo D.

Tabela 39 - Especificações técnicas e dimensões dos silos de armazenamento

Empresa	Consilos
Equipamento	Silos planos
Modelo	CS 24
Diâmetro (m)	22,10
Altura (m)	21,88
Volume (m ³)	6667,8
Capacidade (t)	5000,8
Número de anéis	17

Fonte: Autor, 2024

Quebrador Q-200

Figura 7 – Moinho de craqueamento



Fonte: CPM, 2023

Para o dimensionamento do quebrador, considerou-se a vazão mássica de entrada dos grãos no equipamento, sendo de 88,682 t/h para a Corrente 16. Selecionou-se o moinho de craqueamento fornecido pela empresa CPM, modelo DPSD2000-84, com capacidade de processamento de 2500 t/dia, representado pela Figura 7. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 40, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo E.

Tabela 40 - Especificações técnicas e dimensões do moinho de craqueamento

Empresa	CPM
Equipamento	Moinho de craqueamento
Modelo	DPSD2000-84
Altura (mm)	2286
Largura (mm)	3312
Profundidade (mm)	2692
Capacidade (t/dia)	2500

Fonte: Autor, 2024

Separador de cascas SC-200

Figura 8 – Separador de cascas



Fonte: Bühler, 2023

Para o dimensionamento do separador de cascas, considerou-se a vazão mássica de entrada no equipamento, sendo de 88,682 t/h para a Corrente 17. Selecionou-se o separador de cascas fornecido pela empresa Bühler, modelo SMA 203-3, com capacidade de processamento de 100 t/h, representado pela Figura 8. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 41, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo F.

Tabela 41 - Especificações técnicas e dimensões do separador de cascas

Empresa	Bühler
Equipamento	Separador de cascas
Modelo	SMA 203-3
Altura (mm)	2750
Largura (mm)	2926
Profundidade (mm)	3737
Capacidade (t/h)	100

Fonte: Autor, 2024

Condicionador C-200

Figura 9 – Condicionador de grãos



Fonte: HUM, 2022

Para o dimensionamento do condicionador, considerou-se a vazão mássica de entrada no equipamento, sendo de 79,733 t/h para a Corrente 19. Selecionou-se o condicionador vertical fornecido pela empresa HUM, modelo HVSC 200, com capacidade de processamento de 2000 t/dia, representado pela Figura 9. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 42, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo G.

Tabela 42 - Especificações técnicas e dimensões do condicionador de grãos

Empresa	HUM
Equipamento	Condicionar de grãos
Modelo	HVSC 200
Altura (mm)	14600
Largura (mm)	4100
Profundidade (mm)	4400
Capacidade (t/dia)	2000

Fonte: Autor, 2024

Laminador L-200

Figura 10 – Laminador de grãos



Fonte: CPM, 2023

Para o dimensionamento do laminador, considerou-se a vazão mássica da corrente de entrada do equipamento (Corrente 22), que possui um valor de 79,733 t/h. Visando atingir a demanda de processamento, foram selecionados três laminadores fornecidos pela empresa CPM, modelo SP3200-84, com capacidade de processamento de 700 t/dia, representados pela Figura 10. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 43, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo H.

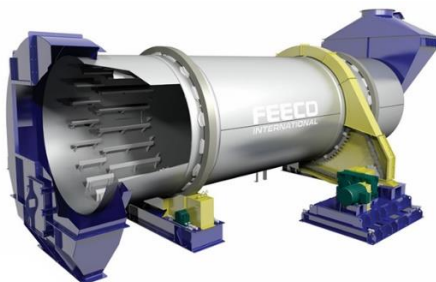
Tabela 43 - Especificações técnicas e dimensões do laminador de grãos

Empresa	CPM
Equipamento	Laminador
Modelo	SP3200-84
Altura (mm)	1978
Comprimento (mm)	3504
Profundidade (mm)	3562
Espessura da lâmina (mm)	0,51
Capacidade (t/dia)	700

Fonte: Autor, 2024

Secador-resfriador SR-300

Figura 11 –Secador-resfriador



Fonte: FEECO, 2023

Para o dimensionamento do resfriador, considerou-se a vazão mássica da corrente de entrada do equipamento (Corrente 23), que possui um valor de 79,733 t/h. Selecionou-se o resfriador rotativo fornecido pela empresa FEECO, com capacidade de processamento de 91 t/h, representado pela Figura 11. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 44, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo I.

Tabela 44 - Especificações técnicas e dimensões do secador-resfriador

Empresa	FEECO
Equipamento	Resfriador
Modelo	-
Diâmetro (m)	2,7
Comprimento (m)	15-24
Capacidade (t/h)	91

Fonte: Autor, 2024

Extrator EX-300

Figura 12 – Extrator



Fonte: Extech-Link, 2019

Para o dimensionamento do extrator, considerou-se a vazão mássica de grãos na entrada do equipamento, que possui um valor de 79,733 t/h. Selecionou-se um extrator rotocel fornecido pela empresa ALLIANCE, com capacidade de processamento de até 3000 t/dia., representado pela Figura 12. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 45.

Tabela 45 - Especificações técnicas e dimensões do extrator

Empresa	ALLIANCE
Equipamento	Extrator
Modelo	ALLFX-N
Capacidade (t/dia)	3000
Diâmetro (m)	4,4
Número de estágios	6
Empresa	ALLIANCE

Fonte: Autor, 2024

Dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300

Figura 13 – Dessolventizador-tostador-secador-resfriador



Fonte: Extech-Link, 2019

Para a etapa de dimensionamento do dessolventizador-tostador-secador-resfriador, considerou-se a vazão mássica da corrente de entrada do equipamento (Corrente 28), que possui um valor de 103,893 t/h. Selecionou-se o dessolventizador-tostador-secador-resfriador fornecido pela empresa Extech-Link, com capacidade de processamento de até 3000 t/dia, representado pela Figura 13. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 46.

Tabela 46 - Especificações técnicas e dimensões do dessolventizador-tostador-secador-resfriador

Empresa	Extech-Link
Equipamento	Dessolventizador-tostador-secador-resfriador
Modelo	-
Diâmetro (m)	1,2
Altura (m)	15,5
Número de estágios	8
Capacidade (t/dia)	3000

Fonte: Autor, 2024

Evaporador EV-300

Para o dimensionamento do evaporador EV-300, foi necessário determinar a área de troca térmica necessária para a evaporação através da equação:

$$Q_{EV-300} = U \times A \times \Delta T$$

Onde:

Q_{EV-300} : Taxa de calor trocado pelo evaporador EV-300, em kJ/h

U : Coeficiente global de transferência de calor, em kJ/(h.m².°C)

A : Área de troca térmica, em m²

ΔT : Variação da temperatura, em °C

De acordo com Custódio (2003), o coeficiente global de transferência de calor para a primeira etapa de evaporação é de 4087,768 kJ/(h.m².°C). Assim:

$$Q_{EV-300} = U \times A \times \Delta T$$

$$A = \frac{Q_{EV-300}}{U \times \Delta T} = \frac{9266755,720}{4087,768 \times (59 - 55)} = 566,737 \text{ m}^2$$

Evaporador EV-310

Para o dimensionamento do evaporador EV-310, utilizou-se a mesma equação para a primeira etapa de evaporação:

$$Q_{EV-310} = U \times A \times \Delta T$$

Onde:

Q_{EV-310} : Taxa de calor trocado pelo evaporador EV-310, em kJ/h

De acordo com Custódio (2003), o coeficiente global de transferência de calor para a segunda etapa de evaporação é de 715,464 kJ/(h.m².°C). Assim:

$$Q_{EV-310} = U \times A \times \Delta T$$

$$A = \frac{Q_{EV-310}}{U \times \Delta T} = \frac{4726676,223}{715,464 \times (120 - 59)} = 108,302 \text{ m}^2$$

Tanque de armazenamento T-300

Figura 14 – Tanque de armazenamento de óleo



Fonte: Prettech, 2022

Para o dimensionamento do tanque T-300, responsável pelo armazenamento do óleo bruto, determinou-se o volume diário de produção. Sendo a massa específica do óleo bruto à 114°C igual a 0,857 t/m³ (FASINA; COLLEY, 2008), obtém-se:

$$\dot{v}_{43} = \frac{\dot{m}_{43}}{\rho_{43}} = \frac{14,280}{0,857} = 16,663 \text{ m}^3/\text{h}$$

Onde:

$\dot{v}_{43}$: Vazão volumétrica da Corrente 43, em m³/h

$\dot{m}_{43}$: Vazão mássica da Corrente 43, em kg/h

ρ_{43} : Massa específica da Corrente 43, em kg/m³

Calculando o volume diário de produção:

$$V_{o,\text{diário}} = 16,663 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 24 \text{ h} = 344,913 \text{ m}^3$$

Onde:

$V_{o,\text{diário}}$: Volume diário de produção de óleo bruto, em m³

Foram selecionados seis tanques de armazenamento fornecidos pela empresa Prettech, com capacidade de até 100 m³, representados pela Figura 14. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 47.

Tabela 47 - Especificações técnicas e dimensões do tanque de armazenamento de óleo

Empresa	Prettech
Equipamento	Tanque de armazenamento
Modelo	-
Diâmetro interno (mm)	3800
Altura total (mm)	9900
Capacidade (m3)	100
Material	Aço inoxidável 304

Fonte: Autor, 2024

Misturador estático M-300

Figura 15 – Misturador estático



Fonte: PRIMIX, 2024

Para o dimensionamento do misturador estático, representado pela Figura 15, foi necessário determinar a vazão volumétrica da corrente de entrada do equipamento (Correntes 42 e 44). Sendo a massa específica do vapor de hexano igual a 0,003 t/m³ (RAUTER, 2024) e do vapor de água à 90°C igual a 0,0004235 t/m³ (ÇENGEL; BOLES, 2013), tem-se para a Corrente 42:

$$\dot{v}_{42} = \frac{\dot{m}_{42}}{\rho_{42}} = \frac{2,595}{(0,17 \times 0,003) + (0,83 \times 0,0004235)} = 3009,934 \text{ m}^3/\text{h}$$

Onde:

$\dot{v}_{42}$: Vazão volumétrica da Corrente 42, em m³/h

$\dot{m}_{42}$: Vazão mássica da Corrente 42, em t/h

ρ_{42} : Massa específica da Corrente 42, em t/m³

Para a Corrente 44:

$$\dot{v}_{44} = \frac{\dot{m}_{44}}{\rho_{44}} = \frac{32,879}{0,003} = 10959,634 \text{ m}^3/\text{h}$$

Assim, obteve-se a vazão volumétrica de saída da corrente de saída do equipamento (Corrente 45):

$$\dot{v}_{45} = \dot{v}_{42} + \dot{v}_{44} = 3009,934 + 10959,634 = 13969,569 \text{ m}^3/\text{h}$$

Não foi encontrado um equipamento compatível com os dados do processo por meio de catálogos.

Condensador CN-300

Para o dimensionamento do condensador CN-300, determinou-se a área de troca térmica necessária para a operação através da equação:

$$Q_{\text{CN-300}} = U \times A \times \Delta T_{\text{ml}} \times f$$

Onde:

$Q_{\text{CN-300}}$: Taxa calor trocado pelo condensador CN-300, em kJ/h

ΔT_{ml} : Média logarítmica das diferenças de temperatura entre as correntes, em °C

f: Fator de correção

Considerando que o condensador atua em contracorrente e é do tipo casco e tubo, utilizou-se um fator de correção de 0,94 (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). A média logarítmica das diferenças de temperatura entre as correntes é dada por:

$$\Delta T_{\text{ml}} = \frac{(\Delta T_s - \Delta T_e)}{\ln \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} \right)} = \frac{(T_{s,q} - T_{e,f}) - (T_{e,q} - T_{s,f})}{\ln \left[\frac{(T_{s,q} - T_{e,f})}{(T_{e,q} - T_{s,f})} \right]}$$

Onde:

$T_{e,q}$: Temperatura de entrada da corrente quente, em °C

$T_{s,q}$: Temperatura de saída da corrente quente, em °C

$T_{e,f}$: Temperatura de entrada da corrente fria, em °C

$T_{s,f}$: Temperatura de saída da corrente fria, em °C

Então:

$$\Delta T_{\text{ml}} = \frac{(T_{s,q} - T_{e,f}) - (T_{e,q} - T_{s,f})}{\ln \left[\frac{(T_{s,q} - T_{e,f})}{(T_{e,q} - T_{s,f})} \right]} = \frac{(65 - 25) - (74 - 55)}{\ln \left[\frac{(65 - 25)}{(74 - 55)} \right]} = 28,21 \text{ °C}$$

De acordo com Custódio (2003), o coeficiente global de transferência de calor para a situação é de 2750,4 kJ/(h.m².°C). Assim:

$$Q_{\text{CN-300}} = U \times A \times \Delta T_{\text{ml}} \times f$$

$$A = \frac{Q_{\text{CN-300}}}{U \times \Delta T_{\text{ml}} \times f} = \frac{15267002,206}{2750,4 \times 28,21 \times 0,94} = 209,334 \text{ m}^2$$

Decantador D-300

Figura 16 – Decantador



Fonte: VenturaOrts, 2019

Para o dimensionamento do decantador D-300, determinou-se a vazão volumétrica para o equipamento. Sendo a massa específica do hexano igual a $0,660 \text{ t/m}^3$, e a massa específica da água à 55°C igual a $0,985 \text{ t/m}^3$, (ÇENGEL; BOLES, 2013) obtém-se:

$$\dot{V}_{D-300} = \frac{\dot{m}_{56}}{\rho_{56}} + \frac{\dot{m}_{57}}{\rho_{57}} = \frac{71,760}{0,660} + \frac{10,036}{0,985} = 118,916 \text{ m}^3/\text{h}$$

Onde:

$\dot{V}_{D-300}$: Vazão volumétrica para o decantador D-300, em m^3/h

$\dot{m}_{56}$: Vazão mássica da Corrente 56, em t/h

ρ_{56} : Massa específica da Corrente 56, em t/m^3

$\dot{m}_{57}$: Vazão mássica da Corrente 57, em t/h

ρ_{57} : Massa específica da Corrente 57, em t/m^3

Selecionou-se o decantador lamelar fornecido pela empresa VenturaOrts, com capacidade de processamento de $200 \text{ m}^3/\text{h}$, representado pela Figura 16. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 48.

Tabela 48 - Especificações técnicas e dimensões do decantador

Empresa	VenturaOrts
Equipamento	Decantador
Modelo	-
Dimensões da zona lamelar (mm)	3500 x 3400 x 2000
Dimensões do depósito de acumulação (mm)	3400 x 200 x 300
Capacidade (m^3/h)	200
Material	Aço carbono galvanizado

Fonte: Autor, 2024

Separador de fases SF-300

Figura 17 – Separador de fases



Fonte: HB, 2020

Para o dimensionamento do separador de fases SF-300, determinou-se a vazão volumétrica para a corrente de entrada do equipamento (Corrente 34). Sendo a massa específica do hexano igual a $0,660 \text{ t/m}^3$, do vapor de hexano igual a $0,003 \text{ t/m}^3$ (RAUTER, 2024), da água à 74°C igual a $0,974 \text{ t/m}^3$ (ÇENGEL; BOLES, 2013) e do vapor de água à 74°C igual a $0,0002421 \text{ t/m}^3$, obtém-se:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{SF-300}} &= \frac{\dot{m}_{34,l}}{\rho_{34,l}} + \frac{\dot{m}_{34,v}}{\rho_{34,v}} \\ &= \frac{17,850}{(0,660 \times 0,828) + (0,974 \times 0,172)} + \frac{28,089}{(0,003 \times 0,828) + (0,0002421 \times 0,172)} \\ &= 11141,667 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Onde:

$\dot{V}_{\text{SF-300}}$: Vazão volumétrica para o separador de fases SF-300, em m^3/h

$\dot{m}_{34,l}$: Vazão mássica dos líquidos da Corrente 34, em t/h

$\rho_{34,l}$: Massa específica dos líquidos da Corrente 34, em t/m^3

$\dot{m}_{34,v}$: Vazão mássica dos vapores da Corrente 34, em t/h

$\rho_{34,v}$: Massa específica dos vapores da Corrente 34, em t/m^3

Selecionou-se o separador de condensado fornecido pela empresa HB, modelo SA4800F, com capacidade de $17.280 \text{ m}^3/\text{h}$, representado pela Figura 17. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 49, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo J.

Tabela 49 - Especificações técnicas e dimensões do separador de fases

Empresa	HB
Equipamento	Separador de fases
Modelo	SA4800F
Diâmetro (mm)	862
Altura (mm)	1965
Capacidade (m³/h)	17.280
Material	Aço carbono galvanizado

Fonte: Autor, 2024

Condensador CN-310

Para o dimensionamento do condensador CN-310, foram utilizadas as mesmas equações e considerações desenvolvidas para o condensador CN-300:

$$Q_{CN-310} = U \times A \times \Delta T_{ml} \times f$$

Onde:

Q_{CN-310} : Taxa calor trocado pelo condensador EV-300, em kJ/h

A média logarítmica das diferenças de temperatura entre as correntes é dada por:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{s,q} - T_{e,f}) - (T_{e,q} - T_{s,f})}{\ln \left[\frac{(T_{s,q} - T_{e,f})}{(T_{e,q} - T_{s,f})} \right]} = \frac{(65 - 25) - (74,71 - 55)}{\ln \left[\frac{(65 - 25)}{(74,713 - 55)} \right]} = 28,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para essa situação, o coeficiente global de transferência de calor é de 5785,2 kJ/(h.m².°C) (CUSTÓDIO, 2003). Assim:

$$Q_{CN-310} = U \times A \times \Delta T_{ml} \times f$$

$$A = \frac{Q_{CN-310}}{U \times \Delta T_{ml} \times f} = \frac{15267002,206}{2750,4 \times 28,21 \times 0,94} = 209,334 \text{ m}^2$$

Tanque de armazenamento T-310

Figura 18 – Tanque de armazenamento



Fonte: Tech Tank, 2022

Para o dimensionamento do tanque T-310, responsável pelo armazenamento de hexano, determinou-se o volume semanal necessário para a produção. Sendo a massa específica do hexano igual a $0,660 \text{ t/m}^3$, obtém-se:

$$\dot{v}_{55} = \frac{\dot{m}_{55}}{\rho_{55}} = \frac{0,384}{0,660} = 0,582 \text{ m}^3/\text{h}$$

Onde:

$\dot{v}_{55}$: Vazão volumétrica da Corrente 55, em m^3/h

$\dot{m}_{55}$: Vazão mássica da Corrente 55, em t/h

ρ_{55} : Massa específica da Corrente 55, em t/m^3

Calculando o volume semanal necessário para a produção:

$$V_{h,\text{semanal}} = 0,582 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 24 \text{ h} \times 7 \text{ dias} = 97,846 \text{ m}^3$$

Onde:

$V_{h,\text{semanal}}$: Volume de hexano necessário para a produção semanal, em m^3

Selecionou-se o tanque de armazenamento fornecido pela empresa Tech Tank, com capacidade de 121 m^3 , representado pela Figura 18. As especificações técnicas e dimensões do equipamento são descritos pela Tabela 50, assim como pelo catálogo do fornecedor disponível no Anexo K.

Tabela 50 - Especificações técnicas e dimensões do tanque de armazenamento de hexano

Empresa	Tech Tank
Equipamento	Tanque de armazenamento
Modelo	-
Diâmetro (m)	4,27
Altura (m)	8,47
Capacidade (m³)	121
Material	Aço carbono ASTM A36

Fonte: Autor, 2024

Bomba B-300

Para o dimensionamento da Bomba B-300, localizada na Corrente 27, determinou-se sua altura manométrica. Para isso, utiliza-se a equação de Bernoulli:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \times g} + \frac{\Delta v^2}{2 \times g} + \Delta z + \sum f$$

Onde:

H: Altura manométrica, em m.c.a

ΔP : Diferença da pressão manométrica entre o ponto final e inicial do escoamento, em Pa

ρ : Massa específica do fluido em escoamento, em kg/m³

g: Aceleração da gravidade, em m/s²

Δv : Diferença do quadrado da velocidade entre o ponto final e inicial do escoamento, em m²/s²

Δz : Diferença de altura entre o ponto final e inicial do escoamento, em m

$\sum f$: Somatório das perdas de carga do escoamento, em m.c.a

Desprezando a diferença de energia cinética, obtém-se:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \times g} + \Delta z + \sum f$$

Para cálculo do somatório das perdas de carga, tem-se a equação:

$$\sum f = \Delta P_{\text{distribuída}} + \Delta P_{\text{acessórios}} + \Delta P_{\text{equipamentos}}$$

Onde:

$\Delta P_{\text{distribuída}}$: Perda de carga nos trechos retos de tubulação, em m.c.a

$\Delta P_{\text{acessórios}}$: Perda de carga nos acessórios de tubulações, em m.c.a

$\Delta P_{\text{equipamentos}}$: Perda de carga nos equipamentos, em m.c.a

A perda de carga na tubulação da Corrente 27 foi calculada durante seu dimensionamento.

Assim:

$$\Delta P_{\text{distribuída}} = \Delta P_{100,27} = 47950,363 \text{ Pa}$$

Transformando em metros de coluna de água, considerando que a massa específica da água como $997,000 \text{ kg/m}^3$ e a aceleração da gravidade como $9,81 \text{ m/s}^2$, tem-se:

$$\Delta P_{\text{distribuída}} = \frac{47950,363}{\rho \times g} = \frac{47950,363}{997 \times 9,81} = 4,903 \text{ m. c. a}$$

Para a perda de carga nos equipamentos, será considerada uma perda de $10000,000 \text{ Pa}$ para o extrator e $25000,000 \text{ Pa}$ para o evaporador. Assim:

$$\Delta P_{\text{equipamentos}} = 10000,000 + 25000,000 = 35000,000 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{equipamentos}} = \frac{35000,000}{\rho \times g} = \frac{35000,000}{997 \times 9,81} = 3,579 \text{ m. c. a}$$

Para o cálculo da perda de carga nos acessórios, tem-se:

$$\Delta P_{\text{acessórios}} = \frac{K \times v^2}{2 \times g}$$

Onde:

K: Constante empírica de perda de carga do acessório, adimensional

v: Velocidade média de escoamento do fluido no acessório, em m/s

Para o dimensionamento de todas as bombas considerou-se que as tubulações possuem quatro cotovelos 90° com raio comum, uma válvula de retenção, duas válvulas gaveta, uma entrada e uma saída de canalização. Os valores para a constante K foram determinados através dos valores apresentados no Anexo P. Dessa forma:

$$\Delta P_{\text{acessórios}} = \frac{K \times v^2}{2 \times g} = \frac{(4 \times 0,9 + 2,5 + 2 \times 0,2 + 0,5 + 1) \times 0,971^2}{2 \times 9,81} = 0,384 \text{ m. c. a}$$

Determinando a perda de carga total:

$$\sum f = \Delta P_{\text{distribuída}} + \Delta P_{\text{acessórios}} + \Delta P_{\text{equipamentos}} = 4,903 + 0,384 + 3,579 = 8,867 \text{ m. c. a}$$

Considerando que a diferença de pressão entre o início e o fim do escoamento é de 40000 Pa , obtém-se:

$$\frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{40000}{997 \times 9,81} = 4,090 \text{ m. c. a}$$

Atribuindo o valor de 1 m para a diferença de altura entre o ponto final e inicial do escoamento, tem-se a altura manométrica:

$$H = 4,090 + 1 + 8,867 = 13,955 \text{ m. c. a}$$

Calculando o NPSH (Net Positive Suction Head):

$$\text{NPSH}_d = \frac{v_{\text{sucção}}^2}{2 \times g} \pm \Delta z + \frac{P_1 - P_v}{\rho \times g}$$

Onde:

NPSH_d : Net Positive Suction Head, a carga disponível na sucção, em m.c.a

$v_{\text{sucção}}$: Velocidade média da sucção, em m/s

P_1 : Pressão do sistema na entrada da bomba, em Pa

P_v : Pressão de vapor do líquido na temperatura de escoamento, em Pa

Sendo a pressão do sistema na entrada da bomba igual a 101325 Pa, a pressão de vapor do líquido de escoamento igual a 44896,623 Pa e a velocidade média de sucção igual a 0,971 m/s, obtém-se:

$$\text{NPSH}_d = \frac{0,971^2}{2 \times 9,81} + 1 + \frac{101325 - 44896,623}{731,140} = 8,915 \text{ m. c. a}$$

Considerando a altura manométrica e a vazão volumétrica, selecionou-se uma bomba centrífuga compatível com o sistema através do catálogo apresentado no Anexo Q. Para a B-300, obteve-se um equipamento com as especificações apresentadas na Tabela 51. A bomba não cavitará, uma vez que o NPSH requerido pelo fabricante é muito menor que o disponível.

Tabela 51 - Especificações técnicas e dimensões da bomba B-300

Empresa	KSB
Equipamento	Bomba centrífuga
Modelo	KSB MEGACHEM 65-160
Velocidade nominal (rpm)	1750
Vazão volumétrica (m ³ /h)	65,105
Altura manométrica (m)	13,955
Diâmetro do rotor (mm)	172
Eficiência (%)	81
NPSHr (m)	2,4
Potência (hp)	4

Fonte: Autor, 2024

Repetindo o procedimento para o dimensionamento, foram selecionadas as demais bombas para o processo, com exceção da bomba B-360, pois não foram encontrados equipamentos compatíveis. Suas características são descritas na Tabela 52.

Tabela 52 - Especificações técnicas das bombas centrífugas

Tag	Vazão volumétrica (m³/h)	Altura manométrica (m)	Modelo	Velocidade nominal (rpm)	NPSHr (m)	NPSHd (m)
B-300	65,105	13,955	MEGACHEM 65-160	1750	2,4	8,915
B-310	27,044	10,534	MEGACHEM 40-160	1750	1,8	15,535
B-320	17,376	4,428	MEGACHEM 32-125	1750	2,5	16,575
B-330	16,661	13,189	MEGACHEM 32-200	1750	2	20,508
B-340	52,210	7,631	MEGACHEM 50-125	1750	2,5	3,389
B-350	64,251	10,086	MEGACHEM 32-200	1750	3,5	4,310
B-360	0,582	13,517	-	-	-	17,566
B-370	108,727	15,751	MEGACHEM 80-200	1750	2	15,882

Fonte: Autor, 2024

APÊNDICE G – LISTA DE EQUIPAMENTOS

Tabela 53 – Lista de equipamentos do projeto

Tag	Equipamento	Quantidade
BF-100	Balança de fluxo	1
P-100	Máquina de pré-limpeza	1
SE-100	Secador	1
SI-100 A/B/C/D	Silo	4
ES-100	Esteiras transportadoras	-
BF-200	Balança de fluxo	1
P-200	Máquina de limpeza	1
SE-200	Secador	1
Q-200	Quebrador	1
SC-200	Separador de cascas	1
C-200	Condicionador	1
L-200 A/B/C	Laminador	3
SR-200	Secador-resfriador	1
ES-200	Esteiras transportadoras	-
EX-300	Extrator	1
DT-300	Dessolventizador-tostador-secador-resfriador	1
EV-300	Evaporador	1
EV-310	Evaporador	1
ST-300	Coluna de Stripping	1
T-300 A/B/C/D/E/F	Tanque de armazenamento	6
M-300	Misturador	1
CN-300	Condensador	1

SF-300	Separador de fases	1
CN-310	Condensador	1
D-300	Decantador	1
T-310	Tanque de armazenamento (hexano)	1
B-300	Bomba centrífuga	1
B-310	Bomba centrífuga	1
B-320	Bomba centrífuga	1
B-330	Bomba centrífuga	1
B-340	Bomba centrífuga	1
B-350	Bomba centrífuga	1
B-360	Bomba centrífuga	1
B-370	Bomba centrífuga	1

Fonte: Autor, 2024

APÊNDICE H – LISTA DE INSTRUMENTOS

Tabela 54 – Lista de instrumentos do projeto

Tag	Descrição
TT-1	Transmissor de temperatura
TT-3	Transmissor de temperatura
TT-4	Transmissor de temperatura
TT-5	Transmissor de temperatura
TT-6	Transmissor de temperatura
TT-7	Transmissor de temperatura
TT-8	Transmissor de temperatura
TT-10	Transmissor de temperatura
TT-11	Transmissor de temperatura
TT-12	Transmissor de temperatura
LT-2	Transmissor de nível
LT-14	Transmissor de nível
LT-15	Transmissor de nível
LT-16	Transmissor de nível
FT-9	Transmissor de fluxo
PT-13	Transmissor de pressão
FV-1	Válvula de fluxo
FV-2	Válvula de fluxo
FV-3	Válvula de fluxo
FV-4	Válvula de fluxo
FV-5	Válvula de fluxo
FV-6	Válvula de fluxo
FV-7	Válvula de fluxo
FV-8	Válvula de fluxo
FV-9	Válvula de fluxo
FV-10	Válvula de fluxo
FV-11	Válvula de fluxo
FV-12	Válvula de fluxo
FV-18	Válvula de fluxo
FV-14	Válvula de fluxo
FV-15	Válvula de fluxo

FV-16	Válvula de fluxo
-------	------------------

Fonte: Autor, 2024

APÊNDICE I – LISTA DE UTILIDADES

Tabela 55 – Lista de utilidades do projeto

Utilidade	Equipamento	Vazão (t/h)	Temperatura (°C)	Pressão (kPa)
Ar atmosférico	Secador SE-100	456,213	25	0
	Secador SE-200	405,695	25	0
	Secador-resfriador SR-200	154,898	25	0
	Dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-310	293,613	25	0
Água de resfriamento	Condensador CN-300	133,642	25	0
	Condensador CN-310	121,369	25	0
Vapor saturado	Condicionador C-200	2,759	100	0
	Evaporador EV-300	17,850	74	35,000
	Evaporador EV-310	2,167	127	250,000
Vapor superaquecido	Dessolventizador-tostador-secador-resfriador DT-300	7,883	180	250,000
	Coluna de stripping ST-300	2,153	180	392,266
Energia elétrica	Motores	-		

Fonte: Autor, 2024

ANEXOS

ANEXO A – CATÁLOGO DE BALANÇAS DE FLUXO

BALANÇA DE FLUXO MODELO 6530/31/32

- ▶ Capacidades de 5 a 2.000t/h
- ▶ Precisão > 0,1%
- ▶ Caçambas de alta vazão, paredes verticais
- ▶ Opera com produtos de boa ou má fluidez e abrasivos
- ▶ Paredes internas lisas, não acumulam produtos
- ▶ Acesso total por laterais removíveis



Aplicação

Totalização de materiais sólidos em geral, sem interrupção de fluxo. Controle de matéria-prima usada em processos industriais. Carga e descarga de caminhões, vagões e navios graneleiros.

Estrutura

- ▶ Projeto concebido com Estrutura modular de alta resistência
- ▶ Estrutura fora da carenagem, impede a retenção de produto
- ▶ Autoportante, reduz custos e tempo de instalação

Carenagem

- ▶ Carenagem em formato quadrado com paredes convexas para dentro
- ▶ Encaixam na estrutura modular, proporcionando paredes internas lisas e totalmente verticais
- ▶ Não acumula material, tudo que entra, sai

Caçambas de alta vazão

- ▶ Construídas em formato quadrado, realizam abertura total do fundo
- ▶ Escoamento rápido, sem estrangulamento de fluxo
- ▶ Aceita produtos com boa ou má fluidez e abrasivos (Grãos, Cascas, Farelos, Pellets, Açúcares e Fertilizantes)

Pesagem conceituada no suporte SAMEL®

- ▶ Absorve erros provocados por esforços e movimentos horizontais
- ▶ Maior estabilidade
- ▶ Ciclos de pesagem mais rápidos
- ▶ Aumento de produtividade

Projeto Moderno

- ▶ Facilita o acesso e prioriza amplo espaço interno
- ▶ 4 tampas de inspeção dão acesso a toda região interna da balança
- ▶ Visão geral dos componentes
- ▶ Permite trabalhar com as duas mãos
- ▶ Menor tempo de parada para calibração, ajuste ou manutenção

Equipamento compacto

- ▶ Queda livre do material via abertura total das caçambas, proporciona menor talude
- ▶ Caçambas baixas, estrutura menor

Pneumática de 1ª qualidade

Festo, SMC ou equivalente

Instalação facilitada

- ▶ Ocupa menor área útil
- ▶ Tampas de inspeção removíveis
- ▶ Equipamento montado em duas partes:
 - ▷ Módulo 1, Caçamba Pulmão e Balança
 - ▷ Módulo 2, Caçamba de Descarga

Região de contato com o produto

- ▶ Modelo 6531 Caçambas em inox 304
- ▶ Modelo 6530 - Caçambas em aço 1020 com pintura alimentícia
- ▶ Opcional: Revestimento em Poliuréia ou UHMW

Calibração fiel

- ▶ Ganchos para peso padrão posicionados entorno da caçamba balança, facilitando a

Sistema de intertravamento mecânico

- ▶ operação de calibração
- ▶ Segurança para o transporte e instalação
- ▶ Balança sai de fábrica calibrada

Conectividade



- ▶ Aplicativo mobile VNC Viewer
 - ▷ Concede o acesso remoto a IHM via smartphone, tablet ou notebook, sem interferir na aplicação
- ▶ IHM Remote Monitoring
 - ▷ Monitoramento dos dados gerados pela aplicação via Navegador (Microsoft Edge, Mozilla Firefox e Google Chrome). Esse recurso permite ao ambiente de controle acompanhar os dados estatísticos e última carga totalizada

Painel de controle

IHM 7" Touchscreen colorida

- Interface de configuração e operação amigável, com visualização de todas as fases da aplicação
- Parâmetros protegidos por senha
- Registro dos alarmes ocorridos
- Armazena 200 registros com informações de peso acumulado, data e hora
- Sistema de verificação de vazamento dos dumpers
- Operação automática ou manual em caso de necessidade

Transmissor Digital de Pesagem 2711

- Alta taxa de transferência e conversão dos dados
- Precisão nos cortes

- Filtros de Vibração para situações quando há oscilação na balança, exibindo o peso correto
- Data Relay com Shared Memory: integração de dados da automação local com o Fieldbus.

Invólucro em aço inox 304

Grau de proteção IP-65

Tensão: 110 / 240VCA

Frequência elétrica: 50/60Hz

Botão de emergência

Chave seccionadora

Relé de segurança

Opcional - Pedestal para fixação do painel

Saída de automação

- Transportador de Carregamento, indica a liberação de entrada de produto na Balança
- Transportador de Descarregamento permite a liberação do produto da caçamba balança
- Falta de material + Falha
- Reset Externo → comando para realizar um novo registro do total acumulado

Protocolo Fieldbus

- 1 porta nativa em:



- Dados de processo via Fieldbus: Peso Atual, Valor do fluxo, Acumulado, Registro, Dia, Mês e Ano do Registro, Hora, Minuto e Segundo do registro e falhas.

- 1 porta opcional entre os protocolos:

EtherNet/IP



DeviceNet



Porta de impressão serial

- Alfanumérico para impressoras via protocolos: ZPL, EPL ou ASCII
- Código de barras nos padrões: CODE 128, QRCODE ou DATA MATRIX

Banco de dados

- Exportação dos registros para os seguintes ERPs e programas:

Maior camada



Menor camada



Atendimento normativo



- Laudo Técnico de Adequação de Segurança NR10 e NR12



- ART- Anotação de Responsabilidade Técnica
- Análise de Risco

Versões para área classificada



- Componentes intrinsecamente seguros com certificado INMETRO



Veja a página do produto no site

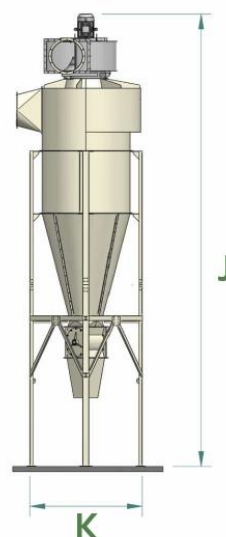
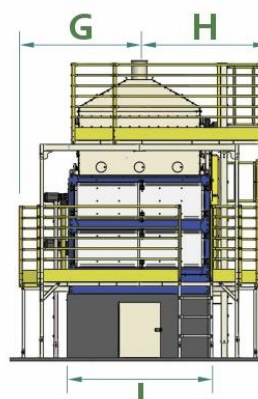
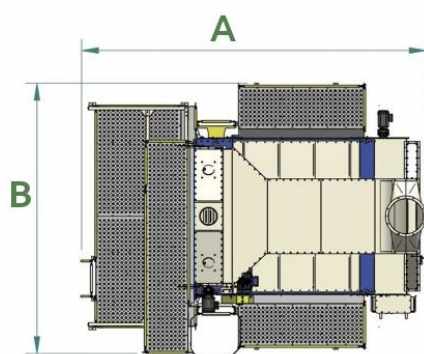
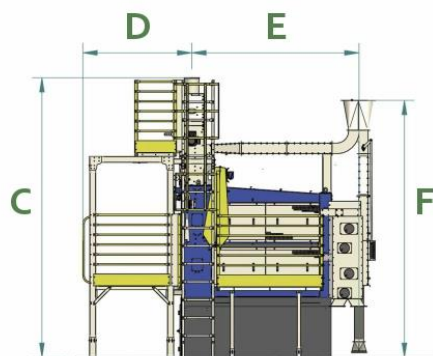
0014CL.01 mar/23

ANEXO B – CATÁLOGO DE MÁQUINAS DE LIMPEZA

Dados técnicos



MÁQUINA E CICLONE



TABELA, DIMENSÕES E POTÊNCIA

CAPACIDADES TON/H	AC 60	AC 120	AC 180	AC 240
Área total peneiras	10,4 m ²	20,8 m ²	31,2 m ²	41,6 m ²
Pot. eixo acionamento	5 cv	7,5 cv	5 + 7,5 cv	7,5 + 7,5 cv
Pot. ventilador aspiração	10 cv	12,5 cv	20 cv	20 cv
Pot. eclusa de carga	---	2 cv	2 cv	2 cv
Pot. regulador de fluxo	1,5 cv	2 x 1,5 cv	3 x 1,5 cv	4 x 1,5 cv
Pot. eclusa ciclone	1 cv	1 cv	1 cv	1 cv
Vazão de ar total	11000 m ³ /h	13000 m ³ /h	17000 m ³ /h	17000 m ³ /h

SUGESTÃO DE PENEIRAS

PRODUTO	GRAU DE LIMPEZA	PENEIRA SUPERIOR	PENEIRA INFERIOR
Soja	Pré-limpeza (4%-2%)	11 mm	3,5 mm
	Limpeza (3%-1%)	9 mm	4,5 mm
	Semente (Variedade Garra 63164)	8,5 mm	4,5 x 22 mm
Milho	Pré-limpeza (4%-2%)	13 mm	3,5 mm
	Limpeza (3%-1%)	12 mm	4 mm
Trigo	Pré-limpeza (4%-2%)	4 x 12 mm	1,5 x 22 mm
	Limpeza (3%-1%)	4 x 10 mm	1,75 x 22 mm
Arroz	Pré-limpeza (4%-2%)	4,5 x 12 mm	1,5 x 22 mm
	Limpeza (3%-1%)	4 x 12 mm	1,5 x 22 mm

DIMENSÕES DAS MÁQUINAS

MÁQUINA TON/H	A	B	C	D	E	F	G	H	I
60	3340	2870	3820	---	2780	3490	1500	1400	2280
120	4880	3830	4670	1820	2790	4290	1970	1890	2280
180	5440	3970	5620	2370	2758	5140	2070	1890	2280
240	4780	3880	6680	1710	2760	6280	1970	1890	2280

CICLONE TON/H	J	K
60	6500	1480
120	7230	1790
180	8310	1740
240	8310	1740

* Dados aproximados, sujeitos a mudança sem aviso prévio.

PAINEL DE COMANDO NR 10



- ✓ Inversor de frequência para os motores da eclusa de carga e regulador de fluxo;
- ✓ Inter-travamento de fluxo (carga e descarga);
- ✓ Chave de emergência;
- ✓ Alarme de advertência;
- ✓ Horímetro;
- ✓ Alertas de manutenção

www.agriaco.com.br

ANEXO C – CATÁLOGO DE SECADORES

SECADOR DE GRAOS DRYERATION ORIGINAL - ALTA PERFORMANCE

Especificações Técnicas													
Modelos Original DRY		DRY217	DRY317-2	DRY317-3	DRY417	DRY618-5	DRY618-6	DRY618-7	DRY928-8	DRY928-9	DRY1228	DRY1638	DRY2048
Capacidade Volumétrica	m³	25	30	40	50	65	80	90	100	120	130	150	205
Potência Instalada	cv	40,0	57,5	57,5	70,0	100,0	100,0	100,0	162,5	162,5	200,0	275,0	350,0
Volume de ar/hora	m³/h	44.800	67.200	67.200	89.600	134.400	134.400	134.400	201.600	201.600	268.800	358.400	448.000
Capacidade Estática	ton												
	Milho	19	24	29	37	47	58	66	76	86	94	113	144
	Soja	20	25	31	40	50	62	70	81	92	100	121	154
	Arroz	16	20	24	31	39	48	55	63	71	78	94	120
	Trigo	21	26	32	42	52	64	73	84	95	104	126	160
	Feijão	20	25	30	39	49	60	68	79	89	98	118	150
Dimensões	m												
	Largura	3,0	3,0	3,0	3,0	3,9	3,9	3,9	4,5	5,1	5,4	6,6	8,4
	Altura total	12,5	12,5	14,6	16,7	21,7	19,6	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	24,0
Kcal/hora	Comprimento	4,7	5,14	5,14	5,14	4,74	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,20
	T °C												
	110	967.680	1.451.520	1.451.520	1.935.360	2.903.040	2.903.040	3.386.879	4.354.560	4.354.560	5.806.080	7.741.440	9.676.800
	90	752.640	1.128.958	1.128.958	1.505.279	2.257.919	2.257.919	2.903.040	3.386.879	3.386.879	4.515.839	6.021.119	7.526.399
	85	698.880	1.048.320	1.048.320	1.397.760	2.096.640	2.096.640	2.096.640	3.144.960	3.144.960	4.193.280	5.591.040	6.988.800
	80	645.120	967.680	967.680	1.290.240	1.935.360	1.935.360	1.935.360	2.903.040	2.903.040	3.870.720	5.160.960	6.451.200
Consumo de lenha/hora													
	110	0,51	0,77	0,77	1,02	1,54	1,54	1,54	2,30	2,30	3,07	4,10	5,12
	85	0,37	0,55	0,55	0,74	1,11	1,11	1,11	1,66	1,66	2,22	2,96	3,70
	80	0,34	0,51	0,51	0,68	1,02	1,02	1,02	1,54	1,54	2,05	2,73	3,14

Produção t/h	Ui - Uf	DRY217	DRY317-2	DRY317-3	DRY417	DRY618-5	DRY618-6	DRY618-7	DRY928-8	DRY928-9	DRY1228	DRY1638	DRY2048
Milho	20-15	22	32	34	43	63	67	71	95	103	131	154	194
	25-15	12	16	18	22	33	36	38	51	54	69	81	103
	25-14	10	14	16	20	30	32	34	45	47	61	72	90
	23-14	12	18	19	24	36	38	41	54	57	74	87	110
	20-14	18	26	28	35	52	55	58	78	82	108	125	160
	18-14	26	37	36	49	73	78	82	111	116	154	179	225
Soja	24-14	17	23	25	32	48	51	55	72	76	100	117	150
	22-14	20	30	31	40	58	62	66	88	93	122	143	182
	20-14	26	37	40	51	75	80	85	113	118	157	182	232
	18-14	36	52	55	71	103	110	116	157	165	220	256	323
	14-10	15	21	23	26	40	43	45	62	65	80	96	125
Trigo	18-14	18	26	27	35	51	55	58	77	82	105	124	155
	18-13	14	19	21	26	39	42	45	58	62	79	93	112
Arroz	23-15,5	10	15	16	20	29	32	34	44	47	47	71	90
	22-15,5	12	17	18	23	34	36	38	51	54	55	82	100
	15-12	16	24	25	32	47	51	54	72	76	97	114	170
Feijão	28-14	4	6	7	9	14	15	16	21	23	28	32	-
	24-14	7	10	10	13	20	21	23	30	32	40	47	-
	22-14	9	12	14	17	25	27	29	38	41	51	60	-
	18-14	18	26	27	35	51	55	58	77	82	105	124	-

Parâmetros de Secagem

- Temperatura ambiente: 20°C
- Umidade relativa do ar: 60%
- PCI da lenha: 4.200 kcal/h
- Peso da lenha: 450kg/m³ de lenha
- A Dryeration reserva-se o direito de alterar as especificações técnicas e produção sem aviso prévio.
- Poderá ser desconsiderado o uso do EGQ, para o secadores de grãos, com fonte de calor à gás ou vapor.

Produto	T °C	Peso Espec.
Milho	110	0,721
Soja	110	0,770
Arroz	90	0,600
Trigo	80	0,800
Feijão	85	0,750

As capacidades listadas são expressas em toneladas úmidas e estimadas com base em princípios de secagem, resultados de campo e software para simulação. Variações nas capacidades de secagem podem ocorrer, devido às características fisiológicas dos grãos, tais como: tamanho, variedade, composição química, grau de maturidade, gradiente de umidade entre outras.

Todos os dados e informações estão sujeitos a alterações sem aviso prévio.

Produto patentado e desenvolvido no Brasil / Produzido pela Dryeration Ind. Com. Proj. Ltda
Com proteção dos direitos de propriedade intelectual no Brasil e Internacionalmente, com patentes concedidas e pendentes.

ANEXO D – CATÁLOGO DE SILOS

DADOS TÉCNICOS

MODELO	CS 20			CS 22			CS 24			CS 26		
DIÂM. (M)	18,42			20,26			22,10			23,94		
Nº de Anéis	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)
7	11,70	2.117,4	1588,1									
8	12,61	2.360,4	1.770,3	13,14	2.906,5	2.179,9	13,68	3.518,9	2.639,2	14,21	4.200,3	3.150,2
9	13,52	2.603,3	1.952,5	14,06	3.200,5	2.400,3	14,59	3.868,8	2.901,6	15,12	4.610,9	3.458,2
10	14,44	2.846,3	2.134,7	14,97	3.494,4	2.620,8	15,50	4.218,7	3.164,0	16,03	5.021,5	3.766,1
11	15,35	3.089,3	2.317,0	15,88	3.788,4	2.841,3	16,41	4.568,6	3.426,4	16,94	5.432,1	4.074,1
12	16,26	3.332,2	2.499,2	16,79	4.082,4	3.061,8	17,32	4.918,4	3.688,8	17,86	5.842,7	4.382,0
13	17,17	3.575,2	2.681,4	17,70	4.376,4	3.282,3	18,24	5.268,3	3.951,2	18,77	6.253,3	4.690,0
14	18,08	3.818,2	2.863,6	18,62	4.670,4	3.502,8	19,15	5.618,2	4.213,6	19,68	6.663,9	4.998,0
15	19,00	4.061,1	3.045,8	19,53	4.964,4	3.723,3	20,06	5.968,0	4.476,0	20,59	7.074,6	5.305,9
16	19,91	4.304,1	3.228,1	20,44	5.258,4	3.943,8	20,97	6.317,9	4.738,4	21,50	7.485,2	5.613,9
17	20,82	4.547,1	3.410,3	21,35	5.552,4	4.164,3	21,88	6.667,8	5.000,8	22,42	7.895,8	5.921,8
18	21,73	4.790,0	3.592,5	22,26	5.846,3	4.384,8	22,80	7.017,6	5.263,2	23,33	8.306,4	6.229,8
19	22,64	5.033,0	3.774,7	23,18	6.140,3	4.605,2	23,71	7.367,5	5.525,6	24,24	8.717,0	6.537,7
20	23,56	5.275,9	3.957,0	24,09	6.434,3	4.825,7	24,42	7.717,4	5.788,0	25,15	9.127,6	6.845,7
21	24,47	5.518,9	4.139,2	25,00	6.728,3	5.046,2	25,53	8.067,2	6.050,4	26,06	9.538,2	7.153,7
22	25,38	5.761,9	4.321,4	25,91	7.022,3	5.266,7	26,44	8.417,1	6.312,8	26,98	9.948,8	7.461,6



MODELO	CS 28			CS 30			CS 36		
DIÂM. (M)	25,78			27,63			33,15		
Nº de Anéis	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)	Altura (m)	Volume (m³)	Cap. (Ton)
8	14,74	4.953,0	3.714,8	15,27	5.779,6	4.334,7	16,87	8.727,6	6.545,7
9	15,65	5.429,2	4.071,9	16,38	6.326,3	4.744,7	17,78	9.514,8	7.136,1
10	16,56	5.905,4	4.429,1	17,09	6.872,9	5.154,7	18,69	10.302,0	7.726,5
11	17,48	6.381,6	4.786,2	18,01	7.419,6	5.564,7	19,60	11.089,2	8.316,9
12	18,39	6.857,8	5.143,4	18,92	7.966,3	5.974,7	20,51	11.876,4	8.907,3
13	19,30	7.334,1	5.500,5	19,83	8.513,0	6.384,7	21,43	12.663,6	9.497,7
14	20,21	7.810,3	5.857,7	20,74	9.059,6	6.794,7	22,34	13.450,9	10.088,1
15	21,12	8.286,5	6.214,9	21,65	9.606,3	7.204,7	23,25	14.238,1	10.678,5
16	22,04	8.762,7	6.572,0	22,57	10.153,0	7.614,7	24,16	15.025,3	11.268,9
17	22,95	9.238,9	6.929,2	23,48	10.699,6	8.024,7	25,07	15.812,5	11.859,3
18	23,86	9.715,1	7.286,3	24,39	11.246,3	8.434,7	25,99	16.599,7	12.449,7
19	24,77	10.191,3	7.643,5	25,30	11.793,0	8.844,7	26,90	17.386,9	13.040,2
20	25,68	10.667,5	8.000,6	26,21	12.339,6	9.254,7	27,81	18.174,1	13.630,6
21	26,60	11.143,7	8.357,8	27,13	12.886,3	9.664,7	29,72	18.961,3	14.221,0
22	27,51	11.619,9	8.715,0	28,04	13.433,0	10.074,7	31,63	19.748,5	14.811,4



ANEXO E – CATÁLOGO DE QUEBRADORES

The best possible roll life—hands down

With self-aligning, spherical roller bearings—as well as a tapered bearing bore with adapter sleeve—you get a positive-locking fit with the shaft, which prevents fretting. All of our bearing lube ports are identifiable and easily accessed for scheduled maintenance, with minimal fuss. Plus, bearing housings and bearing supports ensure positive roll tram for positive particle size control.

One-point roll adjustment? You bet

Our unique one-point roll adjustment is made by machine jack screws. This means that the rolls remain parallel throughout the adjustment range. Plus, the positive roll stop offers maximum protection against roll-to-roll contact.

Ease of use? Check

V-belt inter-roll drives help reduce sound for a smoother, quieter operation. Belt tension can be adjusted without removing the guard, making it faster to access and easier to maintain. And, the heavy-duty idler arrangement keeps belts positively tensioned.

Count on around-the-clock reliability

Traction. Power. Alignment. The main drive (motor to rolls) is a 5V section V-belt design that's well-suited for 24/7 production in the food industry. A separate motor base arrangement is designed to accept multiple standard motor frames, giving you options, too.



*Bearings, housings,
and bearing supports*

Robust design gives you the optimal platform for any oilseed application

Robust design is a key element in the overall signature strength and stability of Roskamp Cracking Mills, and helps to control product variation. Front and rear cast and machined pressure members—with interlocking tension members—contain the roll-separating forces. Rolls are fixed into position with machine jack screws and engineered spring stacks, yet open to bypass uncrushable materials to protect rolls and shafts.

simply brilliant.



Cracking Mill Capacity

Model	Roll Surface Area in ² (m ²)	Soybean Capacity (MTD)
1200-52	1,960 (1.264)	750
1200-72	2,714 (1.751)	1,000
1400-72	3,166 (2.042)	1,250
1600-52	2,613 (1.685)	1,000
1600-72	3,619 (2.334)	1,350
1600-84	4,222 (2.723)	1,550
2000-84	5,278 (3.405)	2,500

3

Roskamp 1200/1400/1600/2000 Series Cracking Mills

1200/1400/1600/2000 Series Cracking Mill options

Precise control

The roll feeder has a separate drive and is combined with an adjustable feed gate, giving you more precise feed rate control. The feed gate can be manually, air, or electrically actuated.



Roll feeder

Easy adaptability

A volumetric rotary pocket feeder with separate drive is available as an alternative to a roll feeder. This allows flow-rate control and positive shutoff through the use of a variable frequency drive. The pocket feeder can easily be adapted to automated load control.



Pocket feeder

Cracking roll protection

Heavy-duty permanent magnets remove tramp iron from the product stream. Magnets swing out of the feeder housing for ease of cleaning.

Models and Descriptions

Weights and dimensions are subject to change. Do not use for layout purposes.

CPM Model	HP Range	Height x Width x Depth in (mm)	Approx. Weight lbs (kgs)
SPX1200-52	40-50	46.00 x 96.50 x 88.00 (1,200 x 2,500 x 2,300)	8,700 (3,950)
SPX1200-72	50-60	46.00 x 116.50 x 88.00 (1,200 x 3,000 x 2,300)	9,500 (4,310)
SPHX1400-72	60-75	46.00 x 117.88 x 96.00 (1,200 x 3,000 x 2,500)	10,500 (4,770)
SPHX1600-52	50-60	46.00 x 97.63 x 96.00 (1,200 x 2,500 x 2,500)	10,000 (4,540)
SPHX1600-72	60-75	46.00 x 117.88 x 96.00 (1,200 x 3,000 x 2,500)	11,000 (4,990)
SPHX1600-84	60-75	46.00 x 129.63 x 96.00 (1,200 x 3,300 x 2,500)	12,100 (5,490)
SPSD2000-84	100-125	56.75 x 130.39 x 106 (1,441 x 3,312 x 2,692)	18,200 (8,255)
DPX1200-52	75-100	70.00 x 96.50 x 88.00 (1,800 x 2,500 x 2,300)	14,400 (6,540)
DPX1200-72	100-125	70.00 x 116.50 x 88.00 (1,800 x 3,000 x 2,300)	17,000 (7,720)
DPHX1400-72	125-150	70.00 x 117.88 x 96.00 (1,800 x 3,000 x 2,500)	21,000 (9,530)
DPHX1600-52	100-125	70.00 x 97.63 x 96.00 (1,800 x 2,500 x 2,500)	19,500 (8,850)
DPHX1600-72	125-150	70.00 x 117.88 x 96.00 (1,800 x 3,000 x 2,500)	23,000 (10,440)
DPHX1600-84	125-150	70.00 x 129.63 x 96.00 (1,800 x 3,300 x 2,500)	25,000 (11,340)
DPSD2000-84	200-250	90.00 x 130.39 x 106 (2,286 x 3,312 x 2,692)	37,750 (17,123)

Quick reference to CPM Model Number System

Using the example Model Number: DPX1200-52

SP = Single Pair High DP = Double Pair High	X = Lower Horsepower HX = Higher Horsepower SD = Super Duty	1200 = 12 in (305 mm) 1400 = 14 in (356 mm) 1600 = 16 in (406 mm) 2000 = 20 in (508 mm)	52 = Roll Length (in inches)
--	---	--	---------------------------------

CONTACT US

To learn more about our powerful cracking mills and other processing equipment, contact a CPM representative or visit cpm.net today.

CPM, Ponca City

900 East Oakland Ave.
Ponca City, OK 74601
Ph: 580-765-778

CPM, Crawfordsville

1114 East Wabash Ave.
Crawfordsville, IN 47933
Ph: 765-362-2600
800-428-0846
Fax: 765-364-8010

CPM, Waterloo

2975 Airline Cir.
Waterloo, IA 50703
Ph: 319-232-8444
800-366-2563
Fax: 319-236-0481

CPM, Zaandam

Rijder 2
1507 DN Zaandam
The Netherlands
Ph: 31 (0)75 6512 611
Fax: 31 (0)75 6512 600

CPM, Singapore

21 Gul Dr.
Singapore 629470
Republic of Singapore
Ph: 65-6265-0701
Fax: 65-6268-6428

CPM, São Paulo

Av. Ibirapuera nº
2120 – cj 224 – Edifício
Contemporary Tower
Moema – São Paulo/SP
Brazil 04028-001
P: 55-11-3074-4099



ANEXO F – CATÁLOGO DE SEPARADORES DE CASCAS

Optimized design. For high system availability and easy access.



Technical data and capacities:

		SMA 203-3	SMA 206-6			SMA 203-3	SMA 206-6
Working width	mm	2,000	2,000	Product capacities			
Screen area				Wheat (0.75 t/m ³ , 18 % H ₂ O)	t/h	110	220
Preliminary screen	m ²	6	12	PS: D 8 mm, MS: Herringbone 2.25 mm			
Main screen	m ²	6	12	Barley (0.65 t/m ³ , 18 % H ₂ O)	t/h	90	180
				PS: D 8 mm, MS: Herringbone 2.25 mm			
Motor power				Canola (0.60 t/m ³ , 18 % H ₂ O)	t/h	45	90
Screen box	kW	2.2	3.0	PS: D 3.5 mm, MS: Herringbone 1.00 mm			
Inlet flap	kW	0.75	0.75	Maize / Corn (0.75 t/m ³ , 15 % H ₂ O)	t/h	110	220
Aspiration connection				PS: D 13 mm, MS: Herringbone 2.55 mm			
Inlet (at 40 mmWC)	m ³ /min	75	200	Maize / Corn (0.75 t/m ³ , 35 % H ₂ O)	t/h	55	110
Outlet (at 40 mmWC)	m ³ /min	170	350	PS: D 13 mm, MS: Blindsieve			
Total weight	kg	3,500	7,000	Soybeans (0.75 t/m ³ , 18 % H ₂ O)	t/h	100	200
Dimensions				PS: D 13 mm, MS: Herringbone 2.55 mm			
Width	mm	2,926	3,400	Sunflower (0.40 t/m ³ , 16 % H ₂ O)	t/h	55	110
Height	mm	2,750	4,286	PS: D 13 mm, MS: Herringbone 2.55 mm			
Depth / Length	mm	3,737	4,468				

Capacities refer to intake cleaning with input impurity content of max. 4% and given sieve proposals (PS: Preliminary screen; MS: Main screen).

Options to increase flexibility and meet all requirements:

In order to save air, the SMA 203-3 can be equipped with a double inlet instead of the inlet aspiration unit.

For easier access to the upper sieves of the SMA 206-6 and enhanced occupational safety, a **screen changing platform** can be fixed on the frame, featured with a space-saving swing-up mechanism.

Polyurethane plates can be installed as **wear protection** at the inlet, the inlet channels and the vertical sifter.

The **automatic inlet regulation** assures that any product is always spread uniformly across the whole working width without manual intervention.

ANEXO G – CATÁLOGO DE CONDICIONADORES

VERTICAL SEED CONDITIONER

HVSC 15 – 30 – 50 – 75 – 100 – 200 Model



HUM VERTICAL SEED CONDITIONER, a product of advanced technology;
150 to 2000 ton/day conditioning capacity
Long lifetime with low operational costs
Simple operation & Low Maintenance
Excellent conditioning with special elliptical tubes

HUM Vertical Seed Conditioners are designed as first stage of the Warm Dehulling process. Appropriate moisture and temperature adjustments before dehulling is ensured by set of transmitters.

With the best automation systems, everything is under your control.

Type	HVSC 15	HVSC 30	HVSC 50	HVSC 75	HVSC 100	HVSC 150	HVSC 200
Capacity (T/24h)	150	300	500	750	1000	1500	2000
Stroke	5	6	6	6	5	6	8
Pipe Length (mm)	1000	1500	2000	2500	3300	3300	3300
Main Motor (kW)	1,1	1,5	1,5	2,2	4	5,5	5,5
Overall Dimensions(mm)	10000x1750x2000	12000x2200x2550	12000x2800x3150	12000x3200x3550	11000x4100x4400	11000x4100x4400	14600x4100x4400

ANEXO H – CATÁLOGO DE LAMINADORES



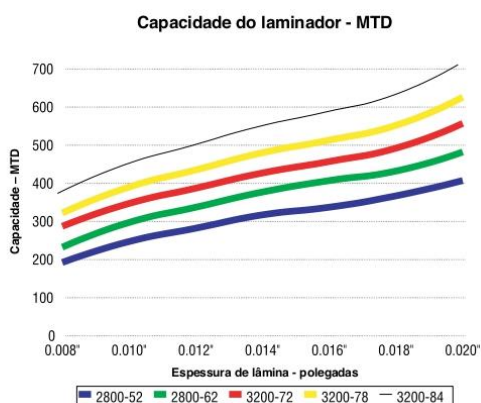
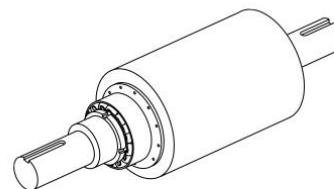
Vantagem Estratégica Roskamp Champion

A perfeita relação custo benefício. Em outras palavras, a longo prazo, oferecemos equipamentos e serviços que representam o melhor retorno para o investimento do cliente, com o menor custo operacional.

CARACTERÍSTICAS

Rolos

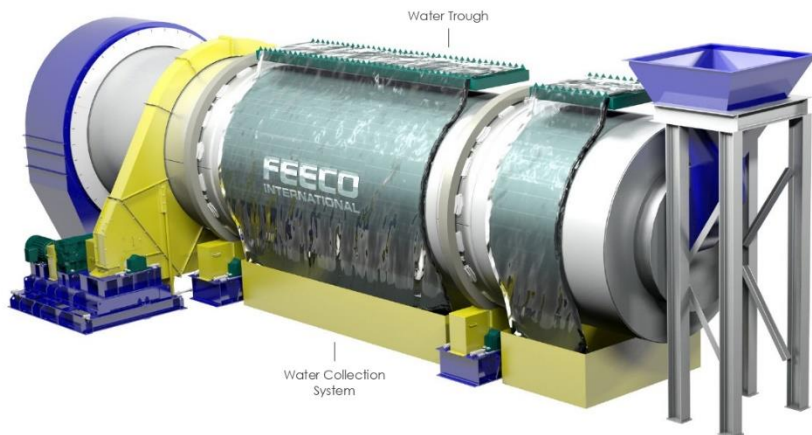
Os rolos são o coração de um laminador e a CPM Roskamp utiliza os melhores rolos disponíveis no mundo em seus laminadores. Todos os rolos são fundidos, usinados e retificados nas melhores especificações técnicas. Os rolos são balanceados dinamicamente em velocidades totais de operação para minimizar a vibração e prolongar a vida do rolamento.



MODELO	ALTURA Alimentador de rolo/pino	COMPRIMENTO polegadas (mm)	PROFUNDIDADE polegadas (mm)	PESO lbs. (kg.)	ACIONAMENTO MÁXIMO HP (kw)
2800-52	73,00" (1854)	107,00" (2718)	128,00" (3251)	34.000 (15,465)	125 (90)
2800-62	73,00" (1854)	118,00" (2997)	128,00" (3251)	39.000 (17,727)	150 (110)
3200-72	77,88" (1978)	125,94" (3199)	140,25" (3562)	40.000 (18,600)	150 (110)
3200-78	77,88" (1978)	131,94" (3351)	140,25" (3562)	42.000 (19,000)	200 (132)
3200-84	77,88" (1978)	137,94" (3504)	140,25" (3562)	44.000 (20,000)	200 (132)

WWW.CPM.NET

ANEXO I – CATÁLOGO DE SECADORES-RESFRIADORES



TYPICAL ROTARY DRYER & COOLER DATA

The chart below illustrates common rotary dryer and cooler data points. Please note that all FEEDCO equipment is custom engineered around the project at hand, and this data is only a general representation.

STANDARD				METRIC				HEAT SOURCE (Dryer only)	DRIVE SPROCKET OR GEAR
DIAMETER (FT.)	LENGTH (FT.)	CAPACITY (STPH)*	HP	DIAMETER (M)	LENGTH (M)	CAPACITY (MTPH)*	KW		
3'	20-30	8	7 1/2	.9	6-9	7	5.5	Gas or Oil	Sprocket
4'	20-30	20	10-15	1.2	6-9	18	7.5-11	Gas or Oil	Sprocket
5'	20-40	30	15-25	1.5	6-12	27	11.0-18.5	Gas or Oil	Sprocket
6'	30-50	45	25-40	1.8	9-15	41	18.5-30	Gas or Oil	Sprocket
7'	40-60	60	50-60	2.1	12-18	55	37-45	Gas or Oil	Sprocket
8'	50-70	80	75-125	2.4	15-21	73	55-90	Gas or Oil	Sprocket
9'	50-80	100	100-125	2.7	15-24	91	75-90	Gas or Oil	Sprocket
10'	50-80	125	100-200	3.0	15-24	114	75-150	Gas or Oil	Gear
11'	60-90	150	150-250	3.4	18-27	136	110-150	Gas or Oil	Gear
12'	60-90	180	200-300	3.6	18-27	164	150-220	Gas or Oil	Gear
13'	70-100	210	250-350	4.0	21-31	191	185-260	Gas or Oil	Gear
14'	70-100	250	300-400	4.3	21-31	227	225-300	Gas or Oil	Gear

*Varies with materials to be dried. Capacity based on 60#/Cu. Ft. granular fertilizer materials having up to 10% moisture removal.

INDIRECT ROTARY COOLERS

Indirect coolers, or indirect water deluge coolers, are a specialized type of industrial cooler used in applications where the processing environment must be tightly controlled, or when the material to be processed risks entrainment in a direct processing configuration.

Unlike their direct counterparts, indirect water deluge coolers avoid contact between the cooling medium and the material being processed. Instead, material is tumbled through a sealed rotating drum, which is externally bathed in cool water. The water cools the exterior of the drum, which in turn cools the material within. A water collection system collects the used water and passes it through a heat exchanger to re-cool it if needed. It is then recirculated to the trough above the drum for reuse in the bathing process.

Indirect water deluge coolers are typically constructed of stainless steel in order to protect the drum from the constant exposure to water, which can result in corrosion. Specialty alloys can be employed at the inlet of the drum to accommodate materials that are coming in at especially high temperatures.

Rotary Dryer
with knockers and
chamber and controls



ANEXO J – CATÁLOGO DE SEPARADORES DE FASES

SA



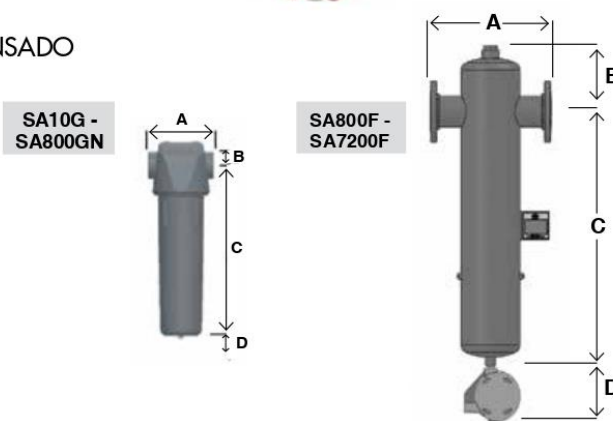
Separador de Condensado

BENEFÍCIOS

- Alta eficiência na remoção de condensado
- Manutenção simples
- Baixa perda de carga
- Dreno automático
- Carcaça em alumínio ou aço carbono
- Ampla faixa de vazão



EFICIÊNCIA NA SEPARAÇÃO DE CONDENSADO



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

MODELO	CONEXÃO	VAZÃO @7 barg (102 psi g)		DIMENSÕES (mm)				Peso Kg
		pcm	m³/h	A	B	C	D	
SA10G	G 1/4	32	54	90	30	201	60	1
SA15G	G 1/2	85	144	90	30	201	60	1
SA25G	G 3/4	127	216	90	30	201	60	1
SA50G	G 1	159	270	130	50	355	80	3
SA100G	G 1 1/2	318	540	130	50	355	80	3
SA250G	G 2	742	1.260	170	62	450	100	9
SA800GN	G 3	1.695	2.880	224	77	582	335	16
SA800F	3 F	1.695	2.880	450	217	907	180	70
SA1000F	4 F	2.119	3.600	450	231	949	180	80
SA1800F	6 F	3.814	6.480	580	328	1.045	180	160
SA3000F	8 F	6.357	10.800	750	425	1.140	180	295
SA4800F	10 F	10.171	17.280	862	501	1.284	180	550
SA7200F	12 F	14.885	25.920	1.000	547	1.302	180	735

G - Rosca BSPP Fêmea (opcional NPT), F - Flange conforme ANSI B16,5 150 lbs SORF

Pressão de Operação	barg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	psig	15	29	44	58	73	87	102	116	131	145	160	174	189	203	218	232	250	265	279	294
Fator de Correção		0,38	0,53	0,65	0,76	0,85	0,93	1,00	1,07	1,13	1,19	1,25	1,31	1,36	1,41	1,46	1,51	1,56	1,60	1,65	1,69

Exemplo: Se a vazão de ar comprimido é de 132 m³/h, a uma pressão de 15 barg, divide-se a vazão pelo fator de correção: 132 m³/h / 1,46 = 90 m³/h. Consultando a tabela de especificações técnicas temos o modelo SA15G.

Pressão de operação máxima **16 bar** • Temperatura de operação mínima **1,5 °C**, máxima **66 °C** • Perda de carga típica @ vazão de trabalho projetada **60 mbar**

Dados sujeitos a alteração - MARÇO/2020

hb soluções em ar comprimido eireli
Rua Francisco Pedro do Amaral, 314 • São Paulo • SP • Brasil • CEP 05334-110 • Tel.: 55 (11) 3766-3977 • sac@hb-arcomprimido.com
www.hb-arcomprimido.com

2/2

ANEXO K – CATÁLOGO DE TANQUES

**ANEXO L – DIMENSÕES NORMALIZADAS PARA TUBOS DE AÇO –
NORMAS ANSI B.36.10 E B.36.19, VEDATECH (2021)**

5. TUBOS DE AÇO – DIMENSÕES NORMALIZADAS

5.1. Tubos de Acordo com as Normas ANSI B.36.10 e B.36.19

Dimensões normalizadas e principais características físicas para os diâmetros e espessuras mais usuais dos tubos de aço, de acordo com as normas ANSI B.36.10 (para tubos de aço-carbono e aço de baixa liga), e ANSI B.36.19 (para tubos de aço inoxidáveis)
(V. Notas na página 19)

Diâmetro nominal (pol.) — Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área de seção livre (cm²)	Área de seção de metal (cm²)	Superfície externa (m²/m)	Peso aprox. (kg/m)		Momento de inércia (cm⁴)	Momento resistente (cm³)	Raio de giração (cm)
							Tubo cheio (v. Nota 5)	Conteúdo de água (v. Nota 6)			
1/4 — 13,7	10S Std, 40, 40S XS, 80, 80S	1,65 2,23 3,02	10,4 9,2 7,7	0,85 0,67 0,46	0,62 0,81 1,01	0,043 ↓	0,49 0,62 0,79	0,085 0,067 0,046	0,116 0,138 0,157	0,169 0,202 0,229	0,430 0,413 0,393
3/8 — 17,1	10S Std, 40, 40S XS, 80, 80S	1,65 2,31 3,20	13,8 12,5 10,7	1,50 1,23 0,91	0,81 1,08 1,40	0,054 ↓	0,63 0,84 1,10	0,150 0,123 0,090	0,236 0,304 0,359	0,285 0,354 0,419	0,551 0,531 0,506
1/2 — 21	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	2,77 3,73 4,75 7,47	15,8 13,8 11,8 6,4	1,96 1,51 1,10 0,32	1,61 2,06 2,47 3,52	0,071 ↓	0,42 1,62 1,94 2,55	0,20 0,15 0,11 0,03	0,71 0,84 0,92 1,01	0,67 0,78 0,86 0,95	0,66 0,64 0,61 0,56
3/4 — 27	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	2,87 3,91 5,64 7,82	20,9 18,8 15,6 11,0	3,44 2,79 1,91 0,95	2,15 2,90 3,68 4,63	0,083 ↓	1,68 2,19 2,88 3,63	0,34 0,28 0,19 0,10	1,54 1,86 2,19 2,41	1,16 1,40 1,65 1,81	0,85 0,82 0,77 0,72
1 — 33	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	2,87 4,55 6,35 9,09	26,6 24,3 20,7 15,2	5,57 4,64 3,37 1,82	3,19 4,12 5,39 6,94	0,105 ↓	2,50 3,23 4,23 5,44	0,56 0,46 0,34 0,18	2,64 4,40 5,21 5,85	2,18 2,63 3,12 3,50	1,07 1,03 0,98 0,92
1 1/4 — 42	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	3,56 4,85 6,35 9,70	35,0 32,5 29,4 22,7	9,65 8,28 6,82 4,07	4,32 5,68 7,14 9,90	0,132 ↓	3,38 4,46 5,60 7,76	0,96 0,83 0,68 0,41	8,11 10,06 11,82 14,19	3,85 4,77 5,61 6,74	1,37 1,33 1,29 1,20
1 1/2 — 48	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	3,68 5,08 7,14 10,16	40,8 38,1 33,9 27,9	13,1 11,4 9,07 6,13	5,15 6,89 9,22 12,2	0,151 ↓	4,04 5,40 7,23 9,53	1,31 1,14 0,91 0,61	12,90 16,27 20,10 23,64	5,34 6,75 8,33 9,80	1,58 1,54 1,48 1,39
2 — 60	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	3,91 5,54 8,71 11,07	52,5 49,2 42,9 38,2	21,7 19,0 14,4 11,4	6,93 9,53 14,1 17,1	0,196 ↓	5,44 7,47 11,08 13,44	2,17 1,90 1,44 1,14	27,72 36,13 48,41 54,61	9,20 11,98 16,05 18,10	2,00 1,95 1,85 1,79
2 1/2 — 73	Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	5,16 7,01 9,52 14,0	62,7 59,0 54,0 44,9	30,9 27,3 22,9 15,9	11,0 14,5 19,0 26,0	0,235 ↓	8,62 11,40 14,89 20,39	3,09 2,73 2,29 1,59	63,68 80,12 97,94 119,5	17,44 21,95 26,83 32,75	2,41 2,35 2,27 2,14
3 — 89	10S Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	3,05 5,48 7,62 11,1 15,2	82,8 77,9 73,6 66,7 58,4	53,9 47,7 42,6 34,9 26,6	8,22 14,4 19,5 27,2 35,3	0,282 ↓	6,44 11,28 15,26 21,31 27,65	5,39 4,77 4,26 3,49 2,68	75,84 125,70 162,33 209,36 249,32	17,06 28,26 36,48 47,14 56,22	3,04 2,96 2,89 2,78 2,66
4 — 114	10S Std, 40, 40S XS, 80, 80S 160 XXS	3,05 6,02 8,56 13,5 17,1	108,2 102,3 97,2 87,3 80,1	91,9 82,1 74,2 59,9 50,3	10,6 20,4 28,4 42,7 52,3	0,361 ↓	8,35 16,06 22,29 33,49 40,98	9,19 8,21 7,42 5,99 5,03	164,83 300,93 399,99 552,34 636,42	28,88 52,61 69,99 96,70 111,29	3,93 3,84 3,75 3,60 3,49
6 — 168	10S Std, 40, 40S XS, 80, 80S 120 160 XXS	3,40 7,11 10,97 14,3 18,2 21,9	161,4 154,0 146,3 139,7 131,8 124,4	204,5 186,4 168,2 153,4 136,4 121,5	17,6 36,0 54,2 69,0 86,0 100,9	0,535 ↓	13,82 28,23 42,51 54,15 67,41 79,10	20,45 18,64 16,82 15,34 13,64 12,15	599,37 1.171,3 1.685,7 2.064,5 2.455,8 2.759,6	71,30 139,32 200,45 245,52 291,91 328,29	5,83 5,70 5,58 5,47 5,34 5,23

**ANEXO M – VELOCIDADE DE ESCOAMENTO RECOMENDADA PARA
FLUIDOS, TERRON (2012)**

Tabela E.6 Velocidades recomendadas para líquidos

Fluido	Velocidade recomendada (m/s)
Água	
- Linha principal de abastecimento (16 in a 36 in)	2,4 a 3,0
- Linha de entrada ou saída de equipamento	2,4 a 3,7
- Linha de sucção de bomba	1,0 a 2,4
- Linha de descarga de bomba	1,8 a 3,6
Água do mar ou soluções salinas	1,5 a 2,4 (mínima = 1)
Ácido clorídrico	1,5
Ácido sulfúrico	1,2
Amônia	1,8
Benzeno	1,8
Bromo	1,2
Cloreto de cálcio	1,2
Cloreto de metila	1,8
Cloreto de vinila	1,8
Cloro	1,5
Clorofórmio (líquido)	1,8
1-2 Dibromo etano	1,2
1-2 Dicloro etano	1,8
1-1 Dicloro eteno	1,8
Estireno	1,8
Etileno glicol	1,8
Frações líquidas de petróleo e seus derivados de viscosidade média (até 10 MPa)	
- Sucção de bomba	0,9 a 1,8
- Descarga de bomba	1,5 a 2,4
- Escoamento por gravidade	1,5 a 2,4
Frações líquidas de petróleo e seus derivados de viscosidade alta (asfalto e óleos pesados)	
- Sucção de bomba	0,15 a 0,3
- Descarga de bomba	1,2 a 1,5
- Escoamento por gravidade	0,3 a 0,9
Hidróxido de sódio (até 30% em massa)	1,8
Hidróxido de sódio (30% a 50%)	1,5
Hidróxido de sódio (50% a 73%)	1,3
Óleos lubrificantes	1,8
Propileno glicol	1,5
Solução de aminas	1,5 a 2,1
Solução de cloreto de sódio (sem sólidos em suspensão)	1,5
Solução de cloreto de sódio (com sólidos em suspensão)	2,3
Tetracloroetano	1,8
Tetracloroeto de carbono	1,8
Tricloroetano	1,8

**ANEXO N – PERDAS DE CARGA RECOMENDADAS PARA 100 METROS
DE TUBO, TERRON (2012)**

Tabela E.10 Perdas de carga recomendadas para 100 m de tubo

Fluido	Perda de pressão admissível (kPa/100 m)
Água, óleos leves, óleos viscosos	
- Sucção de bomba	5,65 (média) 11,31 (máxima)
- Descarga de bomba (média pressão)	22,62 (média) 45,24 (máxima)
- Descarga de bomba (alta pressão)	67,86 (média) 90,47 (máxima)
- Escoamento por gravidade	3,39 (máxima)
Líquidos saturados ou à temperatura a menos de 10 °C do seu ponto de bolha	
- Sucção de bomba	1,13 (média) 5,65 (máxima)
- Descarga de bomba (média pressão)	22,62 (média) 45,24 (máxima)
- Descarga de bomba (alta pressão)	67,86 (média) 90,47 (máxima)
- Escoamento por gravidade	3,39 (máxima)

**ANEXO O – VELOCIDADE DE ESCOAMENTO RECOMENDADA PARA
VAPORES E GASES, USP (2024)**

Fluido	Velocidade recomendada (m/s)
Vapor d'água	
- Saturado de baixa pressão (até 207 kPa) para aquecimento	20 a 30 (máxima = 76)
- Saturado ou superaquecido de média pressão (207 kPa a 1034 kPa)	30 a 50 (máxima = 76)
- Saturado ou superaquecido de alta pressão (acima de 1034 kPa)	33 a 76
- Saturado na entrada de máquina acionadora de bomba ou turbina	30 a 45
- Superaquecido na entrada de turbina	45 a 100
- Exausto de turbina (até 207 kPa)	20 a 40
Acetileno	20
Ácido clorídrico (gás)	20
Amônia	30
Ar (101 kPa a 308 kPa)	20
Bromo (gás)	10
Cloreto de metila (gás)	20
Cloro (gás)	10 a 25
Clorofórmio (gás)	10
Dióxido de enxofre	20
Eteno	30
Gás natural	30
Hidrocarbonetos	
- Topo da coluna de fracionamento	máxima = 23
- Vapores úmidos	23 a 43
- Vapores secos	43 a 61
Hidrogênio	20
Oxigênio	20

**ANEXO P – VALORES PARA O COEFICIENTE K NO CÁLCULO DE
PERDA DE CARGA**

Perda Localizada: Valores do Coeficiente “K”

Quadro 3.9 – Valores aproximados do coeficiente de perda de carga localizada K

Peça	K	Peça	K
Ampliação gradual	0,30*	Medidor Venturi	2,50**
Comporta aberta	1,00	Pequena derivação	0,03
Controlador de vazão	2,50	Redução gradual	0,15*
Cotovelo ou joelho de 45°	0,40	Saída de canalização	1,00
Cotovelo ou joelho de 90°	0,90	Tê de passagem direta	0,60
Crivo	0,75	Tê de saída bilateral	1,80
Curva de 22,5°	0,10	Tê de saída de lado	1,30
Curva de 45°	0,20	Válvula borboleta aberta	0,30
Curva de 90°	0,40	Válvula de ângulo aberta	5,00
Entrada de Borda	1,00	Válvula de gaveta aberta	0,20
Entrada normal	0,50	Válvula de pé	1,75
Junção	0,40	Válvula de retenção	2,50
		Válvula globo aberta	10,00

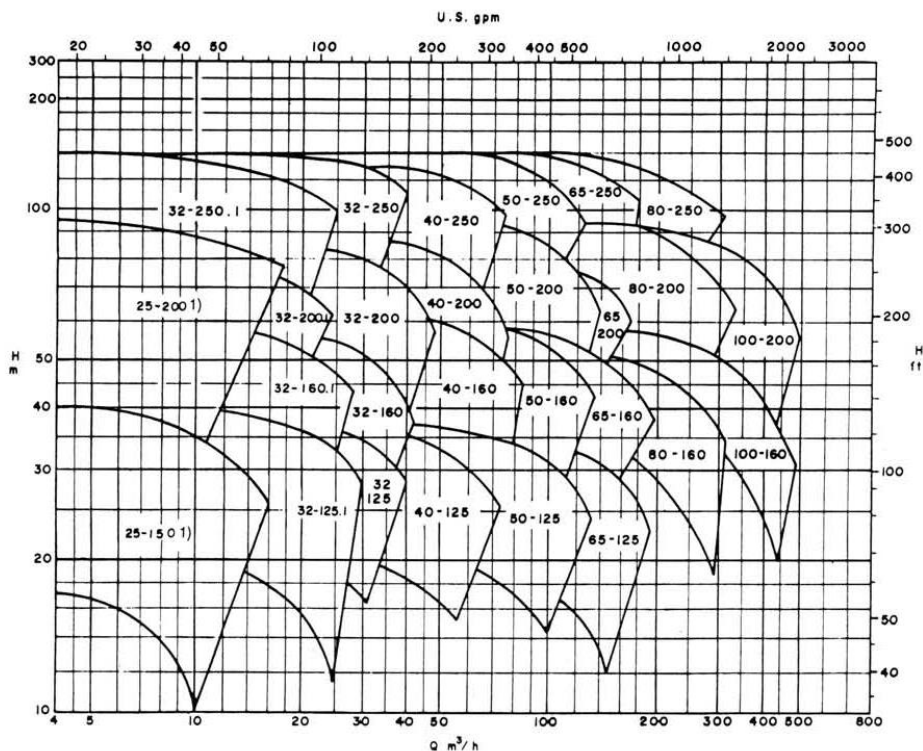
*Relativo à maior velocidade

**Relativo à velocidade na tubulação

Fonte - Adaptado de Azevedo Netto; Alvarez, 1988.

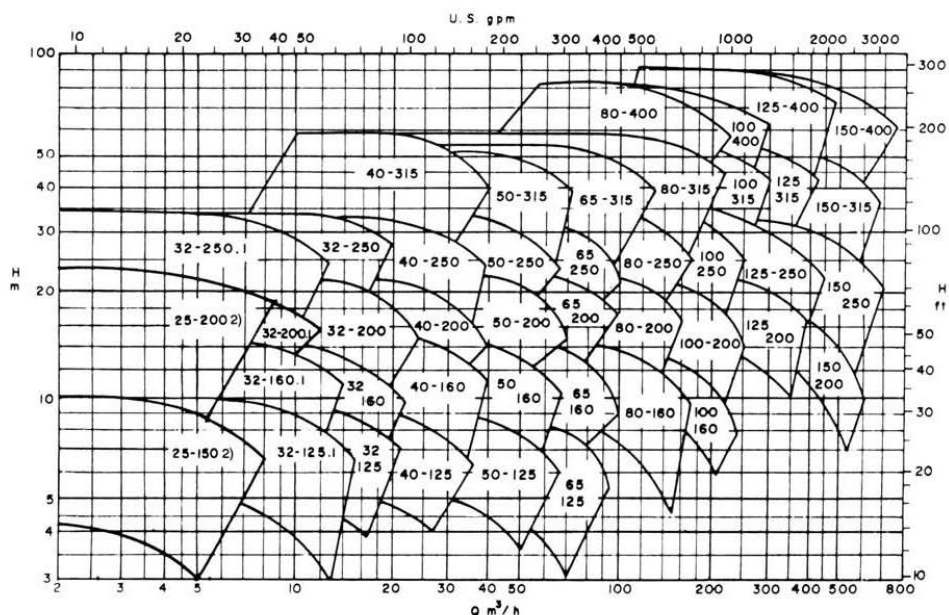
ANEXO Q – CATÁLOGO BOMBAS CENTRÍFUGAS

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM	Campo de Aplicação Selection Charts Campo de Aplicación	60 Hz	KSB 
--	---	---	--------------	--



- 1) Somente para KSB Meganorm e MegaBloc
 1) Used only for KSB Meganorm and MegaBloc
 1) Aplicable sólo para las bombas KSB Meganorm y MegaBloc

3500 rpm



- 2) Somente para KSB Meganorm
 2) Used only for KSB Meganorm
 2) Aplicable sólo para las bombas KSB Meganorm

1750 rpm