

NATÁLIA FERREIRA

**Avaliação e dimensionamento de equipamentos
para aumento da capacidade produtiva de uma
fábrica de rações**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2019

NATÁLIA FERREIRA

**Avaliação e dimensionamento de equipamentos para
aumento da capacidade produtiva de uma fábrica de
rações**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Aldemir Ap. Cavalini Júnior

NATÁLIA FERREIRA

**Avaliação e dimensionamento de equipamentos para
aumento da capacidade produtiva de uma fábrica de
rações**

Trabalho de conclusão de curso
APROVADO pela Faculdade de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Uberlândia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Aldemir Ap. Cavalini Júnior

Prof. Dr João Marcelo Vedovoto

Dra. Karina Mayumi Tsuruta

Uberlândia - MG

2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Leila e Arnaldo, por acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, especialmente aos meus pais, Arnaldo e Leila, e ao meu irmão Mateus, que sempre estiveram presentes e me encorajando ao longo da graduação;

Ao Prof. Dr. Aldemir Ap. Cavalini Júnior pela orientação, paciência e conhecimento, que foram fundamentais ao meu progresso;

Ao Eng. José Carlos Musegante Neto, por acreditar no meu potencial e me orientar ao longo do Estágio e início de carreira profissional;

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em especial à Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) e ao Laboratório de Mecânica de Estruturas (LMEst) pelo ensino e oportunidade;

Aos meus amigos da 90ª Turma de Engenharia Mecânica pelo companheirismo e todo apoio ao longo dos anos;

E, claro, a todos os professores, técnicos, auxiliares e colegas que tornaram esse título de bacharel possível.

FERREIRA, N. **Avaliação e dimensionamento de equipamentos para aumento da capacidade produtiva de uma fábrica de rações**. 2019, 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia – MG, Brasil.

RESUMO

No setor de Alimentos para Animais, o Brasil é o terceiro maior produtor de ração do mundo, sendo que em 2018 somou 68,9 milhões de toneladas de ração produzidas.

A expectativa é de crescimento, principalmente, em relação a produtos extrudados no mercado de alimentação para Peixes. Sendo que, nos últimos anos houve um aumento entre 8 a 10% ao ano em média e para os próximos anos, a previsão é de 5 % de aumento ao ano.

Neste contexto, com o aumento da demanda por produtos extrudados, é preciso adaptar a produção das fábricas para acompanhar o crescimento do mercado. Isso implica, muitas vezes, em modificar a linha de produção, mas para isso é necessária que seja feita uma avaliação dos equipamentos e do processo, de forma que seja tomada decisões estratégicas ao negócio.

Esse trabalho de conclusão de curso visa avaliar tecnicamente a capacidade dos equipamentos de uma fábrica de rações, detalhar o processo de validação do dimensionamento desses equipamentos, bem como, apresentar uma proposta de layout para o novo sistema, a fim de garantir o aumento da produtividade e acompanhar o crescimento do mercado.

FERREIRA, N. **Evaluation and sizing of equipment to increase the productive capacity of a feed mill.** 2019, 52 p. Monograph, Federal University of Uberlandia – MG, Brazil.

ABSTRACT

In the Animal Food industry, Brazil is the third largest producer in the world, and in 2018 added 68.9 million tons of feed produced.

The expectation is of growth, mainly, in relation to extruded products in the market of feed for Pisces. In recent years, there has been an increase between 8 and 10% per year on average and in the coming years, the forecast is 5% increase per year.

In this context, with the increase in the demand for extruded products, it is necessary to adapt the production of the factories to follow the growth of the market. This often implies modifying the production line, but for this it is necessary to make an evaluation of the equipment and the process, so strategic decisions can be made to the business.

This undergraduate thesis aims to technically evaluate the capacity of the equipment of a feed mill, to detail the validation process of the sizing of these equipments, as well as to present a layout proposal for a new screening system in order to guarantee the increase of productivity and to accompany the growth from the market.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elevador de Canecas.....	8
Figura 2 - Projeção da caneca representado pela letra "B".....	9
Figura 3 - Construção mecânica de um elevador de canecas	10
Figura 4 - Pé elevador de canecas.....	11
Figura 5 - Cabeça elevador de canecas.....	12
Figura 6 - Módulo que constitui o corpo do elevador de canecas	13
Figura 7 - Vista do interior de um elevador de canecas	14
Figura 8 - Esquema do acionamento excêntrico	20
Figura 9 - Peneira vibratória de acionamento excêntrico	21
Figura 10 - Comportamento coletivo das partículas peneiradas	22
Figura 11 - Desenho esquemática de uma peneira rotativa	23
Figura 12 - Capacidade atual das linhas de Extrusão combinadas.....	24
Figura 13 - Fluxograma do Processo Produtivo da linha de Extrusão.....	25
Figura 14 - Capacidade atual e capacidade desejada	25
Figura 15 - Fluxograma do processo de moagem e mistura.....	27
Figura 16 - Identificação do elevador EL 12 e peneira PE 03 no processo	29
Figura 17 - Ficha técnica do elevador EL12.....	30
Figura 18 - Elevador de Canecas EL 12	31
Figura 19 - Amostra da caneca do elevador EL12	34
Figura 20 - Representação da posição da caneca e do nível "water level"	34
Figura 21 - Segmentos utilizados para cálculo da altura do elevador	35
Figura 22 - dimensões do pé do elevador EL12.....	36
Figura 23 - Amostra de manutenções emergenciais no elevador EL12	38

Figura 24 - Peneira Excêntrica Vibratória PE 03.....	40
Figura 25 - Primeiro desenho para verificar limitantes de layout.....	41
Figura 26 - Peneira para teste de capacidade.....	42
Figura 27 - Melhor configuração encontrada para as novas peneiras rotativas	43
Figura 28 - Angulo complementar mostrado na configuração proposta	44
Figura 29 - Novos equipamentos do sistema de peneiramento em vermelho.....	45
Figura 30 - proposta final de layout para o novo sistema de peneiramento	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações segundo a ficha do equipamento	31
Tabela 2 - Dados medidos do elevador de canecas	37

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

ABIA	Associação brasileira da indústria de alimentos
h_f	Altura equivalente
C_m	Capacidade mássica de transporte
C_v	Capacidade volumétrica de transporte
P_{abs}	Potência absorvida
P_{mot}	Potência final do motor de acionamento
P_u	Potência utilizável
d_m	Densidade do material transportado
η_g	Fator de eficiência global
A	Largura da caneca
B	Projeção da caneca
C	Altura da caneca
Empresa N	Nome fictício da empresa estudada
h	Distância entre centros das polias inferior e superior
PIB	Produto Interno Bruto
Premix	Mistura com nutrientes necessários a ração
r	Raio da polia do elevador
T	Espessura da caneca
c	Capacidade volumétrica individual
g	Aceleração da gravidade
i	Fator de enchimento

n	Nº de canecas por metro
p	Passo entre canecas
v	Velocidade linear da correia
ω	Velocidade angular

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVO	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO 2	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Processo de Extrusão Termoplástica	4
2.1.1. Processo de Moagem.....	5
2.1.2. Processo de Mistura	6
2.2. Elevador de Canecas	7
2.2.1. Conceito	7
2.2.2. Elevador de Canecas Centrífugo.....	8
2.2.3. Principais Componentes	10
2.2.4. Dimensionamento	14
2.3. Peneira Industrial.....	18
2.3.1. Conceito	18
2.3.2. Peneira Excêntrica Vibratória	19
2.3.3. Peneira Rotativa (Trommels).....	22
CAPÍTULO 3	24
PROJETO.....	24
3.1. Escopo do Projeto	24
3.2. Descrição do Processo.....	26

3.3.	Avaliação das Capacidades dos Equipamentos	28
3.4.	Cálculo de Confirmação	30
3.4.1.	Elevador de Canecas EL 12	30
3.4.2.	Peneira Excêntrica Vibratória PE 03.....	39
3.5.	Desenho e Projeto	40
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES		46
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES		48
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....		49

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de alimentos registrou um crescimento de 2,08% em faturamento no ano de 2018, atingindo R\$ 656 bilhões, somadas exportação e vendas para o mercado interno, o que representa 9,6% do PIB, segundo a pesquisa conjuntural da ABIA – Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE ALIMENTOS, 2019).

No setor de Alimentos para Animais, o Brasil é o terceiro maior produtor de ração do mundo, ficando atrás da China e dos Estados Unidos segundo a 6ª edição da “Pesquisa Global Alltech: Produção de Ração 2017”. (H.J. BAKER, 2018).

A pesquisa avaliou 144 países, contabilizando um total de mais de um bilhão de toneladas de ração produzidas no mundo. Segundo ela, a primeira colocada no ranking é a China, que produziu 187,2 milhões de toneladas, o segundo é os Estados Unidos com 169,7 milhões de toneladas produzidas e o terceiro colocado, o Brasil, que somou 68,9 milhões de toneladas de ração. (H.J. BAKER, 2018).

Na 7ª edição da “Pesquisa Global Alltech: Produção de Ração 2018”, o Brasil se destaca com crescimento em duas vertentes diferentes. O primeiro resultado em relação à produção de ração para aquicultura, no qual países com um número menor de produção de ração nesse ramo, como o Chile, Peru, e oriente médio, liderados pelo Irã, cresceram significativamente. (H.J. BAKER, 2018).

O segundo resultado, mostra que o Brasil vem se destacando com um crescimento na produção de ração para equinos, sendo que a América Latina e Ásia-Pacífico apresentaram um crescimento de 108 e 160 mil toneladas respectivamente. (H.J. BAKER, 2018).

Nesse contexto, a empresa estudada é líder em produtos e soluções de valor agregado, tanto para animais de grande porte como animais de estimação. Sendo que para fins didáticos, a empresa será intitulada pelo nome fictício de “Empresa N”.

Segundo dados apresentados pelo setor de engenharia de processos da Empresa N, a demanda de produtos extrudados está aumentando no mercado de alimentação para Peixes. Sendo que, nos últimos anos houve um aumento entre 8 a 10% ao ano em média e para os próximos anos, a previsão é de 5 % de aumento ao ano.

Com o aumento da demanda por produtos extrudados, é preciso adaptar a produção das fábricas para acompanhar o crescimento do mercado. Isso implica, muitas vezes, em modificar a linha de produção, mas para isso é necessária que seja feita uma avaliação dos equipamentos e do processo, de forma que seja tomada decisões estratégicas ao negócio.

OBJETIVO

Neste contexto de aumento da demanda, especialmente por produtos relacionados a alimentação de peixes, a Empresa N tem dificuldades de entrega dos produtos no tempo solicitado pelo cliente, devido à alta demanda da produção, muitas vezes ocasionando a perda de oportunidades de venda.

Avaliando-se as unidades da Empresa N no Brasil, a fábrica de Descalvado-SP possui as melhores oportunidades para aumentar a capacidade de produção, por causa de alguns fatores como o baixo custo de matéria-prima, baixo custo de produção e melhor localização se comparada as outras unidades no Brasil.

Dessa forma, será necessário adaptar os equipamentos de uma das linhas de produção da unidade de Descalvado-SP para atender ao crescimento do mercado de nutrição animal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar tecnicamente a capacidade dos equipamentos a fim de atingir o aumento da demanda de uma fábrica de rações em Descalvado-SP;
- Detalhar o processo de validação do dimensionamento de equipamentos utilizando o Método de Tempo de Processo e o Cálculo Teórico;
- Oferecer uma proposta para o layout de equipamentos segundo a facilidade de operação e manutenção;

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processo de Extrusão Termoplástica

O processo de extrusão termoplástica de alimentos é uma tecnologia que teve origem na indústria de plásticos e já conta com mais de 70 anos. Extrusores mono roscas foram utilizados em 1935 para dar forma a macarrões e cereais pré-cozidos, mas somente nos anos 40 foram desenvolvidos extrusores com grandes motores elétricos, para cozimento, com o propósito de preparar snacks (GUERREIRO, 2007).

Desde então, o processamento de alimentos por extrusão termoplástica vem ganhando destaque e expansão na indústria de alimentos por ser uma importante técnica que, além de aumentar a variedade de alimentos processados, apresenta muitas vantagens quando comparado a outros sistemas de processamento de alimentos, como versatilidade, custo relativamente baixo, alta produtividade e, por representar um processo ambientalmente seguro, é uma tecnologia catalogada como limpa (GUY, 2001; SILVA, 2007).

A extrusão termoplástica é um processo no qual a ação mecânica é combinada com o calor para, continuamente, misturar, plasticizar e gelatinizar o amido, desnaturar materiais proteicos e inativar enzimas, formando novas estruturas (DING et al., 2005; CARVALHO et al., 2010; SOUZA e MENEZES, 2008).

A extrusão é um processo extremamente versátil e o equipamento pode se comportar como trocador de calor devido às trocas térmicas envolvendo as paredes do cilindro, a rosca e o material. Desempenha, também, a função de reator químico de processamento de alimentos em condições de altas temperaturas (até 250°C), altas pressões (até 25,0 MPa), num tempo de residência curto (1 a 2min). Nessas

condições, há durante o processo, abertura das estruturas terciárias e quaternárias dos biopolímeros, resultando na quebra e rearranjo das pontes de hidrogênio e dissulfetos, permitindo a plastificação e a formação de texturas desejáveis (SEBIO, 2003; BORBA, 2005).

2.1.1. Processo de Moagem

A redução do tamanho das partículas tem como principais funções no processo proporcionar uma mistura homogênea dos ingredientes e facilitar sua extrusão (FRAILHA, 2005). O principal método de redução do tamanho das partículas é a moagem com moinhos de martelo (COWELL et al., 2000). Segundo BELLAVER & NONES (2000), a moagem e a mistura dos ingredientes são o “coração” de uma fábrica de ração e a consistência desses processos produz forte impacto na qualidade final dos produtos.

O moinho de martelo consiste basicamente em um conjunto de facas rombas, denominados de martelos. Esses martelos possuem alguns milímetros de espessura. São perfilados paralelamente uns aos outros e fixos a um eixo de alta rotação. Ao redor desse sistema é fixada uma peneira. Os diâmetros dos furos das peneiras variam, dependendo da característica final desejada do produto. O sistema de martelos e peneira está contido na câmara de moagem (ALLES, 2003).

Os ingredientes que serão moídos entram na câmara de moagem por ação da gravidade, encontrando os martelos que estão em alta rotação. Esse contato irá reduzir o material ao estado semi-moído ou moído, dependendo da característica do ingrediente utilizado. Isso ocorre devido ao grande diferencial de velocidade entre os martelos e o material que entra. Além disso, o material será propelido diretamente para a peneira. Após essa primeira ação, as partículas que restam igualam sua velocidade à dos martelos. O atrito gerado entre os ingredientes e a peneira irá proporcionar a redução do tamanho das partículas.

Uma vez reduzidas, as partículas irão passar pelos forames da peneira, impulsionadas pela força centrífuga (OWENS & HEIMANN, 1994).

Estima-se que 3% de toda a energia consumida no mundo seja gasta para a redução do tamanho de partículas, incluindo minérios e insumos para as indústrias química, farmacêutica e alimentícia (TAVARES, 2001). Desse modo, apesar da moagem proporcionar uma mistura homogênea dos ingredientes, facilitar o processo de extrusão e melhorar a qualidade final dos produtos, ela é também responsável por uma grande parcela do custo de produção das rações (BAZOLLI, 2007).

Portanto, é de grande importância uma avaliação e dimensionamento dos equipamentos no setor de Moagem.

2.1.2. Processo de Mistura

Como mencionado no item anterior, a moagem e a mistura dos ingredientes são o “coração” de uma fábrica de ração, isso pois a consistência desses processos produz forte impacto na qualidade final dos produtos. (BELLAVÉR & NONES, 2000)

Toso (2008), define uma boa mistura como sendo uma perfeita homogeneização, e que esse processo é influenciado pelas características dos ingredientes, sendo que o tempo de mistura pode diminuir ou aumentar de acordo com essas características.

Alguns fatores podem influenciar o processo de mistura. O primeiro é a carga estática, já que as partículas podem adquirir cargas estáticas devido a colisões com outras partículas ou com partes do misturador, sendo que quanto mais fino mais este efeito ocorre, pois, partículas finas possuem maior área de contato. Caso as partículas adquiram carga corre-se o risco de elas ficarem aderidas as partes metálicas do equipamento. (LARA, 2010)

Outro fator é o tamanho da partícula, isso porque quando duas matérias primas têm tamanhos de partículas muito diferentes pode ocorrer a separação delas. Também influencia na mistura a densidade da partícula, pois as partículas com menor densidade descem menos que as de maior densidade, o que pode acarretar a desmistura ou separação entre elas. (LARA, 2010)

Além desses fatores, pode influenciar na mistura as propriedades hidrocólicas, sendo a propriedade de uma substância ou partícula em absorver água, e isso faz com que as partículas se agreguem formando grumos (matéria aglomerada),

aumentando o tamanho das partículas e impedindo seriamente um ingrediente de se distribuir na mistura. (LARA, 2010)

A mistura pode ser, também, influenciada pelo formato das partículas, pois a forma das partículas pode influenciar as propriedades de fluxo e de armazenagem do produto. Por exemplo, as partículas arredondadas caem mais rapidamente e tendem a permanecer em movimento, já as partículas planas tendem a cair mais lentamente e permanecer na posição. (LARA, 2010)

Além das propriedades das matérias primas, o processo de mistura em si é de fundamental importância para uma boa qualidade da ração. Tais como, o tempo de mistura, o projeto do misturador, manutenção constante dos equipamentos, entre outros. (BELLAVÉR & NONES, 2000)

Porém, citados alguns dos fatores que influenciam na mistura adequada, vale a pena destacar a influência dos transportadores. Isso, pois, os transportadores podem causar a desmistura da ração. Por exemplo, roscas transportadoras mal dimensionadas, elevadores de canecas muito altos ou que atinjam velocidades superiores a 2 m/s, vibradores em silos mal dimensionados, são fatores que podem causar a segregação das partículas ocasionando a desmistura.

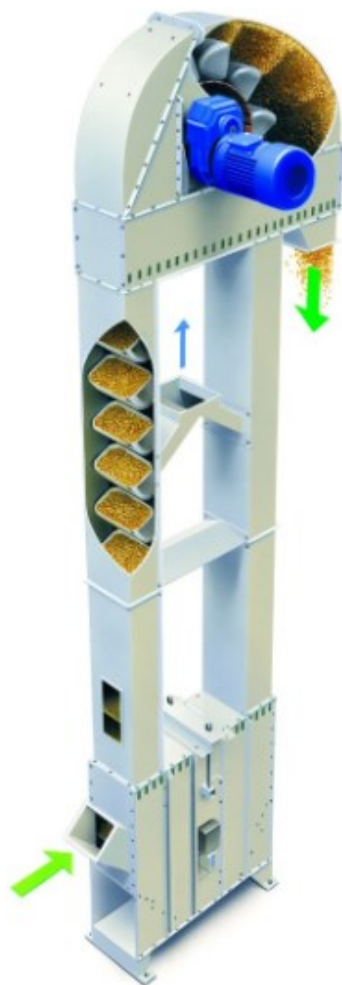
Por isso se dá a importância de respeitar as especificações estabelecidas pelos fabricantes. Os fabricantes licenciados vão disponibilizar um manual de utilização e de manutenção, a fim de garantir a melhor eficiência e qualidade do equipamento ao processo em que está inserido. Qualquer alteração nas características do equipamento por parte da fábrica, sem uma autorização prévia do fabricante, pode gerar em perdas ao processo e qualidade do produto, por exemplo ocasionando a desmistura.

2.2. Elevador de Canecas

2.2.1. Conceito

O elevador de canecas, também conhecido como elevador de caçambas, é um transportador utilizado para elevar materiais sólidos a granel verticalmente.

Figura 1 - Elevador de Canecas



Fonte: adaptado de BRATNEY COMPANIES et al., 2017

Em um elevador de canecas, uma série de caçambas são fixadas em uma correia ou presas a uma corrente, sendo que esse sistema rotaciona de maneira a passarem por uma seção de carregamento, onde as caçambas se enchem e elevam o material sólido a granel até uma altura de descarga, a qual o material é despejado por uma força centrífuga ou pela ação da gravidade.

2.2.2. Elevador de Canecas Centrífugo

Este tipo de elevador tem as canecas espaçadas, operam na vertical e em grande velocidade. A descarga do material elevado é feita pela ação da força

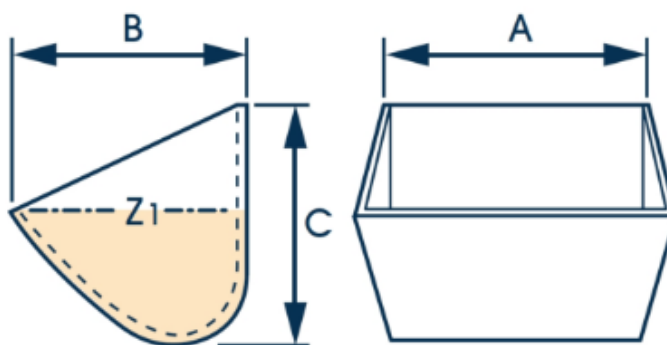
centrífuga desenvolvida quando as canecas passam ao redor do tambor de acionamento. É indicado para elevação de materiais de livre vazão, tais como grãos, areia, carvão triturado e produtos químicos secos. (CAP 6 - Elevador de Canecas, UFBA, 2012)

Na elevação de grãos, a velocidade da correia pode atingir até 250 m/min, (4,17m/s). Enquanto para o uso industrial, na elevação de outros produtos a velocidade pode chegar no máximo a 130 m/min (2,17 m/s). (CAP 6 - Elevador de Canecas, UFBA, 2012)

O espaçamento das canecas na elevação de grãos em elevadores de alta velocidade e alta capacidade pode variar de 1,5 a 2 vezes o valor de sua projeção, enquanto para os elevadores industriais deve ser de 2 a 3 vezes o valor de sua projeção. (CAP 6 - Elevador de Canecas, UFBA, 2012)

Na figura 2 é possível entender o contexto de projeção da caneca citado no parágrafo anterior:

Figura 2 - Projeção da caneca representado pela letra "B"



Fonte: adaptado de DIN 15233 et al., 1980

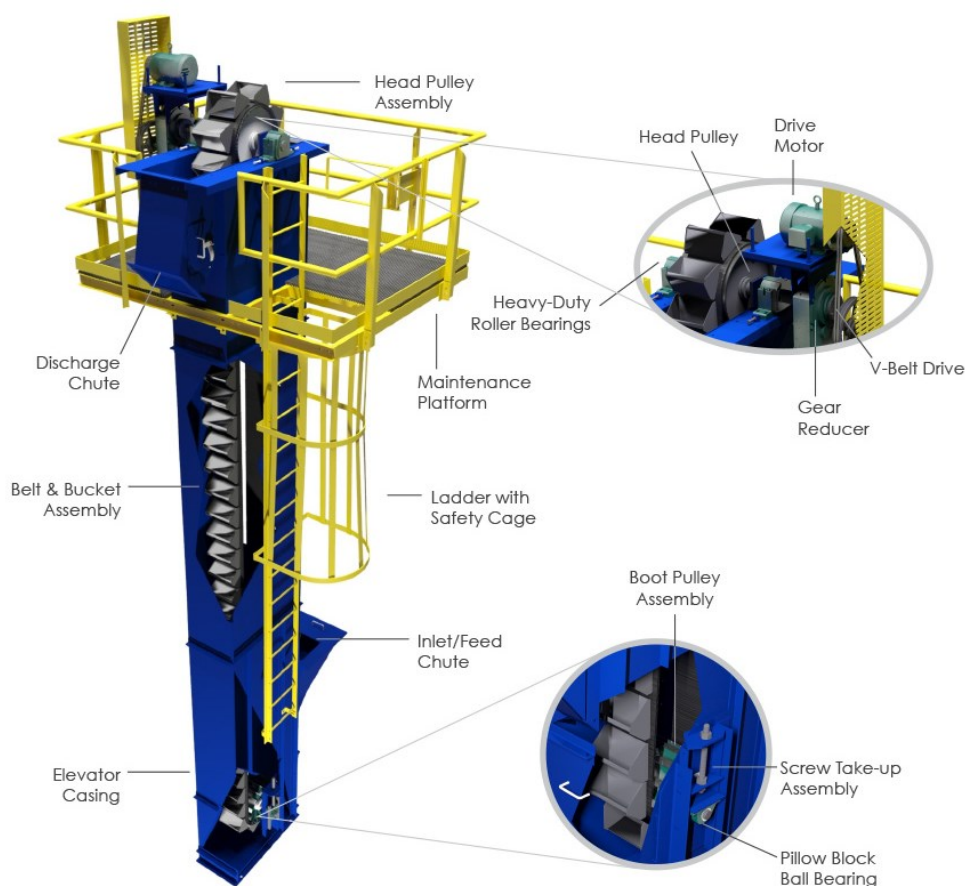
A fixação das canecas pode se dar em correia ou corrente. Sendo que, de correia são normalmente utilizados para transporte de materiais finos, secos e de fácil escoamento, e que não possuem fragmentos que possam danificar a correia. Suas canecas são fixadas diretamente na correia por parafusos, com o espaçamento ideal para permitir o basculamento da caneca. (CAP 6 - Elevador de Canecas, UFBA, 2012)

Já os de fixação por correntes, são também utilizados para materiais de escoamento fácil e não abrasivos, que possam estar depositados no fundo do transportador. Para o deslocamento da corrente são utilizadas rodas dentadas, que impossibilitam o deslizamento durante os carregamentos (WEBER, 2004).

2.2.3. Principais Componentes

O elevador de canecas é composto basicamente por cinco componentes: o pé do elevador, as calhas, a corrente ou correia com canecas, cabeça e o acionamento. (YAMAKI, 2014)

Figura 3 - Construção mecânica de um elevador de canecas



Fonte: Adaptado de FEECO INTERNATIONAL et al., 2018.

O pé do elevador é um componente existente na parte inferior do elevador onde é realizado o carregamento do material. É formado por chapas metálicas e, por se tratar do componente inferior do equipamento, o mesmo deve ser fixado no piso. Um exemplo de pé do elevador é mostrado na figura 4, sendo que entre os principais componentes presentes no pé do elevador estão a polia inferior (ou tambor de retorno), esticador da correia, boca de alimentação e janela de inspeção e limpeza. (JUNIOR, 2016)

Figura 4 - Pé elevador de canecas



Fonte: Adaptado de CLAM IND et al., 2013.

A polia inferior é o componente onde é fixada a correia com as canecas na parte inferior do elevador. É responsável por retornar as canecas vazias para o carregamento e posteriormente iniciar a subida novamente para a cabeça. (JUNIOR, 2016)

O esticador da correia faz o alongamento da correia, geralmente por meio de fusos com roca. Já a boca de alimentação consiste na entrada para o produto, que podem estar na posição posterior, do lado descendente das canecas, ou na posição anterior, no lado ascendente das canecas. Por último, a janela de inspeção e limpeza que serve para inspecionar e limpar o pé do elevador.

A cabeça do elevador é constituída por chapas metálicas. Trata-se do componente que faz a descarga do produto pela ação da força centrífuga. A cabeça do elevador de canecas possui como principais componentes a polia superior (ou

tambor de acionamento), boca de descarga, janela de inspeção e limpeza e acionamento. A boca de descarga situa-se sempre no lado descendente das canecas. (adaptação JUNIOR, 2016)

A polia superior é o componente onde é fixada a correia com as canecas na parte superior do elevador. É responsável pela movimentação da correia que, por meio de um eixo, é ligada a um acionamento externo. (JUNIOR, 2016)

A boca de descarga é constituída de um prolongamento para minimizar os danos causados ao produto devido ao impacto que sofrem nas paredes da cabeça. (JUNIOR, 2016)

A janela de inspeção e limpeza serve para inspecionar e limpar a cabeça do elevador, enquanto que o acionamento é responsável pela força motriz do equipamento, uma vez que é constituído de um motorreductor ou de um motor e um redutor ligados por acoplamentos. (JUNIOR, 2016)

Figura 5 - Cabeça elevador de canecas

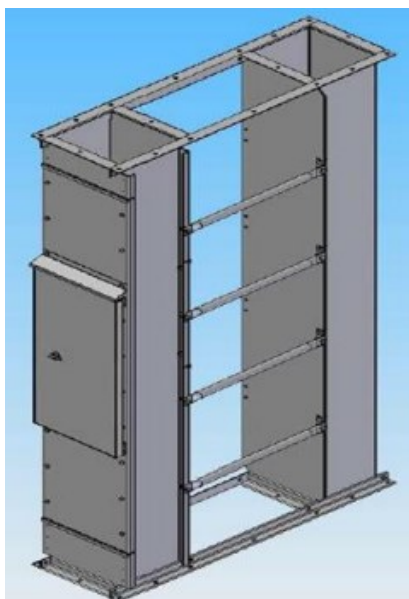


Fonte: Adaptado de AGACLI Silo et al., 2015.

O corpo do elevador é a parte que compreende entre a cabeça e o pé do elevador, possui construção de forma modular, com suas extremidades flangeadas e comprimentos variáveis sendo confeccionados de chapa de aço. Em outras palavras, o corpo é formado por módulos de sustentação composto por calha com seção retangular e um flange em cada ponta para a união entre eles por meio de parafusos. (adaptação YAMAKI, 2014 e JUNIOR,2016)

A calha, que é composta por perfis formados a frio, também serve como condutora da correia com as canecas, as quais fazem a movimentação vertical do produto. No seu interior são efetuados os movimentos ascendentes e descendentes das canecas. Existe também o módulo de inspeção, que possui uma tampa que se destina a inspeção interna. (adaptação JUNIOR,2016)

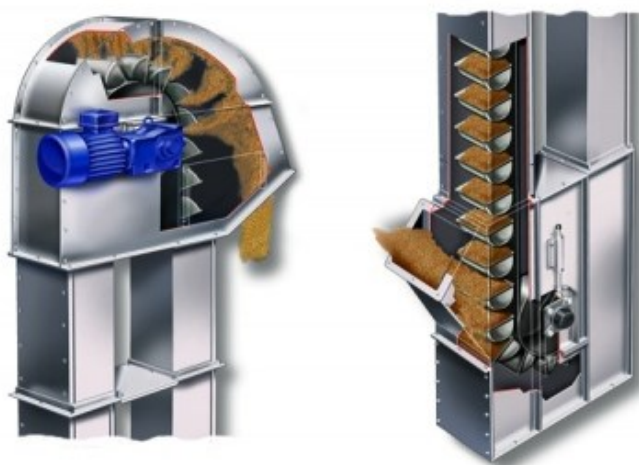
Figura 6 - Módulo que constitui o corpo do elevador de canecas



Fonte: Adaptado de YAMAKI et al., 2014

As correias e as canecas são componentes que fazem a movimentação vertical dos produtos. As canecas são fixadas ao longo da correia em passos iguais e servem para carregar o produto da boca de entrada no pé do elevador até cabeça que, por sua vez, utilizando-se da força centrífuga, arremessa o produto para fora da caneca em direção a boca de descarga. (JUNIOR, 2016)

Figura 7 - Vista do interior de um elevador de canecas



Fonte: Adaptado de GUTTRIGDE et al., 2014

2.2.4. Dimensionamento

Segundo Junior (2016), alguns fatores são importantes de serem observados, visto que influenciam diretamente na capacidade de um elevador de canecas, dentre eles:

Capacidade volumétrica individual da Caneca (c) - Esse é o volume total do produto a ser mantido dentro de cada caneca (m^3). Uma ressalva para isso é que uma caneca terá um volume de trabalho máximo, geralmente entre de 75% e 90% do volume total, para minimizar o derramamento por causa do enchimento excessivo e evitar o balanço exagerado.

Passo entre Canecas (p) – Consiste no espaçamento entre as canecas ou, em outras palavras, a distância entre os centros de cada caneca. As canecas devem ter um passo de forma que não haja bloqueio no momento da carga ou descarga do produto. De forma que, geralmente pede-se que o espaçamento seja de 2 a 3 vezes o valor de sua projeção (como visto na figura 2).

Velocidade linear da correia (v) – Está associada a velocidade de rotação da polia. É a taxa na qual os produtos estão viajando (m/s), também conhecida como a velocidade da caneca. Geralmente, para indústria alimentícia, é recomendada que a velocidade seja no máximo de 130 m/min (2,17 m/s).

A capacidade volumétrica de transporte (C_v) é a capacidade em volume por unidade de tempo que o elevador de canecas fornece, sendo que depende da velocidade linear da correia (v), do passo entre as canecas (p) e da capacidade volumétrica individual da caneca (c). (JUNIOR, 2016)

$$C_v = \frac{c \times v}{p} \quad (1)$$

Ou, também pode-se utilizar o número de canecas por metro (n) ao invés do passo entre canecas (p). A equação ficaria:

$$C_v = c \times v \times n \quad (2)$$

Por exemplo:

Velocidade da caneca = 1,5 m/s

Passo da caneca = 0,25 m ou 4 canecas por metro (can/m)

Capacidade da caneca = 0,003 m³ (ou 3 litros)

$$C_v = c \times v \times n$$

$$\frac{m^3}{s} = \frac{m^3}{can} \times \frac{m}{s} \times \frac{can}{m}$$

$$0,003 \frac{m^3}{can} \times 1,5 \frac{m}{s} \times 4 \frac{can}{m} = 0,018 \frac{m^3}{s}$$

1 hora = 60 minutos = 3600 segundos

$$0,018 \frac{m^3}{s} \times \frac{1 \text{ hora}}{1 \text{ hora}} = 0,018 \frac{m^3}{s} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 64,8 \frac{m^3}{h}$$

A capacidade mássica de transporte (C_m) é a capacidade em massa por unidade de tempo que o elevador de canecas fornece. Depende da capacidade volumétrica de transporte (C_v), da densidade do material transportado (d_m) e o fator de enchimento (i). Este fator também conhecido como eficiência das canecas é uma consideração devido à caneca não ficar totalmente cheia no momento de sua carga. A quantidade de material que entra na caneca depende principalmente do tipo de material transportado, da configuração de entrada do material, da forma, da velocidade e do passo das canecas fixas na correia. (JUNIOR, 2016)

$$C_m = C_v \times d_m \times i \quad (3)$$

Normalmente, é utilizada na indústria a unidade de medida em TON/h para a capacidade mássica de transporte (C_m). E, geralmente, essa é a informação limitante do projeto, visto que deve ser baseada na capacidade de produção da linha para que o equipamento não se torne um gargalo.

Então, por exemplo:

Assumindo que a densidade do material transportado (d_m) seja 0,4 TON/m³ (400kg/m³) e que canecas encham 90% da capacidade máxima, temos o fator de enchimento (i) igual 0,9. Continuando com o exemplo anterior:

$$C_m = C_v \times d_m \times i$$

$$64,8 \frac{m^3}{h} \times 0,4 \frac{TON}{m^3} \times 0,9 = 23,3 TON/h$$

Vale observar que as indústrias lidam com uma enorme variedade de produtos, sendo que estes possuem densidades diferentes.

Obs.: Caso a densidade do produto não seja conhecida, precisa-se colher uma amostra do produto. O cálculo da densidade pode ser feito enchendo-se um recipiente

de volume conhecido com a amostra de produto. Dessa forma, dividindo a quantidade de massa (em kg) do produto pelo volume do recipiente (m^3), teremos a densidade em kg/m^3 . Dividindo esse resultado por 1000, teremos a conversão em TON/m^3 .

A critério de comparação, caso tivéssemos um produto de maior densidade, teríamos uma maior capacidade. Isso pois, quanto menor a densidade maior a quantidade de produto e, assim, menor a capacidade do equipamento.

$$\downarrow \textit{densidade} = \uparrow \textit{Qtd. de produto}$$

Logo, deve-se dimensionar o transportador para o produto de menor densidade que passa pela linha de produção. Pois, essa será a situação crítica, a qual o transportador terá a menor capacidade produtiva.

Sobre a potência absorvida (P_{abs}), é a potência necessária para elevar o material até uma altura desejada. Depende da capacidade mássica (C_m), da distância (h) entre os centros das polias inferior e superior do elevador de canecas e da aceleração da gravidade ($g = 9,81 m/s^2$). (JUNIOR, 2016)

$$P_{abs} = C_m \times h \times g \quad (4)$$

Segundo Woodcock e Mason (1987) a principal solicitação de potência é na elevação do material. Mas também se tem uma solicitação de potência no momento do carregamento da caneca. Essa consideração de aumento de potência utilizável (P_u) é feita através de uma altura equivalente (h_f), adicionada na equação (4), conforme mostra a equação (5). (JUNIOR, 2016)

$$P_u = C_m \times (h + h_f) \times g \quad (5)$$

Para definir a potência final pelo motor de acionamento é preciso levar em consideração outros efeitos como a resistência com o atrito e efeitos dinâmicos de inércia. Isso é feito incluindo um fator de eficiência global de acionamento (η_g), geralmente compreendido entre 0,8 e 0,85.

$$P_{mot} = \frac{P_u}{\eta_g} \quad (6)$$

2.3. Peneira Industrial

2.3.1. Conceito

Entende-se por peneiramento, a separação de um material em duas ou mais classes, estando estas limitadas uma superior e outra inferiormente. O material retido na tela da peneira é denominado oversize e o passante, undersize.

Segundo Luz e Carvalho (2005), peneiramento é o processo de separação de um material granular não coeso em duas ou mais diferentes classes de tamanho de partículas, mediante uma ou mais superfícies vazadas com aberturas de dimensões definidas.

Essa classificação por tamanho, portanto, é feita por barreira mecânica. É um processo do tipo "passa/não passa" e as barreiras são constituídas pelos fios da malha. Em geral, peneira refere-se à superfície tecida com fios espaçados regularmente e crivos àquela feita de chapa perfurada. (LUZ E CARVALHO, 2005)

Os objetivos usuais do peneiramento industrial são: evitar a entrada de partículas menores, ou subtamanho (undersize) no equipamento a jusante; evitar que o sobretamanho (oversize) passe para os estágios subseqüentes; bitolar adequadamente o material para aumento da eficiência das operações a jusante ou para adequar um produto a especificações. (LUZ E CARVALHO, 2005)

A quantificação da partição do fluxo de alimentação é fortemente dependente da distribuição de probabilidade de passagem de cada classe granulométrica pelas aberturas das telas, probabilidade essa influenciada pelas condições de operação e pela relação entre o tamanho de partícula e tamanho de abertura efetiva. (LUZ E CARVALHO, 2005)

2.3.2. Peneira Excêntrica Vibratória

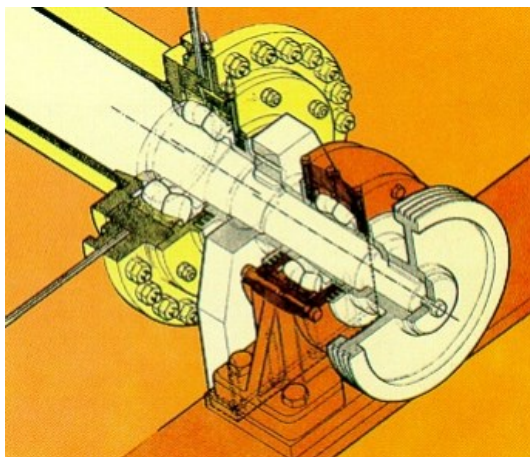
As peneiras excêntricas possuem movimento circular, ou seja, necessitam de trabalharem inclinadas com relação ao plano horizontal. A inclinação varia de 10° a 30° e o corte, entre 5 e 300 mm, de acordo com HBL (2004).

A construção da caixa das peneiras excêntricas é composta basicamente de chapas laterais reforçadas com perfis “U” ou cantoneiras. Os decks são formados por travessas: vigas transversais ao fluxo de material; e por longarinas: vigas longitudinais ao fluxo de material e telas. A caixa da peneira é apoiada sobre molas helicoidais ou coxins e vibra livremente sobre os mesmos. (IIZUKA, 2006)

O acionamento possui um eixo com excentricidade usinada em suas extremidades, sendo que existem dois mancais internos fixados à caixa da peneira; e outros dois mancais externos montados em uma base estática. Uma vez que os mancais da caixa estão fora de centro em relação aos mancais estacionários, a rotação do eixo impõe um movimento circular a parte vibrante da peneira. O movimento do eixo é similar ao de uma manivela e a amplitude da peneira é dada pela excentricidade do eixo. (IIZUKA, 2006)

Em seguida, é mostrado na figura 8, o esquema de montagem do acionamento excêntrico.

Figura 8 - Esquema do acionamento excêntrico



Fonte: Adaptado de IIZUKA et al., 2006

As peneiras excêntricas possuem restrição de tamanho relacionada ao comprimento máximo do eixo de acionamento que, geralmente, é inferior à 2500 mm, acima deste valor, a construção destes equipamentos se torna economicamente inviável, devido à necessidade de rolamentos de maior diâmetro, eixos forjados mais resistentes, maior espaço entre os decks, entre outras dificuldades construtivas (IIZUKA, 2006)

Nas peneiras excêntricas, os contrapesos são fixados nas extremidades do eixo, entre os mancais externo e interno. Porém, os contrapesos têm a função de gerar uma força centrífuga oposta à gerada pela massa vibrante da peneira com o objetivo de balanceamento, visando assim reduzir as cargas incidentes nos rolamentos. (IIZUKA, 2006)

Em seguida, na figura 9, é apresentada uma peneira excêntrica vibratória de 2200 mm por 6000 mm.

Figura 9 - Peneira vibratória de acionamento excêntrico



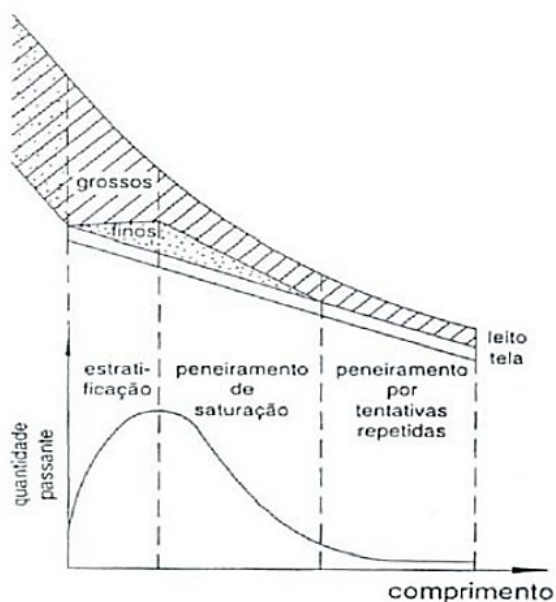
Fonte: Adaptado de IIZUKA et al., 2006

Sobre o funcionamento da peneira vibratória, no início da superfície de peneiramento e sob ação do movimento vibratório, a camada de material sofre a estratificação ou seja, as partículas menores escoam através dos vãos criados pelas partículas maiores e encaminham-se para a parte inferior da camada, conseqüentemente as partículas maiores tendem a se deslocar para a parte superior. (IIZUKA, 2006)

Em seguida ocorre o peneiramento de saturação onde o leito da camada está completamente estratificado, ou seja, a quantidade de finos diminui gradativamente. Já na terceira etapa, chamada de peneiramento por tentativas repetidas ou peneiramento de baixa probabilidade, as partículas finas remanescentes têm que atingir sucessivamente a superfície de peneiramento até conseguirem ultrapassá-la. (IIZUKA, 2006)

A Figura 10 ilustra um corte longitudinal de peneira ideal onde se pode notar que a curva de quantidade de passante se torna assintótica ao eixo do comprimento da peneira ou seja, é necessário um grande comprimento de superfície de peneiramento para se obter 100% de eficiência. Dessa forma valores entre 90 a 95% de eficiência de peneiramento são aceitáveis para a maioria das aplicações. Quanto mais extensa for a peneira, maior sua eficiência; por outro lado, peneiras mais largas têm maior capacidade de produção. (IIZUKA, 2006)

Figura 10 - Comportamento coletivo das partículas peneiradas



Fonte: Adaptado de CHAVES E PERES et al., 2003

Segundo Iizuka (2006), dimensionar as peneiras vibratórias significa calcular as dimensões das suas superfícies de peneiramento em função da capacidade requerida, ou seja, da quantidade de material com características e condições determinadas que deva passar pelo equipamento por um determinado intervalo de tempo. Faço (1994) comenta a existência de diversos métodos de dimensionamento de peneiras, porém, existem duas considerações independentes que devem ser atendidas:

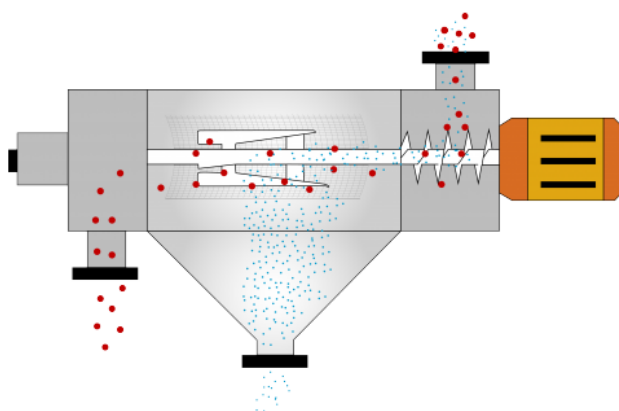
Primeiro, área de peneiramento definida deve prover a passagem de undersize requerida no processo. E, segundo, para haver uma estratificação satisfatória é necessário assegurar que na descarga, a altura de camada seja no máximo quatro vezes a abertura da tela. (IIZUKA, 2006)

2.3.3. Peneira Rotativa (Trommels)

Estas peneiras possuem a superfície de peneiramento cilíndrica ou ligeiramente cônica, que gira em torno do eixo longitudinal. O eixo possui uma inclinação que varia entre 4° e 10° , dependendo da aplicação e do material nele

utilizado. A velocidade de rotação fica entre 35-40% da sua velocidade crítica (velocidade mínima na qual as partículas ficam presas a superfície cilíndrica). Nessas condições, a superfície efetiva utilizada no peneiramento está em torno de 30% da área total. (CARRISSO; CORREIRA, 2004)

Figura 11 - Desenho esquemática de uma peneira rotativa



Fonte: Adaptado de PALAMIC PROCESS et al., 2017

As principais vantagens dos trommels são sua simplicidade de construção e de operação, seu baixo custo de aquisição e durabilidade. E, também, a facilidade da troca de tela. (CARRISSO; CORREIRA, 2004)

CAPÍTULO 3

PROJETO

3.1. Escopo do Projeto

A unidade de Descalvado possui 3 linhas de extrusão, combinadas elas têm uma capacidade média produtiva de 16 TON/h e trabalham 24h por dia. Considerando-se a eficiência do processo, isso equivale a uma média de 265 TON por dia de capacidade, como pode ser visto na figura 12.

O escopo do projeto é elevar a capacidade produtiva para 325 TON por dia, de maneira a atender à crescente demanda do mercado de nutrição animal.

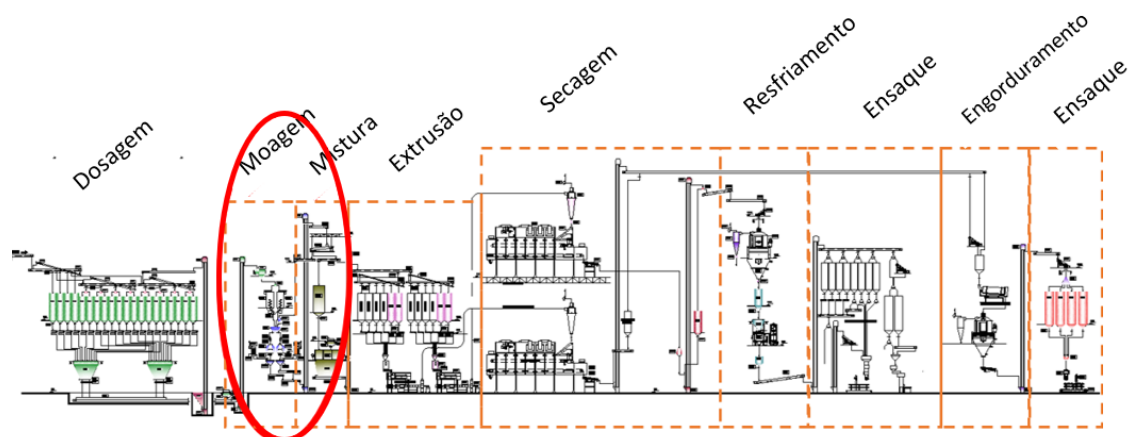
Figura 12 - Capacidade atual das linhas de Extrusão combinadas

Linhas de Extrusão		
Atual Capacidade (L1,L2 e L3)	16	ton/h
Eficiência	70	%
Média Produtividade	11,1	ton/h
Horas trabalhadas	24	hrs/dia

Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2018

Para isso, uma série de equipamentos e processos precisarão ser modificados em fases diferentes do projeto, previsto para ser concluído em 2 anos fiscais, o equivalente a 24 meses. Dito isso, para efeito desse trabalho de conclusão de curso, será considerado apenas a avaliação e dimensionamento da área de Moagem e Mistura (vide figura 13), a qual entende-se que terá uma contribuição mais relevante para o estudo.

Figura 13 - Fluxograma do Processo Produtivo da linha de Extrusão



Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2018

Nesta área de Moagem e Mistura, a atual capacidade é de 17 TON/h, porém o processo tem uma eficiência de 65%, visto que existem diferentes tipos de produtos que são produzidos na mesma linha, com características diferentes, necessitando haver limpeza da linha para a troca de produtos, há também perdas como vazamento nos equipamentos, reprocesso, entre outros.

Considerando então essa eficiência, a média da produtividade da linha é de 11 TON/h. Como a linha trabalha 24h por dia, a produtividade tem uma média de 265 TON por dia, como pode visto na figura 14.

Para atender a demanda, o intuito é que a linha tenha uma nova capacidade de 20 TON/h com uma eficiência de 70%. Dessa forma, tendo uma média de produção de 14 TON/h.

Figura 14 - Capacidade atual e capacidade desejada

Área de Moagem-Mistura			Área de Moagem-Mistura		
Atual Capacidade	17	ton/h	Capacidade Desejada	20	ton/h
Eficiência	65	%	Eficiência	70	%
Média Produtividade	11	ton/h	Média Produtividade	14	ton/h
Horas trabalhadas	24	hrs/dia	Horas trabalhadas	24	hrs/dia

Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2018

3.2. Descrição do Processo

A etapa de recepção de matérias primas é a primeira etapa no processo de fabricação de ração, denominada de Recebimento, esta etapa consiste na pesagem, recebimento das matérias primas e seu registro no sistema fabril. Após esta etapa, temos a armazenagem que é feita pelo transporte de matéria prima do depósito de descarga até os silos, este processo normalmente é realizado por processos mecânicos, e se destina a matérias primas a granel. Também existe o armazenamento de matéria prima armazenada em sacos, que são utilizadas de forma manual no processo produtivo (RENSI; SCHENINI, 2006).

A área de Moagem, expressa na figura 15 pelo perímetro 330, recebe a matéria prima vindo da área de Recebimento. Dessa forma, o processo de moagem inicia-se com uma peneira rotativa de segurança, que separa a matéria prima em grãos de possíveis impurezas, descartando as impurezas em grandes sacos chamados de Big Bags.

A matéria prima em grãos passa por uma válvula distribuidora que faz a dosagem do produto em dois misturadores helicoidais, que homogeneízam os diferentes tipos de matérias primas e depois os despejam em um hopper.

O hopper tem uma comporta pneumática que seleciona em qual dos moinhos de martelos a matéria prima será direcionada. E, por sua vez, o moinho de martelos quebra a mistura de matéria prima em grãos, transformando-a na granulometria desejada. Essa mistura passa por um filtro manga que separa as partes pulverulentas presentes no ar.

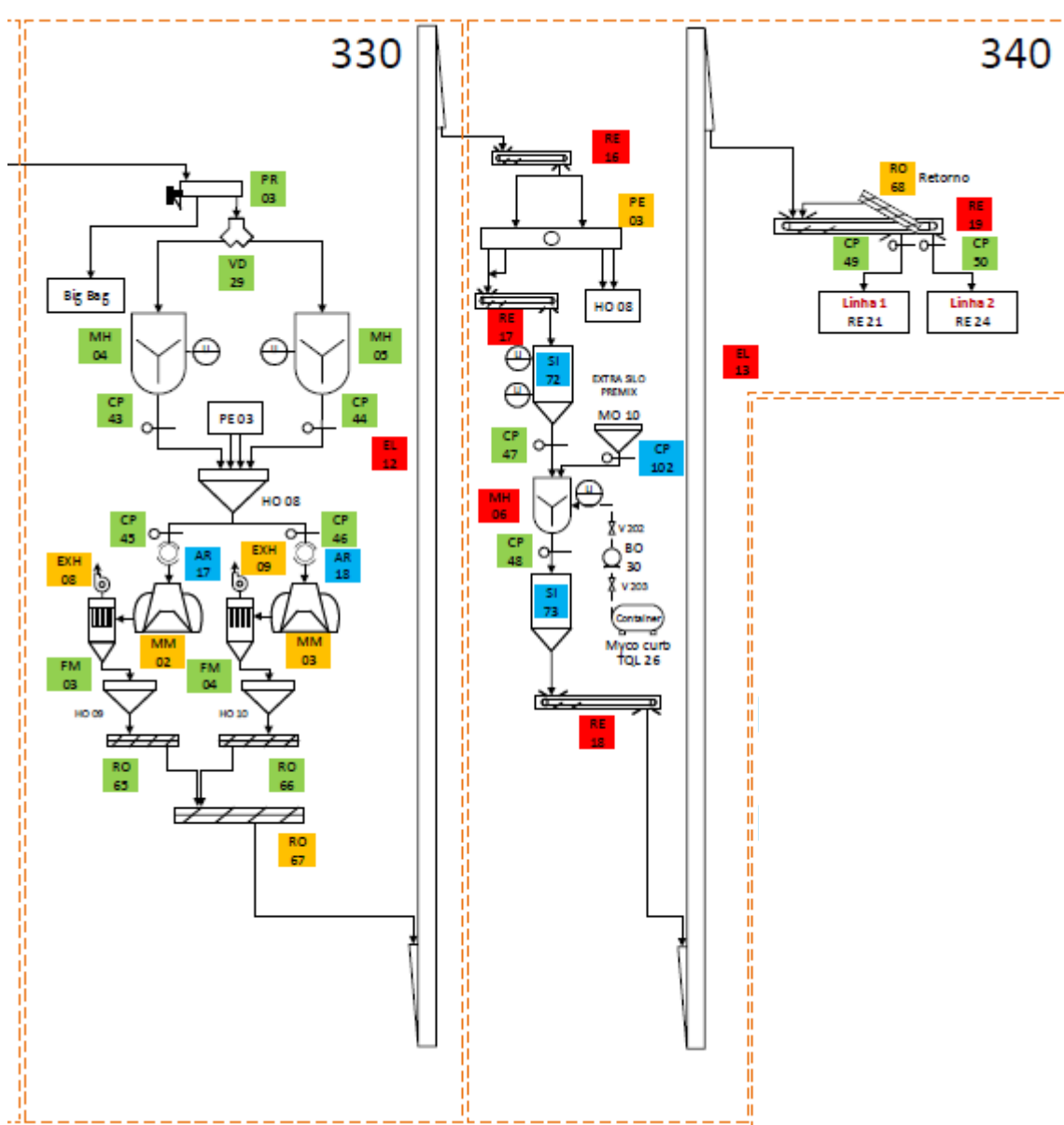
Então, a mistura é levada por uma série de transportadores, que incluem roscas transportadoras até um elevador de canecas que faz o transporte vertical da mistura cerca de 20m de altura e a despeja em um redler que a transporta finalmente até uma peneira excêntrica vibratória.

Essa peneira excêntrica faz a separação da granulometria boa e aquela que ainda está em um tamanho de grão considerado grande, não ideal para o processo. Logo, a granulometria maior que a desejada volta para o Hopper para passar novamente pelo processo de moagem.

A mistura de granulometria boa continua no processo e é levada, através de um transportador redler, até um silo. A mistura presente nesse silo é direcionada para o Misturador Helicoidal, e se encontra com ingredientes vindos de outras linhas da Empresa N. O Misturador Helicoidal homogeneiza esses componentes e os armazena em um silo.

Por fim, transportadores direcionam essa mistura para as linhas 1 e 2 de extrusão para que possam continuar o processo até tornarem-se produtos acabados.

Figura 15 - Fluxograma do processo de moagem e mistura



3.3. Avaliação das Capacidades dos Equipamentos

De acordo com Goldrat (1992), o fluxo de processamento de todo sistema está limitado pela capacidade de diferentes máquinas e, dependendo da natureza desse sistema, algumas máquinas podem afetar mais o desempenho do fluxo de processamento do que outras. As máquinas que exercem influência nas demais e que restringem o sistema são comumente chamadas de gargalo.

Sendo assim, a capacidade do sistema será atribuída pela máquina que apresenta a menor competência, esta máquina será o gargalo de todo o sistema, determinando o ritmo pelo qual toda fábrica irá trabalhar no sistema de produção intermitente. (PARANHOS FILHO, 2007).

A fim de identificar esse gargalo, é preciso identificar a capacidade produtiva dos equipamentos da linha. Porém, a maioria dos equipamentos não possui o manual do fornecedor, alguns até mesmo tão antigos que não há identificação de qual é o fornecedor e não há placas com especificações técnicas do equipamento.

Por isso, os equipamentos foram avaliados a princípio dimensionando via Método de Tempo de Processo. O método consiste em colocar uma quantidade conhecida de material na alimentação do equipamento e cronometrar em quanto tempo o processo termina de ser realizado, conferindo na saída do equipamento quando não há mais passagem de material.

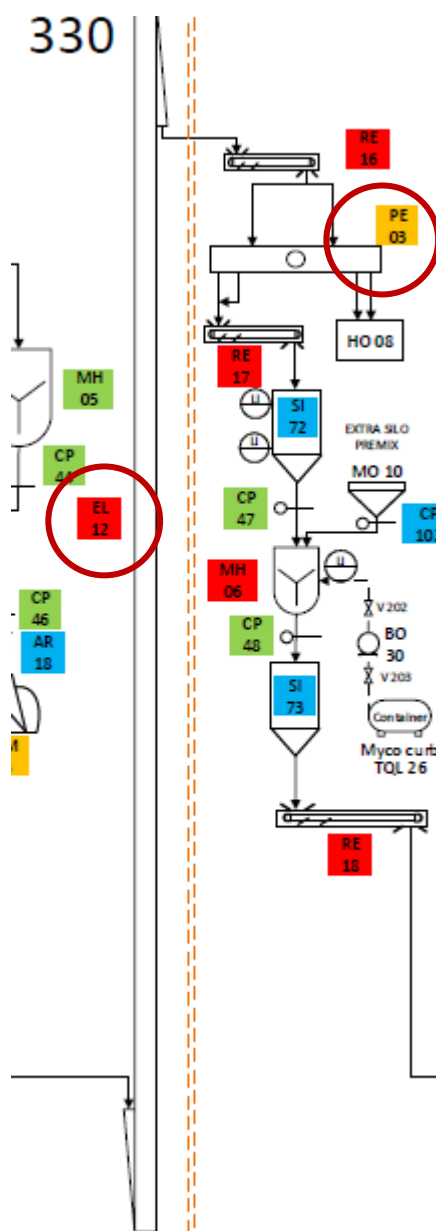
Dessa forma,

$$\frac{Qtd. Material [kg]}{Tempo cronometrado [h]} = Capacidade [kg/h]$$

Através deste método, em conjunto com as fichas e informação técnicas que foram possíveis de encontrar sobre os equipamentos da linha de Moagem e Mistura, concluiu-se que o elevador de canecas EL 12 e a peneira excêntrica PE 03, destacado na figura 15, não estavam possuindo capacidade suficiente para a nova demanda.

Visto que o Elevador parava quando era solicitada uma capacidade maior, devido ao alto nível de material que ficava acumulado no pé do elevador, forçando as canecas e o motor desarmava por segurança. E a Peneira demandava um tempo muito maior do que o previsto para finalizar o processo de separação de partículas, gerando uma capacidade produtiva menor do que a necessária ao projeto.

Figura 16 - Identificação do elevador EL 12 e peneira PE 03 no processo



Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2018

3.4. Cálculo de Confirmação

Em posse dos dados de quais equipamentos não obtiveram a capacidade necessária a nova demanda, foi preciso realizar uma análise mais profunda para identificar se é o caso de estarem subdimensionados ou se há outro fator influenciando no desempenho do equipamento.

3.4.1. Elevador de Canecas EL 12

Em relação ao elevador de canecas, foi preciso utilizar engenharia reversa para confirmar a sua capacidade de projeto. Na ficha constavam informações sobre a dimensão do elevador e sobre as canecas, como visto na figura 17.

Figura 17 - Ficha técnica do elevador EL12

DADOS TECNICOS:			
TAMANHO DO ELEVADOR:	8X5 "	➔	ECA0805
ESPACAMENTO ENTRE CANECAS:	8 "	➔	0,2032 m
Ø POLIA MOTRIZ:	20 "	➔	0,508 m
Ø POLIA RETORNO:	20 "		
PERIMETRO DA POLIA MOTRIZ:	1,5959 m		
NUMERO DE CANECAS POR METRO:	4,92 pç/m		
CAPACIDADE DA CANECA:	0,001950 m³		
VELOCIDADE LINEAR DA CORREIA:	1,84 m/seg	➔	110,119 m/min
ROTACAO DA POLIA MOTRIZ:	69 rpm		
DIMENSÃO DAS CANECAS	8X5 "		
CORREIA LARG.:	9 "		5 LONAS

Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2018

A partir das dimensões foi realizado cálculos básicos de dimensionamento a fim de confirmar a sua capacidade de produção. Para isso, foram utilizadas as expressões detalhadas no item 2.2.4 da revisão bibliográfica.

Figura 18 - Elevador de Canecas EL 12



Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2019

Os cálculos foram realizados em função do produto de menor densidade que circula nesta linha de produção. Como explicado no item 2.2.4 da revisão bibliográfica, quanto menor a densidade, maior a quantidade de material que o elevador deve transportar para manter a capacidade produtiva e, logo, é a situação crítica onde o elevador de canecas pode embuchar.

Após consulta ao setor de qualidade, foi informado que a menor densidade é uma mistura cujo principal componente é o farelo de soja. Essa mistura possui 410 kg/m^3 de massa específica.

Tabela 1 - Especificações segundo a ficha do equipamento

Capacidade volumétrica individual da Caneca (c) = $0,00195 \text{ m}^3$ (ou 1,95 litros)
Passo entre Canecas (p) = $0,2032 \text{ m}$ (ou 4,92 can/m)
Velocidade linear da correia (v) = $1,84 \text{ m/s}$ (ou 110,4 m/min)
Densidade do material transportado (d_m) = 410 kg/m^3 (ou 0,41 TON/m ³)

Fonte: O autor., 2019

Com as informações reunidas na tabela 1, deram-se início a confirmação do dimensionamento. Iniciando pela capacidade volumétrica do transportador:

$$C_v = c \times v \times n$$

$$\frac{m^3}{s} = \frac{m^3}{can} \times \frac{m}{s} \times \frac{can}{m}$$

$$0,00195 \frac{m^3}{can} \times 1,84 \frac{m}{s} \times 4,92 \frac{can}{m} = 0,01765 \frac{m^3}{s}$$

$$1 \text{ hora} = 60 \text{ minutos} = 3600 \text{ segundos}$$

$$0,01765 \frac{m^3}{s} \times \frac{1 \text{ hora}}{1 \text{ hora}} = 0,01765 \frac{m^3}{s} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 63,55 \frac{m^3}{h}$$

Com a capacidade mássica e a densidade, calculou-se a densidade volumétrica. Considerando o fator de enchimento (*i*) recomendado pela norma entre 75% e 90%, foi utilizado um fator de enchimento de 80%, a fim de ter um fator de segurança no dimensionamento.

$$C_m = C_v \times d_m \times i$$

$$63,55 \frac{m^3}{h} \times 0,41 \frac{TON}{m^3} \times 0,80 = 20,84 \text{ TON/h}$$

A critério de comparação, o setor de qualidade forneceu o valor do material mais denso, que seria o milho extrudado, com uma massa específica em torno de 600 kg/m³.

Para essa densidade, a capacidade do elevador de canecas seria de:

$$63,55 \frac{m^3}{h} \times 0,60 \frac{TON}{m^3} \times 0,80 = \mathbf{30,50 TON/h}$$

Logo, segundo os cálculos, o atual elevador de canecas teria uma capacidade entre 20 e 30 TON/h considerando o material menos denso e o material mais denso do processo. Sendo assim, o elevador de canecas suportaria a capacidade solicitada a nova demanda.

Porém, isso contradizia o teste do Método de Tempo de Processo. Pois, assim que foi solicitado uma maior capacidade para realização do teste (cerca de 15 TON/h), o elevador embuchou (excesso de produto no pé do elevador), o que forçou as canecas e desarmou o motor.

Como os dados da ficha de projeto e a capacidade real calculada não estavam coincidindo, foi pensado na hipótese de a ficha do equipamento estar com informações erradas. Então, foi alinhado um dia de manutenção preventiva do elevador para que pudesse ser coletada in loco as medidas necessárias ao cálculo, a fim de realizar uma terceira confirmação de capacidade.

No dia da coleta das medidas observou-se que o elevador estava com algumas canecas faltantes, o que poderia ser um fator para menor eficiência do equipamento. Além disso, as dimensões das canecas não estavam coincidindo com o modelo expresso na ficha do equipamento e o espaçamento entre canecas estava maior, o que diminuiria a quantidade de canecas por metro.

Para confirmação das dimensões, foi solicitada ao setor de manutenção uma unidade semelhante a atual caneca utilizada no elevador de caçambas EL12, como poderá ser observado na figura 19. E, também, solicitado ao setor de qualidade uma quantidade de amostra da mistura de farelo de soja, suficiente para encher a caneca.

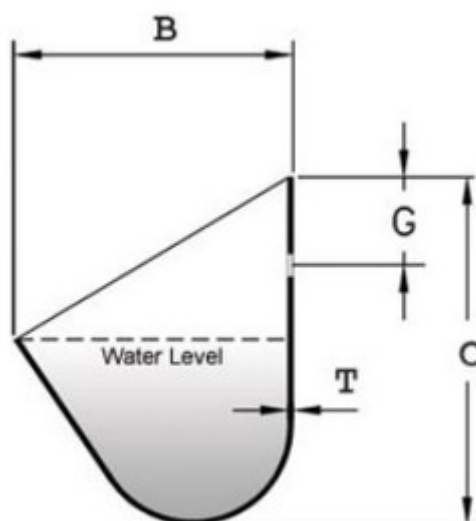
Figura 19 - Amostra da caneca do elevador EL12



Fonte: O autor., 2019

Dessa forma, foi fixada a caneca de modo a ficar na posição real ao que seria fixada na correia, vide figura 20. E, em seguida, foi preenchido com a mistura de farelo de soja até o “water level”. Assim, foi possível obter a valor da massa transportada por caneca ao colocar o conjunto caneca + produto em uma balança de bancada e subtrair o peso da caneca vazia, o que resultou em um valor de 0,49 kg.

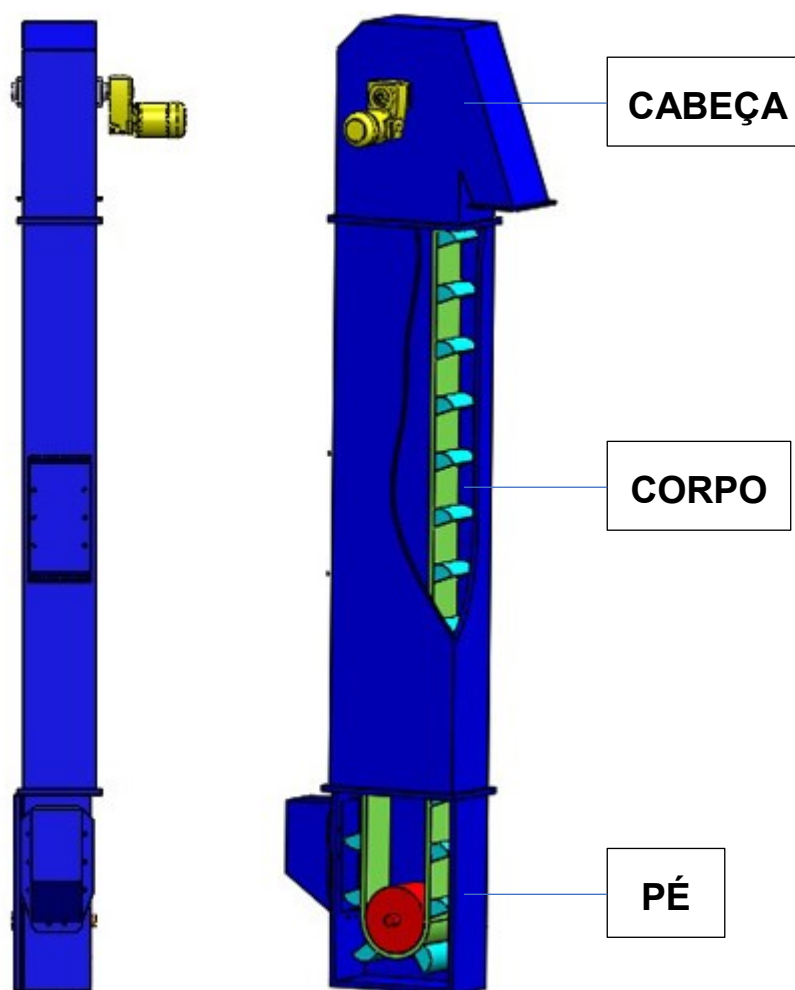
Figura 20 - Representação da posição da caneca e do nível “water level”



Também foi medido passo entre canecas, obtendo um valor de 0,30m, o que equivale a uma quantidade de 3,33 canecas por metro de correia.

Para a altura do elevador, considerou-se 3 segmentos: pé, corpo e cabeça. O corpo é formado por módulos de mesma dimensão, de forma que bastou a medida de um dos módulos. Já o pé e a cabeça foram medidos individualmente.

Figura 21 - Segmentos utilizados para cálculo da altura do elevador

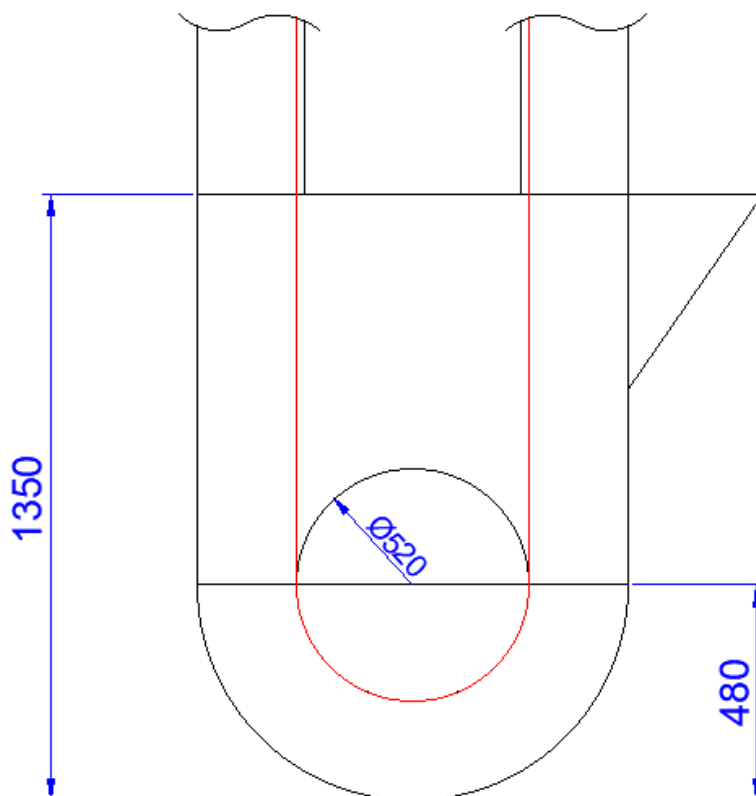


Fonte: adaptado de GREEN SQUARE LTD et al., 2018

Para o corpo do elevador, foi utilizada uma trena convencional e encontrada a dimensão de 3m cada módulo. Sendo que este elevador possui a quantidade de 6 módulos no total. Logo, o corpo do elevador tem uma altura de 18m.

Para o pé do elevador foram encontrados o valor de 520mm de diâmetro para o tambor de retorno, 1350mm a altura do pé e 480mm a posição do eixo em relação a extremidade do elevador, como mostrado na figura 22.

Figura 22 - dimensões do pé do elevador EL12



A rotação do eixo do elevador foi medida com o auxílio de um tacômetro diretamente do eixo, utilizando um acessório de ponta. E ficou variando entre 67,4 a 68,6 rpm, logo utilizou-se a média de 68 rpm de rotação.

Com esses valores, pode-se calcular a velocidade linear de transporte em m/h, como apresentado na equação a seguir:

$$v = \omega \times r$$

$$v = (2 \times \pi \times 60 \times 68) \times 0,26$$

$$v = 6665,20 \text{ m/h}$$

$$v = 1,85 \text{ m/s}$$

Sabendo-se a velocidade linear da correia, a quantidade de canecas por metro e a capacidade da caneca para carregamento de massa do produto de menor densidade, é possível fazer o cálculo da capacidade:

Tabela 2 - Dados medidos do elevador de canecas

Capacidade mássica individual da Caneca = 0,49 kg (Para o produto crítico de 410kg/m ³ de densidade)
Passo entre Canecas (p) = 0,3 m (ou 3,33 can/m)
Velocidade linear da correia (v) = 1,85 m/s (ou 111,09 m/min)
Densidade do material transportado (d_m) = 410 kg/m ³ (ou 0,41 TON/m ³)

Fonte: O autor., 2019

$$\frac{kg}{can} \times \frac{can}{m} \times \frac{m}{h} = \frac{kg}{h}$$

$$\text{Capacidade} = 0,49 \times 3,33 \times 6665,20$$

$$\text{Capacidade} = 10875,61 \text{ kg/h}$$

$$\text{Logo, Capacidade} = \mathbf{10,88 \text{ TON/h}}$$

Portanto, a capacidade atual do elevador EL12 estava quase que a metade daquela calculada na ficha do equipamento. Inclusive, para o material mais crítico, a capacidade estava no limite da linha de produção, logo ele era um gargalo para as condições atuais.

Foi solicitada um relatório das manutenções emergenciais que esse elevador havia tido nos últimos meses, figura 23. E como visto na pequena amostra abaixo, o elevador tinha paradas emergenciais devido a entupimento ou vazamento por excesso de produto.

Figura 23 - Amostra de manutenções emergenciais no elevador EL12

Ordens de Serviços - EMERGENCIAIS

Data: 18/01/2018	Nº O.S. 73330	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 00:25
Diagnóstico	DINSJUNTOR DE COMANDO DESARMADO	Serviço Efetuado	FOI REARMADO DISJUNTOR
Data: 06/02/2018	Nº O.S. 73347	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 00:30
Diagnóstico	Disjuntor da rosca RO67 desarmou devido entupimen to do elevador EL12	Serviço Efetuado	Foi aguardado operador fazer limpeza do elevador e rearmad o o disjuntor
Data: 21/01/2019	Nº O.S.	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 03:00
Diagnóstico	Lateral do elevador com vazamento de produto (Chapa furada)	Serviço Efetuado	Foi soldada chapa no elevador, alinhou o tapete. Foram vedados os furos na base do elevador
Data: 23/01/2019	Nº O.S.	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 01:00
Diagnóstico	Elevador entupido	Serviço Efetuado	Verificou equipamento e acompanhou operador a limpar o mesmo
Data: 08/02/2019	Nº O.S.	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 00:35
Diagnóstico	Elevador entupido com excesso de produto	Serviço Efetuado	Desentupiu o elevador e rearmou os contatos
Data: 08/04/2019	Nº O.S.	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 00:30
Diagnóstico	Sensor de movimento do elevador falhando devido a distância do atuador	Serviço Efetuado	Realizado ajuste na posição do sensor
Data: 07/05/2019	Nº O.S.	Funcionário:	[REDACTED]
Solicitante:	[REDACTED]		Total de Horas: 00:35

Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2019

Em posse das manutenções emergenciais, foi confirmado que o elevador era um gargalo do processo, não aguentaria a nova demanda e precisaria ser substituído.

Porém, ainda precisava ser investigado o motivo de a ficha do equipamento estar tão diferente da realidade do elevador. Sobretudo em relação as dimensões das canecas e a quantidade de canecas por metro.

Devido ao alto índice de rotatividade na supervisão da manutenção, o atual supervisor não sabia dizer o que poderia ter acontecido com o registro. Por isso, fomos

conversar com o mecânico mais antigo e, eis que, foi encontrado um possível motivo para a discrepância de informação técnica do equipamento.

Segundo relatado pelo mecânico, a caneca de projeto do elevador EL12 era feita de um material semelhante a plástico. Porém, houve um incidente em outra unidade do grupo, em um elevador com canecas também plásticas, a qual a caneca quebrou em pedaços pequenos e de alguma forma passou pelo processo e acabou sendo feito pellets de plástico e ensacados na ração de equinos, fazendo um animal adoecer.

Na época, o supervisor de manutenção tomou a decisão de fabricar canecas metálicas para substituir as canecas do elevador como forma de segurança por conta do incidente, sem consultar o fornecedor do elevador. Isso, provavelmente, alterou o projeto do elevador e por consequência o seu desempenho.

Logo, para que o elevador EL12 atende-se a demanda atual e a nova demanda solicitada em projeto, era necessário voltar o elevador nas condições originais ou substituí-lo por um novo.

3.4.2. Peneira Excêntrica Vibratória PE 03

Para a peneira excêntrica vibratória PE03, a critério de confirmação de capacidade, foi feita uma manutenção preventiva, verificado se a tela não estava entupida e/ou com furos e feita limpeza da tela. E então, foi realizado o teste novamente de tempo de processo.

Para o teste, foi utilizado um saco de big bag com quantidade de produto conhecida, a qual foi descarregado na entrada da peneira com o auxílio de uma talha elétrica. Foram coletadas amostras de produto na saída de finos e na saída de grossos para teste de granulometria no setor de qualidade, a fim de verificar a eficiência do processo. Sendo que o teste foi realizado para três tipos diferentes de mistura que passam na linha.

Isso pois, não era vantajoso que a peneira estivesse realizando o peneiramento de forma rápida, mas o produto de boa granulometria estivesse voltando novamente para os moinhos de martelos, seria um retrabalho desnecessário, trazendo gastos.

Confirmado os testes em laboratório, a equipe de Engenharia de Processos determinou que a peneira não cumpria com a capacidade produtiva desejada, possuindo em torno de 13TON/h em média.

Além disso, após análise, foi relatado que a troca nas telas da peneira era um procedimento difícil e demorado de ser realizado, utilizando cerca de 2 mecânicos e, pelo menos, 6 horas para a troca da tela.

Figura 24 - Peneira Excêntrica Vibratória PE 03



Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2019

Logo, optou-se pela substituição da peneira excêntrica vibratória PE03, em razão da sua capacidade não atender a demanda necessária. E a manutenção, bem como a troca de telas, ser um processo custoso e demorado, optando assim por opções mais modernas de peneira no mercado.

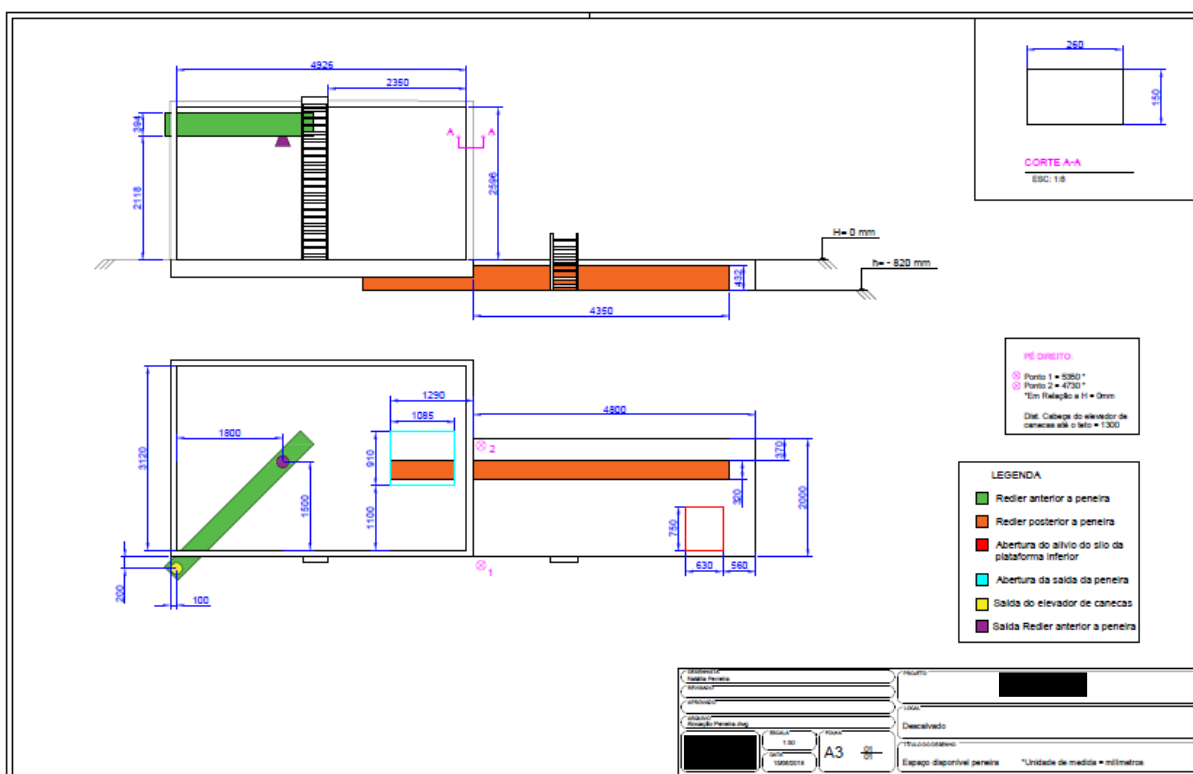
3.5. Desenho e Projeto

Com a informação de que seria necessária a troca da peneira excêntrica vibratória PE03, foi preciso avaliar as opções disponíveis no mercado e adaptá-las ao cenário da Empresa N.

Estudou-se as opções de peneiras no mercado, a princípio seria substituída por uma peneira vibratória circular. Porém, para fazer a ligação da saída do elevador de canecas até a entrada da nova peneira seria necessário colocar um transportador demasiadamente inclinado. A recomendação é que o ângulo de inclinação do transportador, neste caso um redler ou rosca transportadora não exceda 30°. Mas, devido a altura dessa opção de peneira vibratória circular, o transportador teria de exceder o ângulo de inclinação recomendado, o que poderia gerar dificuldade de transporte ou até retorno de produto.

Portanto, foi preciso descartar essa opção devido à altura do equipamento e a restrição de espaço, vide figura 25.

Figura 25 - Primeiro desenho para verificar limitantes de layout



Fonte: O autor., 2019

Optou-se, então, por uma opção de peneira mais compacta. A ideia seria substituir a peneira excêntrica vibratória por uma rotativa pela facilidade de se trocar de tela, ganho em tempo de processo, espaço limitado para alocação das peneiras e, também, devido ao espaço de manutenção.

Uma unidade desta peneira rotativa, segundo o fornecedor, teria capacidade para 21TON/h. Dessa forma, foi solicitada uma peneira semelhante ao fornecedor para realização de testes, como mostrado na figura 26.

Figura 26 - Peneira para teste de capacidade



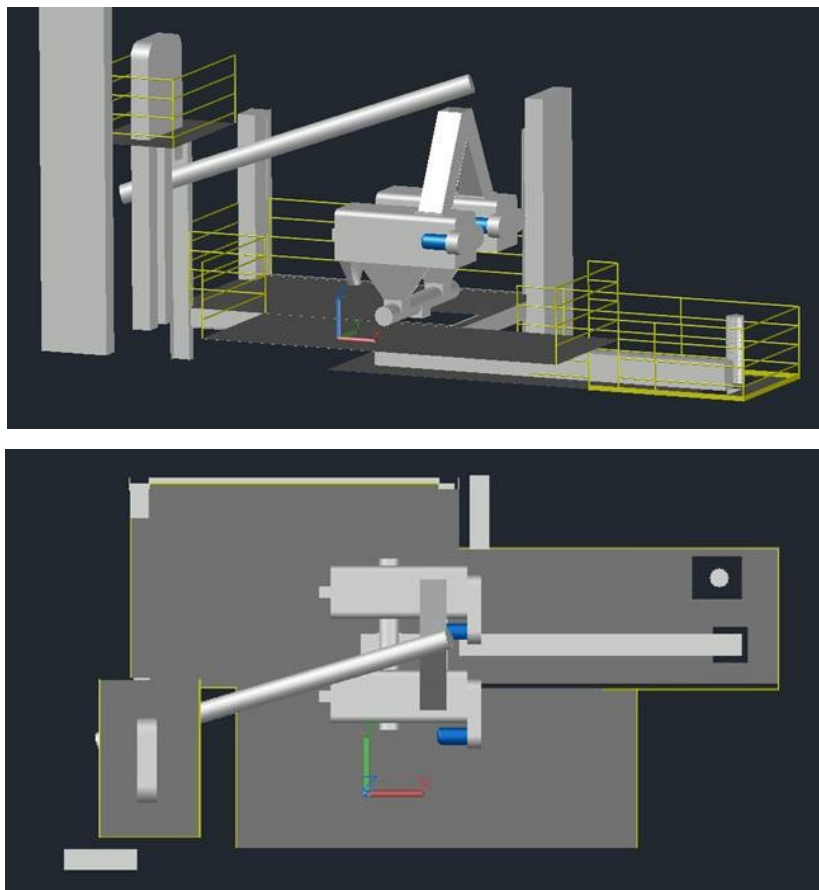
Fonte: Adaptado de Empresa N et al., 2019

Quando se fez o teste usando o Método de Tempo de Processo, utilizando o produto mais crítico, a peneira teve uma performance de 11 Ton/h. Logo, precisariam de 2 para conseguir atender o mínimo de 20 Ton/h exigida pela demanda do projeto e não ser um gargalo do processo no novo cenário. Mesmo precisando adquirir duas unidades da peneira, a empresa N decidiu pela continuidade da aquisição, devido ao valor atrativo, facilidade da troca de telas, tamanho compacto do equipamento e, sobretudo, pois se uma peneira precisa-se de manutenção, a outra poderia continuar a produção, mesmo que em ritmo reduzido, mas não pararia o processo.

Para receber as peneiras, como agora seriam duas, precisa-se estudar a configuração/layout. Para isso, é necessário levar em conta, principalmente, a troca da tela das peneiras pelos operadores, o ângulo máximo de inclinação da rosca transportadora, a plataforma de manutenção e facilidade de acesso, também, é preciso levar em conta a localização da boca de entrada e de saída do produto para se conectar aos equipamentos tangentes de maneira sutil, com o mínimo de alterações no entorno.

Com o desenho técnico do fornecedor em mãos, foi feito um desenho tridimensional para avaliar as opções de layout e possíveis interferências, como mostrado na figura 27. O principal cuidado foi em alinhar a boca de saída das peneiras com a entrada no redler pós peneiramento, garantindo que não haveria interferência com o pilar de sustentação ou as terças do barracão, e que haveria espaço para a troca de telas e limpeza das peneiras, bem como, espaço para uma plataforma de manutenção dentro das normas de segurança.

Figura 27 - Melhor configuração encontrada para as novas peneiras rotativas

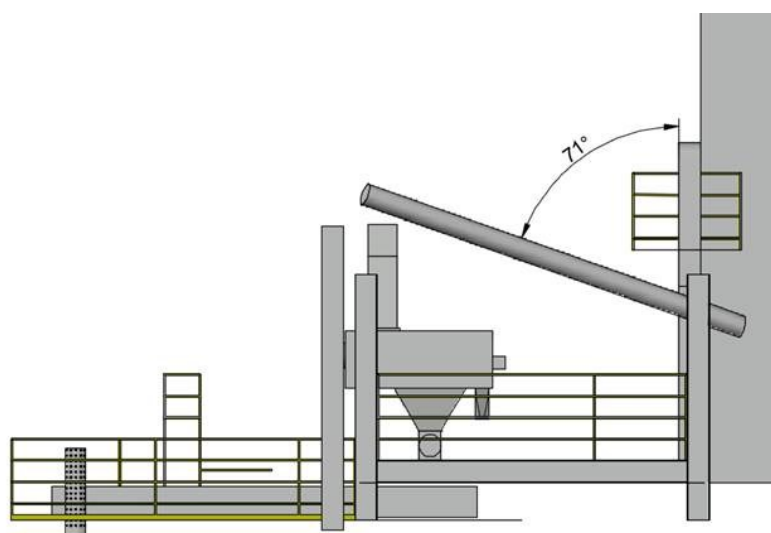


Fonte: O autor., 2019

A melhor configuração encontrada foi a expressa na figura 27. De forma que o redler entre o elevador de canecas e a peneira rotativa seria substituído por uma rosca transportadora, devido ao ângulo de inclinação entre os equipamentos.

Para alimentar as peneiras, teria que ser acrescentado um direcionador de 3 posições (chamado informalmente de “calça”). Este direcionador foi dimensionado a partir do ângulo máximo de inclinação recomendado, para que o produto não tenha dificuldades de deslizar pelo interior do direcionador. Com isso, a rosca transportadora anterior a ele teria um ângulo de inclinação de 19° , porém ainda dentro do recomendado, como expresso na figura 28.

Figura 28 - Ângulo complementar mostrado na configuração proposta



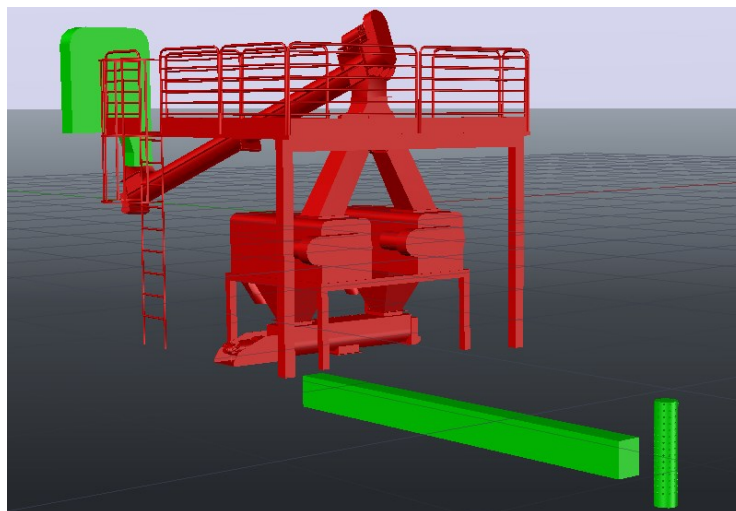
Fonte: O autor., 2019

Para fazer a ligação das duas peneiras com o redler inferior a elas, é proposto o acréscimo de uma rosca de duplo sentido. De maneira ao fluxo de saída das peneiras serem direcionadas a uma mesma boca central que faz a descarga total no redler pós peneiramento.

Após a validação do desenho esquemático, mostrado na figura 27 e 28, foi solicitado o orçamento destes equipamentos que seriam acrescentados ao processo. De forma que, com o desenho técnico enviado pelos fornecedores, foi possível fazer

o desenho tridimensional e avaliar com maior precisão e acuracidade a configuração definitiva do novo sistema de peneiramento e, também, desenvolver uma plataforma de manutenção dentro das normas de segurança e de operação, mostrado na figura 29.

Figura 29 - Novos equipamentos do sistema de peneiramento em vermelho



Fonte: O autor., 2019

Essa configuração final será mostrada no capítulo 4 deste trabalho de conclusão de curso, a qual visa expressar os resultados e discussões.

Portanto, para atingir a demanda necessária ao projeto, é proposto a substituição da peneira excêntrica vibratória PE03 atual por duas peneiras rotativas. Para isso, será preciso implantar um novo sistema de peneiramento na área de Moagem e Mistura, o qual inclui a aquisição não apenas das duas peneiras, mas também a aquisição de uma rosca transportadora, um direcionador de fluxo e uma rosca de duplo sentido. Além disso, é proposto a inserção de uma nova plataforma de manutenção e um suporte para as peneiras.

Vale observar que é proposto, também, a modificação do elevador EL12 para que ele não seja um gargalo do processo. Para isso, pode-se retornar o elevador as condições originais de projeto ou adquirir um novo elevador de canecas.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Como foi apresentado no Capítulo 1, o crescente aumento da oportunidade de venda de produtos extrudados, tornou necessário a adaptação da produção da Empresa N. Para isso, optou-se por ampliar a capacidade produtiva da unidade de Descalvado-SP.

Foi observado, no Capítulo 2, que o processo de Moagem e de Mistura é essencial a produção de alimentos, pois a consistência desses processos produz uma mistura homogênea dos ingredientes, facilita o processo de extrusão e produz forte impacto na qualidade final dos produtos, além, também, de ser responsável por uma grande parcela do custo de produção das rações. Por essa razão, a área de Moagem e Mistura foi a escolhida para a análise deste trabalho de conclusão de curso.

No Capítulo 3, foi apresentado de forma detalhada as diretrizes do projeto, entendendo as premissas e limitações. A partir disso, foi feita uma avaliação técnica da capacidade dos equipamentos, detalhando o método de tempo de processo e utilizando de cálculos para a confirmação das capacidades.

Com isso, ficou claro que quaisquer alterações no projeto de um equipamento, sem a prévia autorização do fabricante, podem gerar perdas de eficiência no processo e qualidade do produto. Logo, é de extrema importância que a área de manutenção faça a conservação dos equipamentos dentro das especificações originais e mantenha um histórico das intervenções realizadas, bem como, os documentos do setor atualizados.

A partir de todas as considerações feitas nesse trabalho de conclusão de curso, foi proposto a aquisição de um novo sistema de peneiramento. O layout desse novo sistema foi apresentado no Capítulo 4, de forma a proporcionar a Empresa N um sistema que atende-se a demanda crescente do mercado e esteve-se dentro das normas técnicas, priorizando também a facilidade de operação e manutenção.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGLACI SILO. **Elevador de canecas**. 2019. 1 fotografia. <http://www.agriexpo.online/pt/prod/agacl-silo/product-179884-49579.html>. Acesso em: 17 jun. 2019.

ALLES, G. **Particle reduction technology**. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. *Petfood technology*. Illinois: Mt. Morris, 2003, p. 327-335.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Indústria de Alimentos fecha 2018 com aumento de 2,08% em faturamento**. [S. l.], 13 fev. 2019. Disponível em: https://www.abia.org.br/vsn/tmp_2.aspx?id=393. Acesso em: 8 jun. 2019.

BAYRAM, Mustafa; BALCI, Fatin; YIGIT, Emre. **Bucket elevator properties, design and calculation**. *Bilimsel Makale*, Gaziantep University, 2015.

BAZOLLI, Rodrigo Sousa. **Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães**. 2007. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2007.

BELLAVER, C.; NONES, K. **A Importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola**. In: simpósio goiano de avicultura, 4, 2000, Goiânia. *Anais...*, 2000, p. 59-78.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. **Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BRATNEY COMPANIES. **Bucket Elevators**. 2017. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.bratney.com/equipment/material-handling/bucket-elevators>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CAP 6 - Elevador de Canecas. *In*: UFBA - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. **Transportadores contínuos para granéis sólidos**. Salvador: [s. n.], 2012.

CARRISSO, Regina Coeli C.; CORREIRA, Júlio César G. CAP 5 - CLASSIFICAÇÃO E PENEIRAMENTO. *In*: CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. **Tratamento de Minérios 4a Edição**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2004.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; VIDAL, J. **Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana**. *Ciênc agrotec*, Lavras, v.26, n.5, p.1006-18, 2002

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. **Comportamento coletivo das partículas peneiradas**. 2003. 1 fotografia. Disponível em <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/476/4/tratamento-de-minerios-5-edicao.pdf>>. Acesso em 07 de julho de 2019.

CLAM IND. **Elevadores de caneca**. 2018. 1 fotografia. <http://www.clam.ind.br/produto.php?cat=3&gr=&id=9>. Acesso em: 8 jun. 2019.

COWELL, C. S. et al **Making commercial pet food**. *In*: HAND, M. et al. *Small animal clinical nutrition*, 4ed Kansas: Mark Morris Institute, 2000. p. 127-146.

DING, Q. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. **The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks**. *Journal of Food Engineering*, Barking, v. 66, p. 283-289, 2005.

FEECO INTERNATIONAL. **Mechanical Construction of a Bucket Elevator**. 2018. 1 fotografia. Disponível em: <https://feeco.com/bucket-elevators/>. Acesso em: 6 jul. 2019.

FRAILHA, M. **Benefício do investimento energético na redução do tamanho de partículas na alimentação animal**. *In*: simpósio de engenharia de produção, 9, Bauru, 2005

GOLDRATT, ELIYAHU M. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. North River Press, 1992.

GREEN SQUARE LTD. **Side-View-of-Bucket-Elevator**. 2018. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.greensquare-ie.com/conveyors-structures/bucket-elevators/>. Acesso em: 04 jun. 2019.

GUERREIRO, L. **Produtos Extrusados para Consumo Humano, Animal e Industrial**. Rio de Janeiro, 2007, 25 p. Dossiê Técnico–Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas -SBRT.

GUTTRIDGE BULK MATERIALS HANDLING. **Carrier Bucket Elevator**. 2019. 1 fotografia. <https://www.guttridge.com/eu/en/products/bucket-elevator>. Acesso em: 9 jun. 2019.

H.J. BAKER. **Crescimento da indústria de nutrição animal nos últimos anos**. [S. l.], 26 set. 2018. Disponível em: <https://www.hjbaker.com.br/noticia/36/crescimento-da-industria-de-nutricao-animal-nos-ultimos-anos>. Acesso em: 8 jun. 2019.

IIZUKA, Eduardo Kenji, **Análise de Tensões em Peneiras Vibratórias através de Modelagem Numérica Utilizando o Método dos Elementos Finitos e Experimentalmente por Extensometria**, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 178 p. Dissertação (Mestrado).

JUNIOR, Nelson Brambatti. **Análise estrutural dos perfis de sustentação de um elevador de canecas**. 2016. Dissertação (Pós Graduação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

LARA, Marco Antonio Mayer. **Processo de produção de ração - moagem, mistura e paletização**. Unifrango, 2010.

LUZ, José Aurélio Medeiros; CARVALHO, Simão Célio. **Modelamento matemático de peneiramento vibratório (Parte 1): dimensionamento clássico**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2005.

OWENS, J. M.; HEIMANN, M. **Material processing cost center**., In: McELLINEY, R. R. Feed Manufacturing Technology IV. Arlington:VA, 1994, p. 81-92.

PARANHOS FILHO, M. **Gestão da Produção Industrial**. Curitiba: Ibpex, 2007

RUY, Robin. **Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones**. Ingeniería y Tecnología de los alimentos., Editorial Acribia, S.A, 2002.

SEBIO, L. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira**. Campinas: UNICAMP, 2003. Tese de doutorado em Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SILVA, E.M.M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007, 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, Maria Luzenira; MENEZES, Hilary Castle. Extrusão de misturas de castanha do Brasil com mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 2008.

STEPHENS-ADAMSON Inc. **Manual de transportadores contínuos**. Fábrica de Aço Paulista S.A. 4ª Edição, 1991.

TAVARES, L.M. **Um método para o cálculo da eficiência energética de moinhos industriais**. Revista Matéria. Periódico científico virtual da área de materiais. 2001. Disponível em :<www.materia.coppe.ufrj.br>. Acesso em 07 de maio de 2019.

TOSO, Eli Angela Vitor. **Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção na indústria de suplementos para nutrição animal**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

WOODCOCK, C. R.; MASON, J. S. **Bulk Solids Handling an Introduction to the Practice and Technology**. Glasgow: Chapman & Hall, 1987.

YAMAKI, Daisuke. **Reforma de um elevador de canecas de uma unidade de granulação de fertilizantes**. 2014. Monografia (Pós-graduação) - Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão, 2014.