

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO SOBRE O ENTUPIMENTO NA DESCARGA DE SILOS DE
PRODUTO ACABADO EM EMPRESA DE ALIMENTOS PARA CÃES
E GATOS**

Rosimeire Lemos da Silva

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria do Carmo Ferreira

São Carlos – SP

2022

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maria do Carmo Ferreira. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos (DEQ/UFSCar).

Convidado: Prof^º Dr^º Thiago Faggion de Pádua. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos (DEQ/UFSCar).

Professor da Disciplina: Prof^º. Dr^º. Fábio Bentes Freire. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. (DEQ/UFSCar).

Trabalho de Graduação apresentado no dia 13 de setembro de 2022 perante a seguinte banca examinadora.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família e a todos os santos para os quais eles oraram para que eu conseguisse entrar nesta faculdade e depois para que eu conseguisse terminá-la. Muito obrigada por sempre acreditarem em mim, muitas vezes, ou todas as vezes, mais do que eu mesma acreditava. Obrigada por me incentivarem, me darem todo o amor desse mundo e me ensinarem tudo de mais importante que eu sei. Em especial agradeço ao meu pai e a minha mãe por terem trabalhado tanto para cuidar de mim e dos meus irmãos.

Agradeço à Gabi por, junto com a Barbara, serem as amigas que mais me entendem e apoiam, obrigada por mesmo longe estarem sempre tão presentes e por serem junto a Rosicler, minha mãe e a Ludmila meus exemplos de mulheres fortes.

Agradeço a Ludmila e a Rosicler por serem as que mais ouviram todas as minhas reclamações, e com toda a paciência desse mundo, me apoiarem e me animarem.

Agradeço a Kaluf por ter estado comigo em um dos anos mais difíceis da minha graduação e ter sido uma grande amiga nas horas boas e ruins.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante a graduação, especialmente aos do grupo PET, onde vivi muitos dos meus melhores momentos da graduação, e com certeza os momentos dos quais eu mais me orgulho. Um agradecimento mais do que especial para o João, a Raissa e o Rafael, por me fazerem chorar de rir em momentos apropriados e inapropriados, por todos os conhecimentos compartilhados na BCo e por tornarem minha graduação mais leve.

Agradeço à professora Maria do Carmo que me orientou neste trabalho e, junto com outros excelentes professores, me mostrou que a Engenharia Química, além de essencial para o bom funcionamento deste mundo, também é extremamente bonita.

Agradeço a todos da empresa que disponibilizou os dados para o presente trabalho e que compartilharam seus conhecimentos e experiências comigo, em especial aos operadores de ensaio, moagem e extrusão. Este estudo é mais fruto do trabalho de vocês do que meu. Em especial agradeço ao Paulo, ao Wesley, ao Everson, ao Maia, ao Wellington, ao Rogério Marcos, a Juliana e ao Vinicius por toda ajuda direta com a coleta de dados, ensinamentos, paciência e oportunidades que me deram.

E por fim, agradeço ao programa de permanência estudantil por tornar o ensino público de qualidade acessível a todos me possibilitando cursar a faculdade dos meus sonhos e ao Cursinho IPRA, por me preparar não só para o vestibular mas para a faculdade como um todo.

“me levanto
sobre o sacrifício
de um milhão de mulheres que vieram antes
e penso
o que é que eu faço
para tornar essa montanha mais alta
para que as mulheres que vierem depois de mim
possam ver além
-legado”

Rupi Kaur

RESUMO

As indústrias produtoras de alimentos para cães e gatos, pertencentes ao setor pet food, são extremamente relevantes para a economia brasileira e têm apresentado crescimento ano a ano, mas, apesar deste cenário positivo, fatores como o aumento do valor das matérias-primas e do custo de vida geral no Brasil, além do aumento no número de concorrentes, fazem com que elas necessitem de processos cada vez mais eficientes para manter sua lucratividade. O entupimento de silos de produto acabado, que acontece quando a descarga do produto sofre uma paralisação parcial ou total, é uma das causas de considerável perda de eficiência em indústrias de rações secas e em outros setores que lidam com sólidos granulares ou pulverulentos, sendo também um problema crítico do ponto de vista de segurança. O perfil do fluxo de escoamento dos produtos armazenados, a geometria dos silos e fatores ambientais, como temperatura e umidade, estão diretamente relacionados com a ocorrência de entupimentos. Devido à diversidade de produtos feitos na planta que foi objeto de estudo no presente trabalho, implicando na existência de vários perfis de fluxo de escoamento, e a impossibilidade de alterar bruscamente a geometria dos silos instalados, optou-se por analisar a influência dos fatores ambientais, onde conclui-se que o aumento da temperatura está diretamente relacionado ao aumento da ocorrência de entupimentos devido às propriedades de revestimento dos *kibbles*.

Palavras-chave: Silos. Entupimento. Escoamento de sólidos. Alimentos para cães e gatos. Ração.

ABSTRACT

The pet food industries are extremely relevant to the Brazilian economy and have shown growth year by year, but, despite this positive scenario, factors such as the increase in the value of raw materials and the overall cost of living in Brazil, in addition to increasing the number of competitors, make them need to increase efficient processes to maintain their profitability. The clogging of finished product silos, which happens when the discharge of the product suffers a partial or total stoppage, is one of the causes of loss of efficiency in these kinds of industries and other sectors that deal with granular or powdery solids, being also a critical problem from a safety point of view. The flow profile of stored products, the geometry of silos and environmental factors, such as temperature and humidity, are directly related to the occurrence of clogging. Due to the diversity of products made in the plant that was the object of study in the present work, which implies the existence of several types of flow profiles, and the impossibility of abruptly changing the geometry of the installed silos, we chose to analyze the influence of environmental factors, where it is concluded that the increase in temperature is related to the increase in the occurrence of clogging due to the direct properties of the kibbles coating.

Keywords: Silos. Clogging. Granular Flow. Pet Food. Kibbles.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Introdução e justificativa	10
1.2 Objetivos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Processo para produção de alimento seco extrusado para cães e gatos.....	13
2.1.1 – Armazenamento/Pesagem.....	13
2.1.2 – Mistura/Moagem	15
2.1.3 – Extrusão.....	17
2.1.4 – Secagem	21
2.1.5 – Recobrimento/Resfriamento	22
2.1.6 – Empacotamento	23
2.2 Fluxo de sólidos particulados em silos verticais	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1 Características dos silos da fábrica onde os dados foram obtidos	29
3.2 Características gerais dos <i>kibbles</i> produzidos na fábrica onde os dados foram obtidos	30
3.3 Metodologia	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Produtos com maior ocorrência de entupimentos durante o processo de ensaque	33
4.2 Relação entre a ocorrência de entupimentos e o aumento da temperatura e umidade ambiente.....	37
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
BIBLIOGRAFIA	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Fluxograma simplificado do processo para produção de alimento seco extrusado para cães e gatos.....	4
Figura 2.2 – Esquema de um moinho de martelos.....	7
Figura 2.3 – Croquetes de um mesmo produto quando extrusados com telas de 1,2 mm (esquerda) e com telas de 0,6 mm (direita).....	8
Figura 2.4 – Esquema da etapa de extrusão.....	9
Figura 2.5 – Imagem ilustrativa de um canhão de extrusora.....	10
Figura 2.6 – Exemplos de matrizes para extrusoras.....	11
Figura 2.7 – Matriz em funcionamento ilustrando a formação dos croquetes.....	11
Figura 2.8 – Esquema mostrando as camadas de um croquete de ração após o Recobrimento.....	13
Figura 2.9 – Exemplo de silos metálicos.....	15
Figura 2.10 – Tipos de fluxo que os sólidos podem apresentar durante a descarga.....	16
Figura 2.11 – Esquema de um aparelho de cisalhamento de Jenike.....	17
Figura 2.12 – Círculos de tensões de Mohr.....	17
Figura 2.13 – H em função do ângulo de inclinação da tremonha para forma cônica e em cunha.....	18
Figura 3.1 – Patamar das tampas dos silos.....	20
Figura 3.2 – Localização dos silos cilíndricos na fábrica.....	21
Figura 4.1 – Produtos que apresentaram maior tempo de entupimento considerando dados de 2019 a agosto de 2022.....	24
Figura 4.2 – Pareto do tempo de parada gerado por entupimentos.....	25
Figura 4.3 – Umidade e entupimentos.....	26
Figura 4.4 – A esquerda os <i>kibbles</i> com maior volume de produção e a direita os produtos com maior tempo de entupimento em silo.....	27
Figura 4.5 – Médias climatológicas da cidade onde a fábrica está instalada.....	28
Figura 4.6 – Soma do tempo de parado por conta de entupimento de silo.....	29
Figura 4.7 – Relação entre o aumento da temperatura ambiente e a ocorrência de entupimentos nos silos de produto acabado.....	30
Figura 4.8 – Diferença média de temperatura entre os ambientes onde se localiza o topo e o orifício de descarga dos silos.....	31

LISTA DE TABELAS E QUADROS

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação do tipo de fluxo de sólidos em silos.....	18
Tabela 4.2 – Média de temperatura e umidade relativa obtidas com os termo-higrômetros instalados na fábrica próximos aos silos.....	31
Tabela 4.3 – Percentual de gorduras utilizadas no revestimento que tendem a apresentar problemas de entupimento.....	34
Tabela 4.4 – Recobrimento líquido e percentual de umidade dos produtos com menor incidência de entupimentos.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Características físicas dos produtos que mais apresentam problema de escoamento nos silos.....	26
Quadro 4.3 – Temperatura de fusão de gorduras utilizadas para o revestimento dos croquetes.....	32
Quadro 4.4 – Recobrimento líquido dos produtos com maior incidência de entupimentos.....	33

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e justificativa

O denominado Mercado Pet engloba produtos, serviços e comércio de animais de estimação (CAESEGATOS, 2022a). Este setor pode ser dividido em três segmentos principais: Pet Food (alimentação para animais de estimação); Pet Care (cuidados para o animal de estimação) e Pet Vet (serviços veterinários) (MALAS, 2022) e, em 2021, apresentou um faturamento consolidado de 51,7 bilhões de reais no Brasil, com um crescimento de 27% (CARDOSO, 2022).

Tendo como base dados do primeiro trimestre de 2022, a estimativa é de que o Mercado Pet cresça 14% este ano, alcançando um faturamento de 58,9 bilhões de reais. Os dados do primeiro trimestre de 2022 também mostram o destaque do segmento de Pet Food, que faturou 33,1 bilhões de reais no Brasil, representando 56,3% do faturamento total do setor e com um crescimento de 16,7% quando comparado com o faturamento de 2021 (CAESEGATOS, 2022a).

Relevante para a economia brasileira, em 2020 o setor já gerava 2,4 milhões de empregos (AMERICO, 2021) e, em 2021, já era constituído por mais de 285 mil empresas sendo 62,7% destas cadeias de distribuição, como pet shops, 37,8% criadores e 0,2% indústrias (710 unidades) (CARDOSO, 2022). No mesmo ano em que o PIB do país teve queda de 4,1% o Mercado Pet cresceu 13% (MALAS, 2022).

Atualmente, as indústrias do setor pet já somam mais de 1000 unidades e, por mais que os números do setor sejam positivos e mantenham a tendência de alta, para continuar crescendo as indústrias do setor de pet food têm enfrentado desafios devido ao cenário econômico global e do Brasil (MALAS, 2022). As principais matérias-primas utilizadas por estas empresas tiveram alta considerável em seus preços, os vegetais, como o milho, trigo e arroz) ficaram 70% mais caros, já as proteínas tiveram alta de 160% entre 2020 e 2021 (VENÂNCIO, 2021). E, em um cenário que já apresentava complexidade, a guerra na Ucrânia acentuou a alta no preço do trigo, milho e óleos vegetais, uma vez que Ucrânia e Rússia são grandes produtores de cereais (CARDOSO, 2022).

Com o aumento do custo de vida geral no Brasil, a indústria pet não consegue repassar todo o valor do aumento das matérias-primas para os consumidores (MALAS, 2022), segundo VENÂNCIO (2021) o repasse foi de no máximo 70% colocando as empresas no

limite de sua lucratividade, mas ainda com capacidade de absorver esses repasses (MALAS, 2022).

Neste cenário é essencial que as indústrias de pet food busquem formas de otimizar seus processos, reduzindo perdas e aumentando ao máximo a eficiência, para que tenham condições de continuar crescendo e usufruindo das oportunidades do setor no Brasil. Segundo CAESEGATOS (2022b) “os números mostram que mesmo com a crise as famílias brasileiras não deixam de cuidar de seu pet” e a população de animais de estimação teve um aumento de 3,7% em 2021, com a população de gatos registrando um crescimento de 6%.

O presente estudo foi desenvolvido em uma fábrica produtora de alimentos secos para cães e gatos onde foi identificada uma oportunidade para melhoria do processo através da redução de perdas ocorridas devido aos entupimentos observados na descarga de silos de produto acabado, eventos que, de acordo com LOPES NETO et al. (2018), também é crítico do ponto de vista de segurança devido a possibilidade de incidentes envolvendo espaço confinado, trabalho em altura, atmosfera explosiva ou falhas estruturais.

Os entupimentos geram paradas no ensaqui, reduzindo a eficiência das ensacadeiras e, conseqüentemente, o volume produzido. Na planta industrial em pauta, no ano de 2021 os entupimentos de silo foram responsáveis por 85h de parada de produção.

Já sobre as perdas de processo elas acontecem de forma mais considerável se não for possível desentupir o silo sem contato direto com o produto final, nesta situação toda produção precisa ser descartada por risco de contaminação. Também existe a obrigatoriedade de descarte da parte da produção que estiver com aglomerados, e se o processo de desentupimento gerar um percentual alto de croquetes quebrados, estes também precisarão ser rejeitados.

A paralisação da descarga dos silos, ainda que aconteça na etapa de ensaqui, também tem potencial para prejudicar a eficiência da extrusora uma vez que, se o ensaqui não tem vazão pode ocorrer falta de silos de produto acabado para receber os *kibbles* extrusados. Tal situação gera necessidade de parada de extrusão e, além do tempo perdido, prejudica-se a estabilidade do processo e ocasiona-se maior geração de rejeito.

Por fim, ressalta-se que o problema da ocorrência de entupimentos em silos não é exclusivo do processo para produção de alimentos secos para cães e gatos e pode ter conseqüências muito mais graves do que perda de eficiência no processo e de produto acabado. Segundo FELLET (2018), silos de grãos, como soja, costumam ter seus canais obstruídos devido a excesso de umidade, por conta disto, existem inúmeras ocorrências de mortes de trabalhadores soterrados em silos enquanto eles tentavam movimentar os grãos

para desobstruir os dutos sem os equipamentos e condições de segurança adequados. De 2009 a 2018, ao menos 106 trabalhadores morreram em silos de grãos, sendo que a maior parte dos casos foi por soterramento (FELLETT, 2018).

1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é analisar, a partir de dados obtidos em uma fábrica produtora de alimento seco para cães e gatos, as causas de entupimentos durante a descarga em silos verticais que armazenam o produto acabado buscando formas de evitá-los, contribuindo assim para a maior eficiência do processo em questão e, quando possível, apresentando dados e fatos que possam contribuir para a solução do problema em outros setores relevantes para a economia brasileira.

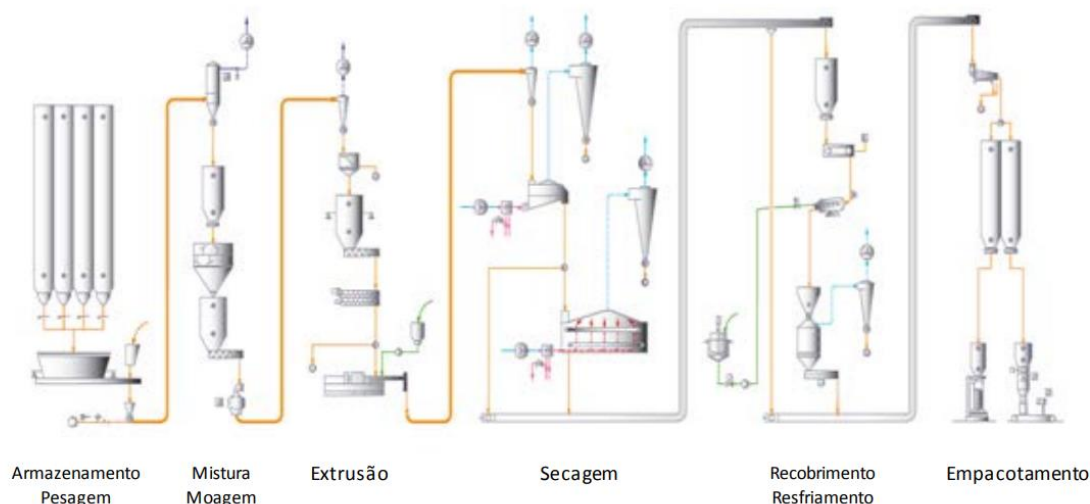
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico, com base nas informações obtidas na literatura, são descritas as principais etapas e equipamentos utilizados na produção de alimento seco extrusado para cães e gatos, as características usuais dos silos presentes em indústrias, a forma de determinação das propriedades do fluxo de descarga de sólidos de silos e fatores que influenciam na ocorrência de paralisação total ou parcial desta descarga.

2.1 Processo para produção de alimento seco extrusado para cães e gatos

O processo para produção de alimento seco para cães e gatos, utilizando a tecnologia de extrusão termoplástica, pode ser apresentado de forma simplificada pelas etapas apresentadas na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Fluxograma simplificado do processo para produção de alimento seco extrusado para cães e gatos



Fonte: COSTA (2015).

2.1.1 – Armazenamento/Pesagem

Usualmente, são utilizados na produção de alimentos para cães e gatos farinhas e farelos, tanto de origem vegetal quanto animal, óleos, gorduras, palatibilizantes, vitaminas,

minerais, antifúngicos e antioxidantes (MAGALHÃES, 2019). Os ingredientes e as proporções dos mesmos são definidos levando em conta as necessidades nutricionais de cada tipo de animal (COSTA, 2015), além disso, a formulação deve levar em conta a funcionalidade, palatabilidade e digestibilidade do alimento, a disponibilidade de matérias-primas do local onde o processo produtivo está instalado, a tecnologia disponível e custos (BEÇA, 2013).

Antes de serem armazenados, na fase de recepção de matérias-primas, todos os ingredientes devem estar devidamente identificados, com a documentação adequada e terem seus dados registrados para fins de rastreabilidade (MACHADO, 2015). Além disto, devem ser amostrados para análises que irão avaliar aspectos microbiológicos, físico e químicos (REINERI, 2017) e, apenas após os resultados conformes destas análises, eles podem ser liberados para descarregamento (MACHADO, 2015). O Manual de Boas Práticas de Fabricação também ressalta a importância de que os veículos transportadores sejam inspecionados como parte dos critérios para liberação dos ingredientes (MACHADO, 2015).

Uma vez liberadas para entrar no processo produtivo, a armazenagem das matérias-primas é feita em silos ou sacarias (SILVA, 2022) e, em ambos os casos, deve ser feita de forma a impedir a incidência de pragas (insetos, roedores e aves), excesso de umidade ou temperaturas inadequadas e deve-se realizar o monitoramento do tempo de armazenagem e de quaisquer alterações nas propriedades do ingrediente, evitando-se o comprometimento da qualidade do produto final devido ao uso de matérias-primas inadequadas (REINERI, 2017). Sobre o monitoramento do tempo de armazenagem, SILVA (2022) afirma que é proibido o uso de ingredientes vencidos, sendo importante seguir a lógica do sistema FIFO (First in First out), “o primeiro que vence é o primeiro que sai”, para o controle do estoque.

A dosagem das matérias-primas é o primeiro ponto crítico de controle do processo (FUCILLINI & VEIGA, 2015), pode ser feita de forma automatizada ou manual, e deve ser feita na quantidade e momento do processo definido pela formulação (MAGALHÃES, 2019). Isso se deve ao fato de que excesso de inclusão de alguns nutrientes pode causar a intoxicação dos animais enquanto a falta de alguns ingredientes pode ocasionar em perda de desempenho e aumento da mortalidade dos animais (SILVA, 2022).

Usualmente o lote de produção na moagem é dividido em bateladas de até 3000 kg, que é a capacidade apresentada pelas balanças utilizadas neste tipo de processo (SILVA, 2022). As matérias-primas secas, como farinhas e farelos, precisam passar pelo processo de moagem depois de dosadas (COSTA, 2015; MAGALHÃES, 2019), cada batida passa por

um pré-misturador etapa importante para a homogeneidade e uniformidade das partículas das matérias-primas (MAGALHÃES, 2019), e então seguem para a etapa de moagem.

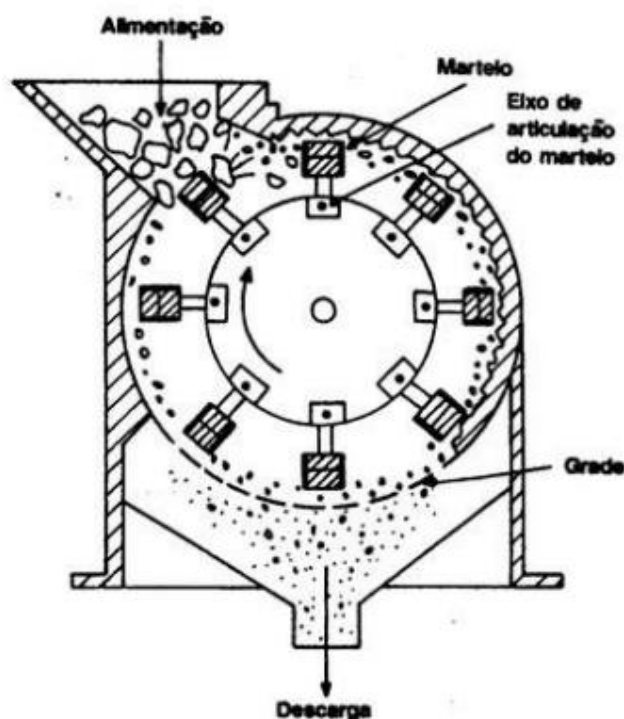
2.1.2 – Mistura/Moagem

O primeiro processamento pelo qual as matérias-primas passam durante a produção de ração é a moagem, a etapa é responsável por grande parte do custo do processo devido ao elevado consumo de energia (FRAIHA, 2005). Nesta fase se reduz o tamanho das partículas por meios mecânicos: corte, esmagamento, trituração e moagem, sem alterar as propriedades químicas das matérias-primas (OLIVEIRA, 2019). Quando se trata da qualidade nutricional do produto acabado, a moagem aumenta a superfície de contato das partículas com o suco gástrico e enzimas digestivas, auxiliando o processo de digestão dos cães e gatos (SILVA, 2022). Além disso, o grau de moagem das partículas determina a granulometria do farelo que irá ser extrusado, fator que, segundo MAGALHÃES (2019), interfere diretamente na etapa de extrusão, facilitando ou dificultando o processo. Quanto mais uniformes as partículas haverá mais homogeneidade no cozimento e nível de umidade, evitando partes duras no produto final (OLIVEIRA, 2019).

O tipo de moinho comumente utilizado no processo em questão é o de martelos, fato que, segundo FUCILLINI & VEIGA (2014), se deve a versatilidade e facilidade de manutenção do equipamento.

No moinho de martelos a matéria-prima é alimentada na câmara de moagem por meio da gravidade. Na câmara ela tem contato com os martelos em alta rotação e é empurrada contra a peneira perfurada do moinho, esse primeiro contato é responsável por grande parte da redução do tamanho das partículas devido a diferença de velocidade entre elas e os martelos. Em seguida elas entram na zona de aceleração, igualando sua velocidade com os martelos, são trituradas pelos martelos em alta rotação e conforme seu tamanho é reduzido vão se distanciando deles, reduzindo sua velocidade e se aproximando da peneira ou tela do moinho. Quando atingem a granulometria esperada, a velocidade reduzida das partículas das matérias-primas faz com que, por meio da força centrífuga e pressão, elas passem pelas telas do moinho também chamadas de grades, como mostra a Figura 2.2 (FRAIHA, 2005).

Figura 2.2 – Esquema de um moinho de martelos



Fonte: OLIVEIRA (2019).

Usualmente as fábricas de rações no Brasil utilizam peneiras com abertura de 1,2mm, mas as fabricantes de alimentos para cães e gatos dos tipos Premium e Super Premium em sua maioria utilizam peneiras de 0,6 – 0,8 mm, adotando moagem fina (OLIVEIRA, 2019). Ainda segundo OLIVEIRA (2019), essa redução no diâmetro das partículas melhora aspectos visuais do produto final, como ilustrado na Figura 2.3, mas não gera alterações nutricionais enquanto MAGALHÃES (2019) traz que a redução da granulometria resulta em maior taxa de gelatinização do amido, absorção de água e expansão dos croquetes ou *kibbles* (*kibbles* ou croquetes é o nome que se dá para as unidades de ração após a etapa de extrusão), principalmente quando se trata da granulometria dos ingredientes amiláceos, que são os principais responsáveis pela coesão entre as matérias-primas.

Figura 2.3 – Croquetes de um mesmo produto quando extrusados com telas de 1,2 mm (esquerda) e com telas de 0,6 mm (direita)



Fonte: MAGALHÃES (2019).

Após a moagem das matérias-primas secas vem a etapa de mistura, que é essencial para que os nutrientes estejam distribuídos de forma uniforme no produto acabado (FUCILLINI & VEIGA, 2015). Nesta etapa ocorre a inclusão dos chamados micro ingredientes, como vitaminas e minerais, que usualmente estão presentes em uma matéria-prima denominada *premix* (COSTA, 2015).

Os misturadores mais comuns são do tipo vertical ou horizontal, sendo que o horizontal realiza o processo em tempo menor, leva menos tempo na etapa de carregamento e descarregamento e, se bem dimensionado e ajustado, apresenta menor presença de resíduos entre as batidas (FUCILLINI & VEIGA, 2015). A maior vantagem de um misturador vertical é o baixo custo (SILVA, 2022).

Por fim, o farelo que sai do misturador passa por mais um peneiramento, para garantir uma granulometria fina e homogeneidade, e segue para a etapa de extrusão (COSTA, 2015).

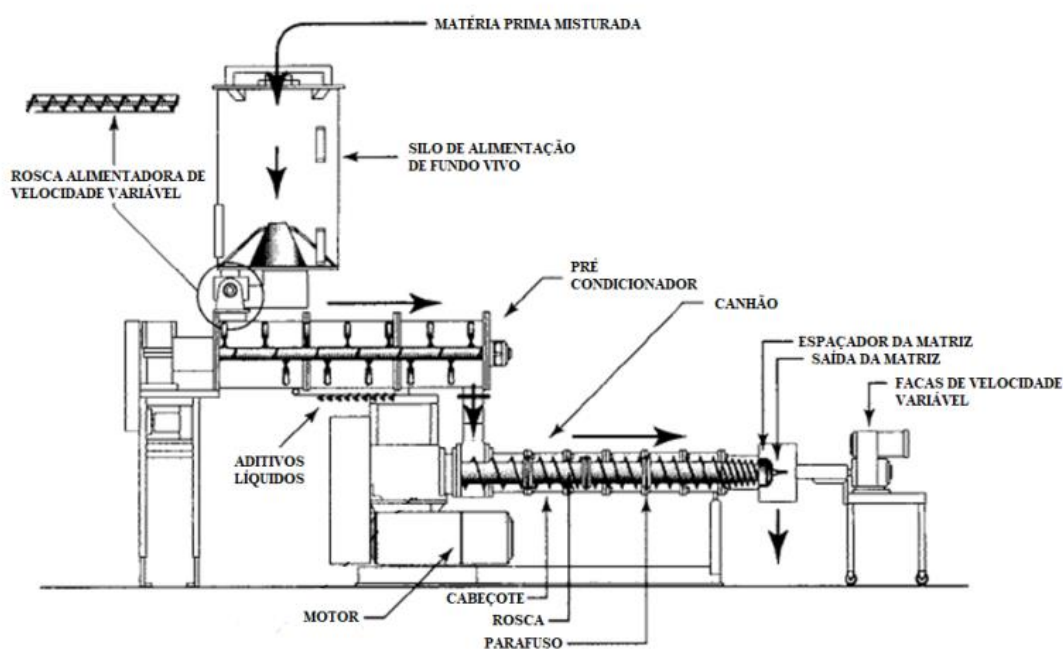
2.1.3 – Extrusão

Segundo RESCHSTEINER (2005), a extrusão termoplástica é um processo contínuo onde por meio de aquecimento, pressão e fricção ocorre gelatinização, cozimento, fricção molecular, mistura, esterilização, secagem, reestruturando as matérias-primas e possibilitando a formação de novas texturas e formatos quando elas passam através de um molde, sendo um processo eficiente e com baixo custo relativo (OLIVEIRA, 2019). Estas mudanças físicas e químicas nos ingredientes promovem aumento do valor nutricional nas rações, isto se dá devido a gelatinização do amido que torna os cereais mais digestíveis para

os carnívoros, a modelação dos croquetes de forma a melhorar a apreensão do alimento e mastigação de cada espécie a qual ele se destina, a destruição de microrganismos nocivos, o aumento da durabilidade do alimento, desnaturação de proteínas (OLIVEIRA, 2019) e a maior possibilidade de inclusão de ingredientes, como carboidratos (REINERI, 2017).

A Figura 2.4 mostra um resumo do processo de extrusão, ele começa quando o farelo contendo as matérias-primas dosadas, moídas, misturadas e peneiradas (OLIVEIRA, 2019) é introduzido em um pré-condicionador a uma taxa constante e controlada (MAGALHÃES, 2019). No pré-condicionador a massa é hidratada por meio da injeção de água e ocorre mistura por meio de um sistema com pás dispostas radialmente (BAZOLLI, 2007) visando a geração de uma massa homogênea, com 10 a 25% de umidade (COSTA, 2015). Também é injetado vapor, que fornece energia térmica para o aquecimento da mistura (MAGALHÃES, 2019).

Figura 2.4 – Esquema da etapa de extrusão

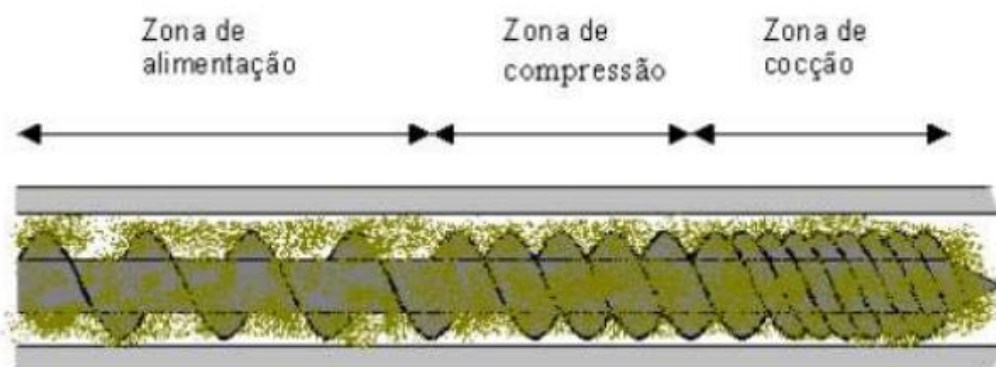


Fonte: MAGALHÃES (2019).

A inclusão de água, vapor e o tempo de retenção no pré-condicionador são parâmetros que podem ser ajustados influenciando no resultado do croquete extrusado, na capacidade da extrusão e no consumo de energia do processo (COSTA, 2015). E, por fim, nota-se que segundo BAZOLLI (2007), na etapa do pré-condicionador pode-se incluir aditivos líquidos e/ou carne fresca.

Após passar pelo pré-condicionador a massa que está sendo extrusada vai para o canhão da extrusora que é um sistema de rosca-sem-fim, podendo ter uma ou duas roscas a depender do nível de dificuldade do processamento e que pode ser dividido em três zonas como mostra a Figura 2.5 (MAGALHÃES, 2019; OLIVEIRA, 2019). Esta massa entra na zona de alimentação, onde continua sendo homogeneizada e pode-se incluir aditivos líquidos (gorduras, óleos ou corantes) (MAGALHÃES, 2019). Em seguida, na zona de compressão acontece o aumento da temperatura e pressão devido ao atrito causado pela rosca (BAZOLLI, 2007), e assim, inicia-se a compressão e cozimento da massa (COSTA, 2015). Na região de compressão também pode ocorrer a inclusão de água e vapor, contribuindo para o aumento da temperatura (BAZOLLI, 2007). Por fim, tem-se a zona de cocção, que é a região de maior pressão, temperatura e tensão de cisalhamento do canhão, podendo atingir 37 atm de pressão e 150°C de temperatura (OLIVEIRA, 2019), nela a massa termina o cozimento e está altamente compactada, com aspecto elástico e viscoso (MAGALHÃES, 2019).

Figura 2.5 – Imagem ilustrativa de um canhão de extrusora



Fonte: COSTA (2015).

No final do canhão da extrusora encontra-se uma matriz, que é o molde que dará forma aos croquetes ou *kibbles* de ração (BAZOLLI, 2007). A matriz faz com que ocorra um aumento de pressão no final do canhão, e quando a massa passa pelos orifícios dela, que definem o formato dos croquetes, os *kibbles* se expandem, o grau de expansão define a densidade e influência no tamanho dos croquetes que são cortados por facas. A velocidade e o número de facas influenciam diretamente na largura dos croquetes (MAGALHÃES, 2019). A Figura 2.6 mostra os orifícios de três matrizes, a da esquerda para a formação de croquetes redondos com furo no meio, e a direita uma para formação de croquetes redondos

e outra para croquetes com formato de coração. Já a Figura 2.7 mostra uma matriz em funcionamento, com os croquetes sendo formatos.

Figura 2.6 – Exemplos de matrizes para extrusoras



Fonte: FERRAZ MÁQUINAS (2022).

Figura 2.7 – Matriz em funcionamento ilustrando a formação dos croquetes



Fonte: MAGALHÃES (2019).

O tamanho, formato e densidade dos croquetes, que são definidos nesta etapa do processo, são características importantes do produto final e por isso devem estar de acordo com as especificações da formulação. Segundo BEÇA (2013), animais de raças menores preferem alimentos menores enquanto raças maiores aceitam melhor croquetes maiores com formas variadas. Outro exemplo é que animais braquicefálicos, que possuem o “fucinho

achatado” como Pug, Bulldog Francês e Shih Tzu, têm dificuldades com croquetes redondos (BEÇA, 2013; BORGES, 2018). A textura, tamanho e formato dos alimentos também influenciam na saúde bucal dos cães e gatos (BORGES, 2018).

2.1.4 – Secagem

Após a extrusão, os croquetes, ou *kibbles*, apresentam umidade entre 15-30% que deve ser reduzida para uma faixa entre 6-10%, de acordo com a formulação. Para isto é realizada a etapa de secagem (MAGALHÃES, 2019). Esta diminuição na umidade interfere diretamente na palatabilidade (ALMEIDA, 2021), contribui para os processos de envase e transporte, por meio da redução de peso e volume, e para o aumento do prazo de validade do produto, uma vez que a retirada da água é essencial para o controle microbiano e reduz alterações físico-químicas (COSTA, 2015; REINEIRI, 2017).

O principal equipamento utilizado nesta etapa é o secador, nele o produto é aquecido de forma a possibilitar a remoção da água contida no interior do croquete, o que se dá pelo transporte da umidade do interior para a superfície do croquete e da superfície para o meio ambiente (MAGALHÃES, 2019).

O tipo de secador comumente utilizado na indústria de pet food é o secador contínuo, com uma ou duas esteiras horizontais, equipado com sistema de recirculação de ar, exaustão e separador de finos (COSTA, 2015; MAGALHÃES, 2019). Neste tipo de secador, um espalhador faz com que os croquetes úmidos, oriundos da extrusão, sejam distribuídos uniformemente em cima da primeira esteira do equipamento, é importante que a camada de croquetes esteja uniforme para que a secagem se dê igualmente entre os croquetes. A esteira se move, com velocidade entre 40 e 60m/min, enquanto ar aquecido por queimadores, usualmente entre 90° e 180°C, passa por meio do leito de produto retirando a umidade. Posteriormente, este ar úmido é retirado por um sistema de exaustão (COSTA, 2015; MAGALHÃES, 2019).

Além da taxa de umidade, outro parâmetro que deve ser controlado nesta etapa do processo é a atividade de água (MAGALHÃES, 2019). Segundo COSTA (2015) a atividade de água descreve o estado da água presente nos alimentos e, abaixo de um determinado valor de atividade de água, não há crescimento de microrganismos, o que contribui para a segurança e qualidade do alimento.

2.1.5 – Recobrimento/Resfriamento

Após a secagem os croquetes seguem para a etapa de engorduramento líquido e pó, também chamada de recobrimento. Esta parte do processo é importante para melhorar a palatabilidade do alimento (COSTA, 2015), além de promover aumento do valor nutricional, uma vez que durante a extrusão e secagem acontece a degradação de algumas vitaminas (MAGALHÃES, 2019). Assim como os demais ingredientes, os óleos, gorduras e palatibilizantes utilizados bem como suas respectivas quantidades são definidos de acordo com a formulação, visando atender as necessidades e preferências do animal para o qual a ração se destina (BEÇA, 2013).

O recobrimento pode ser feito em duas etapas, sendo primeiro adicionadas as gorduras e óleos, na etapa de engorduramento líquido, e na sequência adicionados os palatibilizantes em pó. Para o processo ser mais eficiente ele pode ser feito utilizando o recurso do vácuo, que faz com que as gorduras e óleos penetrem de forma eficiente nas camadas de cada croquete por conta da redução de pressão (MAGALHÃES, 2019). A Figura 2.8 mostra as camadas de um croquete extrusado e engordurado.

Figura 2.8 – Esquema mostrando as camadas de um croquete de ração após o recobrimento



Fonte: MAGALHÃES (2019)

Finalizado o recobrimento líquido e pó, o alimento é encaminhado para a etapa de resfriamento. O resfriamento também é uma etapa essencial para a segurança e qualidade do alimento, COSTA (2015) traz que esta etapa do processo evita que umidade residual dos

croquetes e do ar entorno deles se condensem já dentro da embalagem possibilitando a proliferação de fungos.

O equipamento utilizado nesta etapa é o resfriador, onde o produto permanece sendo transpassado por uma corrente de ar mais fria do que a temperatura em que ele se encontra até que atinja temperatura próxima a do local onde acontecerá o ensaque (MAGALHÃES, 2019). Segundo (FUCILLINI & VEIGA, 2014), o produto não deve ser liberado do resfriador até que esteja no máximo 8°C acima da temperatura ambiente e além de evitar o surgimento de fungos e mofos, o resfriamento evita que os pellets de ração se quebrem durante as etapas posteriores.

Devidamente recoberto e resfriado, os kibbles seguem para a etapa que é objeto de estudo do presente do trabalho, o armazenamento em silos, onde permanecem até o ensaque. GIRIO (2007) traz em seu trabalho que o tempo de espera do produto acabado em silo deve ser curto e monitorado a fim de evitar contaminações.

2.1.6 – Empacotamento

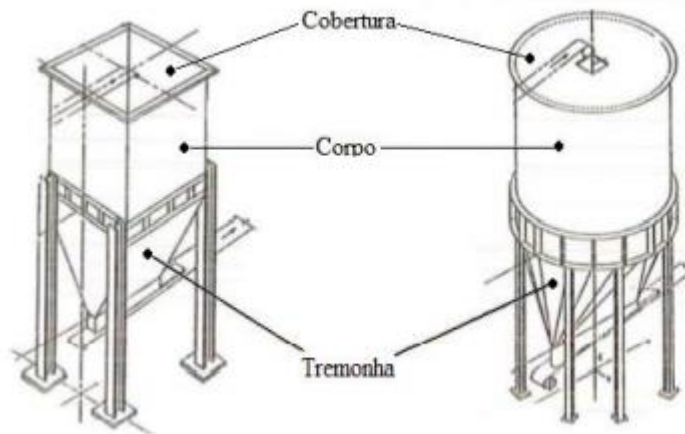
Na última etapa do processo, o alimento é descarregado do silo de produto acabado, passa por peneiramento para separação de aglomerados e finos, é pesado de acordo com a capacidade do pacote em que será colocado e, por fim, dispensado na embalagem que é selada e rotulada (MAGALHÃES, 2019).

2.2 Fluxo de sólidos particulados em silos verticais

Os silos são estruturas amplamente utilizadas nas indústrias e no setor agrícola, projetadas para o armazenamento de sólidos particulados. Eles podem ser constituídos de materiais diversos como concreto, alvenaria de blocos cerâmicos ou chapas de aço e podem ser horizontais (base maior que a altura) ou verticais (base menor que a altura), sendo este último formato economicamente mais viável. O compartimento onde o produto fica armazenado dentro de um silo é chamado de célula ou corpo, um silo pode ter uma ou mais células e esta pode ser circular, quadrada, retangular ou poligonal. O fundo de um silo pode ter forma cônica (com tremonha de diferentes tipos) ou plana (LOBATO, 2013; CARDOSO et al., 2020). A Figura 2.9 ilustra dois tipos diferentes de silos metálicos, a esquerda observa-

se um silo com corpo quadrado e tremonha cuneiforme enquanto a direita observa-se um silo cilíndrico com tremonha tipo cinzel.

Figura 2.9 – Exemplo de silos metálicos



Fonte: CARDOSO et al. (2020)

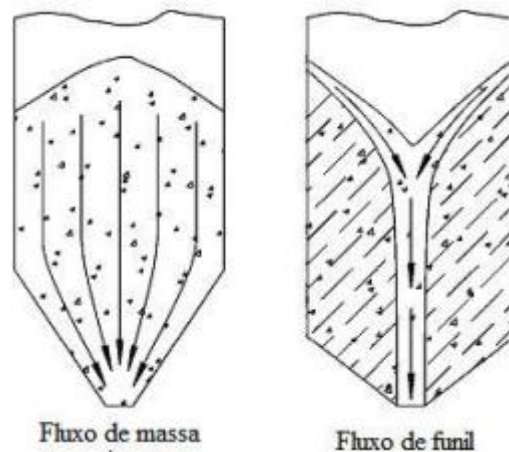
O dimensionamento de um silo deve ser feito levando em conta as características do fluxo do produto que será armazenado e a vazão de escoamento, visando obter um escoamento contínuo e seguro, e sem risco de colapsos estruturais (LOBATO, 2013; CARDOSO et al., 2020).

O entupimento no silo ocorre quando a descarga do produto sofre uma paralisação parcial ou total. Segundo LOPES NETO et al. (2009b) as indústrias que trabalham com materiais granulares ou pulverulentos estão sujeitas a este problema devido às tensões de cisalhamento que os sólidos transmitem em condições estáticas e ao aumento de sua coesão quando encontram-se comprimidos, o que acontece quando estão armazenados em silos.

Fatores ambientais como temperatura e umidade, o perfil do fluxo dos produtos armazenados e a geometria dos silos estão diretamente relacionados com a ocorrência de entupimentos (LOPES NETO et. al., 2009b). A formação de arcos coesivos e arcos mecânicos são exemplos de problemas funcionais de escoamento, arcos mecânicos usualmente ocorrem pela interação de partículas fibrosas com formas irregulares enquanto os arcos coesivos possuem maior incidência quando se trata de produtos com granulometria fina (LOBATO, 2013), uma forma de evitar a formação destes arcos é o dimensionamento do silo para que o fluxo seja do tipo mássico, de acordo com a teoria de Jenike (LOPES NETO et. al. 2007).

Os sólidos podem apresentar fluxo de massa ou de funil ao escoarem de um silo. No fluxo de massa os sólidos escoam de forma uniforme do silo, movimentando todas as suas partes, enquanto no fluxo de funil parte do sólido permanece estática em contato com as paredes do silo, deve-se analisar o contexto da aplicação do silo para definir qual tipo de fluxo é mais vantajoso (LOPES NETO et al. 2009a). A Figura 2.10 ilustra os dois tipos de fluxo.

Figura 2.10 – Tipos de fluxo que os sólidos podem apresentar durante a descarga



Fonte: LOPES NETO et al. (2009a)

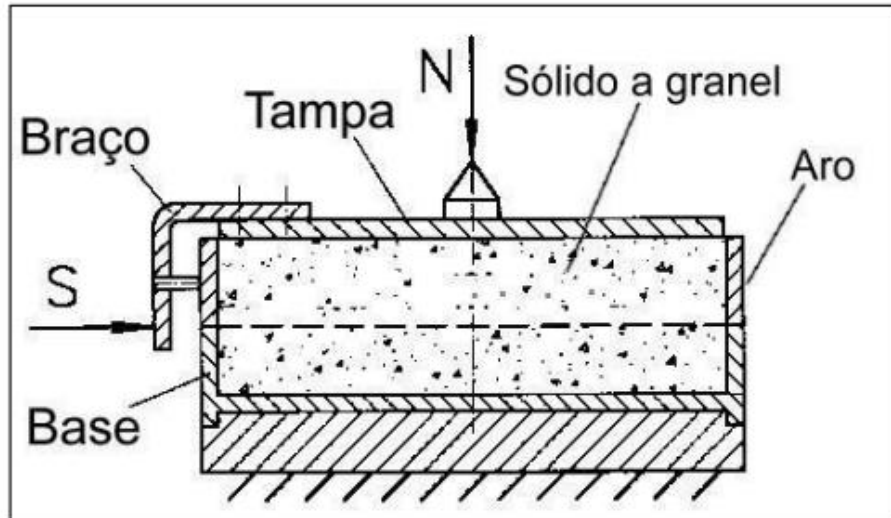
Em seu trabalho sobre as propriedades de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos as características físicas do produto que LOPES NETO et. al. (2007) consideram relevantes para a análise são a umidade, a dimensão máxima e o teor de gordura. Segundo HAFEZ et. al. (2021) outra característica física dos sólidos que influencia na descarga e ocorrência de entupimentos é o formato, uma vez que este define a interação partícula-partícula e a mobilidade relativa. O autor concluí que sólidos com formato de cubos e cruzeiros (ou formato de “X”) são mais propensos a entupimento em silo.

Embora as características físicas citadas no parágrafo anterior sejam relevantes é necessário considerar que analisar o comportamento do fluxo de produtos alimentícios sólidos é uma atividade complexa, uma vez que eles possuem composição muito variada com elementos como conservantes, sais, ácidos, óleos e gorduras que exercem influência no escoamento (LOPES NETO et. al., 2009a).

Para a determinação das propriedades do fluxo de escoamento em silos é usualmente utilizado o Aparelho de Cisalhamento de Jenike (*Jenike Shear Cell*), Figura 2.11, que

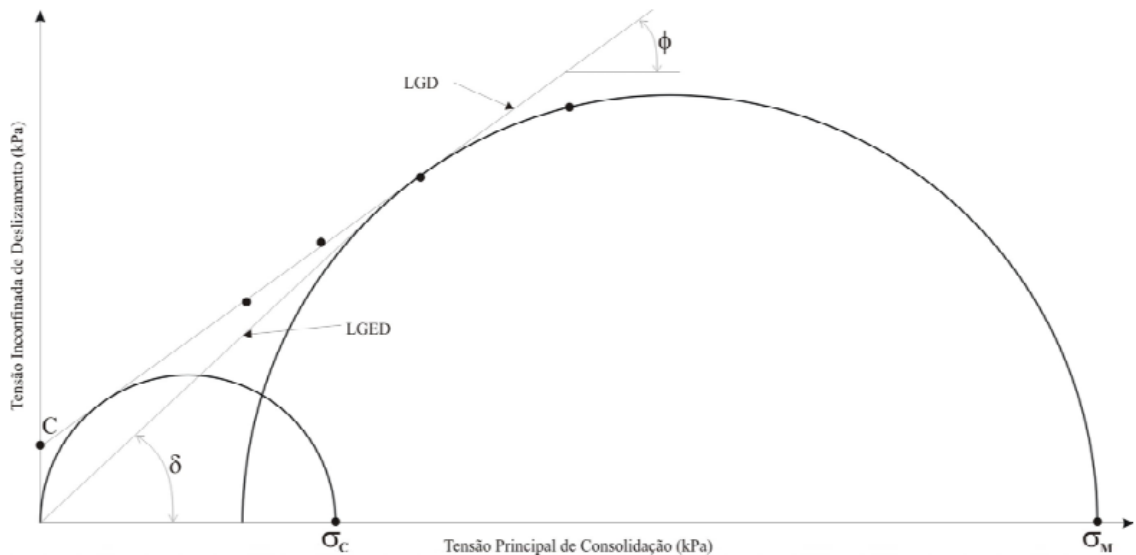
permite determinar a Tensão Principal de Consolidação (σ_m) e a Tensão Não Confinada de Deslizamento (σ_c) por meio dos círculos de tensões de Mohr, Figura 2.12 (LOPES NETO et. al., 2007; LOBATO, 2013).

Figura 2.11 – Esquema de um aparelho de cisalhamento de Jenike



Fonte: LOBATO (2013)

Figura 2.12 – Círculos de tensões de Mohr



Fonte: LOPES NETO et. al. (2007)

Com os valores dessas tensões é possível determinar a Função fluxo do produto (FF), o índice de fluxo (ff_c) que classifica o fluxo em inexistente, muito coesivo, coesivo, fácil ou

livre como está descrito na Tabela 2.1, o ângulo de atrito interno (ϕ), a coesão (C), fator de fluxo de tremonha (ff), a tensão crítica (σ_{cr}) (LOPES NETO et. al., 2007; LOBATO, 2013).

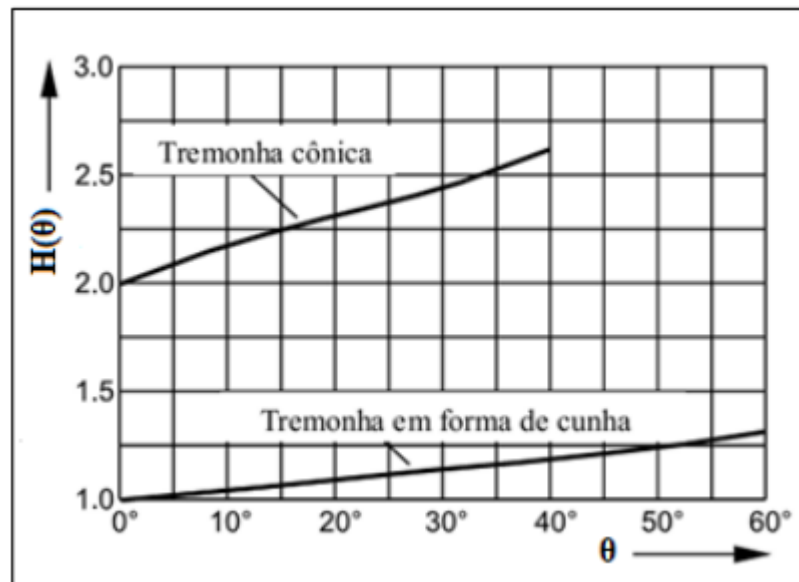
Tabela 2.1 – Classificação do tipo de fluxo de sólidos em silos

Tipo de fluxo	Índice de fluxo (ff_c)
Sem fluxo	$ff_c < 1$
Muito coesivo	$1 < ff_c < 2$
Coesivo	$2 < ff_c < 4$
Fácil	$4 < ff_c < 10$
Livre	$ff_c > 10$

Fonte: LOPES NETO et. al. (2007)

Jenike também desenvolveu uma equação que permite calcular o diâmetro mínimo do orifício de descarga por meio do produto entre a tensão crítica (σ_{cr}) por um valor $H(\theta)$ que vai depender do ângulo de inclinação da tremonha dividido pelo valor do peso específico consolidado (γ). É possível calcular a inclinação mínima da tremonha (θ_m) por meio da equação de Enstad (LOPES NETO et. al., 2009^a; LOBATO, 2013).

Figura 2.13 – H em função do ângulo de inclinação da tremonha para forma cônica e em cunha



Fonte: LOBATO (2013)

As condições ambientais, como temperatura, umidade e pressão, afetam diretamente o fluxo encontrado no silo uma vez que possuem relação direta com o ângulo de atrito do produto armazenado e a parede do silo. Se o produto for inserido no silo com temperatura mais alta do que a do silo a umidade das paredes pode migrar para as partículas, alterando as propriedades do produto e conseqüentemente o perfil de fluxo (LOBATO, 2013).

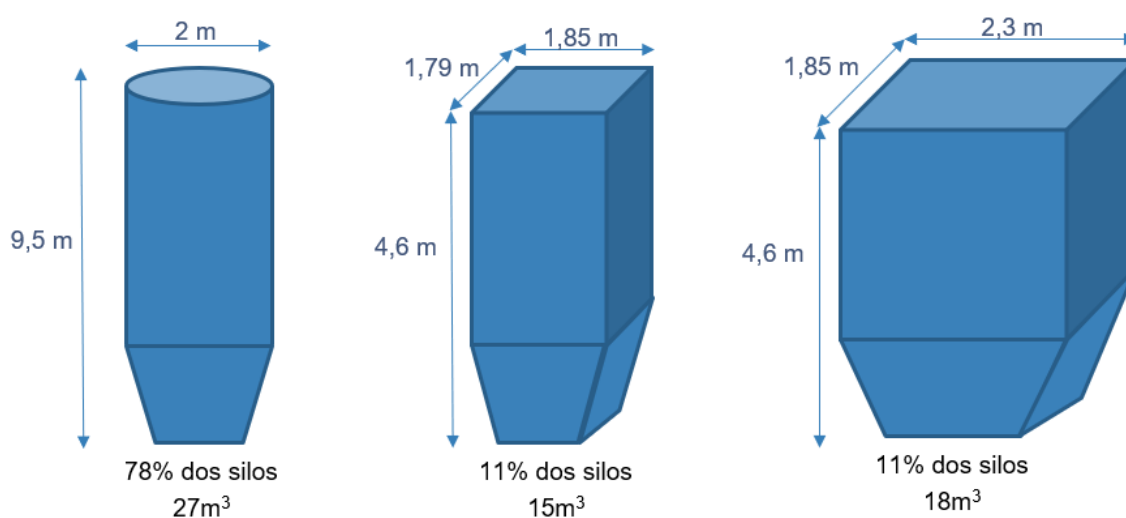
Por fim, mesmo mantendo-se a geometria do silo, as propriedades do produto e as condições ambientais ainda sim é possível que exista diferenças no fluxo de descarga devido a um fator de processo, o tempo de armazenamento. O tempo de armazenamento mais longo pode favorecer a aderência do produto à superfície, resultando em ângulos de atrito maiores com a parede (LOBATO, 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Características dos silos da fábrica onde os dados foram obtidos

Todos os silos da fábrica são verticais e metálicos, sendo uma minoria com corpo quadrado ou retangular e a maioria com corpo cilíndrico. Todos possuem chapéu e um moto vibrador na tremonha. Os silos cilíndricos são maiores com em média 27m^3 de capacidade, os silos quadrados possuem em média 15m^3 e os retangulares 18m^3 . A Figura 3.1 mostra um esquema simplificado dos silos.

Figura 3.1 – Patamar das tampas dos silos

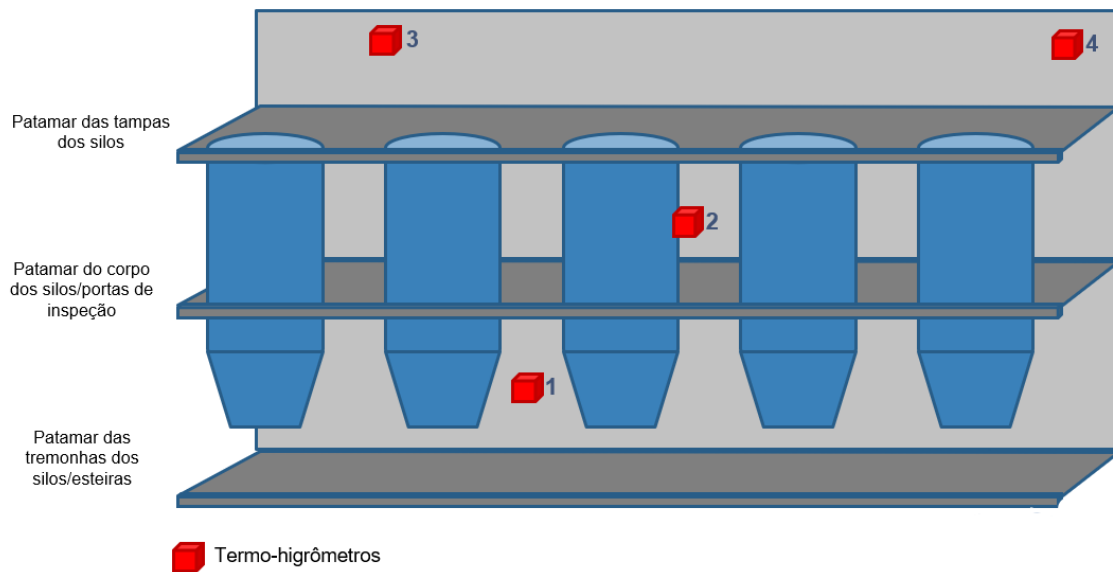


*** Desenhos fora da escala

Fonte: Acervo pessoal (2022).

Os silos maiores possuem porta de inspeção e perpassam por três patamares da fábrica enquanto os menores ocupam apenas dois patamares e não possuem porta de inspeção. A Figura 3.2 é um esquema simplificado da localização dos silos cilíndricos nas instalações da fábrica. Na figura também é possível ver a localização dos termo-higrômetros utilizados para coleta de temperatura e umidade, o uso deles para o presente trabalho será melhor explicado no tópico de metodologia.

Figura 3.2 – Localização dos silos cilíndricos na fábrica



Fonte: Acervo pessoal (2022).

3.2 Características gerais dos *kibbles* produzidos na fábrica onde os dados foram obtidos

O presente trabalho denomina como fórmula o conjunto de informações necessárias para produzir um determinado produto, sendo as principais:

- Composição (o percentual de cada matéria-prima utilizada bem como os desvios de dosagem aceitáveis);
- Granulometria do farelo (que vai determinar qual tamanho de tela deve ser utilizada no processo de moagem);
- O formato, dimensões e densidade que os *kibbles* devem possuir sendo estes os fatores que determinam a escolha da matriz e quantidade de facas para a extrusão bem como parâmetros como temperatura, quantidade de vapor e água no pré-condicionador e necessidade de inclusão de gordura durante a extrusão;
- O percentual de umidade e AW (atividade de água) que ditarão os parâmetros de secagem a serem utilizados;
- Taxa de gelatinização do amido.

A fábrica que forneceu os dados para o estudo possui um amplo portfólio, com entorno de 160 fórmulas, sendo estas com diferentes matérias-primas, tamanhos, formas, percentuais de gordura e umidade, em alguns casos com aspecto visivelmente mais engordurado em outros pulverulento. Também faz se necessário observar que este portfólio é dinâmico e fórmulas são criadas, descontinuadas ou modificadas para acompanhar tendências de mercado ou em busca de melhorias.

As dimensões dos *kibbles* variam de 3 a 30 mm, são feitos croquetes com formato triangular, redondo, redondo com furo no meio, em formato de “X”, formato de onda ou “S”, quadrado, arco, losango, retangular, formato de “Y”, viga e anelar. Os percentuais de gordura variam entre 7 e 25% e os de umidade estão em uma faixa entre 5 e 10%.

Nos resultados cada fórmula será referida por uma nomenclatura composta por duas letras (AA, AB, AC, ...).

3.3 Metodologia

Devido ao portfólio da planta industrial estudada, o contexto encontrado são produtos com características diversas, que implicam em diferenças nos perfis de fluxo em silo, mas que precisam ser armazenados nos mesmos silos, sem a possibilidade de se ter silos com a geometria adequada para cada tipo de perfil de fluxo de descarga. A impossibilidade não se dá apenas pela quantidade de perfis de fluxo diferentes, mas também pelo fato do mix de rações produzidas estar em constante mudança de acordo com as demandas de mercado e estratégias do negócio.

Para contornar este ponto de dificuldade, durante a análise de dados o foco foi em soluções que melhorassem as condições de escoamento de forma geral e/ou para os produtos que apresentavam entupimentos com maior frequência e maior tempo de interrupção do fluxo de descarga.

Foram analisados dados históricos do processo considerando todos os entupimentos ocorridos nos silos de produto acabado no período de janeiro de 2019 a agosto de 2022. Durante a análise de dados buscou-se compreender:

- Quais produtos apresentam mais ocorrências de entupimentos durante sua produção e quais suas características físicas? Existe um grupo bem delimitado de características que resultam em um maior número de interrompimentos de

descarga o que possibilitaria a busca de uma solução específica para estes produtos?

- A relação entre a ocorrência de entupimentos, considerando todas as fórmulas produzidas, e a temperatura e umidade do ambiente.

Para a análise da influência dos fatores ambientais, temperatura e umidade, além da análise do perfil climático da cidade em que a planta está instalada também foram colhidos dados da temperatura nos três patamares da fábrica que os silos ocupam, como ilustrado na Figura 3.2. Estes dados foram coletados no período de 05/05/2021 a 24/06/2021 em 4 faixas de horário, para isto foi instalado um termo-higrômetro no patamar das tremonhas dos silos, um termo-higrômetro no patamar onde fica a região central do corpo dos silos e dois termo-higrômetros no patamar das tampas dos silos.

No patamar das tampas dos silos foram instalados dois termo-higrômetros para observar se existia diferença de temperatura considerável entre os silos localizados mais próximos e mais distantes do secador.

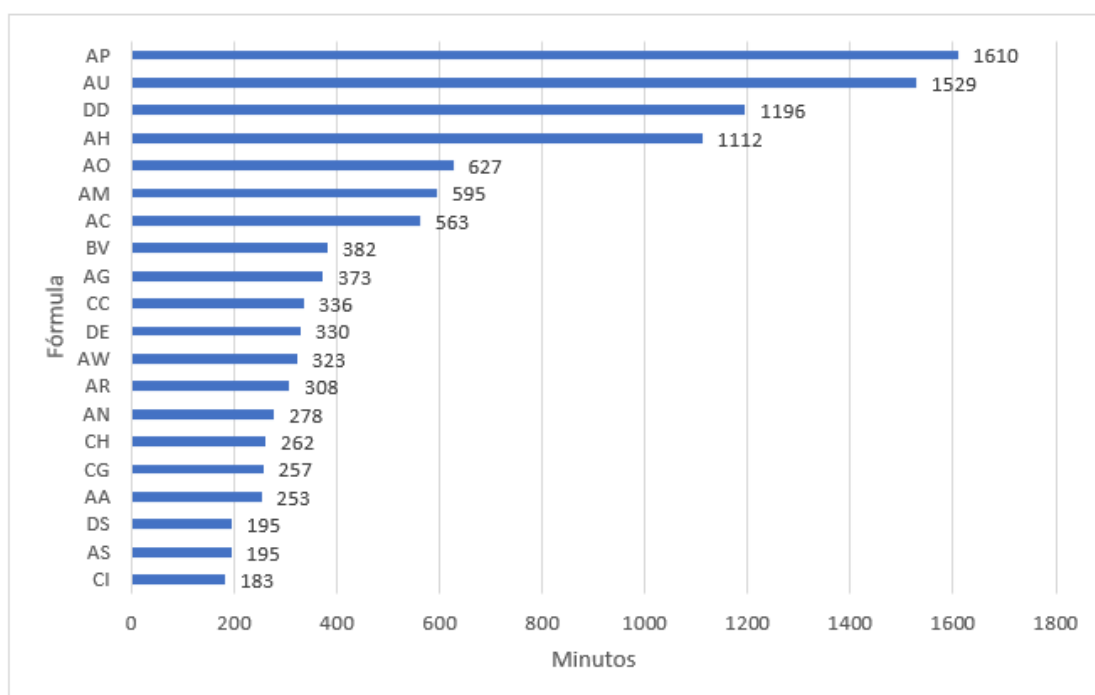
Outro fator relevante para a análise da influência da temperatura é uma especificação de processo que determina que os produtos adentram os silos somente quando atingem no resfriador uma diferença máxima de temperatura com a temperatura do ambiente de ensaque, localizado no térreo da fábrica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Produtos com maior ocorrência de entupimentos durante o processo de ensaque

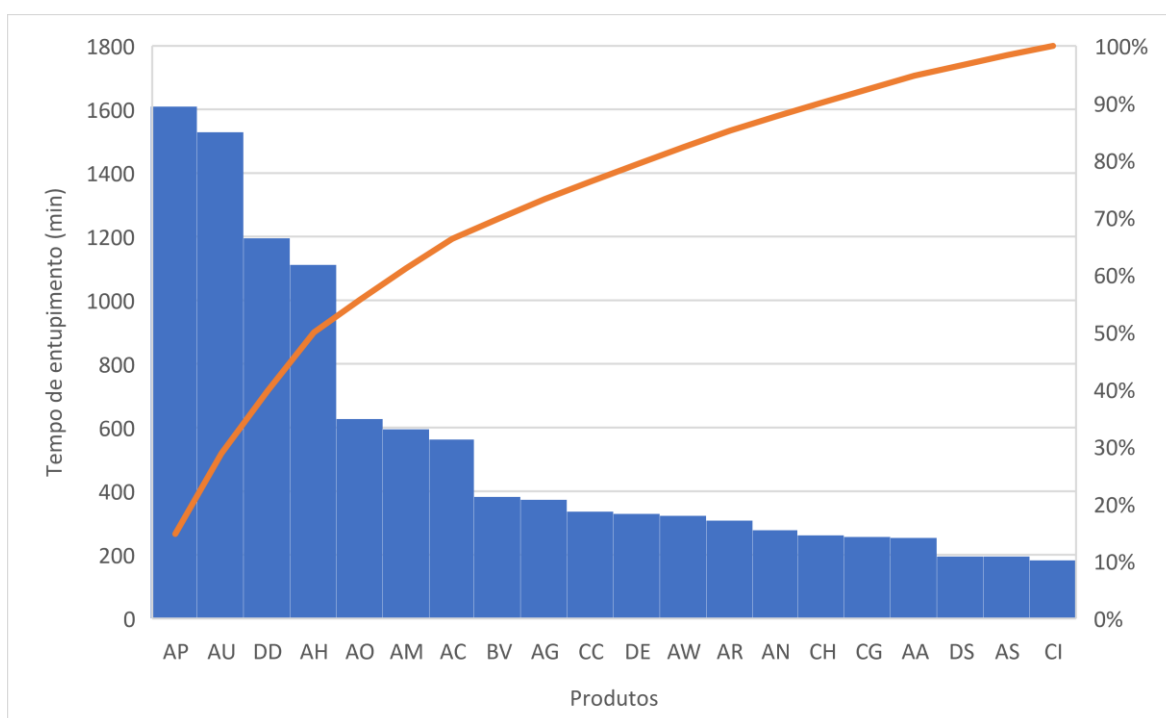
Os dados do histórico de produção no período analisado mostram que 70% das fórmulas produzidas apresentaram problema de entupimento nos silos de produto acabado ao menos uma vez. A Figura 4.1 mostra o tempo de parada no processo de ensaque, gerado pelos 20 produtos com maior incidência de entupimentos, até o que o fluxo de descarga fosse retomado. É possível observar que quatro produtos apresentam tempo de entupimento de 9 a 13 vezes maior que a média entre todos os produtos que já estiveram envolvidos neste tipo de incidente, sendo responsáveis por mais de 50% do tempo total de parada como mostra a Figura 4.2. Algumas características físicas deles relevantes para a determinação do perfil de escoamento são apresentadas no Quadro 4.1.

Figura 4.1 – Produtos que apresentaram maior tempo de entupimento considerando dados de 2019 a agosto de 2022



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Figura 4.2 – Pareto do tempo de parada gerado por entupimentos



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Quadro 4.1 – Características físicas dos produtos que mais apresentam problema de escoamento nos silos

Produto	Formato	Dimensões (mm)	% Umidade	% Gordura	Densidade da partícula (g/L)
AP	Redondo	10 x 9,5 x 4	9,5	16	400
AU	Redondo	10 x 9,5 x 4	9,5	17	390
DD	Retângulo	13 x 12,5 x 7,5	9,5	17	350
AH	Arco	22,5 x 18 x 9	9,5	18,2	350

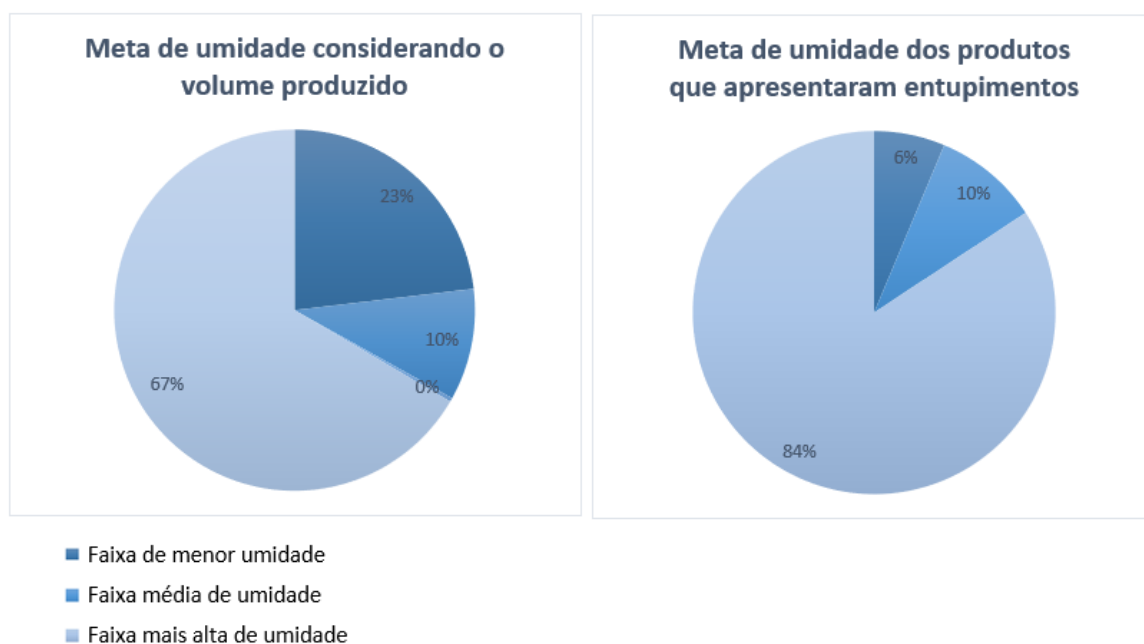
Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Indo de encontro às informações da literatura, nenhum dos produtos com maior incidência de entupimentos na descarga possui formato de cruz ou de cubo. Sendo uma evidência que no contexto da indústria analisada, o formato não é principal fator com influência nos entupimentos.

A semelhança relevante entre estes produtos é que todos estão na faixa de umidade mais alta do portfólio produzido pela fábrica, o que embora não se apresente como uma regra, indica a influência do nível de umidade no perfil de fluxo do produto. Mas, de forma

geral, eles diferem nas demais características analisadas. Na Figura 4.3 que ao fazer uma análise geral os produtos com maior umidade apresentam mais entupimentos e os que se encontram na menor faixa de umidade produzida são os com menor tendência de interrupção de fluxo.

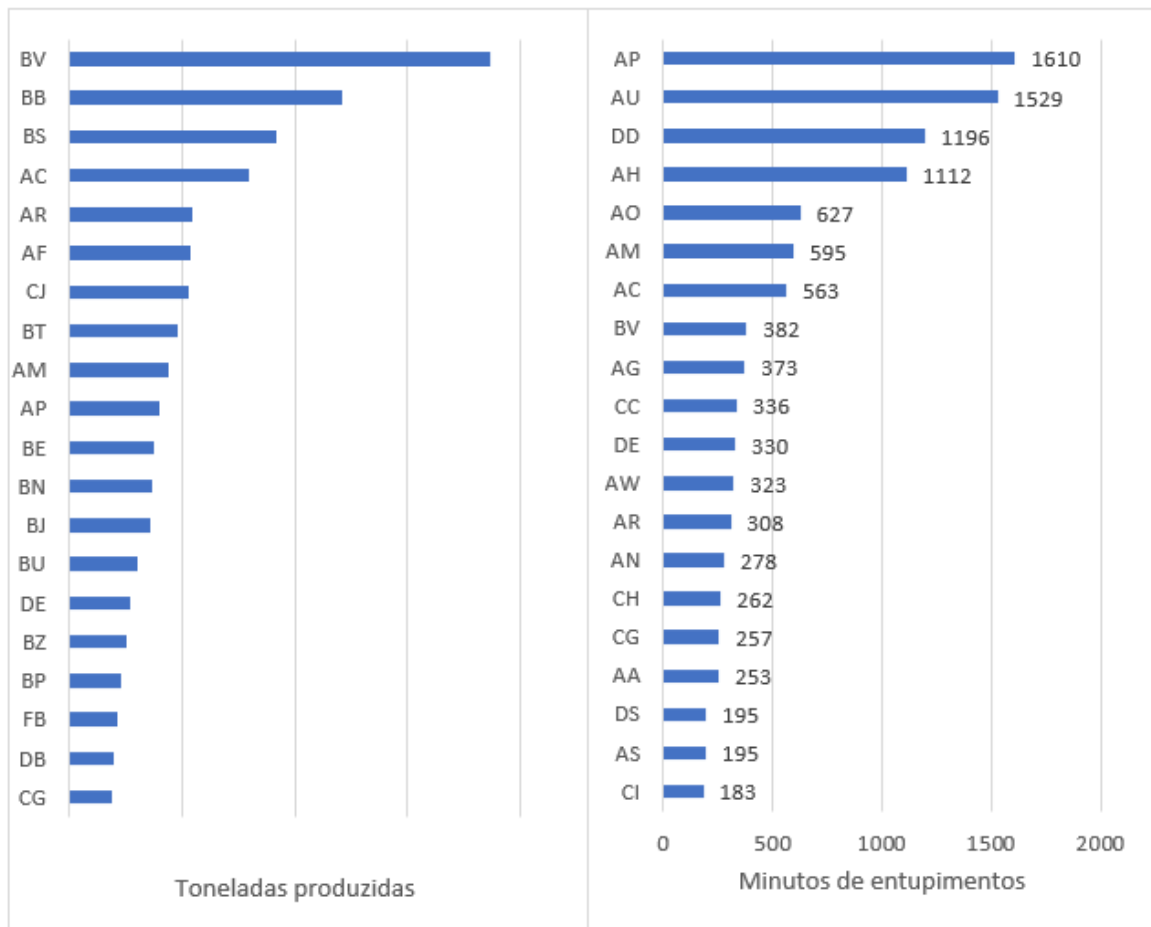
Figura 4.3 – Umidade e entupimentos



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Uma hipótese que foi considerada foi a de que os produtos que apresentavam mais entupimentos eram os mais produzidos, valendo a relação direta quanto mais produção mais entupimentos, mas, analisando-se os produtos que tiveram maior volume de produção no período analisado, Figura 4.4, ficou evidenciado que a relação não é válida. O que mostra que os produtos que apresentam maior ocorrência de entupimentos possuem propriedades que ocasionam isto. A quantidade de toneladas produzidas foi propositalmente omitida para preservar os dados da fábrica onde o estudo foi feito.

Figura 4.4 – A esquerda os *kibbles* com maior volume de produção e a direita os produtos com maior tempo de entupimento em silo



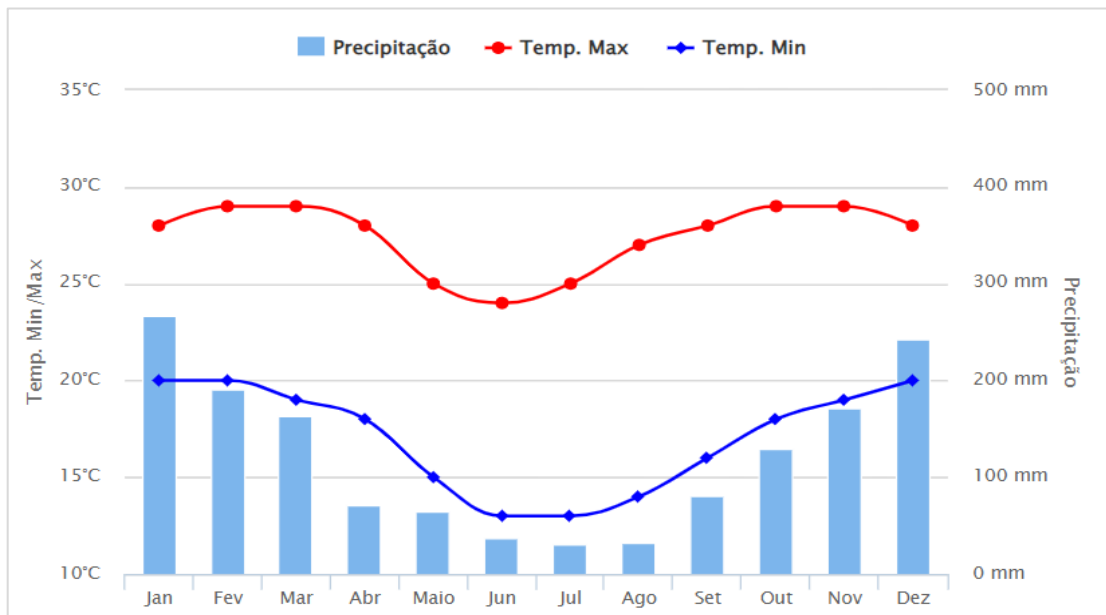
Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

O produto com maior tempo de interrupção de fluxo dos silos é o décimo com maior volume de produção, enquanto os três produtos mais produzidos nem chegam a aparecer na lista dos vinte produtos com maior incidência de entupimentos. O produto FB que é o décimo oitavo com maior volume de produção não teve nenhum apontamento de entupimento durante sua produção no período analisado.

4.2 Relação entre a ocorrência de entupimentos e o aumento da temperatura e umidade ambiente

A Figura 4.5 mostra a média de temperatura e chuvas na cidade onde a unidade produtora está instalada, de acordo com as informações fornecidas pelo CLIMATEMPO (2022) as médias foram calculadas a partir de dados dos últimos 30 anos.

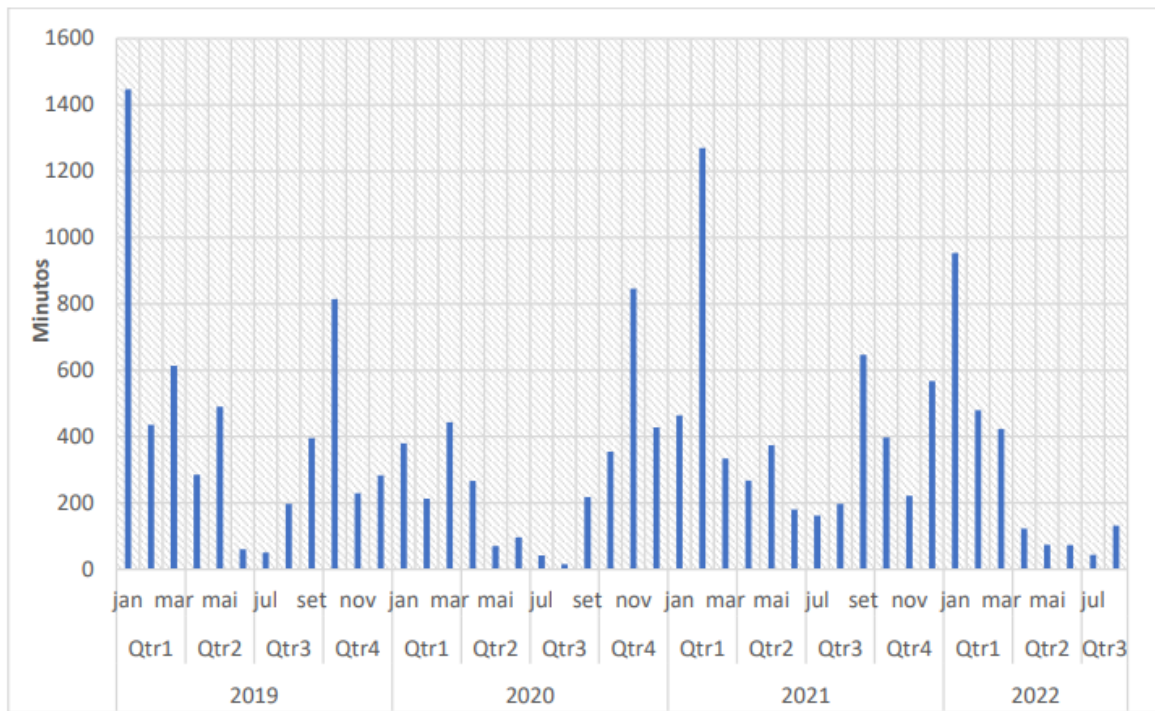
Figura 4.5 – Médias climatológicas da cidade onde a fábrica está instalada



Fonte: CLIMATEMPO (2022)

A Figura 4.6 traz a soma de tempo de duração de cada parada no ensaue devido a entupimento de silo por mês em minutos no período de janeiro de 2019 a julho de 2022.

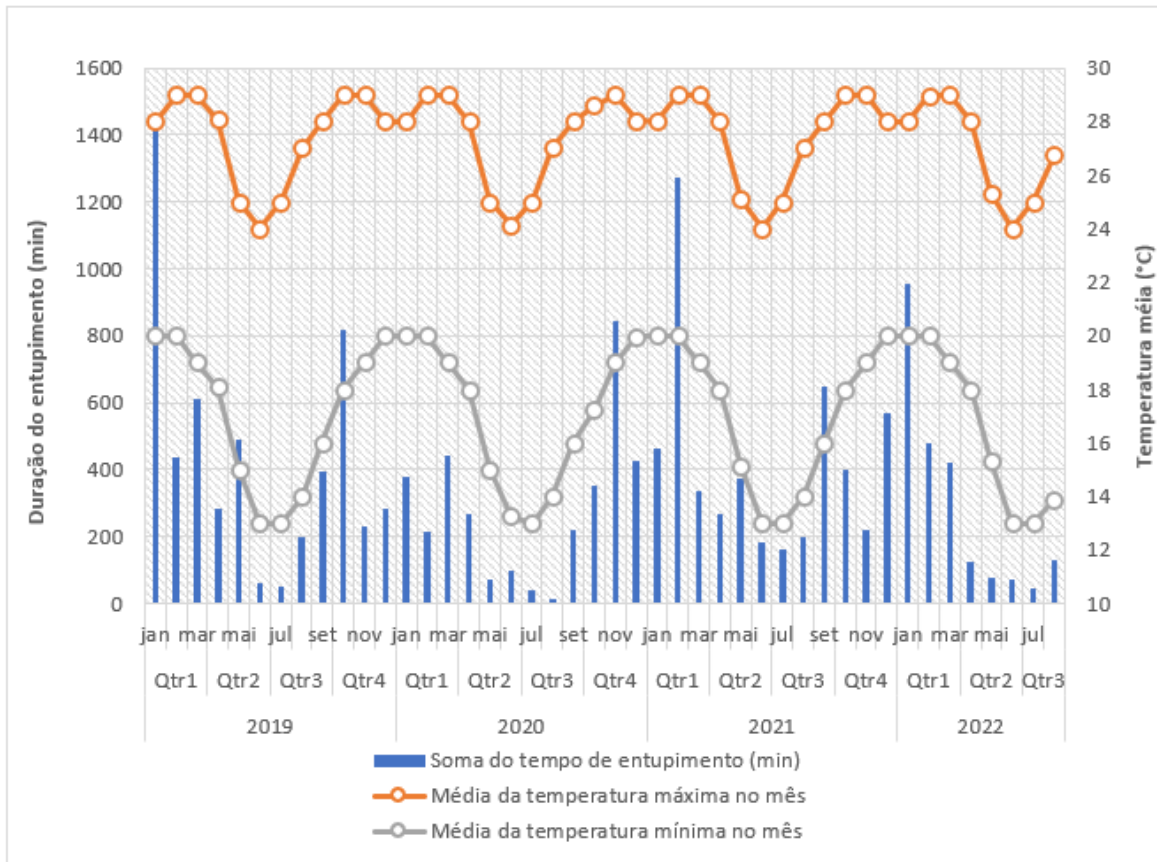
Figura 4.6 – Soma do tempo de parada por conta de entupimento de silo



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Já a Figura 4.7, abaixo, evidencia que existe uma correlação entre o aumento da temperatura e da umidade na cidade onde a fábrica está instalada e o aumento da ocorrência de entupimentos nos silos de produto acabado durante a descarga.

Figura 4.7 – Relação entre o aumento da temperatura ambiente e a ocorrência de entupimentos nos silos de produto acabado



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

A análise da temperatura e umidade dentro da fábrica, mostrou, como ilustrado na Tabela 4.2 e na Figura 4.8, existir variação considerável entre a temperatura no patamar onde estão as tremonhas dos silos e o patamar das tampas dos silos. Por meio de uma corrente de convecção térmica natural o ar quente, menos denso, se movimenta para os patamares superiores, onde estão as tampas dos silos, e o ar frio, mais denso, para os patamares inferiores, onde se localizam as ensacadeiras.

Tabela 4.2 – Média de temperatura e umidade relativa obtidas com os termo-higrômetros instalados na fábrica próximos aos silos

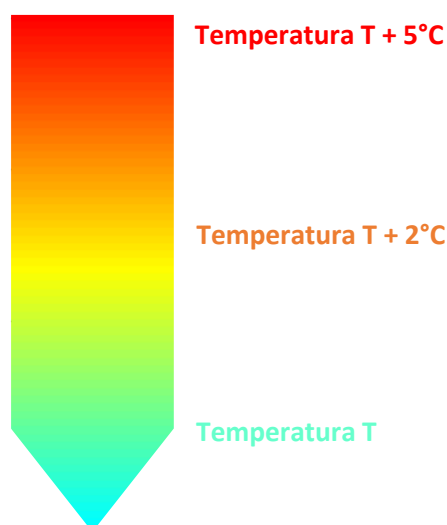
	T1 (°C)	UR1 (%)	T2 (°C)	UR2 (%)	T3 (°C)	UR3 (%)	T4 (°C)	UR4 (%)
Faixa 1 (Entre 23h e 4h)	28,6	43,1	30,9	42,5	33,2	37,1	33,6	36,1
Faixa 2 (8h00)	27,3	42,5	29,2	43,6	31,6	38,6	31,9	38,0
Faixa 3 (12h00)	29,7	41,1	31,3	42,3	34,5	36,0	34,9	34,8
Faixa 4 (18h00)	30,9	38,7	32,4	39,2	35,7	32,9	36,2	32,0

Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

T é uma abreviação para temperatura e UR é uma abreviação utilizada para umidade relativa.

- T1 e UR1 são dados do termo-higrômetro instalado no patamar das tremonhas, onde acontece a descarga dos silos;
- T2 e UR2 são dados do termo-higrômetro instalado no patamar do centro do corpo dos silos;
- T3 e UR3 são dados do termo-higrômetro instalado no patamar das tampas dos silos;
- T4 e UR4 são dados de um segundo termo-higrômetro instalado no patamar das tampas dos silos;

Figura 4.8 – Diferença média de temperatura entre os ambientes onde se localiza o topo e o orifício de descarga dos silos



Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Observou-se que a faixa de horário 4, onde as medições eram feitas próximas às 18h00, foi a mais quente e que o patamar das tampas dos silos é onde registrou-se as maiores temperaturas, sendo que o termo-higrômetro 4 teve temperaturas maiores que o 3 por estar localizado mais perto do secador, mas não superior a 1°C. Visto isto, comparou-se as temperaturas obtidas pelo termo-higrômetro 4 na faixa 4 de horários com a máxima de temperatura registrada na cidade no dia da medição. Em média o patamar das tampas dos silos apresentou 9,5 °C a mais do que a temperatura do ambiente externo à fábrica.

De acordo com a literatura, o perfil de escoamento dos sólidos em silos é dependente da geometria dos silos e das propriedades de fluxo do produto (LOPES NETO et. al., 2007). Logo, os gráficos apresentados acima indicam que o aumento da temperatura e da umidade promovem mudanças nas propriedades de fluxo dos produtos, tornando-o mais coesivo e favorecendo a interrupção da descarga. Um possível fator contribuinte para isto é a influência da temperatura nas gorduras utilizadas para recobrimento dos *kibbles*.

A etapa de recobrimento, também chamada de engorduramento, acontece após a secagem e consiste na adição de gorduras e na sequência de palatilizantes em pó. Esse processo pode ser feito com ou sem o auxílio de vácuo, a depender da linha de fabricação e utilizada e da formulação. Quais gorduras serão utilizadas e suas respectivas quantidades também são definidas pela formulação do produto. O Quadro 4.3 traz os valores de temperatura de fusão encontrados na literatura para as duas gorduras mais utilizadas no processo de recobrimento.

Quadro 4.3 – Temperatura de fusão de gorduras utilizadas para o recobrimento dos croquetes

Gordura	Temperatura de fusão °C
A	31
B	33 – 46

Fonte: Adaptado MING (2001).

Tendo em vista estes valores de temperatura de fusão e os dados da temperatura no ambiente dos silos, uma possibilidade é que em dias quentes a temperatura na parte superior dos silos supera a temperatura de fusão das gorduras utilizadas no recobrimento dos croquetes possibilitando que, caso os *kibbles* fiquem tempo suficiente nos silos para que haja troca de calor com o ambiente, essas gorduras se liquidifiquem e posteriormente

solidifiquem gerando aglomerados de croquetes graças a compactação que eles apresentam quando estão ensilados.

O Quadro 4.4 mostra as gorduras utilizadas no recobrimento dos croquetes que apresentam maior incidência de entupimento. Nota-se similaridade nas matérias-primas e quantidades utilizadas, sendo as características de engorduramento, dentre as analisadas, a propriedade dos kibbles que mostrou maior potencial para se criar grupos de produtos com maior ou menor tendência de ocorrência de entupimento durante a descarga no silo. Os valores percentuais apresentados correspondem a quantidade de cada tipo de gordura na composição da fórmula.

Quadro 4.4 – Recobrimento líquido dos produtos com maior incidência de entupimentos

Produto	GORDURAS UTILIZADAS NO REVESTIMENTO			
	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
CI	4,53	4,5		3,4
AS	5,73	5,5		3,9
DS	5,73	5,5		3,9
AA	2,98	2,8		3,4
CG	2,93			4
CH	5,69	5,3		3,7
NA	4,36	4,5		3,4
AR	4,91			
AW	4,86	5		3,2
DE	7,27	5		3,8
CC	4,02	4		3,4
AG	6,04	5,5		3,2
BV	5,37	2	0,7	
AC	4,39	4		3,7
AM	3,83	3,5		3,6
AO	Produto descontinuado			
AH	4,48	4		3,7
DD	5,7	5,64		3,3
AU	4,92	4,5		3,85
AP	4,98	4		4

Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Visto isto consegue-se um *range* do percentual utilizado de cada gordura que demonstra maior probabilidade de entupimentos durante a descarga nos silos, este range é mostrado na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Percentual de gorduras utilizadas no revestimento que tendem a apresentar problemas de entupimento

		GORDURAS REVESTIMENTO			
		A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
Range	% min	3,761567	3,3954941	-	3,539779
	% máx	5,998433	5,4562706	-	3,689632

Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

Por fim, ao analisar o revestimento de produtos com alto volume de produção que não apresentam problemas de entupimento observa-se que eles fogem deste range de engorduramento, embora tenham a umidade alta, sendo uma evidência de que o engorduramento é um fator mais determinante do que a umidade dentro do contexto analisado. A Tabela 4.4 traz os dados.

Tabela 4.4 – Recobrimento líquido e percentual de umidade dos produtos com menor incidência de entupimentos

Produto	GORDURAS REVESTIMENTO				Umidade
	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	
EA	8,12			4	9,5
FC	1,68	1,6		4	9,5
FB	6	3,3		3	8

Fonte: Adaptado a partir de dados disponibilizados pela fábrica (2022).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados evidenciam que o tempo de interrupção do processo de ensaque devido a entupimentos, para as fórmulas avaliadas, é diretamente relacionado com o aumento da temperatura, fator que pode ser explicado pela influência do calor nas propriedades das gorduras que recobrem os *kibbles*, afetando o perfil de fluxo. Visto isto, recomenda-se avaliar a efetividade da instalação de um sistema de exaustão e ventilação nos silos de produto acabado. Diminuindo a variação de temperatura entre o topo e o fundo dos silos bem como a influência das oscilações climáticas naturais do local onde a fábrica está instalada.

A característica que produtos com maior tendência ao entupimento têm em comum é a especificação de engorduramento, o que possibilita por meio do perfil encontrado mapear previamente estes produtos e agir para evitar os entupimentos. Sugere-se ações como produzi-los em dias menos quentes, o que é efetivo de acordo com os dados apresentados no presente trabalho, e, também sugere-se avaliar a efetividade de priorizar o ensaque destes produtos, evitando que eles tenham tempo de permanência elevado nos silos, o que proporciona o aumento da aderência por meio do aumento do ângulo de atrito com a superfície do silo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. V. **Avaliação da qualidade de rações para cães adultos e filhotes comercialmente classificadas premium.** 2021. 28 f. Trabalho de curso – Programa de Pós-Graduação em Produção e Utilização de Alimentos para Animais de Interesse Zootécnico. Instituto Federal Goiano. Ceres - GO. 2021.

AMÉRICO, J. **Mercado pet abre portas para investir além das tradicionais pet shops.** 2021. Disponível em: Mercado pet abre portas para investir além das tradicionais pet shops | VOCÊ S/A (abril.com.br). Acesso em 07 de agosto de 2022.

BAZOLLI, R. S. **Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães.** 2007. 82 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Jaboticabal – SP. 2007.

BBC News Brasil. (2018, 28 agosto). FELLET, João. **As silenciosas mortes de brasileiros soterrados em armazéns de grãos.** Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45213579>. Acesso em 08 de agosto de 2022.

BEÇA, M. F. F. B. **Estudos sobre preferência de alimentos compostos completos para cães.** 2013. 35f. Relatório Final de Estágio – Mestrado Integrado em Medicina Veterinária, Universidade do Porto, 2013.

BORGES, K. B. **Caracterização clínica das afecções orais em cães e gatos no município de Salvador – BA Brasil.** 2018. 93 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia. Salvador – BA. 2018.

CAES E GATOS. **Levantamento do Instituto Pet Brasil indica que mercado pet teve alta de 14% em 2022.** 2022. Disponível em: Levantamento do Instituto Pet Brasil indica que mercado pet teve alta de 14% em 2022 (caesegatos.com.br). Acesso em 07 de agosto de 2022a.

CAES E GATOS. **Gatos lideram crescimento de animais de estimação no Brasil, com alta recorde de 6% ao ano.** 2022. Disponível em: Gatos lideram crescimento de animais de estimação no Brasil, com alta recorde de 6% ao ano (caesegatos.com.br). Acesso em 07 de agosto de 2022b.

CARDOSO, A. **Mercado pet brasileiro: como o amor pelos animais impulsiona os negócios.** Instituto Pet Brasil. 2022. Disponível em: Mercado pet brasileiro: como o amor pelos animais impulsiona os negócios – Instituto Pet Brasil. Acesso em 07 de agosto de 2022.

CARDOSO, A. L.; SOUSA FILHO, J. J.; MORAES JÚNIOR, D.; MORAES, M. S.; ROSA, V. S.; RUIZ, R. **Características de fluxo e vazão de soja em silos prismáticos com tremonhas retangulares cuneiformes.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 5, p.28886-28903, may. 2020.

CLIMATEMPO. **Clima e previsão do tempo.** 2022. Disponível em: Clima e Previsão do tempo agora: Meteorologia Climatempo. Acesso em 16 de agosto de 2022.

COSTA, F. J. **Estudo dos parâmetros de secagem de produtos pet food.** 2015. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FERRAZ MÁQUINAS. **Matriz para extrusoras.** 2022. Disponível em: Matriz para Extrusoras - Máquinas para Fábricas de Ração - Ferraz Máquinas (ferrazmaquinas.com.br). Acesso em 13 de agosto de 2022.

FRAIHA, M. et al. **Benefício do investimento energético na redução do tamanho de partículas na alimentação animal.** SIMPEP, 12., 2005, Bauru.

FUCILLINI, D. G.; VEIGA, C. H. A. **Controle da capacidade produtiva de uma fábrica de rações e concentrados: um estudo de caso.** 2014. 20 f. Custos e @gronegócio on line - v. 10, n. 4 – Out/Dez - 2014.

GIRIO, T. M. S. **Qualidade microbiológica de rações para cães comercializadas no varejo em embalagem fechada e a granel** / Thaís Marino Silva Girio. – – Jaboticabal, 2007.

HAFEZ, A., LIU, Q., FINKBEINER, T. et al. **The effect of particle shape on discharge and clogging**. Sci Rep 11, 3309 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82744-w>.

LOBATO, J. C. M. **Caracterização das propriedades de fluxo da lama vermelha para fins de dimensionamento de silos – Aplicação para tremonhas cônicas**. 2013. 132 f. Trabalho (mestrado) – Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Belém. 2013.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. **Desastres com silos verticais no Brasil. Uma breve coletânea de acontecimentos e suas causas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018. Maceió – AL. 2018.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, J. W. B. **Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.4, p.518-527, out./dez. 2009a.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, J. W. B. **Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.639–644, 2009b.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, J. W. B. **Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 31, n. 3, p. 851-859, maio/jun., 2007.

MACHADO, R.L.P.; DUTRA, A.S.; PINTO, M.S.V. **Boas Práticas de Fabricação (BPF)**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 20p. 2015. Documentos/ Embrapa Agroindústria de Alimentos, ISSN 1516-8247;120.

MAGALHÃES, C. C. **Parâmetros operacionais do processo de extrusão termoplástica para a produção de rações secas para animais**. 2019. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso

- Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN, 2019.

MALAS, S. **Indústria pet: soluções, perspectivas e desafios.** 2022. Disponível em: Indústria pet: soluções, perspectivas e desafios (revistapetcenter.com.br). Acesso em 07 de agosto de 2022.

MING, C. C. **Caracterização, fracionamento e aproveitamento da gordura abdominal de frango.** 103 f. 2001. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – Faculdade de Ciências Farmacêuticas. São Paulo. 2001.

REINERI, B. **Caracterização Microbiológica de Rações Comerciais para Cães e Gatos em Embalagens Fechadas e a Granel.** 2017.41f. Trabalho (Conclusão de Curso) – Graduação em Bacharelado em Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

RESCHSTEINER, M. S. **Produção, digestibilidade e amido resistente em biscoitos extrusados a partir de farinha e fécula de batata doce e mandioca.** 2005. 104f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas. Botucatu, 2005.

SILVA, P. S. M. **Processo produtivo e boas práticas de fábrica de ração.** 2022. 62f. Trabalho de curso – Graduação em Bacharelado em Zootecnia, Instituto Federal Goiano. Ceres - GO, 2022.

VENÂNCIO, R. **Um setor que late e morde.** 2021. Disponível em: Um setor que late e morde - ISTOÉ DINHEIRO (istoedinheiro.com.br). Acesso em 07 de agosto de 2022.

BIBLIOGRAFIA

MING, C. C.; GRIMALDI, R. GIOIELLI, L. A. **Fracionamento a seco da gordura de frango em escala piloto.** 14 f. 2007. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences vol. 43, n. 3, jul./set., 2007

SANTOS, C. R. **Fracionamento da banha suína para alteração da viscosidade.** 49 f. 2019. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2019.

THE WEATHER CHANNEL. Condições e previsões climáticas para Brasília, DF - The Weather Channel | Weather.com. Acesso em 18 de agosto de 2022.