



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JONATAS DE ARRUDA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE BALANÇO DE UMIDADE EM SISTEMA DE EXTRUSÃO
EM RAÇÃO SECA PARA CÃES**

Recife
2024

**AVALIAÇÃO DE BALANÇO DE UMIDADE EM SISTEMA DE EXTRUSÃO
EM RAÇÃO SECA PARA CÃES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do
grau Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora:

Prof.^aDr^a. Maria de Los Angeles Perez
Fernandez Palha

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Martins, Jonatas de Arruda.

Avaliação de balanço de umidade em sistema de extrusão em
ração seca para cães / Jonatas de Arruda Martins. - Recife, 2024.
56 p : il., tab.

Orientador(a): Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências,
Engenharia Química - Bacharelado, 2024.

9,5.

Inclui referências.

1. Balanço de Energia. 2. Extrusão. 3. Gelatinização do Amido . 4.
Kibble. I. Fernandez Palha, Maria de Los Angeles Perez . (Orientação).
II. Título.

660 CDD (22.ed.)

AVALIAÇÃO DE BALANÇO DE UMIDADE EM SISTEMA DE EXTRUSÃO EM RAÇÃO SECA PARA CÃES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Química da
Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Química.

Aprovado em: 27/09/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DE LOS ANGELES PEREZ FERNANDEZ**
Data: 04/10/2024 11:53:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^aDr^a. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **PEDRO FERREIRA DE SOUZA FILHO**
Data: 03/10/2024 20:29:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^oDr^o. Pedro Ferreira de Souza Filho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **GISELY ALVES DA SILVA**
Data: 03/10/2024 20:51:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^aDr^a Gisely Alves da Silva (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs e minha namorada, pois foram meu apoio durante essa grande jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luzinete de Arruda e Manassés Martins, minhas irmãs, Carla Martins e Gabriela Martins, minha avô Alexandrina de Arruda, minha parceira Viviane Ferraz por todo seu amor, apoio e motivação que recebi ao longo de todos esses anos e que foi fundamental para que eu continuasse o curso até o fim.

Ao meu avô Apolônio Germano, que sempre me levava ao colégio enquanto era criança quando meus pais não podiam me levar, sempre cuidou e me amou durante toda minha jornada de crescimento e desenvolvimento.

Aos meus colegas de graduação, que cruzaram o meu caminho em algum momento dessa jornada, mas que de alguma forma me ajudaram a atravessar as adversidades do curso com um sorriso no rosto.

Aos meus colegas de estágio, por todo acolhimento, suporte e mentoria, contribuindo para a minha formação e amadurecimento enquanto futuro profissional da Engenharia, impulsionando-me a desbravar esse mundo tão complexo e dinâmico que é a Indústria.

A minhas colegas de trabalho, Fabiola Negreiros, Tatiane Silva, Mayara Lima, Maria Eduarda, Rayssa Siqueira e Luciana Silva por acreditarem no meu trabalho desde o início e estarem sempre dispostas a me ajudar a conciliar a vida de estagiário e estudante em fim de curso, sempre da melhor forma possível.

Ao Leonardo Bromberg, antigo Gerente de Desenvolvimento de Produto e Processo de ração seca, pelas orientações, conselhos de como seguir com esse trabalho, bastante solícito, sucesso na nova jornada!

À minha orientadora, Maria de Los Angeles Perez Fernandez, por toda compreensão, suporte, e direcionamento que me auxiliaram na elaboração deste trabalho

A UFPE por todo investimento e apoio na educação federal de qualidade.

Enfim, agradeço à todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte do maior desafio da minha vida, a graduação.

RESUMO

No processo de extrusão, a adição de água otimiza o umedecimento dos ingredientes e a transferência de calor, garantindo um cozimento adequado e influenciando a viscosidade e as características dos kibbles (ração). Além disso, reduz o desgaste da extrusora e a ocorrência da reação de Maillard, embora faltem estudos sobre os intervalos ideais de umidade para a produção de ração para cães. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da umidade dentro da extrusora sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura dos *kibbles*, balanço de massa, balanço de energia, gelatinização do amido, atividade de água (A_w), e seus possíveis riscos para a segurança do alimento como produto vendável para o comércio. Uma fórmula padrão de alimento para cachorro foi extrusada e durante o processo de extrusão foram avaliadas três diferentes vazões de água no pré-condicionador, valores de 7,0; 7,5 e 8,5 l/min (tratamentos). O alimento foi produzido em extrusão de rosca simples e as condições de processamento foram estabilizadas para a dieta de 9% de umidade, não sendo alterada para demais dietas. Os parâmetros registrados foram temperatura, pressão e vapor no pré-condicionador e; pressão e vapor na extrusora. Amostras de ração foram coletadas a cada 10 minutos na saída da extrusora. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). A adição de água aumentou a umidade de processamento de forma linear ($P < 0,0001$), o que resultou na diminuição da corrente, pressão e temperatura de saída do produto na extrusora de forma, levando a um aumento da Energia Térmica ETE ($P < 0,0001$), sem alterar características do *kibble*. Conclui-se que aumentar a umidade na extrusora, leva a um aumento na ETE, redução da temperatura, pressão e corrente, explicado pelo aumento da fluidez. Por outro lado, a umidade baixa aumenta o desgaste dos componentes da extrusora e gasta menos energia.

Palavras-chave: Balanço de Energia, Extrusão; Gelatinização do Amido; *Kibble*.

ABSTRACT

In the extrusion process, the addition of water optimizes ingredient moistening and heat transfer, ensuring proper cooking and influencing the viscosity and characteristics of the kibbles. Additionally, it reduces wear on the extruder and the occurrence of the Maillard reaction, although there are no studies on the ideal moisture ranges for dog food production. The objective of this work was to evaluate the effects of moisture inside the extruder on the processing parameters, the macrostructure of the *kibbles*, mass balance, energy balance, starch gelatinization, water activity (A_w), and its possible risks to the safety of the product as a salable product for commerce. A standard formula for dogs was extruded, and during the extrusion process, three different water flows were evaluated at the pre-conditioner, 7.0; 7.5, and 8.5 l/min (treatments). The food was produced using single screw extrusion and the processing conditions were stabilized for a diet of 9% of moisture, without being changed for other diets. The recorded parameters were temperature, pressure, and steam in the preconditioner, pressure and steam in the extruder. Feed samples were collected every 10 minutes at the extruder exit for 1 hour for each type of water addition treatment in the pre-conditioner, totaling the test in 3 hours of production. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared using polynomial contrasts ($P < 0.05$). The addition of water increased the processing humidity linearly ($P < 0.0001$), which resulted in a decrease in the amperage, the pressure and the product exit temperature, leading to an increase in ETE Thermal Energy ($P < 0.0001$), without changing the characteristics of the *kibble*. In conclusion, if the humidity in the extruder increases, it leads to an increase in the ETE, a reduction in temperature, pressure and amperage, explained by the increase in fluidity. The low humidity increases wear on extruder components and saves more energy.

Keywords: Energy Balance; Extrusion; Starch Gelatinization; Kibble.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Faturamento indústria de ração animal	13
Figura 2 – Representação de um processo produtivo genérico de ração animal.....	17
Figura 2 – Desenho esquemático do tombador para descarga de caminhões	19
Figura 4 – Moinho Martelo.....	20
Figura 3 – Martelos novos (A) e gastos com o uso contínuo (B, C e D).....	21
Figura 6 – Misturador horizontal.....	23
Figura 7 – Misturador vertical.....	24
Figura 8 – Esboço do processo de extrusão	25
Figura 9 – Matriz de formação de <i>kibble</i> no sistema de extrusão corte	27
Figura 10 – Secador horizontal	27
Figura 11 – Resfriador de contra fluxo	28
Figura 12 – NIR DS2500 F.....	32
Figura 13 – Fluxos de entrada e saída.....	33
Figura 14 – Atividade da água A_w com os tratamentos	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do alimento para cachorros empregado no estudo.	34
Tabela 2 – Capacidade calorífica específica.....	40
Tabela 3 – Composição da ração seca que chega no pré-condicionador.	44
Tabela 4 – Tratamentos experimentais com diferentes umidade na extrusora.	48
Tabela 5 – Gelatinização do amido e análises nutricionais.....	49

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

BPF	Boas Práticas de Fabricação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
EME	Energia Mecânica
ETE	Energia Térmica
NIR	<i>Near Infrared</i>

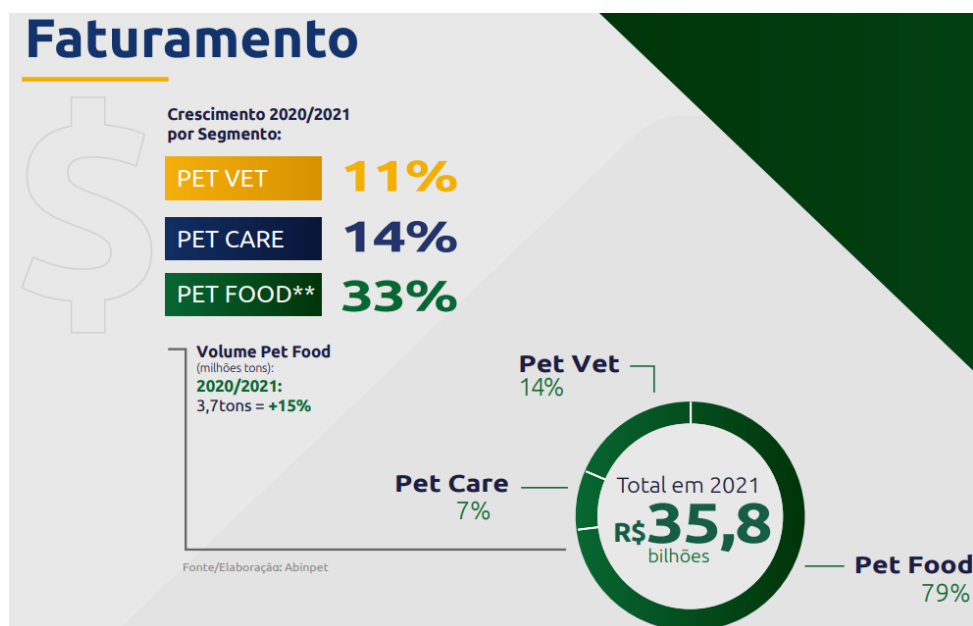
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 HISTÓRIA SOBRE ALIMENTAÇÃO ANIMAL.....	16
2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RAÇÃO ANIMAL	17
2.2.1 Recebimento de matéria-prima.....	18
2.2.2 Moagem	19
2.2.3 Pesagem e Dosagem	21
2.2.4 Misturador	22
2.2.5 Extrusão.....	24
2.2.6 Secagem e Recobrimento	27
2.3 UMIDADE DA MASSA DENTRO DA EXTRUSORA.....	29
2.4 CONTROLE DE QUALIDADE NO PROCESSAMENTO DE RAÇÕES	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 DELINEAMENTO E TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS	32
3.2 BALANÇO DE MASSA DENTRO DA EXTRUSORA	35
3.3 BALANÇO DE ENERGIA DENTRO DA EXTRUSORA	38
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1 PROCESSAMENTO DOS TRATAMENTO.....	44
4.2 IMPACTO DA UMIDADE DENTRO DA EXTRUSÃO	45
4.3 GELATINIZAÇÃO DO AMIDO E ATIVIDADE DE ÁGUA.....	49
5 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação ABINPET (2022), foi registrada uma população de animais de estimação igual a 149,6 milhões em 2021, representando um crescimento médio de 3,62% com relação ao ano anterior. Grande parte desta população é composta por cães e gatos, que representam cerca de 57% do geral. Com grandes proporções, o mercado pet se vê aquecido e em crescimento, apresentando um faturamento, em 2021, igual a R\$35,8 bilhões conforme mostrado na Figura 1. Deste faturamento, o mercado de *pet food* representou a maior parcela, sendo igual a 79%, apresentando um crescimento de 33% com relação ao ano anterior (ABINPET, 2022).

Figura 1 - Faturamento indústria de ração animal



Fonte: ABINPET, (2022).

Dentro do mercado de *pet food*, existem as rações secas, com umidade máxima de até 12%, as semiúmidas, com umidade entre 12% e 30% e as úmidas, com umidade entre 30% e 84% (ABINPET, 2019). Na ração seca, foco deste trabalho, as principais matérias primas consumidas são grãos, como milho e sorgo, e também farinhas proteicas de origem animal e vegetal. As matérias primas são processadas a partir de operações unitárias, como a moagem, mistura, extrusão e secagem, e por fim, são envasados e seguem para distribuição, chegando assim ao consumidor final.

A importância do processo de extrusão está na validação de produção de uma ração seca de boa qualidade, sem riscos para a saúde do animal, dessa forma são seguidas às Boas Práticas de Fabricação (BPF), bem como o a análise de controle de PCC (Ponto Crítico de Controle) na extrusora, operando a temperaturas acima de 90°C, de modo a eliminar qualquer possibilidade de contaminação microbiológica provinda de etapa anterior a extrusão. São importantes para validação de risco em possíveis contaminações microbiológicas, micro-organismos como: *Salmonella*, Enterobacterias, Bolores e Leveduras, garantindo assim um alimento seguro para ser empacotado. O foco deste trabalho consiste no estudo do impacto da umidade atingida durante a extrusão e secagem, do produto final sobre a umidade, a gelatinização da unidade da ração (chamada de *kibble*) e outros aspectos nutricionais.

Na indústria de ração seca, as extrusoras são usadas para cozinhar, formar, sanitizar, texturizar e moldar uma mistura homogênea de ingredientes. A Extrusão é o processo de moldagem de uma massa seca que passa através de uma matriz, em condições aplicadas de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em um curto espaço de tempo, condições que aumentam a qualidade, produtividade e reduzem o custo de produção (Riaz, 2000). A umidade da massa em processamento é importante pois favorece o umedecimento das partículas do ingrediente, melhorando a transferência de energia e o cozimento do amido (Riaz, 2007; Frame, 1994). O teor de umidade da massa é influenciado pela umidade da matéria prima, aplicação de vapor e água no condicionador e no canhão da extrusora. A umidade da massa exerce efeito significativo na macroestrutura dos extrusados, uma vez que influencia diretamente a formação de estrutura celular e a expansão dos *kibbles* (Onwulata et al., 2001).

Um balanço de massa irá auxiliar a determinar a fração total mássica em um específico ponto no processo, como calcular a umidade (Riaz, 2000). Um balanço de energia irá auxiliar a calcular a temperatura em um ponto específico do processo, evitando experimentações termodinamicamente impossíveis, bem como mapear os processos de extrusão de diferentes escalas ou fabricantes (Riaz, 2000).

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a influência da umidade da massa no canhão da extrusora sobre a macroestrutura dos extrusados, os parâmetros de processamento, cozimento e palatabilidade de alimentos para cachorro.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Acompanhar a produção de ração seca para cachorro *in loco* de modo a coletar dados de parâmetros de extrusão;
- Realizar análises em amostra para acompanhamento da umidade pelo NIR;
- Coletar amostras de produto antes da extrusão, após a extrusão e por afim, após o resfriamento do *kibble*;
- Realizar o balanço de massa na extrusora para entendimento da influência da umidade no produto extrusado;
- Realizar balanço de energia na extrusora para entender a temperatura do *kibble* de forma a mitigar riscos a incidentes microbiológicos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRIA SOBRE ALIMENTAÇÃO ANIMAL

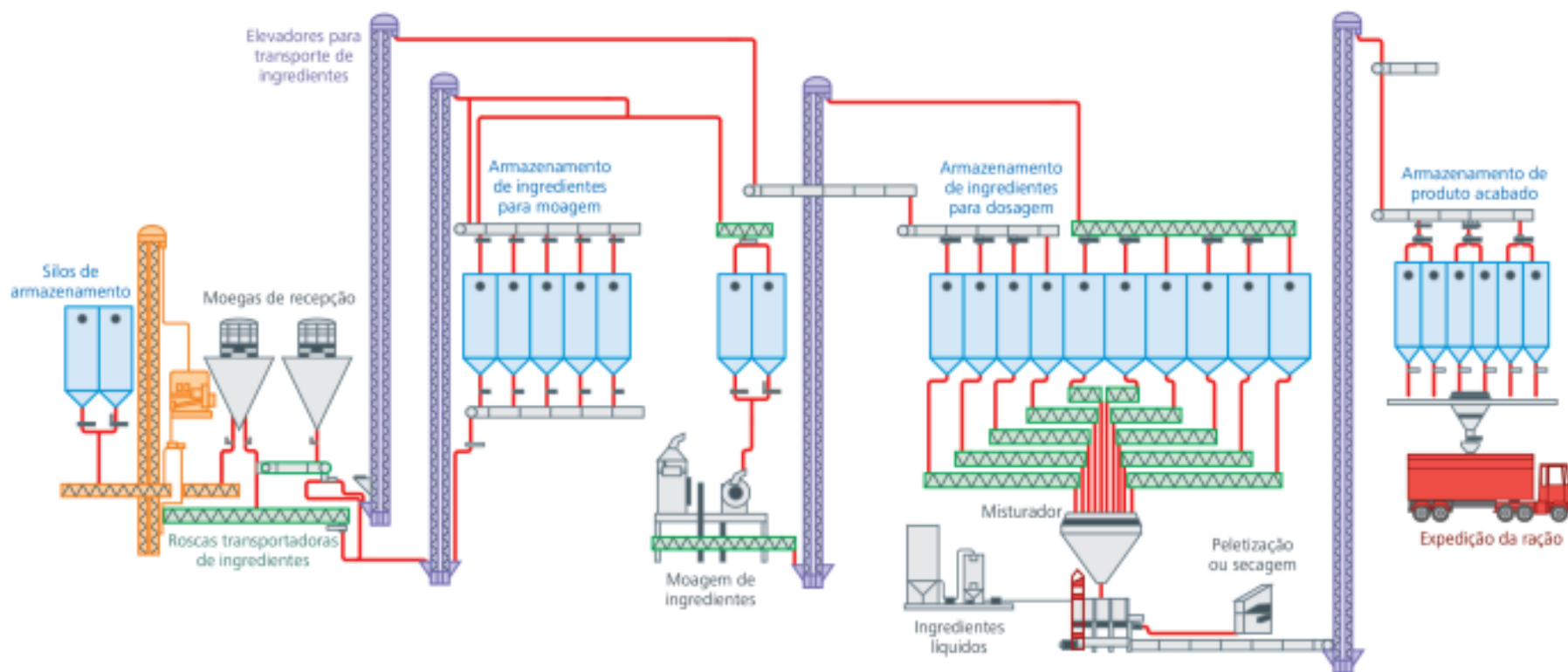
Desde a antiguidade, os seres humanos domesticam animais para diferentes propósitos, como trabalho, companhia e alimentação. Com o tempo, a relação entre humanos e animais se tornou mais próxima, levando muitos a criar animais como *pets* (animais de estimação). À medida que a população de animais domésticos crescia, surgiu-se a necessidade de garantir uma alimentação adequada para preservar sua saúde e bem-estar. Assim, iniciou-se a produção de rações específicas para cada espécie de animal (James, 1996).

Com o mercado em aquecimento, se torna necessário o investimento e interesse no ramo de rações animais, utilizando dos melhores insumos e tecnologias. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (Sindirações), de janeiro a setembro de 2023, a produção de rações avançou quase 2% e somou 62,6 milhões de toneladas, nesse volume, são incluídos desde frangos de corte, poedeiras, suínos, bovinos e rações para gatos e cachorros.

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RAÇÃO ANIMAL

O processo produtivo de ração animal conta com diversas etapas que incluem operações unitárias as quais garantem a qualidade necessária para o processo e para o consumidor final. Etapas que contam desde do recebimento das matérias-primas, armazenagem, pesagem, moagem, mistura, extrusão, secagem e o resfriamento da ração extrusada. Também são considerandas as Boas Práticas de Fabricações (BPF) impostas pelo MAPA (2007), assegurando a segurança do alimento para toda a cadeia logística de venda. Uma representação das etapas de uma indústria produtiva de ração pode ser observado na Figura 2. As etapas de fabricação serão descritas a seguir.

Figura 2 - Representação de um processo produtivo genérico de ração animal.



Fonte: Oelke; Ries, (2013, p. 100).

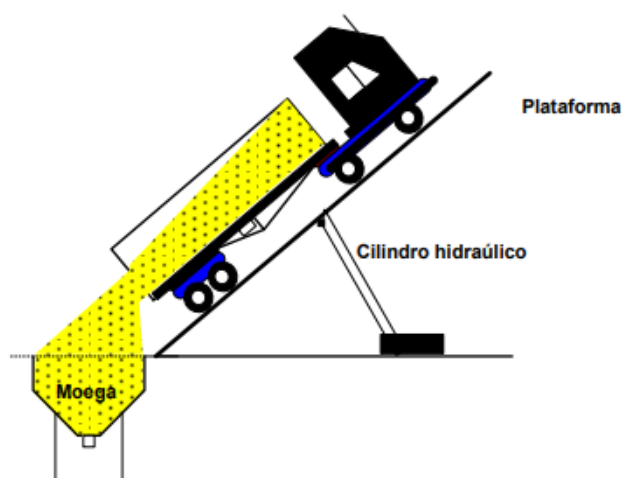
2.2.1 Recebimento de Matéria-Prima

A primeira etapa do processo de fabricação de ração consiste na recepção e descarga da matéria-prima diretamente no setor de recebimento que possui todos os equipamentos necessários para manter ou melhorar a qualidade dos produtos utilizados na produção de ração (Fucillini; Veiga, 2014). O recebimento das matérias-primas mantém a fábrica em constante funcionamento, sem riscos de possíveis paradas, recebendo apenas cargas com laudo do fornecedor constando os resultados dentro das especificações mínimas e máximas requeridas pela companhia. As matérias-primas recebidas consistem em 3 tipos, macro ingredientes, micro ingredientes e líquidos. Os macroingredientes são aqueles utilizados em maiores quantidades, os cereais, como milho, trigo e sorgo. Os micro ingredientes são utilizados em menor quantidade, como vitaminas, sais e outras fontes nutricionais. E os líquidos são responsáveis por fornecer características mais específicas ao produto, como umidade, gordura e palatabilidade.

Todas as matérias-primas devem ser coletadas e analisadas em laboratório, com o objetivo de verificar e assegurar a conformidade da matéria-prima, do ingrediente, do rótulo e da embalagem de acordo com as especificações estabelecidas (MAPA, 2007). Após isso, o produto pode ser descarregado em silos ou tanques.

O recebimento das matérias-primas como os macro ingredientes que são recebidos a granel, contam com estruturas empregadas para a recepção, chamadas de Moegas, que consistem do sistema de descarga, transporte e armazenagem no silo de destino como pode ser visto na Figura 3 (Silva, 2015).

Figura 3 - Desenho esquemático do tombador para descarga de caminhões.



Fonte: Silva, (2015, p. 3).

Os micro ingredientes são recebidos em sacarias e *big bags*, e então direcionados para armazéns fechados. O mesmo ocorre com as matérias-primas líquidas, armazenadas em tanques interno ou externo fabris.

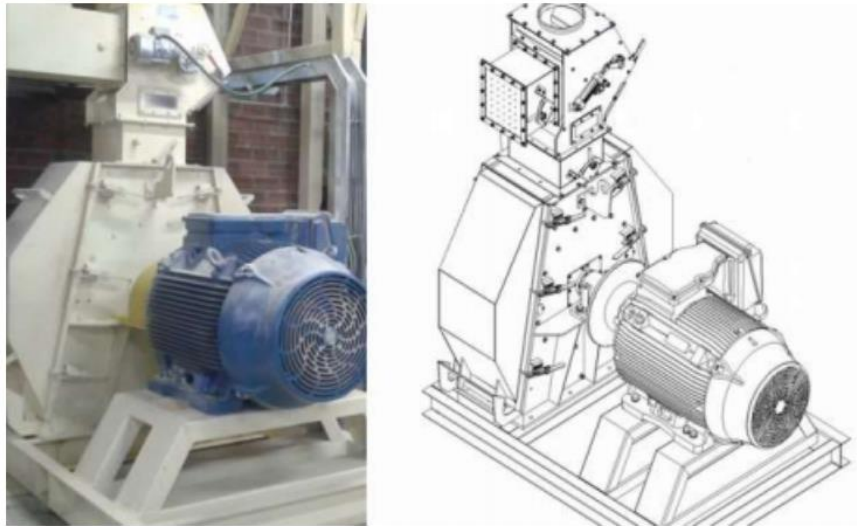
2.2.2 Moagem

A etapa da moagem consiste em diminuir a granulometria das matérias-primas a um nível satisfatório para os processos de operações da mistura, extrusão, como também melhorar a digestibilidade para o animal. Cereais como milho, sorgo, soja, entre outros, necessitam passar pelo processo de moagem para que o produto a ser extrusado seja o mais uniforme possível. A granulometria permite que quanto menor a partícula, melhor será a disponibilidade dos nutrientes para o animal, influenciando na digestão e melhorando na absorção (Bellaver; Nones, 2000).

A moagem no processo, influi no consumo de energia, ou seja, quanto maior o tamanho das partículas dos ingredientes, menor será o gasto de energia por moagem. Diminuindo as partículas a uma granulometria que favoreça o processo de extrusão, com a melhor aderência de vapor e água, obtendo uma maior gelatinização do produto e um melhor cozimento, favorecendo assim na palatabilidade do produto.

O moinho é o equipamento responsável pela prensagem dos ingredientes, garantindo uma maior homogeneidade à mistura. Na indústria de ração animal, o tipo de moinho mais utilizado é o do tipo martelo, como mostra na Figura 4 (Oliveira, 2020).

Figura 4 - Moinho martelo

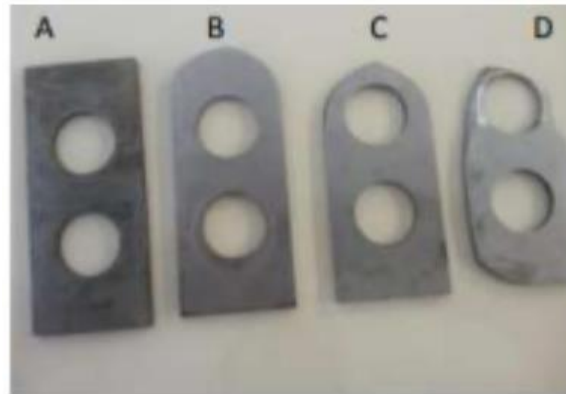


Fonte: Lagus Metalúrgica, (2024).

O processo de moagem por martelos consiste na entrada da matéria dentro da câmara por ação de gravidade. Nessa câmara o produto entra em contato com os martelos em alta rotação, e pelo seu contato com o produto, ocorre grande parte da sua redução até que a granulometria desejada seja alcançada. As partículas são forçadas contra os orifícios da peneira, para fora da câmara do moinho (Fucillini; Veiga, 2014).

No moinho martelo, os alimentos são quebrados ao entrarem e contatam com suas extremidades. Devido ao uso contínuo, os martelos podem apresentar as extremidades gastas e topo distante das peneiras ocasionando um maior tempo na moagem e maior gasto de energia (Oliveira, 2020). Na Figura 5, pode ser observada a diferença entre martelos gastos com processos contínuos de moagem.

Figura 5 - Martelos novos (A) e gastos com o uso contínuo (B, C e D).



Fonte: Oliveira, (2020).

2.2.3 Pesagem e Dosagem

Uma das etapas mais importantes no processo de ração animal é a etapa de pesagem/dosagem, na qual consiste a exata dosagem dos macro ingredientes (milho, sorgo, soja e farinhas proteicas) e micros ingredientes ou Premix (vitaminas, minerais, aminoácidos, enzimas, antioxidante, antibióticos, dentre outros) utilizados em menores dosagens e que são responsáveis pelo desenvolvimento do animal. A dosagem é realizada por meio de uma formulação de ração elaborada por médicos veterinários e um time de formulação de pesquisa e desenvolvimento da fábrica. Essa fórmula é inserida no sistema computacional da fábrica, as matérias-primas são pesadas por balanças de alta precisão, com prazo de manutenção e calibração. A pesagem é o primeiro e mais crítico processos, pois toda matéria-prima a ser transferida para o processamento é quantificada (Fucillini; Veiga, 2014).

Essa fase precede a fase da mistura dos ingredientes. A dosagem de cada ingrediente deve ser individual, por dois motivos: a quantidade deve ser específica atendendo ao estabelecido previamente na formulação para atender as exigências nutricionais, e para evitar a contaminação cruzada na dosagem de várias matérias-primas simultaneamente. Estão envolvidos nesse processo de pesagens de ingredientes a(s) balança(s), silo(s) dosador(es) e demais utensílios (conchas, pás, enxadas e baldes)(Oelke; Ries, 2013).

2.2.4 Misturador

A mistura é o processamento que ocorre após a moagem e pesagem de todos os ingredientes. É uma etapa importante para garantir a homogeneização de todos os macro e microingredientes, principalmente dos microingredientes, que influenciam diretamente na entrega das vitaminas ao animal. A mistura incorreta pode prejudicar a uniformidade dos nutrientes no produto, principalmente os nutrientes de menor inclusão na receita como as vitaminas e minerais que são imprescindíveis para a nutrição animal (Borges, 2019). Uma superdosagem ou sobredosagem desses microingredientes deve passar por uma análise de disposição para serem retrabalhados ou descartados, conforme indicação do estabelecimento, desde que entregue o que está em rotúlo requisitados pelo MAPA.

O processo de mistura de ingredientes deve ocorrer de forma satisfatória para que a distribuição dos nutrientes na massa produzida seja uniforme em um tempo mínimo com menores custos, uso de potência e trabalho, ou seja um tempo de moagem suficiente que não comprometa o consumo de energia da fábrica. (Fucillini; Veiga, 2014).

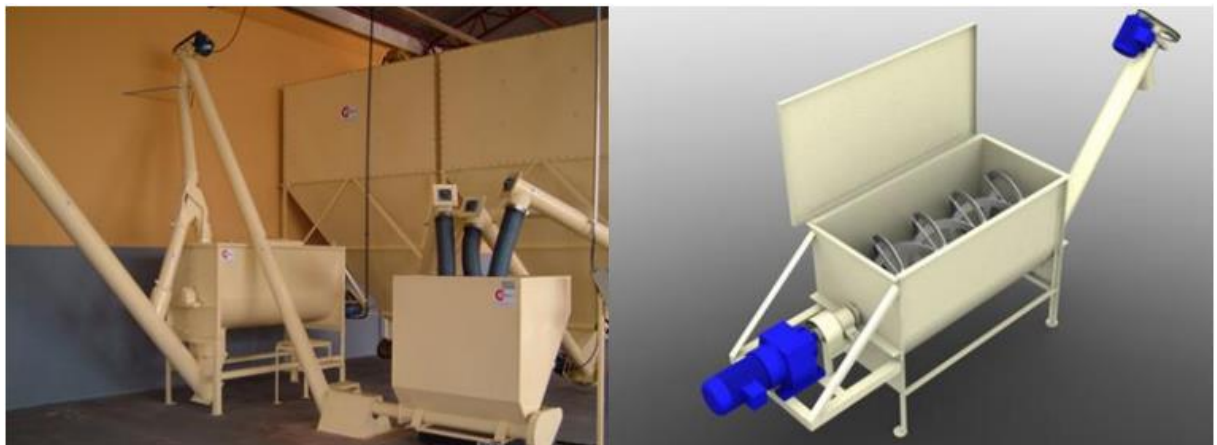
A mistura ocorre por mecanismos físicos de movimento das partículas, que são a convecção, a difusão e o cisalhamento. A convecção é o movimento superficial das partículas, no qual grupos de partículas são deslocados uns em relação aos outros, permitindo que uma mistura parcial ocorra em grandes escalas, sendo necessário um maior tempo de mistura. A difusão é o movimento individual das partículas em relação às demais, promovendo a mistura fina. Essa mistura fina consegue cair no misturador por força gravitacional com baixa velocidade de mistura. O cisalhamento ocorre com a formação de camadas no interior da massa e a mistura ocorre pela troca de camadas que gera um gradiente de velocidade nas camadas forçadas (Rocha, 2014).

Os misturadores mais comuns dentre os vários tipos são o vertical e o horizontal. Os misturadores tipo horizontal de duplo helicóide e verticais são usados nas indústrias de ração animal ou de premix vitamínico. No geral, todos os misturadores são capacitados a fazer uma boa mistura dos ingredientes e possuem seu tempo ótimo de mistura. O ponto principal a se observar são os tempos de mistura e manutenção do equipamento (EMBRAPA, 1997).

O misturador horizontal duplo helicoide trabalha com revolvimento da mistura de um lado para o outro, repartindo-se em várias partes, e promovendo uma eficiente mistura ao longo de todo misturador Figura 6. Possuem portas de descargas que permitem rápido esvaziamento do misturador e facilidade na limpeza (Resende Neto, 2016).

A maior vantagem dos misturadores horizontais sobre os verticais é que eles permitem uma mistura mais homogênea e com menores coeficientes de variação entre diferentes amostras coletadas a um mesmo tempo. O coeficiente de variação (CV) de diferentes misturas, promove o estudo de homogeneidade. A avaliação consiste em analisar diferentes amostras coletadas ao mesmo tempo, após o tempo de mistura ideal de cada misturador, e quantificar um determinado micronutriente que é exigido na nutrição do animal em pequenas quantidades, por meio de análise em laboratório. O cálculo do CV deve ser inferior a 10% para ser considerado uma mistura adequada (EMBRAPA,1997).

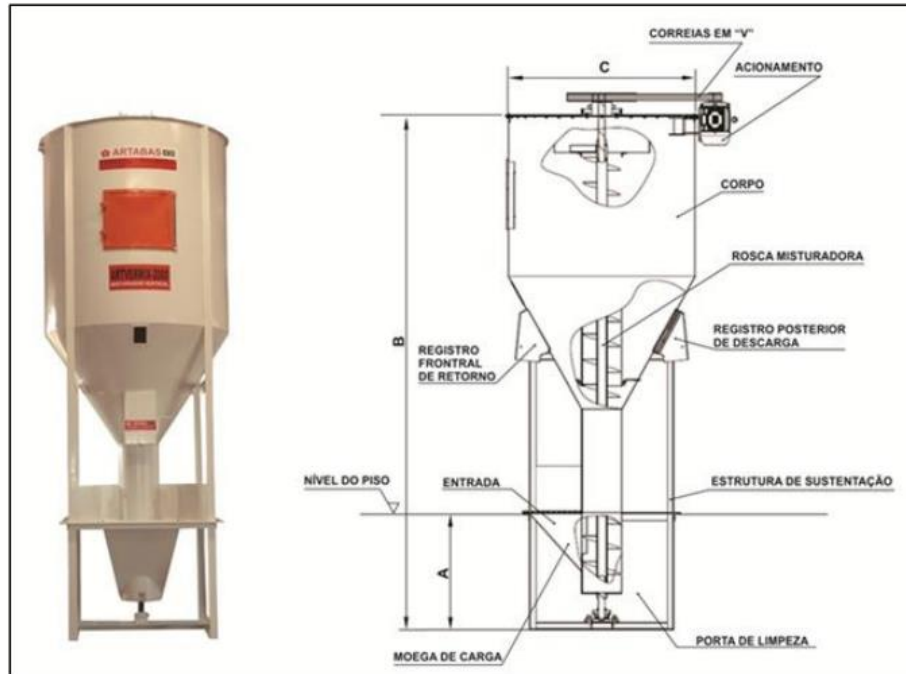
Figura 6 - Misturador horizontal



Fonte: Cirelli, (2024).

O misturador vertical é constituído de um depósito com uma ou duas roscas na linha do eixo central, são mais lentos e necessitam de um maior tempo de mistura (Figura 7). A limpeza desse equipamento é um pouco mais complicada. A mistura ocorre mais no topo e na base do misturador, sendo a maior vantagem desse misturador o baixo custo (Oelke; Ries, 2013).

Figura 7 - Misturador vertical



Fonte: Artabas, (2024).

No geral, o tempo ótimo de mistura dos misturadores horizontais e verticais está em torno de 3 a 19 minutos. Os misturadores horizontais promovem uma maior eficiência de mistura em relação ao vertical, com menor tempo e pode ser usado maior quantidade de líquidos na mistura. Os misturadores verticais possuem um maior tempo de mistura e capacidade limitada de uso de líquidos, não podendo ultrapassar 3% m/m (Resende Neto, 2016).

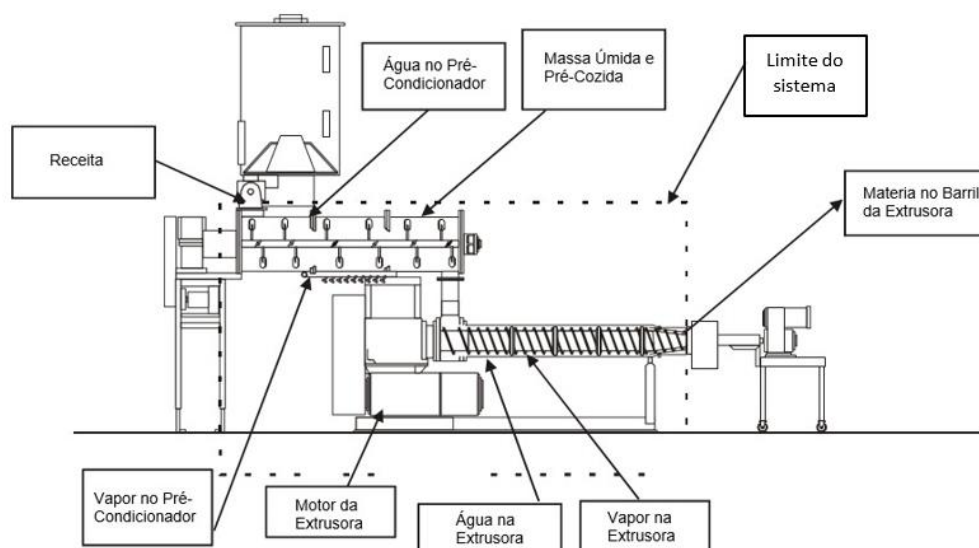
2.2.5 Extrusão

A extrusão é uma operação altamente versátil que pode ser aplicada em diversos processos industriais, como na fabricação de polímeros termoplásticos, metalurgia, cerâmicas e em processos alimentícios, como por exemplo, na fabricação de massas pré-cozidas, *snacks*, cereais matinais e também na alimentação animal. Os extrusores são usados para cozinhar, formatar, sanitizar e texturizar uma massa homogênea de ingredientes, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica,

em um curto espaço de tempo. Essas condições resultam em aumento da qualidade, da produtividade e redução do custo de produção (Riaz, 2000).

O processo de produção de alimentos extrusados inclui as etapas de condicionamento, extrusão, corte, secagem, recobrimento e resfriamento. Uma mistura previamente moída e homogeneizada entra neste processo através do silo alimentador, chegando ao pré-condicionador da extrusora. Neste local, adiciona-se energia térmica à massa pela injeção direta de vapor d'água e água(25°C). Outros líquidos também podem ser adicionados, como óleos, emulsões, aditivos, dentre outros. O pré-condicionador é composto por barras cilíndricas, com pás dispostas radialmente girando a uma velocidade variável, sendo responsável por homogeneizar a mistura de ingredientes e transformá-la em massa uniforme (Bazolli, 2007). A adição de água e vapor nessa etapa de condicionamento tem como objetivos aumentar a umidade e a temperatura da massa, favorecendo a hidratação interna dos grânulos de amido e, conseqüentemente, o cozimento do amido, a plasticização da massa e a sanitização do produto. Desta forma, a umidade auxilia no aumento da estabilidade e produtividade da extrusora e na qualidade do cozimento e texturização do produto final (Riaz, 2000). Para o melhor entendimento do balanço de massa, é mostrado o processo da extrusora Figura 8 que será descrito a seguir.

Figura 8 - Esboço do processo de extrusão.



Fonte: Modificado de Riaz a, (2000).

Após o condicionamento, ocorre a etapa de extrusão propriamente dita. O equipamento consiste em um canhão com um sistema de rosca sem fim (simples ou duplo), que gira a uma velocidade variável (Riaz, 2012). Nessa etapa, há aumento da energia mecânica pela compressão e cisalhamento da massa dentro do tubo extrusor, promovida pela rotação do parafuso que comprime a massa contra seu revestimento e matriz no final do tubo. O processo gera pressão e cisalhamento, elevando a temperatura. Adicionalmente, no canhão extrusor também é possível “adicionar” energia térmica na forma de injeção de vapor direto. Toda essa energia adicionada à massa permite, em poucos segundos e a um baixo teor de umidade (20 a 35%), cozimento adequado do amido e desnaturação de proteínas (Monti *et al*, 2016). Além de vapor, água também pode ser adicionada no canhão extrusor. Esta é necessária para intumescimento e gelatinização do amido, gerando viscosidade e favorecendo a transferência de energia mecânica. No entanto, se excessiva, pode atuar como um lubrificante e, conseqüentemente, reduzir o cisalhamento e aumentar a fluidez da massa. A redução da fricção mecânica não possibilita adequado aumento da temperatura e pressão, com redução da leitura da corrente de amperagem do motor (Frame, 1994).

No final do canhão extrusor, encontra-se o sistema de corte, que é composto por facas de rotação variável responsáveis por cortar a massa na forma desejada Figura 9. Após o corte, o produto passa pela etapa de secagem, onde é levado ao secador para reduzir a umidade a níveis entre 5% e 10% e manter a atividade de água abaixo de 0,6, garantindo estabilidade microbiológica. Quando a umidade do produto é elevada, entre 30% e 35%, são necessários esforços adicionais no secador para remover o excesso de umidade. Isso requer um controle rigoroso da temperatura, do fluxo de ar e do tempo de retenção para assegurar uma remoção e uniformização adequadas da umidade.

Figura 9 - Matriz de formação de kibble no sistema de extrusão corte.

27



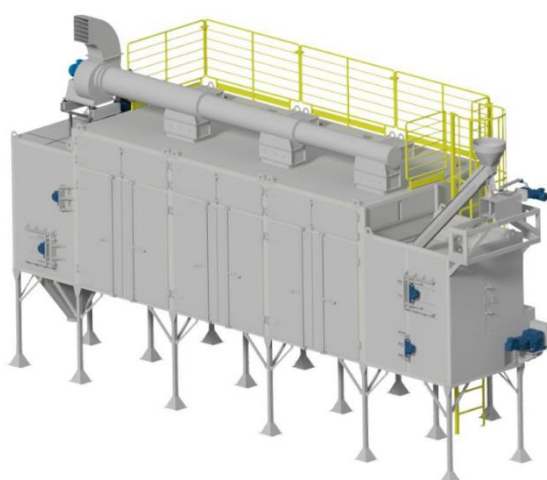
Fonte: Ferraz Máquinas, (2024).

2.2.6 Secagem e Recobrimento

Após sair da extrusão, o *kibble* estará cozido e úmido, sendo necessário perder essa umidade a partir de uma Secagem e Resfriamento, com o objetivo de diminuir a temperaturas próximas à ambiente, e abaixar a umidade para 12%, evitando que a ração venha a ter problemas sanitários, como aparecimento de fungos (Fucillini; Veiga, 2014).

A primeira etapa é a secagem, que a partir de um controle de temperatura, é possível extrair umidade através do calor, utilizando um secador do tipo horizontal como visto na Figura 10.

Figura 10 - Secador horizontal.



Fonte: Greenpeças a, (2024).

O recobrimento, é etapa posterior à secagem, que tem como principal objetivo repor possíveis nutrientes danificados por processos anteriores, como pela desnaturação das proteínas no processo de extrusão. Dessa forma são adicionadas fontes de gordura, como óleo de frango, repondo componentes perdidos e, também, palatilizantes, tornando o produto mais atraente para o consumo pelos animais (Magalhães, 2019).

Após o recobrimento, é possível resfriar o produto, utilizando um resfriador contra fluxo, caracterizado na Figura 11, aproximando sua temperatura à do ambiente, para assegurar a qualidade do produto, tanto nas suas características físicas quanto biológicas, evitando assim a proliferação de micro-organismos (Magalhães, 2019). Com o resfriamento, o produto pode seguir para a etapa de empacotamento.

Figura 4 – Resfriador de contra fluxo.



Fonte: Greenpeças b, (2024).

O empacotamento ocorre com o direcionamento do produto para uma balança, que realiza a pesagem do produto de acordo com o volume desejado (Magalhães, 2019). Após o produto ser corretamente embalado, este segue para ser paletizado e então para a estocagem. A estocagem precede a expedição, última etapa do processo que direciona para os distribuidores/consumidores, também onde ocorrem verificações de qualidade para garantir a entrega de um produto conforme e sem desvios de qualidade (Oelke; Ries, 2013).

2.3 UMIDADE DA MASSA DENTRO DA EXTRUSORA

Durante a etapa de pre-condicionamento, a massa seca recebe a adição de água, tanto na forma líquida como vapor, aumentando assim a umidade da massa e sua temperatura. Esse aumento de umidade e temperatura favorecem a hidratação do amido presente, como também, inicia o processo de gelatinização, que é o processo de expansão dessa massa, através do ganho de densidade. O amido é o principal substrato para que a extrusão ocorra de forma adequada. Como regra, teor de umidade da massa mais elevado promove maior gelatinização do amido, no entanto isto é verdadeiro desde que se tenha transferência de energia mecânica e térmica suficiente durante a extrusão para romper as ligações das estruturas cristalinas de amilose e amilopectina (Riaz, 2007; Tran, Hendriks; Van der Poel, 2008).

O processo de gelatinização do amido tem também consequências sobre os lipídeos do alimento. No canhão da extrusora, o amido gelatinizado, especificamente as cadeias de amilose, formam complexos com a gordura naturalmente presente nos ingredientes (Monti *et al*, 2016). Os complexos amilose-lipídeos são formados pela encapsulação do triglicéride no interior da molécula de amilose. As consequências dessa ligação para o animal, em relação ao aproveitamento do alimento, não estão ainda consolidadas em estudos com alimentos para cães e gatos. Adicionalmente, a formação de complexos amilose-lipídeos é reação importante durante o processo de extrusão, pois altera a textura e expansão dos *kibbles*. Quanto maior a adição de gordura na massa, menor será a eficiência da transferência de energia mecânica, reduzindo o cozimento do amido e levando à formação de *kibbles* pouco expandidos e densos.

Os efeitos da extrusão sobre a proteína são a desnaturação das mesmas, tornando-as mais susceptíveis às enzimas digestivas, aumentando a sua digestibilidade pelos animais (Van Rooijen, 2015).

Em relação aos efeitos indesejáveis ao tratamento termomecânico, destacam-se dano a alguns aminoácidos através de reações de Maillard, reticulação proteína-proteína, formação de complexos proteína-lipídeo e proteína-carboidrato. A reação de Maillard é dividida em três fases, inicial, avançada e final. Na fase inicial, a reação ocorre pela ligação de um grupo carbonila de um açúcar redutor com um grupo amina de uma proteína, resultando na formação de uma base reversível de Schiff (Van

Rooijen, 2015). Essa fase não é restrita a aminoácidos, pode ter a participação de outros grupos amino, advindos de peptídeos. A base de Schiff pode sofrer ao longo do processo, um rearranjo de Amadori, resultando na formação do composto de Amadori (ϵ -N-desoxicetosililisina). Os produtos de Amadori são reversíveis apenas sob certas condições.

A intensidade da reação de Maillard é influenciada pela temperatura, tempo de aquecimento, teor de umidade, pressão, pH e cisalhamento. A taxa de reação aumenta com a redução da umidade, o aumento da temperatura, do tempo de processo, da força de cisalhamento, da pressão e em pH de 6 a 8 (Van Boekel *et al.*, 2010; Van Rooijen, 2015). Um estudo realizado por Lankhorst (2007) avaliou a influência da temperatura (110, 130 e 150°) e umidade (200 e 300 g/kg) sobre o teor de lisina, e concluiu que estas temperaturas não influenciaram nos teores de lisina presentes na ração. Portanto temperaturas inferiores às citadas devem ser utilizada para minimizar os efeitos negativos da reação de Maillard sobre o produto final. Na fase avançada da reação de Maillard, aumentando-se o processamento ou o armazenamento, o composto de Amadori pode reagir através de várias vias (rearranjo, condensação, oxidação e desidratação), levando à formação de produtos da reação de Maillard avançado (PRM). Estes compostos são ricos em potencial oxidativo e portanto, tendem a ser pró-oxidativos. Na fase final, os produtos da reação de Maillard reagem com os grupos amino livres, encontrados por exemplo na lisina, para produzir compostos estáveis, as melanoidinas, que são responsáveis pela cor castanha característica dos alimentos aquecidos (Van Rooijen, 2015). A ocorrência excessiva desta reação pode levar à diminuição da disponibilidade de aminoácidos essenciais, como a lisina. Em alimentos para cães e gatos, formulados com altos teores de proteína, o grupamento ϵ -amino presente em abundância na lisina é o primeiro a se ligar aos açúcares redutores (glicose, maltose e lactose), pois esse grupamento amina é altamente reativo às ligações peptídicas (Van Rooijen, 2015).

Apesar das informações levantadas sobre consequências do processo de extrusão, que podem levar a sua formação, como a umidade e proteína, são pouco conhecidas suas consequências em alimentos de cães e gatos.

2.4 CONTROLE DE QUALIDADE NO PROCESSAMENTO DE RAÇÕES

Os estabelecimentos que produzem, fracionam, importam ou exportam rações animais, premixes e outros produtos relacionados devem estar devidamente registrados junto ao MAPA e suas respectivas unidades, bem como na Unidade Federal (UF) de jurisdição. Além disso, o estabelecimento deve cumprir rigorosamente a legislação vigente, incluindo portarias, decretos, ofícios, instruções normativas e normas operacionais.

É de responsabilidade do MAPA regulamentar e fiscalizar os setores de produção de produtos destinados à alimentação animal, para garantir a adequação dos estabelecimentos conforme condições higiênicas e sanitárias, conformidade e inocuidade dos produtos importados e exportados nos processos de fabricação (MAPA, 2007).

São utilizados programas de controle de qualidade para garantir a qualidade do produto final, como as medidas de higiene e Boas Práticas de Fabricação (BPF), a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e os Procedimentos Operacionais Padrão (POP).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O instrumento utilizado para as leituras de umidade e outros aspectos nutricionais foi o NIR (*Near Infrared*) como mostrado na Figura 12. Um espectrômetro NIR mede a absorção de luz da amostra em diferentes comprimentos de onda na região NIR, onde a curva padrão é criada para as amostras analisadas, no estudo, a ração para cachorros filhotes.

Nesse aparelho são feitas as análises de Umidade, Proteína, Gordura, Cinzas, Atividade de água (*Aw*) e Gelatinização. As amostras coletadas são pesadas (200 g), moídas e adicionadas na cápsula. Após isso é realizado a leitura do NIR conforme a curva característica, no qual é a de cachorro para filhotes, os resultados são obtidos a partir de um computador industrial com as informações do *software* do NIR.

Figura 12 - NIR DS2500 F.



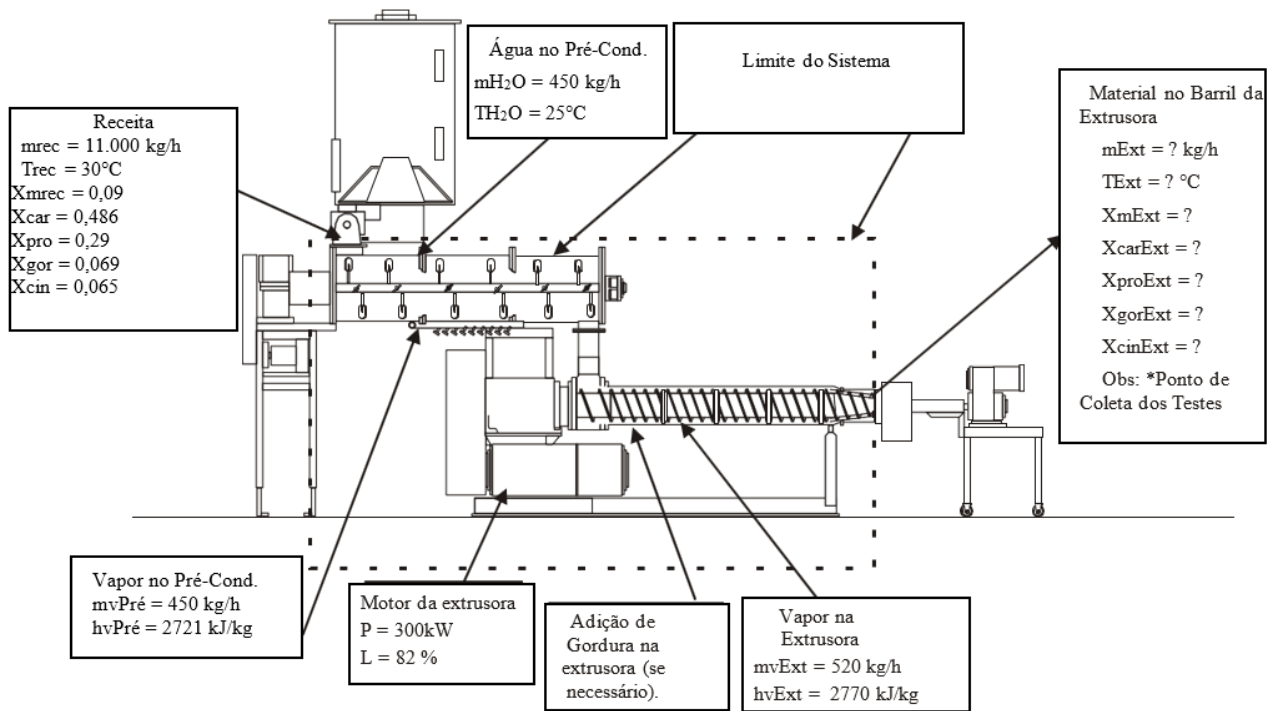
Fonte: Foss Analytics, (2024).

3.1 DELINEAMENTO E TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS

O estudo foi constituído pelo processamento de uma única formulação de ração para cachorro, extrusada com 3 diferentes teores de umidade de massa no canhão da extrusora, ou seja, diferentes vazões adicionadas de água no pré-condicionador, mas com apenas pequenas diferenças entre elas, devido ao fato de não caracterizar como um teste, para não perder a produtividade da fábrica em estudo. A coleta de amostra foi a cada 10 minutos no canhão da extrusora mostrado na Figura 13, como

a massa seca deve ser a mesma no estudo (comportamento ideal do perfil da farinha que vem do moinho em corridas longas de produções), a variação de dados ocorreu dentro da extrusora, após adição de diferentes vazões de água no pré-condicionador, valores que correspondem a 7,5; 8,0; e 8,5 litros/min.

Figura 13 - Fluxos de entrada e saída.



Fonte: Modificado de Riaz b, (2000).

Uma ração padrão para cachorro Tabela 1 foi formulada de acordo com as recomendações internas de uma fábrica de ração seca para cachorro filhote, ou seja, com um teor maior de proteína em relação a categoria dos adultos. Após a dosagem dos ingredientes no misturador, a farinha seca foi moída em moinhos de martelos, equipados com peneira com crivos de 0,9 milímetros. Após isso, essa mesma amostra foi coletada e feita análise nutricional através do instrumento chamado de NIR (*Near Infrared*), determinando assim a sua fração mássica inicial, bem como a umidade inicial antes de ir para a extrusão.

Tabela 1 – Composição do alimento para cachorros empregado no estudo.

Item	Porcentagem (%) m/m
Milho Inteiro	28,20
Sorgo	23,89
Farinha de Vísceras de Frango	17,07
Proteína de Milho	11,73
Palatabilizante Líquido	5,45
Óleo de Frango	4,70
Pasta de Soja	3,29
Farinha de Carnes e Ossos 45	2,27
Corante Caramelo	1,03
Sal Refinado para Pet Food	-
Óleo de Peixe	0,38
Cloreto de Potássio Big Bag	-
Cloreto de Colina	-
Fosfato Bicalcico	-
Prebiótico	-
Premix mineral/vitamínico	-
Oxido de Zinco	-
BHT	-

- Valores ocultados para preservar a imagem da empresa em estudo.

Fonte: Adaptada pelo autor, (2024).

A seguir, a ração seca foi extrusada em rosca simples com capacidade de produção de 11.000 kg/h. A rosca extrusora empregada possuía 80mm de diâmetro, com cinco seções: inicial – passo simples sem anel de retenção; segunda – passo duplo com anel de retenção; terceira – passo simples com anel de retenção; quarta – passo simples com anel de retenção; quinta – cônica, de passo duplo e cortada. Foi empregada matriz com doze furos redondos de sete milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 144 mm². A velocidade de rotação da rosca foi mantida em 100 rpm. As dietas foram extrusadas em uma extrusora de rosca simples. Com capacidade de produção de 11,0 ton/hr, a farinha chega da mistura com aproximadamente 9% de umidade, após a adição de vapor e água no pré-condicionador, essa farinha alcançou em torno de 19% de umidade. Esta massa já mais úmida chegou na extrusora a 90°C devido ao pré-condicionamento, que fez o cozimento inicial pela adição de 400 kg/h de vapor e 450 kg/h de água. A massa

expande conforme condições impostas de pressão e temperatura no pré-condicionamento, formando assim uma massa pré-cozida e úmida. Assim essa massa em sequência seguiu para a extrusora, no qual foram adicionados 500 kg/h de vapor através de bicos de vapores em cada uma das cinco seções, a massa expande conforme condições impostas de pressão, temperatura e também pela potência do motor da extrusora, que controla a velocidade no qual o *kibble* é extrusado. Essa massa expandida e úmida foi então passada através de uma matriz que dá o formato final do *kibble*, que no caso se trata de uma matriz com 12 furos do formato de bolinhas de 144 mm², que dão o formato do *kibble* com dimensões de 12 mm de altura e largura e 7 mm de espessura. Formando gelatinização entre 70-90 °C, a massa final chegou acima de 110 °C para controle microbiológico, atuando como PCC (Ponto Crítico de Controle) do processo. Essa umidade pode ser prevista pelo cálculo de balanço de umidade na saída da extrusora. Todo acompanhamento de resultados foi via resultado do NIR.

Todos os dados de processo foram coletados com a assistência do time de automação da empresa pela rede industrial dos computadores, obtendo assim uma maior quantidade de dados de processo para cada tratamento.

3.2 BALANÇO DE MASSA DENTRO DA EXTRUSORA

Um balanço de massa na extrusora irá conciliar na obtenção do fluxo mássico total em um específico ponto, que no caso do estudo, foi na saída da extrusora, com isso foi possível calcular o índice de umidade na saída da extrusora, entre outros parâmetros que auxiliaram no balanço energético. Conforme Figura 13, foi possível visualizar os fluxos de entrada, saída e o ponto de coleta para os testes, que foi na saída do canhão da extrusora.

Usando m para indicar o fluxo de massa por unidade de tempo (kg/h), tem-se a Equação(1):

$$\sum m_{entra} - \sum m_{sai} = \Delta m_{sistema} \quad (1)$$

Onde:

$$\sum m_{entra} = \text{Soma de toda massa que entra}$$

$$\sum msai = \text{Soma de toda massa que sai}$$

$$\sum \Delta sistema = \text{Acumulo de massa no sistema}$$

1. Balanço de massa na entrada, inclui:
 - a. Injeção de vapor (mv).
 - b. Injeção de água (mH₂O).
 - c. Receita (mrec).
 - d. Injeção de gordura (mgor).
 - e. Outros aditivos.
2. Balanço de massa na saída, inclui:
 - a. Perda de vapor no pré-condicionador/extrusora (mpvp).
 - b. Perda de vapor na saída da ventilação (mpvv).
 - c. Produto na saída da extrusora (mExt).
 - d. Vapor perdido na saída da extrusora (mvpe).
3. Acúmulo de massa no sistema:
 - a. Normalmente é considerado zero, pois é preferível operar em estado estacionário.
 - b. Tem que esperar um tempo para entrar em equilíbrio antes de ser possível capturar dados.
 - c. *Loops* de controle em todo o fluxo de massa são necessários para garantir o estado estacionário.

Assim, retomando o balanço de massa:

$$\sum m_{entra} - \sum msai = \sum \Delta sistema \quad (1)$$

Onde:

$$m_{rec} \cdot X_{Umrec} + m_{H_2OPré} + mv_{Pré} + mv_{Ext} - mpvp - mpvv - m_{Ext} \cdot X_{mExt} = 0 \quad (2)$$

X é indicado a fração mássica em um específico ponto do processo. Nesse caso X_{mExt}, conforme já mostrado na Figura 13, indica a fração mássica de umidade (água adicionada nos tratamentos).

Valores para X sempre serão igual ou menor que 1,0, por se tratar de fração mássica, assumindo $mpvp=0$ e $mpvv=0$, considerando que não haverá perdas no processo, resolvendo a equação para $XmExt$:

$$XmExt = \frac{mrec.XUmrec + mH_2OPré + mvPré + mH_2OExt + mvExt}{mExt} \quad (3)$$

Como não se sabe o fluxo mássico na extrusora ($mExt$), deve-se fazer um balanço de massa total para determina-lo:

$$mrec + mH_2OPré + mvPré + mH_2OExt + mvExt + mgor - mExt = 0 \quad (4)$$

Novamente, assumindo $mpvp=0$, por se tratar de um caso ideal sem perdas, a massa na saída da extrusora, $mExt$, pode ser dada por:

$$mExt = mrec + mH_2OPré + mvPré + mH_2OExt + mvExt + mgor \quad (5)$$

Assim, é possível calcular o teor de umidade na saída da extrusora, as informações sobre o fluxo mássico de receita no pré-condicionador, são conhecidas através das análise do NIR, e os dados de energia térmica(vapor e água) são conhecidas e acompanhadas pelos operadores da extrusora durante o processo.

Dessa forma, com os dados coletados durante o acompanhamento da produção, é possível validar seu balanço de umidade dentro da extrusora com as leituras do método de NIR (*Near Infrared*). Após a extrusora, esse produto é destinado ao secador horizontal para retirar parte da umidade que ganhou da extrusora. Depois, é direcionado ao tambor de recobrimento, no qual é adicionado o palatabilizante de cachorro (responsável pelo aroma do produto), dando maior palatabilidade para o animal consumir, em alguns casos altera a cor, é adicionado através de dosagem contínua enquanto o material é rotacionado em um tambor cônico.

Por fim, o produto extrusado, o *kibble* com o palatabilizante (recobrimento), é destinado ao resfriador, no qual é necessário chegar a uma temperatura próxima à ambiente ($25^{\circ}C$) por troca de calor. Após isso, os *kibbles* passam por uma peneira

vibratória, para retirar os finos do processo. Assim chegando à umidade final próxima dos 10% m/m que é necessário para evitar incidentes de segurança alimentar, tornando-se um produto empacotável por rótulo, podendo assim ser vendável.

3.3 BALANÇO DE ENERGIA NA EXTRUSORA

Um balanço de energia na extrusora permitirá determinar o conteúdo energético em um ponto específico do processo, a partir dos fluxos mássicos levantados pelo balanço de massa, que no caso do estudo é na saída da extrusora. Assim é possível calcular a temperatura do produto na saída do canhão da extrusora a partir dos fluxos mássicos, entalpias padrões de vapor, reações química de desnaturação e gelatinização da ração e a energia mecânica imposta pelo motor da extrusora. O cálculo do fluxo de energia total do processo ajuda a entender o real consumo energético, prevendo assim economia e possíveis desgastes dos equipamentos. Os fluxos são encontrados na Figura 13. É possível visualizar os fluxos de entrada, saída e o ponto de coleta para os testes.

Assim:

A. Balanço de energia é:

Usando Q para indicar o fluxo de energia por unidade de tempo (kJ/h).

$$\sum Q_{entra} - \sum Q_{sai} + \sum \Delta H_{Reação} = \Delta H_{sistema} \quad (6)$$

Onde:

$$\sum Q_{entra} = \text{Soma de toda energia que entra}$$

$$\sum Q_{sai} = \text{Soma de toda energia que sai}$$

$$\sum \Delta H_{Reação} = \text{Soma de toda energia gerada por reação}$$

$$\sum \Delta H_{sistema} = \text{Energia gerada pelo sistema}$$

1. Balanço de energia na entrada, inclui:

- a. Injeção de vapor (Q_v).
- b. Temperatura de entrada (T_{rec}).

- c. Injeção de água (Q_{H_2O}).
- d. Receita (Q_{rec}).
- e. Injeção de gordura (Q_{gor}).
- f. Outros aditivos.
- g. Calor adicionado através do aquecimento do barril da jaqueta (Q_b).
- h. Calor adicionado mecanicamente via dissipação viscosa (Q_{me}).

2. Balanço de energia na saída, inclui:

- a. Vapor perdido na transição do pré-condicionador/extrusora (Q_{pvp}).
- b. Vapor perdido na saída da ventilação (Q_{pvv}).
- c. Produto saindo da matriz da extrusora (Q_{prod}).
- d. Vapor perdido na saída da extrusora (Q_{vpe}).
- e. Calor removido para resfriar a jaqueta do barril da extrusora (Q_{br}).
- f. Calor perdido pela convecção natural entre o pré-condicionador e a extrusora com a superfície do barril (Q_c).

3. Energia de reação no sistema, inclui:

- a. Energia necessária para desnaturação da proteína (Q_{dp}).
- b. Energia necessária para gelatinização do amido (Q_{ga}).
- c. Energia necessária para mudanças de fases.

4. Acúmulo de energia no sistema:

- a. Normalmente, é considerado zero, pois é preferível operar em estado estacionário.
- b. Tem que esperar um tempo para entrar em equilíbrio antes de ser possível capturar dados.
- c. *Loops* de controle em todo o fluxo de massa e temperatura do barril são necessários para garantir o estado estacionário.

B. Aplicando o balanço de energia para a extrusora em estudo

1. Assim, para calcular o conteúdo energético para os fluxos mássicos de múltiplos componentes, a energia térmica (ETE), tem-se:

A equação geral de conteúdo de energia para um fluxo mássico, que são encontradas em livros de termodinâmica, transferência de calor e como também em Riaz(2000), considerando C_p a capacidade calorífica a pressão constante, T a temperatura e Q o calor gerado ou perdido, tem-se:

$$Q = m.C_p.(T - T_{ref}) \quad (7)$$

Onde:

Q = Fluxo energético (kJ/h).

M = Fluxo mássico (kg/h).

C_p = Calor específico (kJ/kg°C).

T = Temperatura (°C).

T_{ref} = Temperatura de referência; comumente $T_{ref}=0$ °C.

Calculando o calor específico das frações mássicas:

$$C_p = 1,424.X_c + 1,549.X_p + 1,675.X_g + 0,837.X_{cin} + 4,187.X_{umidade} \quad (8)$$

Onde os valores de Calores específicos encontram-se tabelados (Tabela 2). Com a equação 7 deseja-se calcular o calor específico total da amostra na saída da extrusora.

Tabela 2 – Capacidade Calorífica.

Capacidade Calorífica (Pressão Constante)	Kj/kg°C
Carboidrato	1,424
Proteína	1,549
Gordura	1,675
Cinzas	0,837
Água	4,187

Fonte: Riaz, (2000).

2. Calculando a quantidade de energia pelo fluxo mássico de água e vapor

O cálculo de quantidade de energia usando a Equação 7 contendo fluxo de materiais secos. Para água, como especificado, a capacidade calorífica é 4,187 kJ/kg°C.

O cálculo de quantidade de energia através do fluxo mássico de vapor, encontrado nos livros de termodinâmica, transferência de calor e também em Riaz (2000), é dado pela seguinte equação:

$$Q = m \cdot h. (9)$$

Onde:

Q = Fluxo energético (kJ/h).

m = Fluxo mássico (kg/h).

h = Entalpia de vapor obtida a partir de Tabelas de vapor (Kj/kg).

Entalpia de vapor, h, pode ser encontrada em tabelas de vapores. Na maioria dos casos, utiliza-se 30 psi para injeção de vapor saturado no pré-condicionador (h=2,721 Kj/kg) e 100 psi de injeção de vapor saturado no barril da extrusora (h=2,770 kJ/kg (Riaz,2000).

3. Energia mecânica

O cálculo da energia mecânica (EME) foi calculado de acordo com Riaz (2000), através da Equação(10) levando-se em conta que se trata de um motor da extrusora que opera a potência constante, com um percentual de conversão conhecido L para indicar o percentual de conversão, P potência total.

$$Q_{EME} = P \cdot L \cdot 3600 (10)$$

Onde:

Q_{EME} = Energia Mecânica (kJ/h).

P = Potência (kW).

L = Conversão (%).

Obs: multiplica-se o kW por 3600 para obter (kJ/h).

4. Energia de reação

É necessário calcular a energia de reação consumida a partir de uma reação química ou pela mudança de fase, como mostra Riaz(2000).

Gelatinização do amido:

$$Q_{ga} = m \cdot X_c \cdot (X_{gasai} - X_{gaent}) \cdot \Delta H^{\circ}_{ga} \quad (11)$$

Onde:

Q_{ga} = Energia de gelatinização do amido (kJ/h).

m = Fluxo mássico (kg/h).

X_c = Fração mássica de carboidrato.

X_{gasai} = Fração de gelatinização do amido que sai.

X_{gaent} = Fração de gelatinização do amido que entra.

Segundo Riaz (2000), considerando: $\Delta H^{\circ}_{ga} = -14 \frac{kJ}{kg}$

Desnaturação da proteína:

$$Q_{pd} = m \cdot X_p \cdot (X_{pdsai} - X_{pdent}) \cdot \Delta H^{\circ}_{pd} \quad (12)$$

Onde:

Q_{pd} = Energia de desnaturação da proteína (kJ/h).

m = Fluxo mássico (kg/h)

X_p = Fração mássica de proteína.

X_{pdsai} = Fração de desnaturação da proteína que sai.

X_{pdent} = Fração de desnaturação da proteína que entra.

Segundo Riaz (2000), considerando: $\Delta H^{\circ}_{pd} = -95 \frac{kJ}{kg}$

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e seis repetições por tratamento (coleta manual da ração no canhão da extrusora). A unidade experimental (repetição) foi considerada a amostragem e tomada de dados a cada 10 minutos de intervalo, sendo no mínimo seis por tratamento, foram também coletados os dados de processo pelo time de automação para melhor caracterização dos dados. Estes dados foram previamente avaliados quanto às pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento MIXED do SAS On Demand For Academics (https://www.sas.com/en_us/software/on-demand-for-academics.html). Quando diferenças foram obtidas no Teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Quando necessário, contrastes polinomiais pelo método do GLM do SAS para obtenção foram aplicados em função da umidade na massa no canhão extrusor ($P < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de processo foram obtidos pelo time de automação da empresa em estudo por meio da base de dados da rede industrial, para mantimento de mais dados consecutivos, e uma melhor análise concisa, como também os dados nutricionais foram obtidos pela análise do NIR durante a coleta e leitura pelos operadores de cada área (mistura, extrusão e empacotamento). O estudo do impacto da umidade no canhão da extrusora é importante para controlar possíveis variáveis que possam ocorrer durante processo e o produto.

4.1 PROCESSAMENTO DOS TRATAMENTOS

A composição química nutricional foi a mesma entre os tratamentos. Por se tratar de um mesmo perfil de matéria-prima durante as 3 horas de produção, sendo utilizada desde o processo de mistura, quando se adicionou as vazões de água de 7,5; 8,0; 8,5 l/min, desdobrando em três tratamentos. 19,40%, 19,60% e 19,80% são as umidades no canhão da extrusora atingidas pela adição das diferentes vazões de água no pré-condicionador, conforme utilização de água no pré-condicionador (Tabela 3).

Tabela 3 – Composição da ração seca que chega no pré-condicionador.

Parâmetros (%)	Tratamentos no pré-condicionador		
	19,40%	19,60%	19,80%
Umidade	9	9	9
Proteína Bruta	29	29	29
Extrato Etéreo	6,9	6,9	6,9
Amido	48,6	48,6	48,6
Cinzas	6,5	6,5	6,5

19,40%; 19,60% e 19,80% são as umidade alcançadas no canhão da extrusora.

Autor: próprio, (2024).

Durante a extrusão, a adição de água no pré-condicionador foi atingida satisfatoriamente de acordo com o definido para cada tratamento. A taxa de

alimentação (11 ton.h^{-1}) manteve-se constante durante toda a corrida. Os dados são mostrados conforme cada teste na Tabela 4.

4.2 IMPACTO DA UMIDADE DENTRO DA EXTRUSÃO

A umidade da massa no canhão da extrusora (UME) aumentou de 19,40% para 19,80% com adição de água. A maior fluidificação da massa aumentou a energia térmica também de forma linear de acordo com o polinômio obtido pelo contraste, conforme esperado pela adição de mais água no processo, por ter uma diferença pequena entre os valores de vazões dos testes, tornando assim o contraste linear entre os valores médios de vazão de água, já a energia mecânica não mudou, por se tratar do motor da extrusora que opera a potência constante.

$$ETE\left(\frac{kWh}{ton}\right) = 909,03 + UME \times 0,865 (P < 0,0001)$$

A importância do controle da umidade na extrusora foi mostrada através dos resultados obtidos por esse estudo, exercendo influência em todos os parâmetros do processo, foi mostrado a partir do controle da umidade, que resultados como Energia Térmica e Energia Mecânica exercem grande função como ferramenta de demonstração de performance do processo. Segundo Onwulata *et al* (2001), a umidade participa diretamente na qualidade do produto final, por afetar diretamente a estrutura celular e a macroestrutura dos *kibbles*. Quando a umidade da massa é aumentada durante o processo de extrusão, ela atua como um lubrificante para a rosca e a camisa da extrusora, reduzindo a resistência ao fluxo e a transferência de energia da rosca para o produto. Isso leva à diminuição da pressão, da temperatura e do cisalhamento da massa, resultando em menor expansão e cozimento dos *kibbles*.

Apesar de não ter sido avaliada no estudo, pelo fato do motor da extrusora operar a potência constante, a quantidade de energia mecânica (EME), era esperado que com o aumento da fluidez, a EME viesse a diminuir, como foi observado na análise feita em Baller (2017), sendo assim necessária menos energia mecânica para passar essa massa cozida e úmida pelo processo, já que ela estará mais móvel.

Riaz (2000) considera a umidade da massa um parâmetro crítico para compreender a diminuição da absorção de energia mecânica específica e da pressão

pela massa. O motivo pelo qual a empresa em estudo não usa um motor de extrusão de potência variável é pela produtividade, nesse caso, 11 ton/h é uma grande quantidade de massa produzida e que um motor que opera a potência constante consegue operar, sendo portanto retirada mais uma variabilidade do processo, que seria controlar o motor da extrusão. A eficiência energética depende apenas do controle de vapor e água (já que apenas se altera a ETE no processo) melhorando assim a estabilidade do processo, facilidade de operação, um maior controle de qualidade no extrusado e segurança operacional.

Apesar da notoriedade dos pontos positivos de utilizar mais água no processo de extrusão, a utilização de mais água também pode ser um motivo de maior gasto energético no processo de energia térmica, tendo que usar mais de um secador para extrair a umidade desse produto no final do processo (Harper, 1981).

A corrente (em ampère) do motor da extrusora e a pressão (em bar) dentro da extrusora foram reduzidas em todos os tratamentos com o aumento da umidade da massa no canhão extrusor de forma linear, os valores de amperagem seguiram uma redução linear conforme obtidas pelo contraste linear.

$$\text{Amperagem (A)} = 449,39 - \text{UMEx}6,1 \quad (P = 0,0005)$$

$$\text{Pressãoext (bar)} = 2,44 - \text{UMEx}0,085 \quad (P < 0,0001)$$

A redução linear da amperagem e a diminuição linear da pressão e da temperatura da massa, em função do aumento da umidade no canhão extrusor, podem ser explicadas pela menor viscosidade da massa, que resulta em maior fluidez e lubrificação do canhão devido à maior adição de água. A composição da dieta influencia diretamente essa capacidade de absorção de água pela massa. Dietas ricas em fibras requerem maiores quantidades de água para um processamento adequado. Altos teores de umidade na massa impedem a dissipação da energia mecânica no canhão da extrusora, devido à baixa viscosidade, o que impede a acumulação de pressão, como observado em dietas com baixa umidade da massa (Akdogan, 1999). Explicando assim a diminuição da pressão e amperagem no teste de 19,80%, conforme é adicionada energia térmica, a viscosidade do extrusado diminui, aliviando assim o processo de extrusão pela maior fluidização da massa.

O aumento da pressão em um fluido devido ao aumento da viscosidade pode ser explicado pelo princípio da resistência ao escoamento em mecânica dos fluidos. Quando a viscosidade de um fluido aumenta, a resistência interna ao movimento das camadas de fluido também aumenta. Dessa forma, para mover o fluido através de um tubo ou qualquer outra restrição, é necessária uma força maior para superar essa resistência (White, 2011). Portanto, para manter a mesma vazão de 11 ton/h na extrusora, é necessário mais pressão para mover esse fluido.

A temperatura da massa reduziu de forma linear em função da umidade da massa no canhão da extrusora conforme adicionava mais água no processo, que quanto maior a umidade do extrusado, menor a temperatura na saída da extrusora. A temperatura da massa no canhão da extrusora foi descrita como:

$$Temperatura = 161,6 - UME \times 0,69 \quad (P < 0,0001) \quad ^\circ\text{C}$$

A diminuição da temperatura pode ser explicada devido à maior quantidade de água adicionada, podendo estar relacionada com o menor índice de gelatinização do amido (Tabela 5), conforme só aumentava a vazão de água no pré condicionador, considerando que o perfil da ração extrusada não mudou durante as três horas de produção. Segundo Hakulin et al. (1983), o excesso de umidade na alimentação só resulta em adequada gelatinização do amido quando combinado com temperaturas elevadas.

A diminuição da temperatura pode ser explicada também pela própria adição de água no pré a 25°C, que ajuda a resfriar parte do sistema e também pela atuação da jaqueta acoplada que faz resfriar a superfície do barril ao adicionar água a temperatura ambiente (Riaz, 2012).

Tabela 4 – Tratamentos experimentais com diferentes umidade no canhão da extrusora.

Umidade da massa no canhão da Extrusora				EPM ¹	P Valor	Contrastes	
Item	19,40%	19,60%	19,80%			Linear ²	Quadrática ³
Pré-condicionador							
Temperatura da massa (°C)	91,67	91,85	90,63	0,2462	0,0031	0,0057	0,0275
Umidade da massa (%)	9	9	9	-	-	-	-
Pressão (bars)	0,49	0,49	0,48	0,003475	0,1324	-	-
Extrusora							
Amperagem	455,77	448,84	443,58	1,3384	0,0015	0,0005	0,6122
Pressão (bars)	2,51	2,47	2,34	0,008165	<0,0001	<0,0001	0,0041
Temperatura da massa (°C)	161,68	161,01	160,30	0,01529	<0,0001	<0,0001	0,3582
Umidade da massa (%)	19,43	19,62	19,81	0,004534	<0,0001	<0,0001	0,3758
Balanço de energia							
EME (kWh/ton)	246,0	246,0	246,0	-	-	-	-
ETE (kWh/ton)	908,18	909,02	909,91	0,01953	<0,0001	<0,0001	0,2519
Energia Total (kWh/ton)	1154,18	1155,02	1155,91	0,01953	<0,0001	<0,0001	0,2519
ETE/EME	3,69	3,69	3,69	-	-	-	-

¹- EPM – Erro Padrão da Média; ² – Efeito linear do aumento da umidade da massa; ³ – Efeito quadrático do aumento da umidade da massa.

Fonte: Próprio, (2024).

4.3 GELATINIZAÇÃO DO AMIDO E ATIVIDADE DE ÁGUA

Os valores de gelatinização e atividade de água foram obtidos conforme a leitura realizada no NIR após o processo de resfriamento do *kibble*, sendo um item específico que relaciona sua expansão com a densidade, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Gelatinização do amido e análises nutricionais do empacotamento.

Tratamentos no Pré-Condicionador			
Item	19,40%	19,60%	19,80%
Densidade resfriador(g/l)	0,45	0,46	0,46
Gelatinização do amido(%)	91,4	91,5	91,1
Proteína(%)	28,4	28,7	28,8
Umidade(%)	8,7	7,7	8,1
Gordura(%)	13,3	13,2	13,0
Cinzas(%)	7,3	7,0	6,8
Atividade de água(Aw)	0,57	0,5	0,53

Fonte: próprio, (2024).

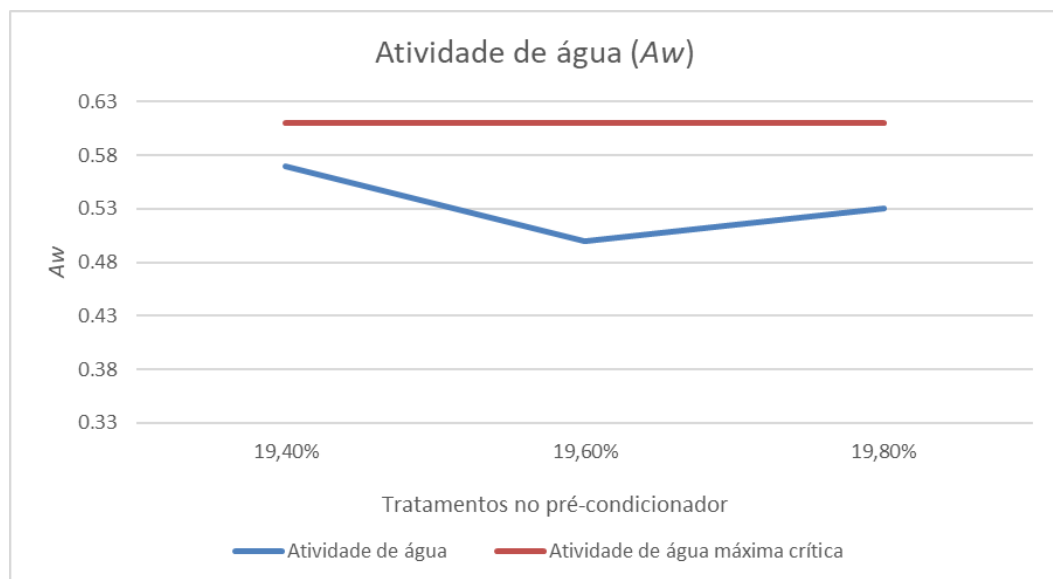
A gelatinização se comportou bem conforme os dados obtidos, valores maiores que 90% mostram que o *kibble* expandiu suficientemente para ter a maior digestibilidade possível para o animal, favorecendo uma maior palatabilidade para o *pet*. A água é essencial na gelatinização e desempenha um dos papéis principais no controle da taxa de expansão do extrusado (Kokini *et al*, 1994).

A gelatinização do amido e a desnaturação da proteína contribuem para textura do *kibble*, aparência e propriedades físicas do produto a base animal extrusado (Alvarez *et al*, 1990). O aumento da gelatinização também melhora a expansão do extrusado (Chauhan; Bains, 1985).

As densidades dos tratamentos foram um pouco altas, possivelmente devido à gordura da ração estar alta também, a partir do ponto do empacotamento, a observação que se destaca é que com os *kibbles* com densidade mais alta, podem apresentar o pacote com aspecto mais vazio, com espaço no pacote, por precisar de menos *kibbles* para completar o peso desejado para a embalagem, é necessário adicionar vácuo ao processo de empacotamento, para dar o efeito de embalagem bem preenchida. Mas para esse caso, mesmo a densidade estando um pouco alta, é uma variável de processo que é contornada com a adição de vácuo.

Por se tratar de uma corrida longa, de 3 horas com vazão de 11 ton/h, e o teste de uma pequena variação de água no tratamento da extrusão, pouco é visível a variação dos testes apenas variando água no processo, com o produto resfriado, a variação enxergada é aceitável para um dia de produção qualquer para a rotina da empresa, sem comprometer por dificuldade de paradas inesperadas. A diminuição da umidade entre o segundo tratamento e o terceiro é devido a tentativa de diminuir a atividade de água A_w para níveis mais aceitáveis e seguros para evitar incidentes de mofo durante o seu tempo de validade no mercado, ao ser envasado, dados esses que podem ser visualizados na Figura 14 a seguir, no qual a atividade de água máxima crítica é 0,61 e nenhum produto acima desse valor é comercializado.

Figura 14 – Atividade da água (A_w) no produto final com os tratamentos.



A estabilidade da validade do produto se refere geralmente ao produto final por manter as características de qualidade manufaturada e liberada, sem permitir crescimento de mofos no decorrer do seu tempo de mercado. A habilidade do produto não permitir o crescimento de mofo depende da atividade de água (A_w). Os fungos são os micro-organismos mais resistentes à diminuição da atividade de água, sendo os principais responsáveis pela deterioração dos alimentos na faixa de A_w 0,61-0,70 (Beuchat, 1983).

Apesar dos valores de A_w estarem um pouco altos para uma indústria de *pet*, ainda assim é um valor que é seguro, por estar abaixo do limite crítico de 0,61, não permitindo crescimento de bolores (mofos) e leveduras. A responsabilidade de entregar um produto seguro a níveis de A_w é importante seguindo o tempo esperado de validade e armazenamento.

5 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo, pode-se concluir que a umidade da massa no canhão da extrusora apresentou um efeito significativo sobre a qualidade do produto e do cisalhamento do produto extrusado. Com o aumento de água, reduziu-se o cisalhamento, pressão e temperatura na extrusora aumentando a energia térmica, o motor da extrusora se manteve operando a potência constante suportando toda a corrida.

Os três tratamentos apresentaram valores satisfatórios de gelatinização, densidade e A_w . A redução da gelatinização no último tratamento de 19,80%, é devido à baixa temperatura pela adição de mais água, porém sendo uma variação controlada do processo, pois os níveis de gelatinização acima dos 90% já são consideradas significativas. A redução da pressão e do cisalhamento com o aumento da energia térmica, causada pelo aumento da umidade, foi mostrado como ferramenta de balanço de energia pode ser considerada para monitorar um processo de extrusão em grande escala a depender do objetivo.

É necessário considerar para quais objetivos modelar o processo, se é utilizando mais água, ao utilizar mais energia térmica, e assim necessitando da utilização do secador para remover essa umidade no final do processo, gastando mais energia, ou se é preferível utilizar menos água, porém tendo a manutenção mais periódica, pois a massa quente extrusada estará mais seca, desgastando os equipamentos da extrusora, como pás, helicoides.

REFERÊNCIAS

ABINPET. **O Mercado Pet no Brasil. 2022.** Disponível em: <https://www.abinpet.org.br/wp-content/uploads/2022/08/abinpet_folder_dados_mercado_2022_draft3_web.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2024.

ABINPET. **Guia Pet Food. 2019:** Classificação e Normas Técnicas para Alimentos para Animais de Estimação. São Paulo: ABINPET, 2019. p. 323.

ALVAREZ, V.B.; SMITH, D. M.; MORGAN, R. G. & BOOREN R.M. Restructuring of mechanically deboned chicken and nonmeat binders in a twin-screw extruder. **Journal of Food Science**, 33, 942-946, 1990.

ARTABAS. Misturador vertical. 2024. Disponível em:<<https://www.artabas.com.br/Produto/10/misturador-vertical>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

AKDOGAN, H.. High moisture food extrusion. **International Journal of Food Science and Technology**, 34, 195–207. 1999.

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. 82f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

BALLER, M.A. **Umidade da massa no extrusor sobre os parâmetros de processamento, macroestrutura, cozimento do amido e palatabilidade de alimentos extrusados para gatos.** Tese (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

BELLAVER, C., NONES, K. **A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola.** In: IV SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2000, Goiana. Goiás. 18 p.

BEUCHAT, L R. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeast's and molds. **Journay of food protection**. v. 46, p.135-141. 1983.

BORGES, W.K.L. **Avaliação da qualidade de uma mistura com uso de microtracer.** 2019, 16f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis.

CECÍLIA, O. **Moagem.** 2020. Disponível em:<<https://www.3rlab.com.br/fabrica-de-racao-moagem/>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CIRELLI. **Misturador horizontal**. 2024. Disponível em:<Misturador Horizontal (cirelli.com.br)>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CHAUHAN, G. S, BAINS, G. S. Effect of granularity on the characteristics of extruder rice snack. **Journal of Food Tecnology**, 20, 305-309, 1985.

EMBRAPA. **Os cuidados com a mistura de rações na propriedade**. Circular Técnica 19. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1997.20p.

FERRAZ MÁQUINAS. **Matriz para extrusoras**. 2024. Disponível em:< Matriz para Extrusoras - Máquinas para Fábricas de Ração - Ferraz Máquinas (ferrazmaquinas.com.br)>. Acesso em: 07 mai. 2024.

FUCILLINI, D. G.; VEIGA, C. H. A. da. **Controle da capacidade produtiva de uma fábrica de rações e concentrados: um estudo de caso**. Revista Custos e @gronegocio *on line*. Recife, PE, v. 10, n. 4, p. 221-240. 2014.

FRAME, M. D. **The technology of extrusion cooking**. 1 ed. 3Island Press. 1994.

FOSS ANALYTICS. **NIR DS2500 F**. 2024. Disponível em:< <https://www.fossanalytics.com/en/search?query=NIR%20DS2500%20F>>. Acesso em 29 ago. 2024.

GREEN PEÇAS. **Resfriador vertical**. 2024 a. Disponível em:< <https://www.greenpecas.com.br/resfriador-de-contra-fluxo/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

GREEN PEÇAS. **Secador horizontal**. 2024 b. Disponível em:< <https://www.greenpecas.com.br/secador-horizontal-de-racao/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

HARPER, J. M. **Extrusion of Foods**. Boca Raton: CRC Press, v.1, 1981.

HAKULIN, S., LINKO, Y., LINKO, P., SEILER, K., SEIBEL, W. **Enzymatic conversion of starch screw HTST extruder**. V.35, 411-414, 1983.

JAMES, S. **In the Company of Animals: A Study of Human-Animal Relationships**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

KOKINI, J. L.; COCERO, A. M.; MADEKA, H.; GRAAF, E. **The development of state diagrams for cereal proteins**. Trends in Food Science and Technology. v.5, 281-288, 1994.

LANKHORST, The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by in vitro indicators. **Animal Feed Science and Technology**, 2007.

LAGUS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. **Moinhos de martelo**. 2024. Disponível em:< <http://www.lagus.ind.br/site/produtos-2/104/22/categoria-de-produtos-1/moinho-de-martelos-lg-mm400-detail>>. Acesso em: 07 Mai, 2024.

MAGALHÃES, C. C. **Parâmetros operacionais do processo de extrusão termoplástica para a produção de rações secas para animas**. 2019. 41 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 4, de 23 de fevereiro de 2007**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacao-animal/INM000000045.pdf>>. Acesso 01 ago. 2024.

MONTI, M., GIBSON, M., LOUREIRO, B.A., SÁ, F.C., PUTAROV, T.C., VILLAVARDE, C., ALAVI, S., CARCIOFI, A.C. Influence of dietary on macrostructure and processing traits of extruded dog foods. **Anim. Feed Sci. Technol.** 220, 93-102. 2016.

ONWULATA, C.I.; Smith, P.W.; KONSTANCE, R.P.; HOLSINGER, V.H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. **Food Research International**, v.34, p.679-687, 2001.

OELKE, C.A. RIES, E.F. **Tecnologia de rações**. Frederico Westphalen: UFSM, Colégio Agrícola de Frederico Westphalen; Rede e-Tec Brasil, 2013. 142 p.

OLIVEIRA, C.D.S. **Fábrica de ração – Moagem**. 3r lab, nov 2020c. Disponível em: <<https://www.3rlab.com.br/fabrica-de-racao-moagem/>>. Acesso em 02 ago. 2024.

RESENDE NETO, D. **Avaliação da qualidade de uma mistura de ração para bovinos em misturador horizontal com uso de microtracers como marcador da homogeneidade**. 2016, 44 f. Dissertação (Mestrado em Sanidade 51 e Produção Animal nos Trópicos) - Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Medicina Veterinária, Uberaba.

RIAZ, M.N. **Extruders in food applications**, In: Riaz, M.N. Introduction to extruders and their principles. Ed Taylor & Francis P. 1-23. 2000.

RIAZ, M.N. **Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds**. Agrimedia, Clenze, p. 400. 2007.

RIAZ, M.N. **Extrusion Problems Solved**. 156. How can a recipe be adjusted to make it shelf stable after extrusion and cooling? . Ed Taylor & Francis, 2012.

ROCHA, A.G. **Uniformidade de mistura de rações e seu efeito no desempenho de frangos de corte**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Santa Maria/RS.

SAS Institute Inc. SAS OnDemand for Academics [recurso eletrônico]. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2023. Disponível em: <https://www.sas.com/en_us/software/on-demand-for-academics.html>. Acesso em: 29 ago. 2024.

SILVA, L.C. **Estruturas para armazenagem de grãos a granel** . Boletim Técnico: AG: 02/10. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Alimentos, 2015.

TRAN, Q.D., HENDRIKS, W.H., VAN DER POEL, A.F.B., 2008. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.88, p.1487-1493.

VAN ROOIJEN, C. **Maillard reaction products in pet food**. Ph.D. thesis Wageningen University. The Netherlands. 2015.

VAN BOEKEL, M.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N.; STANTON, C.; SCHOLZ, G.; LALLJIE, S.; SOMOZA, V.; KNORR, D.; JASTI, P. R.; EISENBRAND, G. A review on the beneficial aspects of food processing. **Molecular Nutritional. Food Reserch**. v 54, p.1215-1247. 2010.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 7ª ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2011.