

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MODELAGEM EMPÍRICA DA QUALIDADE DOS PÉLETES
DE RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS

BRUNA SCHROEDER
Zootecnista/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Zootecnia
Área de concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil
Março 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Schroeder, Bruna
MODELAGEM EMPÍRICA DA QUALIDADE DOS PÉLETES DE
RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS / Bruna
Schroeder. -- 2019.
68 f.
Orientadora: Ines Andretta.

Coorientador: Marcos Kipper da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. MODELAGEM EMPÍRICA DA QUALIDADE DOS PÉLETES DE
RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS. I. Andretta,
Inés, orient. II. Kipper da Silva, Marcos, coorient.
III. Título.

Bruna Schroeder
Zootecnista

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

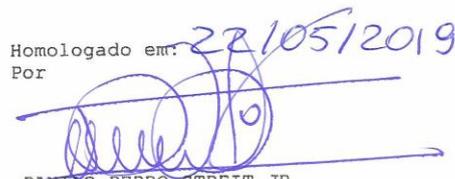
MESTRE EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

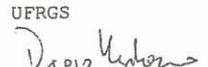
Aprovada em: 28/03/2019
Pela Banca Examinadora

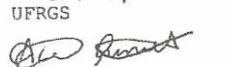
Homologado em: 22/05/2019
Por

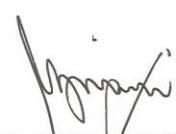

INES ANDRETTA
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador


DANILO PEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia


Alexandre de Mello Kesler
UFRGS


Diogo Magalhães
UFRGS


Aline Remus
Agri-Food - Canadá


CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Roberto Schroeder e Verediana Schmitz, por serem prestativos e dedicados, me apoiando e me incentivando a seguir sempre em frente.

A minha orientadora Ines Andretta, que está comigo desde a graduação, me ensinando todos os detalhes de uma pesquisa de qualidade. Obrigada por me fazer evoluir como profissional e como pessoa durante todos esses anos.

Ao meu coorientador Marcos Kipper da Silva, pela compreensão, paciência e dedicação em ensinar os mínimos detalhes de um trabalho relevante.

A empresa Languiru, pela disponibilidade dos dados para realização deste trabalho.

A CAPES, pela concessão de bolsa no início do curso. A UFRGS, pela excelência no ensino.

E, a todos que de alguma forma me ajudaram a chegar nesta conquista

MODELAGEM EMPÍRICA DA QUALIDADE DOS PÉLETES DE RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS

Autora: Bruna Schroeder

Orientadora: Ines Andretta

Co-orientador: Marcos Kipper da Silva

RESUMO

O sucesso da peletização das dietas de frangos de corte e suínos pode ser avaliado pelo rendimento industrial e pela efetividade com que o processo é realizado. Este estudo foi desenvolvido para modelar a qualidade dos péletes e identificar fatores influentes em um processo industrial de peletização de rações para frangos de corte e suínos. Foram utilizadas duas bases de dados independentes para o processo de calibração e validação dos modelos. Cada coluna da planilha eletrônica representou uma variável descritiva do processo de fabricação (rendimento, amperagem, pressão no condicionador e temperaturas do ambiente, do condicionador e do resfriador), características da ração (inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e composição bromatológica dos principais ingredientes) e qualidade dos péletes (percentual de finos e índice de durabilidade do pélete - PDI). Cada linha da planilha representou uma observação, ou o equivalente a um lote de ração produzida. Os dados foram submetidos a análise gráfica, estatística descritiva e análise de regressão pelo procedimento step-wise. Três modelos foram desenvolvidos para cada variável (rendimento, percentual de finos e PDI), sendo: Modelo I, características do processo de fabricação e inclusão dos ingredientes na fórmula; Modelo II, características do processo de fabricação e composição bromatológica ponderada; e modelo III, características do processo de fabricação, inclusão dos ingredientes na fórmula e composição bromatológica ponderada. A acurácia dos modelos (validação) foi avaliada por meio do quadrado médio do erro predito (MSPE). Os resultados obtidos foram utilizados para compor um modelo que estima os efeitos de características da dieta e da composição bromatológica sobre as variáveis de interesse da indústria utilizando a regressão múltipla. Os modelos obtidos neste estudo diferiram quanto ao número de fatores preditores selecionados no procedimento estatístico. Porém, os principais fatores se repetiram nos modelos, sendo: a amperagem (ao menos 22,84% da variância total), a temperatura do resfriador (ao menos 2,10%) e a inclusão do óleo de soja na fórmula da ração (ao menos 4,21%). Os modelos que consideravam características do processo de fabricação e inclusão dos ingredientes na fórmula (Modelos I) foram os mais acurados (menor MSPE) em relação aos Modelos II e III de cada resposta. O processo de peletização exige um monitoramento constante na fábrica de ração e os modelos gerados neste estudo são úteis nos setores de garantia de qualidade, permitindo a melhor definição de parâmetros para monitoramento.

Palavras-chave: Calibração. Índice de durabilidade do pélete. Modelos matemáticos. Rendimento industrial. Validação.

¹Dissertação de mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (64 p.) Março, 2019.

MODELING EMPIRICAL THE QUALITY OF PELLETED FEED FOR BROILERS AND PIGS

Author: Bruna Schroeder

Advisor: Ines Andretta

Co-Advisor: Marcos Kipper da Silva

ABSTRACT

The success of the pelleting of the diets of broilers and pigs can be evaluated by the industrial yield and the effectiveness with which the process is carried out. This study was developed to model the quality of the pellets and to identify influential factors in an industrial process of pelleting of feeds for broilers and pigs. Two independent databases were used to calibrate and validate the models. Each column of the spreadsheet represented a descriptive variable of the manufacturing process (yield, amperage, pressure in the conditioner, and temperatures of the environment, the conditioner, and the cooler), feed characteristics (inclusion of the ingredients in the feed formula and bromatological composition of the main ingredients), and pellet quality (percentage of fines and pellet durability index – PDI). Each row of the spreadsheet represented one observation, or the equivalent of a lot of feed produced. The data were submitted to graphical analysis, descriptive statistics and regression analysis by step-wise procedure. Three models were developed for each variable (yield, percentage of fines, and PDI): Model I, characteristics of the manufacturing process and inclusion of the ingredients in the formula; Model II, characteristics of the manufacturing process and weighted bromatological composition; and Model III, characteristics of the manufacturing process, inclusion of the ingredients in the formula, and weighted bromatological composition. The accuracy of the models (validation) was evaluated by the mean square of the predicted error (MSPE). The results obtained were used to compose a model that estimates the effects of dietary characteristics and the bromatological composition on the variables of interest of the industry using the multiple regression. The models obtained in this study differed in the number of predictors selected in the statistical procedure. However, the main factors were repeated in the models, being: amperage (at least 22.84% of total variance), cooling temperature (at least 2.10%) and inclusion of soybean oil in the feed formula minus 4.21%). The models that considered characteristics of the manufacturing process and inclusion of the ingredients in the formula (Models I) were the most accurate (lower MSE) in relation to Models II and III of each response. The pelletizing process requires constant monitoring in the feed mill and the models generated in this study are useful in the quality assurance sectors, allowing better definition of parameters for monitoring.

Keywords: Calibration. Index of durability of the pellet. Industrial yield. Mathematical models. Validation.

¹Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (64 p.) March, 2019.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
Processo de fabricação de péletes.....	13
Efeitos da peletização sobre os componentes da ração.....	14
Gelatinização do amido	14
Digestibilidade proteica	15
Metabolizabilidade da energia	16
Resposta de desempenho.....	16
Parâmetros para avaliação de péletes	17
Índice de durabilidade de péletes e percentual de finos	17
Rendimento industrial.....	18
Fatores que afetam a qualidade do pélete	19
Aplicação de modelagem matemática em processos industriais.....	20
PROBLEMA DE PESQUISA	22
HIPÓTESES	22
OBJETIVOS	22
CAPÍTULO II	23
MODELING THE QUALITY OF PELLETTED FEED FOR BROILERS AND PIGS	24
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	27
RESULTADOS	32
DISCUSSÃO	35
REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO III	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Modelo ¹ para prever o índice de durabilidade de pélete com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula (Modelo PDI-I).....	43
TABELA 2. Modelo ¹ para prever o índice de durabilidade de pélete com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo PDI-II), além da inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo PDI-III)	44
TABELA 3. Modelo ¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo FINOS-I)	45
TABELA 4. Modelo ¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo FINOS-II)	46
TABELA 5. Modelo ¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação, na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e na composição bromatológica ponderada (Modelo FINOS-III)	47
TABELA 6. Modelo ¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo REND-I)	48
TABELA 7. Modelo ¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo REND-II)	49
TABELA 8. Modelo ¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação, na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e na composição bromatológica ponderada (Modelo REND-III)	50
TABELA 9. Análise descritiva e comparação dos valores observados e preditos para índice de durabilidade de pélete (PDI), finos e rendimento	51
TABELA 10. Acurácia dos modelos para prever índice de durabilidade de pélete (PDI), finos e rendimento	52
TABELA 11. Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados da calibração.....	59
TABELA 12. Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados da calibração	60

TABELA 13. Descrição das composições bromatológicas ¹ dos principais ingredientes considerados na base de dados da calibração	61
TABELA 14. Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados da validação.....	62
TABELA 15. Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados da validação	63
TABELA 16. Descrição das composições bromatológicas ¹ dos ingredientes considerados na base de dados da validação.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS

kg	Quilograma
g	Gramma
cm	Centímetro
mm	Milímetro
°C	Celcius
%	Percentagem
kcal	Quilocaloria
rpm	Rotações por minuto
EMA	Energia metabolizável aparente
MS	Matéria seca
CA	Conversão alimentar
PDI	Índice de durabilidade de pélete
MSPE	Quadrado médio do erro predito
ECT	Erro de tendência central
ER	Erro de regressão
ED	Erro devido ao distúrbio
CV	Cavalo-vapor
NIRS	Near infrared reflectance spectroscopy
KW	Quilo watts

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

As rações podem ser ofertadas aos animais em diversas formas físicas, como granuladas, peletizadas, fareladas, líquidas e úmidas. A forma física da ração e o processo de fabricação podem interferir no desempenho dos animais e no processo de produção (Muramatsu, 2013). A apresentação da ração também poderá definir sua viabilidade no que se refere aos custos com alimentação.

No processo de fabricação, as rações para frangos de corte e suínos que mais se destacam são as fareladas e peletizadas. A peletização pode aumentar o custo da ração por ser um processo que exige grande demanda de energia e de capital em uma fábrica de ração. Porém, o uso de rações peletizadas tem aumentado ao longo dos anos devido o custo do processo ser compensado pela melhora no desempenho dos animais (Muramatsu, 2013). Um dos resultados da peletização para frangos de corte são os maiores ganhos de peso em função do maior consumo, reflexo de melhor palatabilidade e preferência dos frangos de corte e facilidade de apreensão, o que leva à menor movimentação e menor tempo gasto com alimentação, além de melhor digestibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, melhor aproveitamento da energia (Lara et al., 2008). Em suínos, o uso das rações peletizadas também está associado a uma melhora na eficiência de utilização do alimento e menor desperdício de ração (Silva et al. 2002).

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas de um ingrediente ou de mistura de ingredientes utilizando processos mecânicos, com a presença de pressão, umidade e calor (Peisker, 2006). Os péletes podem ser fabricados em diferentes formas, espessuras e tamanhos, sendo que o equipamento responsável por isso é denominado de matriz de peletização (Ziggers, 2003). O processamento envolve a passagem forçada da ração através de um conjunto de furos metálicos na matriz. Esta passagem forçada acaba ocorrendo pela pressão exercida pelos rolos contra a matriz da peletizadora (Wellin, 1976 & Ziggers, 2003). A matriz pode conter aberturas de diversos formatos e diâmetros, dependendo do material que será peletizado e/ou da espécie animal a ser alimentada (Ziggers, 2003).

A resposta no desempenho dos animais quanto à eficiência de utilização de péletes só é atingida se houver produção de boa qualidade, capaz de manter sua integridade até o momento do consumo. Péletes de baixa durabilidade não resistem às forças de atrito, impacto e pressão (elevadores, *redlers*, helicóides, quedas, etc) existentes ao longo dos processos de armazenamento, de expedição da fábrica até a granja e de transporte (Lowe, 2005). Os péletes se desintegram produzindo uma massa farinácea conhecida como “finos”. Esses finos prejudicam o desempenho animal uma vez que seu diâmetro médio de partículas é igual ou menor do que a granulometria da ração farelada (Muramatsu, 2013). Segundo Nilipour (1994), péletes de má qualidade (com alto teor de finos) podem ser responsáveis por índices de conversão alimentar até 13% piores quando comparados com rações peletizadas de boa

qualidade.

Buscando manter a viabilidade econômica do processo, a qualidade do pélete e o rendimento industrial devem ser maximizados. No entanto, estas variáveis geralmente andam em caminhos opostos e o equilíbrio entre elas só é encontrado quando os fatores que afetam o processo são conhecidos. Segundo Fahrenholz (2012), existem ferramentas potenciais para modelar o comportamento individual e combinado desses fatores no processo de peletização, como por exemplo, os métodos de regressão múltipla. Esta é uma das ferramentas mais populares e eficientes nas estratégias de controle e tomadas de decisão na análise de processos. Neste contexto, esse estudo foi desenvolvido para modelar a qualidade dos péletes das rações para frangos de corte e suínos utilizando modelos de regressão múltipla e validar esses modelos para que a acurácia destes seja identificada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Processo de fabricação de péletes

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas de um ingrediente ou de mistura de ingredientes utilizando processos mecânicos, com a presença de pressão, umidade e calor (Peisker, 2006). O processo consiste em forçar uma massa farelada não compactada através de furos de um anel metálico de aço carbono ou inox tendo como resultado a formação de estruturas mais densas do que a ração farelada (Ziggers, 2003). Para isso, é necessário um conjunto peletizador, composto por uma rosca alimentadora, condicionador, retentor e prensa peletizadora.

A função da rosca alimentadora é regular o volume de ração direcionada para o condicionador atuando como barreira que evita o fluxo de vapor do condicionador para o silo da prensa. A temperatura e a umidade são inseridas por meio de vapor e iniciam-se no condicionador. O vapor saturado agrega umidade e calor à massa farelada, de forma que esta atinja um estado físico favorável a compactação (Froetschner, 2006). O objetivo da injeção de calor durante o condicionamento é melhorar a força de adesão entre as partículas da ração, principalmente por meio de gelatinização do amido (Reimer & Beggs, 1993) e plastificação das proteínas (Smallman, 1996). Essas mudanças químicas produzem substâncias com afinidade à adesão, que se agarram com os materiais menos reativos, mantendo a massa mais aderida (Smallman, 1996). O calor também pode reduzir a presença de patógenos e retirar o excesso de umidade que pode estar presente nos ingredientes utilizados para a produção das rações (Reimer e Beggs, 1993). Além disso, o efeito lubrificante da umidade pode reduzir a força de atrito gerada na matriz da peletizadora, o que melhora a produtividade do processo como um todo (Reimer e Beggs, 1993; Smallman, 1996).

A prensa peletizadora é composta por duas peças principais, que são a matriz da prensa e o rolo. No interior da prensa peletizadora, os defletores direcionam o fluxo da ração para os rolos, que forçam a ração farelada pelos orifícios da matriz, dando início a formação do pélete. Para dar forma aos péletes, a força motriz do rolo precisa ser maior que a resistência oferecida pela matriz da prensa contra a passagem de ração. As entendações presentes no rolo compactador reduzem o deslizamento da ração e provêm pressão de 75 a 600 kg/cm² para impelir a ração para dentro dos furos da matriz (Zieggers, 2003). Essas forças opostas atuam nas áreas de compressão e extrusão da interface rolo-matriz e fazem com que a ração farelada seja compactada até a densidade próxima do pélete e comece a fluir pelos furos da matriz da prensa (Muramatsu, 2013). Quando a massa farelada condicionada com vapor passa pela matriz da prensa, o aumento na temperatura da massa não deve exceder 15°C, caso contrário, há um indicativo de que parte da energia mecânica está sendo desperdiçada sob a forma de calor de fricção (Kulig & Laskowski, 2008).

No último processo de peletização, a umidade e a temperatura

adicionadas no condicionador devem ser retiradas no resfriador. Nesta etapa, a temperatura da ração peletizada deve ser reduzida para até 8°C acima da temperatura ambiente e a umidade para 100-120 g/kg (Robinson, 1976). Este processo ocorre com a passagem de uma corrente de ar a temperatura ambiente no contra fluxo dos péletes ainda quentes. Sua ação é favorecida pelo fato da temperatura do ar ambiente ser mais baixa do que os péletes, além de não estar saturada com umidade (Wellin, 1976).

Efeitos da peletização sobre os componentes da ração

A literatura relaciona o processo de peletização à diversas vantagens nutricionais e produtivas em frangos de corte e suínos. A seguir, serão destacadas algumas destas características.

Gelatinização do amido

O amido é um composto químico presente em maior abundância nos cereais (70 a 80% da maioria dos grãos de cereais), sendo a maior fonte de energia presente nas dietas dos animais domésticos. O amido é um glucano composto por dois polissacáridos principais: amilose, que é essencialmente linear, e amilopectina, que é altamente ramificada (Svihus et al, 2005).

A gelatinização do amido é considerada um processo irreversível, no qual a água se difunde para dentro do grânulo de amido, levando a ruptura das pontes de hidrogênio presentes nas cadeias de amilose e amilopectina, aumento de tamanho do grânulo e extravasamento da amilose (Moritz et al., 2003).

O grânulo de amido é composto por uma função cristalina e outra amorfa e é nesta última porção que se inicia o processo de gelatinização devido à menor organização da sua estrutura (Lund & Lorenz, 1984). O processo de gelatinização do amido é favorecido pela presença dos seguintes fatores: água para enfraquecer e romper ligações existentes dentro do grânulo, calor que favorece a entrada de água e a solubilização da amilose, atrito que fornece a força necessária para o rompimento dos grânulos e tempo que potencializa o efeito dos três fatores anteriores (Thomas et al., 1999). Quando o grânulo de amido é exposto a temperatura e umidade pode ocorrer um processo de gelatinização no qual sua efetividade depende do tempo de exposição do amido a estes fatores (Thomas et al., 1999).

Segundo Donald (2001), a gelatinização é um processo impulsionado pelo inchamento. O inchaço do amido ocorre ao longo das regiões amorfas, e desde que as regiões cristalinas não se expandem durante o inchaço, a tensão aumenta na interface entre as regiões cristalina e amorfa, onde existem ligações entre amilopectina nas regiões cristalinas e amilose nas regiões amorfas. Assim, num certo ponto do processo de intumescimento, as regiões cristalinas são quebradas de forma rápida e irreversível e a gelatinização é iniciada. No excesso de teor de água, este conjunto da gelatinização ocorre geralmente entre 50 e 70°C. O inchaço provoca a perda de quase toda a amilose no grânulo de amido (Han & Hamaker, 2001). A viscosidade aumenta durante a

gelatinização e é causada por grânulos e géis inchados consistindo em amilose solubilizada (Hermansson & Kidman, 1995). Além da importância para a digestão do amido, o aumento da viscosidade durante a gelatinização pode também afetar positivamente a qualidade física das rações processadas através de uma maior ligação entre as partículas de ração (Svihus et al, 2005). Por outro lado, quando quantidades limitadas de água ou outros solventes estão presentes, mais calor é necessário para completar a gelatinização e assim ocorre em uma ampla faixa de temperatura (Sun et al., 2002). Como a maioria dos tratamentos de processamento de ração ocorre sob condições com baixo teor de água, isso implica que muito calor é necessário para um amido gelatinizar durante o processamento da ração. Mas, existem diferentes temperaturas de gelatinização que depende do tipo de amido utilizado. As rações a base de milho e farelo de soja, por exemplo, demandam um maior tempo de condicionamento para que ocorra a gelatinização do amido e sua posterior reorganização e coesão com as demais estruturas da ração (Dozier, 2001).

Existem vários métodos no processamento da ração (moagem, condicionamento a vapor, extrusão e expansão) que também podem afetar a disponibilidade do amido, alterando as propriedades do amido ou interagindo com outros componentes no alimento (Svihus et al, 2005). Durante o condicionamento sob o processo de peletização, apenas entre 10 e 200 g de amido/kg pode ser gelatinizado (Cramer et al., 2003; Svihus et al., 2004). Este baixo grau de gelatinização implica que o condicionamento do processo de peletização pode não representar um efeito significativo na digestibilidade do amido e na qualidade física dos alimentos (Svihus et al, 2005). Por isso, Kotara e Fuchs (2001) relataram que os suínos apresentavam uma maior digestibilidade do amido quando os alimentos eram peletizados duas vezes a altas temperaturas. Isto foi associado com um grau mais elevado de gelatinização e indica que existe potencial para aumentar a digestibilidade do amido, alterando os procedimentos de peletização (Svihus et al, 2005). Processamentos como expansão e de extrusão utilizam altas temperaturas e uma maior quantidade de água adicionada no processo, resultando em uma gelatinização e desintegração mais completa dos grânulos do amido (Cramer et al., 2003; Murray et al., 2001).

Digestibilidade proteica

Do ponto de vista nutricional, o tratamento térmico melhora a digestibilidade das proteínas devido a alteração na sua estrutura, permitindo que as proteases atuem mais facilmente (Dozier, 2001). Scott et al. (1997) afirmaram que o aumento na digestibilidade da proteína em frangos de corte ocorre provavelmente devido as rações peletizadas serem submetidas a temperatura e pressão inadequadas em seu processo, resultando em rompimentos das pontes dissulfeto na estrutura da proteína, causando alteração estrutural e aumento da ação das enzimas endógenas.

Existem trabalhos que mostram a temperatura ideal para não

prejudicar a digestibilidade e solubilidade das proteínas. Abdollahi (2011) avaliou três temperaturas de condicionamento (60, 75 e 90°C) em rações baseadas em dois tipos de cereais (milho e trigo) e verificou efeito negativo da temperatura sobre a digestibilidade do nitrogênio somente em dietas a base de trigo. Portanto, Creswell & Bedford (2006) sugerem que temperaturas de peletização acima de 85°C não devem ser empregadas a fim de evitar a formação de complexos proteína-amido, além de outras perdas nutricionais.

Metabolizabilidade da energia

O processamento das rações, como a peletização, é considerada como uma técnica que visa aumentar a digestibilidade dos nutrientes pelas aves (Pucci, 2010). Um dos benefícios do uso de rações peletizadas para frangos de corte, por exemplo, é o aumento no valor de energia metabolizável das rações, em decorrência da maior digestibilidade de diferentes frações da dieta (Zalenka, 2003).

Muitos estudos têm mostrado a diferença de energia entre rações fareladas e peletizadas. Pucci et al. (2010) observaram aumento da energia metabolizável aparente (EMA) para frangos de corte que consumiram dietas peletizadas/trituradas (3.293 kcal/kg de MS) em relação aos que receberam dietas fareladas (3.196 kcal/kg de MS). Já Freitas et al. (2006), constataram aumento no valor de energia metabolizável aparente e energia retida como nitrogênio para frangos de corte de 1 a 7 dias quando consumiram dietas peletizadas/trituradas em relação a rações fareladas.

Outro estudo concluiu que a peletização favoreceu o consumo, a retenção e a eficiência de retenção de energia metabolizável aparente para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade utilizando a técnica de abate comparativo (Klein, 1995). Este aumento da retenção de energia causado pela peletização não afetou a qualidade de proteína retida por dia, mas afetou a retenção de gordura. Estas observações sustentam os resultados da literatura, ao demonstrarem que aves alimentadas com dietas peletizadas tendem a ter maior deposição de gordura e, por consequência, menor deposição de proteína na carcaça (Klein, 1996).

Resposta de desempenho

A tecnologia de produção de péletes é um dos diferentes métodos de processamento das rações para frangos de corte e suínos. Dentro das inúmeras vantagens para esse método, a que mais se destaca em relação ao desempenho destes animais, são as melhorias nas taxas de conversão alimentar (Flutura, 2012). Em suínos, o fornecimento de dietas peletizadas, em todas as fases de criação, é geralmente reconhecido por reduzir o desperdício da ração e melhorar o desempenho zootécnico (Hancock & Behnke, 2001).

Para frangos de corte, a ração peletizada permite menor esforço físico das aves e, conseqüentemente, menor gasto energético para o seu consumo (Meinerz et al., 2001). A ração peletizada proporcionou um consumo de ração 15% maior, uma conversão alimentar

(CA) 5% melhor e um ganho de peso 23% maior em relação a ração farelada, ou seja, o maior consumo de ração pode ser explicado uma vez que o alimento granulado melhora a eficiência de apreensão do alimento pelo bico córneo da ave, além de facilitar o processo de deglutição quando comparado a ração farelada (Noble et al., 2005).

Para que os benefícios da peletização da ração no desempenho sejam alcançados, é necessário que esta chegue até o comedouro na sua forma íntegra ou pelo menos com baixa percentagem de finos (péletes desagregados), caso contrário, os resultados de desempenho podem ser comprometidos. Os finos representam a porção que esta desagregada da sua forma inicial, formando partículas menores que os péletes, sendo formados em qualquer estágio da peletização, no transporte e no manuseio da ração na granja (Pucci, 2010).

A utilização de rações com o percentual de péletes íntegros acima de 40% resulta em maior ganho de peso e melhor conversão alimentar quando comparados com as rações fareladas. À medida que se melhora a qualidade do pélete, os frangos de corte gastam menos tempo para consumir a ração, o que representa uma redução da atividade, melhorando o aproveitamento da energia levando a maior deposição de tecidos (Mckinney e Teeter, 2004). Do contrário, a medida que aumenta a concentração de finos os resultados assemelham-se aos de uma dieta na forma farelada (Atinco, 2015).

Parâmetros para avaliação de péletes

Péletes de boa qualidade são definidos como aqueles que resistem as forças de desintegração (compressões, atritos e impactos) oriundas dos sistemas de armazenamento e transporte dentro da fábrica e ao longo do trajeto da fábrica até a granja (Thomas e Van Der Poel, 1998, Cavalcanti e Behnke, 2005). E existem hoje, metodologias que fazem a simulação da qualidade do pélete, ou seja, o índice de durabilidade de péletes (PDI) e quantidade de péletes íntegros.

Índice de durabilidade de péletes e percentual de finos

O PDI é um indicador de durabilidade de péletes e reflete a percentagem de péletes que mantiveram a sua integridade após serem submetidos a forças mecânicas. O PDI pode ser determinado por meio de várias metodologias, sendo *Pfost* mais utilizada e adequada para o estudo em questão. Esta metodologia é tipicamente empregada nos Estados Unidos (Froetschner, 2006) e no Brasil. Os péletes são submetidos a impactos sucessivos simulando o estresse mecânico encontrado no transporte por elevadores, roscas e *redlers*. Na metodologia *Pfost*, 500g de péletes íntegros são acondicionados em uma caixa que rotaciona a 50 rpm por 10 minutos, o interior da caixa possui uma placa que força o fluxo de péletes de alternar o seu fluxo constantemente e após os 10 minutos de rotação contínua (Muramatsu, 2013). O material é peneirado para determinar o percentual de péletes retidos na peneira dotada de furos redondos com 3,0 mm de diâmetro (Lowe, 2005). O teste *Pfost* determina a durabilidade do pélete submetendo os péletes a uma abrasão e

cisalhamento entre os mesmos e contra a parede do equipamento e possui bom índice de repetibilidade (Thomas & Poel, 1998).

Existe o teste de *Holmen*, muito utilizado na Europa, devido as fábricas de rações empregarem sistemas pneumáticos de transporte. Esse teste simula o estresse pelo qual o pélete é submetido quando transportado por via pneumática (Mina Boac, 2006). Neste teste, uma amostra de 100 g de péletes íntegros é impulsionada através de um sistema de dutos, por meio de um fluxo de ar produzido por uma ventoinha. A fragmentação ocorre quando o pélete se choca com as paredes dos dutos quando estes formam os ângulos retos. Ao final de 0,5 a 2,0 minutos é determinada a quantidade de finos produzida durante a avaliação (Lowe, 2005). Segundo Fahrenholz (2012), observou que a metodologia *Pfost* é mais consistente e de maior repetibilidade que a metodologia *Holmen*, devido ao volume das amostras (100 versus 500 g) e simplicidade do teste rotativo menos sujeito aos erros de operação.

Na ração peletizada os finos representam a porção que esta desagregada da sua forma inicial, formando partículas menores que os péletes, sendo formados em qualquer estágio da peletização, no transporte e no manuseio da ração na granja (Pucci, 2010).

Rendimento industrial

A peletização de rações traz diversas vantagens para a nutrição animal quando comparada à forma física farelada, como: diminuição do desperdício de ração, redução da segregação de ingredientes, diminuição de microrganismos, melhora na preferência alimentar pelos animais, redução da seletividade, facilidade de apreensão da dieta, aumento da energia produtiva em função do menor tempo gasto para consumo e aumento da digestibilidade de diferentes frações da dieta (Behnke, 1994).

Atualmente esse processo é muito utilizado nas fábricas de ração animal em todo o mundo, sendo o processo de maior demanda de energia elétrica e capital dentro da cadeia de alimentação animal (Meinerz et al., 2001), tornando a qualidade do processo imprescindível para a obtenção de péletes íntegros e em bom estado.

Apesar dos benefícios gerados pela peletização, é o processamento que representa o maior custo de manutenção, e principalmente o maior consumo de energia elétrica (Biagi, 1990). A peletização pode influenciar o rendimento da fábrica de rações principalmente se esta não for bem planejada e dimensionada, e trabalhar numa margem de produção acima de sua capacidade, o que acontece na maioria das agroindústrias avícolas e suínícolas brasileiras que foram instaladas e projetadas a muito mais tempo (Meinerz et al., 2001). Porém, uma ração mal peletizada ou mal manejada da indústria até as granjas, pode acarretar em prejuízos devido ao aumento da concentração de partículas desagregadas (finos). Quando existe uma concentração de finos elevada, os benefícios da peletização são igualados em relação às dietas fareladas, tornando o processo de peletização inviável. Nesse sentido, é importante que se mantenha um monitoramento constante na

fábrica de ração para que atinja o máximo rendimento do processo e qualidade de pélete.

Fatores que afetam a qualidade do pélete

A qualidade do pélete depende de todo o sistema de fabricação desde a formulação, moagem, mistura, até o resfriamento e transporte. Dos fatores que mais se destacam no processo à qualidade do pélete, são o tamanho de partícula que pode variar de muito fina a muito grossa de acordo com o tamanho dos furos da peneira do moinho, onde são processadas (Zanotto et al., 1999). A redução do tamanho das partículas por moagem, prensagem ou amassamento em geral melhora o desempenho do animal. Por isso, o controle do processo de moagem é importante na fábrica de rações (Bellaver, 2000). A adição de umidade (água adicionada sob a forma de vapor durante o condicionamento), atuam como “cola” entre partículas do pélete. Essa capacidade aglutinante tem como base as propriedades de capilaridade e tensão superficial da água (Froetschner, 2006). A água pode agir como substância lubrificante para reduzir o atrito entre a ração e parede dos furos da matriz da prensa (Ziggers, 2003; Farenholz, 2012), podendo assim impactar negativamente na durabilidade do pélete. Também, a inclusão de gordura, no qual o nível de óleo e gorduras presente na dieta interfere no processo de peletização, podendo auxiliar no processo até um determinado nível e posteriormente prejudicando o processo e a qualidade do pélete final (Miranda, 2011). A gordura lubrifica o contato da ração com a parede dos furos da matriz facilitando a passagem da ração pela matriz e diminuindo a compactação da ração dentro da prensa (Farenholz, 2012). Além disso, a adição de gordura na ração previamente ao condicionamento leva a um encapsulamento parcial das partículas da ração dificultando a penetração do vapor e umidade e, portanto, reduzindo a gelatinização do amido e as forças capilares de adesão (Lowe, 2005; Farenholz, 2012). O processamento térmico, no qual o condicionamento é um dos fatores mais importantes para alcançar uma boa qualidade física da ração. O vapor utilizado durante o condicionamento rompe a estrutura do amido e causa sua gelatinização, assim como a alteração das estruturas terciárias das proteínas (Netto, 2014). A peletização pode prejudicar o desempenho se a temperatura não for usada corretamente durante o condicionamento. O sistema de resfriamento, no qual a temperatura deve estar adequada para retirar a umidade adicional da ração, pois nesta etapa as condições são favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos (Neckel, 2016). Do contrário, ocorrerá redução da durabilidade do pélete, ou seja, quebras e perdas no processo final (Klein, 2009). Por fim, características ligadas a peletizadora como a amperagem. Este deve ter adequada adição de vapor no condicionador, pois atua como efeito lubrificante e reduz a força de atrito gerada na matriz peletizadora, onde ocorre modificação das reações físico-químicas da ração e redução de microrganismos, melhorando assim a qualidade dos péletes (Smallman, 1996).

Estes são fatores difíceis de serem monitorados em uma fábrica de ração, por serem fatores muito variáveis. Se existissem dados

organizados sobre a importância de cada fator, o trabalho do nutricionista e colaboradores da fábrica, tornaria o trabalho mais fácil e prático.

Aplicação de modelagem matemática em processos industriais

A sistematização de dados tem como objetivo organizar e resumir os dados de tal forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação. Esta fase de análise de dados na pesquisa permite compreender melhor os dados coletados, confirmar ou não os pressupostos da pesquisa e responder as questões formuladas, ampliando o conhecimento sobre o assunto pesquisado e articulando-o ao contexto cultural do qual faz parte (Minayo, 1994).

Os modelos constituem ferramentas para as tomadas de decisões em nutrição e produção animal comercial e definição de prioridades para pesquisa, porque ajudam a determinar aspectos desconhecidos que não permitem obter de outra forma previsões adequadas. A partir de modelos biológicos razoáveis para um sistema particular, pode-se ainda proceder simulações que permitam avaliações simultâneas de problemas estudados em vários projetos de pesquisa, as quais poderiam ser inviáveis do ponto de vista econômico e prático em uma experimentação física (Rondon et al., 2014).

Existem classificações quanto aos modelos matemáticos: estático ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos e como empíricos ou mecanísticos. Os modelos estáticos descrevem um fenômeno em determinado momento ou instante sem incorporar a variação no tempo (determinações de exigências nutricionais para uma idade específica), enquanto nos modelos dinâmicos os parâmetros podem variar no tempo – curvas de crescimento por exemplo (Moughan & Smith, 1987). Modelos determinísticos são aqueles que só têm uma única resposta, enquanto nos modelos estocásticos (ou probabilísticos) possíveis respostas dependem de uma distribuição de probabilidade (Rondon et al., 2014). Os modelos empíricos são baseados apenas em correlações ou associações entre duas ou mais variáveis, sem levar em consideração os mecanismos que controlam o fenômeno. Por outro lado, os modelos mecanísticos tentam explicar ou descrever os mecanismos envolvidos, baseando-se nas leis da física, da química e da bioquímica (Rondon et al., 2014).

Os desenvolvedores e usuários desses modelos que usam as informações obtidas a partir dos resultados desses modelos estão preocupados, com o fato de um modelo e seus resultados estarem “corretos”. Essa preocupação é abordada por meio da validação de modelos (Sargent, 2009). Assim, quando definido um modelo matemático para o sistema em estudo, é interessante a checagem da qualidade de predição desse modelo. A utilização deste modelo implica na checagem da equação de predição contra um conjunto independente de dados para verificar se esse modelo é capaz de predizê-lo (Oredein et al., 2011). Validação de modelo é geralmente definida para significar “comprovação de que um modelo computadorizado dentro de seu domínio de

aplicabilidade possui uma faixa satisfatória de precisão consistente com a aplicação pretendida do modelo” (Schlesinger 1979).

Um modelo deve ser desenvolvido para um propósito específico e sua validade é determinada em relação a esse propósito. Neste contexto, um modelo é considerado válido para um conjunto de condições experimentais se a acurácia do modelo estiver dentro da faixa aceitável, que é a acurácia exigida para a finalidade pretendida do modelo. Isso geralmente requer que as variáveis de saída do modelo de interesse (ou seja, as variáveis do modelo usadas na resposta às perguntas que o modelo está sendo desenvolvido para solucionar) sejam identificadas e que sua acurácia seja especificada (Sargent, 2009).

Portanto, realizar a validação do modelo é considerada um procedimento muito importante e geralmente faz parte de todo o processo de desenvolvimento do modelo. Nesse sentido, a modelagem no processo de peletização é relevante, pois estima os efeitos das características em estudo sobre diferentes variáveis de interesse na indústria.

PROBLEMA DE PESQUISA

As principais lacunas observadas nesta área de pesquisa e destacadas nesta revisão são, portanto:

- Há pouco conhecimento sobre quais são os principais fatores que afetam o processo de peletização;
- Há pouca informação sobre qual é o verdadeiro impacto dos fatores em todo processo de fabricação e qualidade do pélete;
- Não há um equilíbrio entre rendimento industrial e qualidade do pélete no processamento da ração.

HIPÓTESES

-Características do processo, da dieta e da composição bromatológica dos ingredientes afetam as variáveis de rendimento, proporção de finos e PDI.

-Os modelos gerados por regressão múltipla apresentam boa acurácia para estimar o efeito do processo de fabricação (rendimento, amperagem, pressão no condicionador e temperaturas do ambiente, do condicionador e do resfriador) e de características da ração (inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e composição bromatológica dos principais ingredientes) sobre a qualidade dos péletes.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Modelar a qualidade dos péletes (PDI, proporção de finos e rendimento industrial) e identificar fatores influentes no processo industrial de fabricação de rações para frangos de corte e suínos.

Objetivos específicos

-Utilizar modelos de regressão múltipla para obter os parâmetros adequados ao equipamento de peletização, considerando características do processo, da dieta e da composição bromatológica dos ingredientes.

-Validar os modelos matemáticos obtidos utilizando outra base de dados.

CAPÍTULO II

Artigo apresentado conforme as normas do periódico científico *Animal Feed Science and Technology*.

MODELING THE QUALITY OF PELLETED FEED FOR BROILERS AND PIGS

Abstract

This study was developed to model the pellet quality and to identify influential factors in an industrial pelleting process of feeds for broilers and pigs. Two independent databases were used to calibrate and validate the models. Each column of the spreadsheet represented a descriptive variable of the manufacturing process (yield, amperage, pressure in the conditioner, and temperatures of the environment, the conditioner, and the cooler), feed characteristics (inclusion of the ingredients in the feed formula and bromatological composition of the main ingredients), and pellet quality (percentage of fines and pellet durability index - PDI). Each row of the spreadsheet represented one observation, or the equivalent of a lot of feed produced. The data were submitted to graphical analysis, descriptive statistics and regression analysis by step-wise procedure. Three models were developed for each variable (yield, percentage of fines, and PDI): Model I, characteristics of the manufacturing process and inclusion of the ingredients in the formula; Model II, characteristics of the manufacturing process and weighted bromatological composition; and Model III, characteristics of the manufacturing process, inclusion of the ingredients in the formula, and weighted bromatological composition. The accuracy of the models (validation) was evaluated by the mean square of the predicted error (MSPE). The models obtained in this study differed from each other in the number of predictors selected in the

statistical procedure. However, the main factors have been found repeatedly in the models. The amperage (at least 22.84% of the total variance), the cooling temperature (at least 2.93%), and the inclusion of soybean oil in the feed formula (at least 4.21%). The models that considered characteristics of the manufacturing process and the inclusion of the ingredients in the formula (Models I) were the most accurate (lower MSPE) in relation to the Models II and III of each response. The pelletizing process requires constant monitoring in the feed factories and the models generated in this study are useful in the quality assurance sectors, providing a better definition of the monitoring parameters.

Keywords: Calibration. Index of durability of the pellet. Industrial yield. Mathematical models. Validation.

INTRODUÇÃO

A produção de rações segue as regras de um mercado competitivo, que exige a redução de custos sem comprometer a qualidade do produto final. Com o aumento na quantidade de rações produzidas, este setor da indústria está constantemente alinhado com práticas que possam melhorar a qualidade dos alimentos produzidos. Neste sentido, diversas técnicas de processamento são adotadas nas fábricas. A peletização é uma das principais técnicas de processamento dentro do contexto de produção de ração para frangos de corte e suínos.

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas de um ingrediente ou de mistura de ingredientes utilizando processos mecânicos, com a presença de pressão, umidade e calor (Peisker, 2006). O processamento envolve a passagem forçada da ração através de um conjunto de furos metálicos na matriz. Esta passagem forçada acaba ocorrendo pela pressão exercida pelos rolos contra a matriz da peletizadora, formando os péletes (Ziggers, 2003).

Buscando manter a viabilidade econômica do processo, a qualidade do pélete e o rendimento industrial devem ser maximizados nas fábricas de ração. No entanto, estas variáveis geralmente andam em caminhos opostos e o equilíbrio entre elas só é encontrado quando os fatores que afetam o processo são conhecidos. Porém, a literatura foca no efeito isolado destes fatores, como: a temperatura do condicionamento (Kulig, 2008) e de resfriamento (Thomas, 1997), além da inclusão de gordura nas fórmulas (Froetschner, 2006). Estudos que abordam a

interação entre os fatores e também o impacto dos mesmos em todo o processo de fabricação e qualidade do pélete são escassos. Além disso o monitoramento da efetividade do processo em relação a sua qualidade é um processo complexo nas fábricas de ração.

As vantagens do uso de péletes de alta qualidade sobre o desempenho dos animais é bem documentada (Cutlip et al., 2008; Corzo et al., 2011) e, por isso, a busca pela maximização dos parâmetros de qualidade deve ser constante nas indústrias de alimentação animal. Neste contexto, este estudo foi desenvolvido para modelar a qualidade dos péletes e identificar fatores influentes em um processo industrial de peletização de rações para frangos de corte e suínos.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do modelo

Dados de produção, composição bromatológica dos ingredientes e fórmulas das dietas foram coletados em um fábrica de ração para frangos de corte e suínos. A fábrica possui capacidade diária de produção de aproximadamente 1,1 mil toneladas de ração. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos em uma linha de produção composta por um misturador horizontal com duplo-helicoide com capacidade para 3 mil kg, potência de 50 CV, equipado para injeção automática de óleo de soja, lisina e metionina líquidos. A peletizadora possui capacidade para processar 40 toneladas de ração/hora.

Os dados para construir o banco de dados foram coletados durante seis meses. Na planilha eletrônica, cada coluna representou uma

variável descritiva do processo de fabricação (rendimento, amperagem, pressão no condicionador e temperaturas do ambiente, do condicionador e do resfriador), características da ração (inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e composição bromatológica dos principais ingredientes) e dados de qualidade do produto (percentual de finos e índice de durabilidade do pélete - PDI). Cada linha da planilha representou uma observação, ou o equivalente a um lote de ração produzida (fabricação independente de uma fórmula específica em uma data específica).

A composição bromatológica dos ingredientes (grãos e farinhas) foi obtida através de análise laboratorial. Amostras de todos os lotes utilizados foram coletadas, homogeneizadas a fim de produzir uma porção representativa de cada dia, identificadas e encaminhadas ao laboratório. A composição das amostras em termos de proteína bruta, matéria mineral, extrato etéreo, fibra bruta e matéria seca foi obtida usando curvas pré-calibradas (*Precise Nutrition Evaluation*, Adisseo, Commeny, France) para o método de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS - *near infrared reflectance spectroscopy*, Foss, modelo DS2500F, Hillerød, Dinamarca).

As fórmulas das rações (inclusões dos ingredientes) também foram inseridas na planilha de dados. As fórmulas foram obtidas através do programa Formula 2000 (Optimal Informática, São Paulo, Brasil). O método de formulação utilizado procurava atender as exigências nutricionais dos animais através de fórmulas com mínimo-custo. A atualização das fórmulas era realizada semanalmente de modo a

considerar dados médios de composição bromatológica de ingredientes. Fórmulas para suínos em terminação e frangos de corte nas fases inicial até final foram incluídas na base de dados.

Os dados de amperagem, temperatura, pressão e rendimento foram registrados automaticamente pelo equipamento de peletização. Os valores de finos e o PDI foram analisados sistematicamente após o processamento de cada lote da ração. Para isso, uma amostra de 500 g de ração foi coletada diretamente da peletizadora após o resfriamento da ração. Para análise de PDI, uma parcela de 500 g desta amostra foi adicionada em uma caixa rotativa (Sew, modelo W20DRS7164, Brasil) com capacidade para realizar dois testes por vez com potência de 18 KW, a 1700 rpm por 10 minutos. Em seguida, o percentual de péletes íntegros foi obtido com uso de peneira de 3 mm e foi considerado como o PDI. A proporção de finos foi obtida mediante peneiramento completo da segunda parcela da amostra de ração (500 g que não haviam sido utilizados na análise de PDI) utilizando peneiras de furos redondos de 3 mm de diâmetro.

Os dados obtidos foram analisados no programa Minitab 18 (Minitab Inc., State College, PA). A primeira etapa de análise foi realizada para controlar a qualidade da base e observar a coerência lógica dos dados. Análises gráficas e estatísticas descritivas (mínimo, médio e máximo) das variáveis foram utilizadas nesta etapa. Valores que excediam ao comportamento considerado normal dentro do sistema (20 e 45 toneladas/hora para variável rendimento, 10 a 30% para finos, 390 e 650

A para amperagem, 70 a 84 °C para temperatura do condicionador, 7 a 40 °C para a temperatura de resfriamento, e 3 a 37 °C para a temperatura ambiente) foram removidos da base de dados. Portanto, após a aplicação dos filtros, a base de dados continha 1837 observações. Cada observação correspondia a um lote de ração (procedimento de fabricação independente de uma fórmula específica). A caracterização desta base de dados é apresentada no Anexo 1.

O método *step-wise* (procedimento de seleção forward, $\alpha = 0,15$) foi utilizado para gerar os modelos de predição a partir das variáveis disponíveis no banco de dados. Modelos vazios foram utilizados para iniciar o procedimento, ou seja, não foram sugeridos fatores iniciais para a análise. A inclusão dos termos nos modelos foi definida com base no coeficiente de determinação ajustado (R^2), sem limite no número de fatores.

Três modelos foram desenvolvidos para cada variável apresentada neste estudo (rendimento, proporção de finos e PDI). Para o modelo I, foram consideradas as características do processo de fabricação e a inclusão dos ingredientes na fórmula da ração. Para o modelo II, foram consideradas as características do processo de fabricação e a composição bromatológica ponderada (composição bromatológica do ingrediente multiplicada pela sua inclusão na fórmula da ração, exceto para ingredientes com altas concentrações nutricionais - minerais, gorduras e aminoácidos - cujas inclusões nas fórmulas foram mantidas sem ponderação). Para o modelo III, foram utilizadas as

características do processo de fabricação, a inclusão dos ingredientes na fórmula e a composição bromatológica ponderada. A interpretação dos dados foi feita com base no efeito de variáveis específicas e de conjuntos de variáveis, com o objetivo de identificar aquelas com maior impacto sobre a resposta em análise.

Validação do modelo

Um segundo conjunto de dados independentes foi utilizado para a validação dos modelos. Dados de produção, composição bromatológica dos ingredientes e fórmulas das dietas foram coletados no mesmo ambiente industrial (mesma linha de produção) e utilizando os mesmos métodos descritos na primeira etapa da pesquisa. O período considerado foi de sete meses, sendo sequencial a coleta dos dados da calibração. As informações coletadas foram organizadas em um novo banco de dados, seguindo o mesmo *layout* da base anterior (coluna representando uma variável descritiva do processo de fabricação e linhas representando uma observação, ou o equivalente a um lote de ração produzida).

A base de dados utilizada para a validação dos modelos continha 1814 observações (lotes de ração produzida) após a aplicação dos filtros. Esta planilha eletrônica continha os dados observados (coletados no mesmo ambiente industrial) e os valores estimados por cada modelo para cada variável (PDI, finos e rendimento). A caracterização da base de validação é apresentada no Anexo 2.

A validação foi realizada em duas etapas. Primeiro, as médias

estimadas pelos modelos foram comparadas com as médias observadas. Para isso, foram realizadas análises de correlação e, em seguida, de variância para cada modelo utilizando o procedimento *General Linear Model*. Após, as predições dos modelos foram exploradas por meio do quadrado médio do erro predito (MSPE), considerando-o como erro de acurácia. O MSPE também foi decomposto em erro de tendência central (ETC), em erro devido a regressão (ER) e em erro devido ao distúrbio (ED), seguindo os procedimentos estatísticos (Theil, 1966) e a interpretação (Benchaar *et al.*, 1998; Pomar e Marcoux, 2003) recomendadas na literatura. A soma dos valores de ETC e ER foi considerada como a erro de veracidade (erro sistemático) do modelo. Este é um erro que pode ser facilmente ajustado por regressões lineares. O ED foi considerado como erro de precisão (erro aleatório), que foi interpretado como a variabilidade dos dados observados (segunda base de dados) que não está presente nos dados estimados ou não pode ser obtida pelos modelos (Theil, 1966).

RESULTADOS

Modelagem do índice de durabilidade do pélete

O modelo para prever o PDI a partir das características do processo de fabricação e da inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo PDI- I, Tabela 1) apresentou coeficiente de determinação de 50,84% e incluiu 8 fatores preditores, sendo 8 significativos ($P < 0,05$). Os fatores que mais contribuíram na explicação da variância foram a amperagem (fator que respondeu por 23,53% da variância total), as

temperaturas do resfriador (2,34%) e do condicionador (3,44%), além da inclusão do óleo de soja na fórmula da ração (4,21%).

O modelo para prever o PDI a partir das características do processo de fabricação e da composição bromatológica ponderada (Modelo PDI-II) e o terceiro modelo, que considerou também a inclusão dos ingredientes na fórmula (Modelo PDI-III) foram iguais (Tabela 2) e apresentaram coeficiente de determinação de 52,22% e incluíram 12 fatores preditores, sendo todos significativos ($P < 0,05$). Assim como no Modelo PDI-I, os fatores que mais contribuíram para explicação da variância foram a amperagem (22,84% da variância total), temperatura do resfriador (2,10%) e do condicionador (3,17%) e a inclusão do óleo de soja na fórmula da ração (5,38%).

Modelagem da proporção de finos

O modelo para prever a proporção de finos da ração a partir das características do processo de fabricação e da inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo FINOS-I, Tabela 3) apresentou coeficiente de determinação de 51,58% e incluiu 10 fatores preditores, sendo nove significativos ($P < 0,05$). O modelo para prever finos a partir das características do processo de fabricação e da composição bromatológica ponderada (Modelo FINOS-II, Tabela 4) apresentou coeficiente de determinação de 53,34% e incluiu 12 fatores preditores, sendo nove significativos ($P < 0,05$). Por sua vez, o modelo para prever finos a partir do conjunto completo de variáveis (características do processo de fabricação, inclusão dos ingredientes na fórmula e composição

bromatológica ponderada; Modelo FINOS-III, Tabela 5) apresentou coeficiente de determinação de 53,61% e incluiu 16 fatores preditores, sendo 14 significativos ($P < 0,05$). Nos três modelos, a amperagem contribuiu para explicação da maior parte da variância total (ao menos 24,54% no modelo FINOS-II), seguida pela temperatura do resfriador (ao menos 2,72% no modelo FINOS-II) e óleo de soja (ao menos 1,91% no modelo FINOS-III).

Modelagem do rendimento

O rendimento do processo de peletização apresentou coeficiente de determinação de 17,54% e foi predito por 10 fatores no modelo REND-I (Tabela 6), sendo nove significativos ($P < 0,05$); REND-II (Tabela 7), apresentou coeficiente de determinação de 19,73% e incluiu 14 fatores preditores, sendo 13 fatores significativos ($P < 0,05$); para REND-III (Tabela 8) apresentou coeficiente de determinação de 20,36% e incluiu 18 fatores preditores, com 17 fatores significativos ($P < 0,05$). A temperatura do resfriador (ao menos 5,43% no modelo REND-III), a temperatura ambiente (ao menos 3,91% no modelo REND-I) e a inclusão de óleo de soja na fórmula (ao menos 2,82% no modelo REND-III) estiveram entre os fatores que mais contribuíram na explicação da variância nos três modelos. Além destes fatores, a proteína bruta do milho (modelos REND-II e REND-III) e o extrato etéreo da farinha de carne (modelo REND-II) responderam por frações superiores a 1% da variância nos modelos para rendimento.

Validação dos modelos

Embora os modelos tenham apresentado bons coeficientes de

determinação, as médias observadas diferiram ($P < 0,01$) das médias preditas por todos os modelos propostos (Tabela 9). As correlações mais altas entre os valores observados e preditos foram observadas nos modelos PDI-I, FINOS-I e REND-I em comparação com os respectivos modelos II e III. O primeiro modelo (PDI-I, FINOS-I e REND-I) também foi o mais acurado (menor MSPE) em relação aos modelos II e III de cada resposta (Tabela 10). A partir da decomposição do MSPE, foi possível observar que a principal variação entre os modelos ocorreu na veracidade, uma vez que ECT e ER menores foram observados nos modelos I em comparação com os modelos II e III. Por outro lado, houve pouca variação na precisão (ED) dos modelos, especialmente na estimação do PDI.

DISCUSSÃO

Os modelos obtidos neste estudo diferiram quanto ao número de fatores preditores selecionados no procedimento estatístico. Porém, os principais fatores (aqueles responsáveis pela maior parte da variância) se repetiram em quase todos os modelos. A amperagem, a temperatura do resfriador e do condicionador, além da inclusão do óleo de soja na fórmula da ração foram os principais fatores nos modelos para prever PDI e finos.

A amperagem melhorou o PDI e reduziu a proporção de finos. Este é um fator muito importante nas indústrias, pois está relacionado com a produtividade do sistema e aos gastos de energia elétrica (quanto maior a amperagem, maior o consumo de energia). Além disso, é importante destacar que a amperagem é um fator que representa outros

componentes importantes do sistema, mas que são difíceis de medir e que não puderam ser incluídos neste estudo, como vapor, pressão e umidade. Um exemplo de fator associado a amperagem é a adequada adição de vapor, componente que possui efeito lubrificante e reduz a força de atrito gerada na matriz peletizadora, melhorando assim a qualidade dos péletes (Smallman, 1996).

As temperaturas do condicionador e do resfriador também influenciaram o PDI, a proporção de finos e o rendimento industrial. Aumentar a temperatura de condicionamento é uma estratégia interessante quando o objetivo é aumentar a qualidade do pélete. Estudos anteriores mostraram que o aumento de temperatura de condicionamento de 75 a 90 °C resulta em melhora no PDI tanto em dietas a base de milho quanto de sorgo (Abdollahi et al., 2011). Isso acontece porque o aumento de temperatura e a adição de vapor durante o condicionamento elevam a temperatura da massa, aumentando a capacidade aglutinante entre as partículas e conferindo maior aderência entre os componentes dos péletes (Froetschner, 2006). Quanto ao rendimento do processo, o aumento de vapor no condicionador atua como efeito lubrificante e reduz a força de atrito gerada na matriz peletizadora, o que melhora a passagem da ração e a produtividade do processo (Smallman, 1996).

A temperatura do resfriador deve estar adequada para retirar a umidade adicional da ração, pois nesta etapa as condições são favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos, já que os péletes entram quentes e com alto teor de umidade nesta última etapa (Neckel, 2016). Do

contrário, ocorrerá redução da durabilidade do pélete, ou seja, quebras e perdas no processo final (Klein, 2009). Todo o sistema de resfriamento deve estar dimensionado de acordo com o material a ser processado e com as condições de produção (temperatura ambiente, por exemplo). É necessário ter uma vazão de ar adequada passando através do resfriador para que a saída dos péletes ocorra com temperatura e umidade adequadas. O tempo de retenção no resfriador também precisa ser adequado para que o ar resfrie e seque o suficiente, resultando na perda de peso do pélete e diminuindo rendimento do processamento final (Ziggers, 2004). Esta fase do processo pode explicar a inclusão da temperatura ambiente nos modelos de parametrização descritos neste estudo, já que a temperatura ambiental também foi relevante na explicação da variância.

Inclusões mais altas de óleo de soja nas fórmulas das rações prejudicaram o PDI e aumentaram a proporção de finos. Porém, este ingrediente maximizou o rendimento industrial estimado nos modelos. Estudos anteriores já mostraram que a inclusão de altos teores de gordura nas fórmulas de ração pode interferir negativamente na qualidade dos péletes, resultando em péletes mais frágeis (Mortiz et al, 2003; Fahrenholz, 2012). Isso acontece por que a gordura lubrifica a parede dos furos da matriz, facilitando a passagem da ração pela matriz peletizadora e diminuindo a compactação da mistura dentro da prensa. A adição de gordura no processo age como lubrificante entre as partículas do alimento e a matriz da peletizadora, aumentando a eficiência de produção da

fábrica de rações devido à redução de atrito e economia de energia, além de aumentar a capacidade de pressão da peletizadora beneficiando o rendimento do processo (Thomas et al., 1998).

É importante destacar que a inclusão do óleo de soja representa uma parcela muito relevante da variância dos modelos, mesmo quando comparada com a variância somada de um grupo de fatores. Um exemplo é a comparação da variância atribuída a inclusão de óleo na formulação (5,38%) em relação a soma das variáveis que representam a composição dos outros ingredientes (2,78%) nos modelos PDI-II e PDI-III. Relação semelhante é observada nos modelos FINOS-I (3,10% da variância sendo atribuída a inclusão de óleo em comparação com 1,61% da variância sendo atribuída a composição dos outros ingredientes) em relação a e REND-I (3,57% da variância sendo atribuída a inclusão de óleo em comparação com 2,19% da variância sendo atribuída a composição dos outros ingredientes).

A análise de validação mostrou que os modelos PDI-I, FINOS-I e REND- I apresentaram maior acurácia e veracidade em relação aos demais modelos obtidos neste estudo (II e III). Os fatores inseridos nos modelos-I, são fatores que estão ligados as características da peletizadora e, na maioria das fábricas, são facilmente monitorados. Outros fatores importantes nestes modelos são ingredientes que compõem a dieta. Assim, os modelos obtidos neste estudo poderiam ser incorporados ao software de formulação a fim de indicar ao nutricionista se a fórmula gerada irá maximizar ou minimizar a qualidade dos péletes e do

rendimento do processo. A disponibilidade desta informação antes da fórmula ser enviada para a produção pode ser facilitadora no processo de tomada de decisões, seja para correção da fórmula ou para preparo da fábrica em relação a qualidade prevista do produto final. Os modelos PDI-I, FINOS-I e REND-I também são simples e possuem menor número de fatores preditores. Nesse sentido, podem ser considerados de maior aplicabilidade a campo, visto que um conjunto menor de variáveis precisariam ser monitoradas no objetivo de melhorar o processo de peletização e a qualidade de péletes.

De modo geral, os modelos obtidos neste estudo conseguiram explicar uma parcela importante da variação. Porém, mesmo considerando fatores relevantes nos modelos, há uma fração da variância (ao menos 47%) que seguiu desconhecida. Isso indica que algumas variáveis importantes no processo de peletização não foram incluídas neste trabalho e também podem estar sendo ignoradas pela indústria. Alguns dos fatores que podem ser considerados em estudos futuros incluem a granulometria, o momento de injeção de componentes líquidos (especialmente de aminoácidos e gordura), a variação de umidade, dentre outros. A validação dos modelos em diferentes cenários fabris também é sugerida para projetos futuros de pesquisa.

Os resultados deste estudo evidenciam que o processo de peletização exige um monitoramento constante na fábrica de ração sobre os parâmetros de qualidade (PDI, finos e rendimento) em função dos dados de produção, composição bromatológica e inclusão de ingredientes

nas dietas para frangos de corte e suínos. Por serem baseados em dados coletados em ambiente industrial, os modelos (especialmente os modelos PDI-I, FINOS-I, REND-I) são úteis nos setores de garantia de qualidade das fábricas de ração, permitindo a melhor definição de parâmetros para monitoramento e também como facilitadores nas tomadas de decisão. O trabalho do nutricionista na fábrica de ração também pode ser beneficiado pela disponibilidade de dados concretos nesta área do conhecimento.

REFERÊNCIAS

Abdollahi, M.R., Ravindran, V., Wester, T.J., Ravindran, G., Thomas D.V., 2011. Influence of feed form and conditioning temperature on performance apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 168, 88–99.

Benchaar, C., Revist, J., Pomar, C., Chiquette, J., 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *J. Anim. Sci.* 76, 617–627.

Colovic, R.; Vukmirovic, D.; Matulaitis, R.; Bliznikas, S.; Uchockis, V.; Juskiene, V.; Levic, J., 2010. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. *J. Food Sci.* 37, 1–6.

Corzo, A., Mejia, L., Loar, R.E., 2011. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. *J. Appl. Poult. Res.* 20, 68–74.

Cutlip, S.E., Hott, J.M., Buchanan, N.P., Rack, A.L.L., Latshaw, J.D., 2008. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *J. Appl. Poult. Res.* 17, 249–261.

Fahrenholz, A.C. Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability. 104 f. Tese (Doctorate in philosophy - Kansas University. Department of Grain Science and Industry, Manhattan, Kansas, 2012.

Froetschner, J., 2006. Conditioning controls pellet quality. *Feed Technol.* 10, 5-12.

Klein, A.A., 2009. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração—uma abordagem prática. Simpósio Internacional ACAV - EMBRAPA sobre Nutrição de Aves. (EMBRAPA – CNPSA. Documentos). 56, 1-19.

Kulig, R., Laskowski, J., 2008. Effect of conditioning parameters on pellet temperature and energy consumption in the process of plant material pressing. *Teka Komisji Motoryzacji Energetyki Rolnictwa - OL PAN*. 8, 105-111.

Marcoux, M., Bernier, J.F., Pomar, C. 2003. Estimation of Canadian and European lean yields and composition of pig carcasses by dual-energy X- ray absorptiometry. *Meat Sci*. 63, 359–365.

Meurer, R. P., Fávero, A., Dahlke, F., Maiorka, A., 2008. Avaliação de rações peletizadas para frangos de corte. *Arch. Vet. Sci.* 13, 229–240.

Moritz, J.S., Cramer, K.R., Wilson, K.J., Beyer, R.S., 2003. Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. *J. Appl. Poult. Res.* 12, 371–381.

Neckel, K.J.P. Influência do condicionamento no processo de peletização sobre a qualidade física da dieta para frangos de corte. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Peisker, M., 2006. Feed processing - Impacts on nutritive value and hygienic status in broiler feeds. In: *Proceedings of the Australian*

Poultry Science Symposium. Australia-Sydney. 18, 7-16.

Smallman, C., 1996. Maximising conditioning potential. Feed Milling International. 190, 15-16.

Theil, H., 1996. Applied economic forecasting. Amsterdam: North- Holland Publishing Company.

Thomas, M., Zuilichem, D.J., Van Der Poel, A.F.B., 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions. Anim. Feed. Sci. and Technol. 64, 173-192.

Thomas, M., Van Vliet, T.J., Van Der Poel, A.F.B., 1998. Physical quality of pelleted animal feed. 3. contribution of feedstuffs components. Anim. Feed Sci. and Technol. 70, 59-78.

Ziggers, D., 2003. Die determines the pellet production. Feed Technol. 7, 17-19.

Ziggers, D., 2004. Cooling hot pellets critical to quality feed production. Feed Technol. 8, 9-11.

TABELA 1. Modelo¹ para prever o índice de durabilidade de pélete com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula (Modelo PDI-I)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	-3,04	7,54	0,68	-
Amperagem, A	0,07	0,00	<0,001	23,53
Temperatura do resfriador, °C	-0,89	0,10	<0,001	2,34
Temperatura ambiente, °C	0,23	0,09	0,011	0,22
Temperatura condicionador, °C	0,86	0,08	<0,001	3,44
Farinha de carne, kg/t	0,04	0,03	0,144	0,07
Farinha de penas, kg/t	-0,10	0,02	<0,001	0,63
Óleo de soja, kg/t	-0,32	0,02	<0,001	4,21
Metionina líquida (88%), kg/t	-0,75	0,22	0,001	0,39

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 50,84%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 2. Modelo¹ para prever o índice de durabilidade de pélete com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo PDI-II), além da inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo PDI-III)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	1,62	7,60	0,832	-
Amperagem, A	0,07	0,00	<0,001	22,84
Temperatura do resfriador, °C	-0,85	0,10	<0,001	2,10
Temperatura ambiente, °C	0,24	0,09	0,007	0,24
Temperatura do condicionador, °C	0,83	0,09	<0,001	3,17
Óleo de soja (extrato etéreo), kg/t	-0,34	0,03	<0,001	5,38
Extrato etéreo do farelo de soja, kg/t	1,31	0,34	<0,001	0,47
Fibra bruta do farelo de soja, kg/t	-0,93	0,25	<0,001	0,45
Matéria seca do farelo de soja, kg/t	0,02	0,01	0,002	0,31
Fibra bruta do far. de soja semi-integral kg/t	-0,44	0,13	0,001	0,38
Proteína bruta da farinha de penas, kg/t	-9,27	2,48	<0,001	0,46
Matéria mineral da farinha de penas, kg/t	-12,87	4,48	0,004	0,27
Matéria seca da farinha de penas, kg/t	8,62	2,36	<0,001	0,44

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 52,22%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 3. Modelo¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo FINOS-I)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	55,29	6,62	<0,001	-
Amperagem, A	-0,06	0,00	<0,001	27,23
Temperatura do resfriador, °C	0,71	0,07	<0,001	2,93
Temperatura ambiente, °C	-0,30	0,06	<0,001	0,73
Temperatura do condicionador, °C	-0,20	0,06	0,002	0,33
Farelo de soja semi-integral, kg/t	-0,02	0,00	0,004	0,29
Farelo de arroz integral, kg/t	-0,07	0,02	0,006	0,27
Farinha de penas, kg/t	0,09	0,02	<0,001	0,63
Óleo de soja, kg/t	0,29	0,03	<0,001	3,10
Metionina líquida (88%), kg/t	0,91	0,51	0,076	0,11
Lisina líquida, kg/t	-0,62	0,21	0,003	0,31

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 51,58%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 4. Modelo¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo FINOS-II)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	59,43	7,30	<0,001	-
Amperagem, A	-0,05	0,00	<0,001	24,54
Temperatura do resfriador, °C	0,69	0,07	<0,001	2,72
Temperatura ambiente, °C	-0,29	0,06	<0,001	0,67
Temperatura do condicionador, °C	-0,14	0,06	0,023	0,17
Calcário calcítico (matéria mineral), kg/t	0,11	0,07	0,111	0,08
Óleo de soja (extrato etéreo), kg/t	0,26	0,03	<0,001	2,07
Matéria mineral do milho, kg/t	-1,47	0,52	0,005	0,27
Matéria seca do farelo de soja, kg/t	-0,02	0,00	<0,001	0,73
Mat. mineral do far. de soja semi-integ., kg/t	-0,47	0,14	0,001	0,35
Mat. mineral do far. de arroz integral, kg/t	-1,14	0,26	<0,001	0,65
Proteína bruta da farinha de penas, kg/t	0,50	0,19	0,011	0,22
Extrato etéreo da farinha de penas, kg/t	0,94	0,18	<0,001	0,94

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 53,34%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 5. Modelo¹ para prever os finos com base nas características do processo de fabricação, na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e na composição bromatológica ponderada (Modelo FINOS-III)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	61,43	7,21	<0,001	-
Amperagem, A	-0,05	0,00	<0,001	24,88
Temperatura do resfriador, °C	0,69	0,07	<0,001	2,74
Temperatura ambiente, °C	-0,31	0,06	<0,001	0,75
Temperatura do condicionador, °C	-0,12	0,06	0,077	0,10
Farelo de soja semi-integral, kg/t	-0,27	0,10	0,010	0,23
Farinha de penas, kg/t	-3,86	1,65	0,019	0,18
Óleo de soja, kg/t	0,25	0,03	<0,001	1,91
Matéria mineral do milho, kg/t	-1,76	0,49	<0,001	0,44
Matéria seca do farelo de soja, kg/t	-0,02	0,00	<0,001	0,60
Proteína bruta da soja semi-integral, kg/t	0,43	0,21	0,046	0,13
Extrato etéreo da soja semi-integral, kg/t	0,63	0,27	0,023	0,17
Matéria mineral do farelo de arroz, kg/t	-1,19	0,27	<0,001	0,65
Extrato etéreo da farinha de carne, kg/t	0,34	0,19	0,074	0,11
Matéria mineral da farinha de penas, kg/t	12,12	4,73	0,011	0,22
Extrato etéreo da farinha de penas, kg/t	-12,11	2,76	<0,001	0,66
Matéria seca da farinha de penas, kg/t	5,13	1,83	0,005	0,26

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 53,61%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 6. Modelo¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação e na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração (Modelo REND-I)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	26,50	6,60	<0,001	-
Temperatura do resfriador, °C	0,624	0,05	<0,001	6,78
Temperatura ambiente, °C	-0,40	0,04	<0,001	3,91
Temperatura do condicionador, °C	0,17	0,04	<0,001	0,83
Milho, kg/t	-0,02	0,00	0,001	0,51
Farelo de soja, kg/t	-0,00	0,00	0,028	0,23
Farelo de arroz integral, kg/t	-0,02	0,01	0,115	0,12
Treonina, kg/t	0,91	0,44	0,041	0,20
Calcário calcítico, kg/t	0,15	0,04	0,001	0,59
Óleo de soja, kg/t	0,12	0,01	<0,001	3,57
Metionina líquida (88%), kg/t	-1,397	0,43	0,001	0,52

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 17,56%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 7. Modelo¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação e na composição bromatológica ponderada (Modelo REND-II)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficient e	EP		
Constante	18,52	4,85	<0,001	
Temperatura do resfriador, °C	0,588	0,05	<0,001	5,89
Temperatura ambiente, °C	-0,42	0,04	<0,001	4,31
Temperatura do condicionador, °C	0,17	0,04	<0,001	0,78
Treonina (proteína bruta), kg/t	0,64	0,42	0,126	0,11
Calcário calcítico (matéria mineral), kg/t	0,14	0,04	0,001	0,49
Óleo de soja (extrato etéreo), kg/t	0,13	0,01	<0,001	3,67
Metionina líq. (88%, prot. bruta), kg/t	-0,71	0,25	0,006	0,36
Proteína bruta do milho, kg/t	-0,46	0,092	<0,001	1,20
Matéria seca do milho, kg/t	0,02	0,00	0,013	0,30
Fibra bruta do far. de soja semi-integ., kg/t	0,17	0,09	0,076	0,15
Proteína bruta da farinha de carne, kg/t	0,87	0,20	<0,001	0,91
Extrato etéreo da farinha de carne, kg/t	-1,02	0,21	<0,001	1,07
Matéria seca da farinha de carne, kg/t	-0,33	0,09	<0,001	0,59
Matéria mineral da farinha de penas, kg/t	1,04	0,41	0,012	0,30

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 19,53%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 8. Modelo¹ para prever o rendimento com base nas características do processo de fabricação, na inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e na composição bromatológica ponderada (Modelo REND-III)

Termos	Equação		P	Variância, %
	Coefficiente	EP		
Constante	39,60	8,70		
Temperatura do resfriador, °C	0,56	0,05	<0,001	5,43
Temperatura ambiente, °C	-0,43	0,04	<0,001	4,51
Temperatura do condicionador, °C	0,17	0,04	<0,001	0,75
Milho, kg/t	-0,14	0,07	0,068	0,16
Farelo de soja semi-integral, kg/t	0,08	0,03	0,018	0,27
Farinha de carne, kg/t	-0,30	0,09	0,002	0,47
Treonina, kg/t	1,024	0,45	0,023	0,24
Calcário calcítico, kg/t	0,14	0,05	0,005	0,38
Óleo de soja, kg/t	0,13	0,01	<0,001	2,82
Metionina líquida (88%), kg/t	-1,521	0,45	0,001	0,54
Proteína bruta do milho, kg/t	-0,57	0,10	<0,001	1,51
Fibra bruta do milho, kg/t	-0,92	0,45	0,043	0,19
Matéria seca do milho, kg/t	0,19	0,08	0,03	0,22
Proteína bruta do farelo de soja, kg/t	-0,03	0,01	0,055	0,17
Mat. seca do far. de soja semi-integ., kg/t	-0,10	0,03	0,006	0,36
Fibra bruta do farelo de arroz, kg/t	-0,72	0,32	0,028	0,23
Proteína bruta da farinha de carne, kg/t	0,78	0,20	<0,001	0,73
Extrato etéreo da farinha de carne, kg/t	-0,914	0,21	<0,001	0,84

¹ Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05); Coeficiente de determinação do modelo foi de 20,36%. EP: Erro padrão da média; P: Probabilidade.

TABELA 9. Análise descritiva e comparação dos valores observados e preditos para índice de durabilidade de pélete (PDI), finos e rendimento

Modelos	Observados		Preditos		r	P
	Média	DP	Média	DP		
PDI						
Modelo PDI-I	70,0	8,8	76,6	6,8	0,364	<0,001
Modelo PDI-II	77,1	8,6	79,8	7,2	0,140	<0,001
Modelo PDI-III	77,1	8,6	79,6	7,2	-0,220	<0,001
Finos						
Modelo FINOS-I	23,4	7,9	25,2	5,9	0,735	<0,001
Modelo FINOS-II	23,2	7,9	11,5	6,5	0,590	<0,001
Modelo FINOS-III	23,3	7,9	6,3	7,0	0,495	<0,001
Rendimento						
Modelo REND-I	34,5	4,3	32,8	2,0	0,735	<0,001
Modelo REND-II	34,5	4,4	30,9	3,9	0,279	<0,001
Modelo REND-III	34,5	4,4	56,1	15,6	0,236	<0,001

DP: Desvio padrão da média; r: Correlação; P: Probabilidade.

TABELA 10. Acurácia dos modelos para predizer índice de durabilidade de pélete (PDI), finos e rendimento

Modelos	MSPE	ECT	ER	ED
PDI				
Modelo PDI-I	33,24	3,09	0,19	29,97
Modelo PDI-II	80,80	11,81	34,48	34,52
Modelo PDI-III	1021,51	119,81	867,18	34,52
Finos				
Modelo FINOS-I	14,05	3,26	0,01	10,77
Modelo FINOS-II	356,93	196,62	138,70	21,61
Modelo FINOS-III	603,80	374,58	207,10	22,13
Rendimento				
Modelo REND-I	35,69	0,16	0,15	35,38
Modelo REND-II	102,24	8,03	23,26	70,96
Modelo REND-III	106,44	6,94	26,83	72,67

MSPE: quadrado médio do erro predito; ETC: erro de tendência central; ER: erro devido a regressão; ED: erro devido ao distúrbio.

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que o processo de peletização exige um monitoramento constante na fábrica de ração sobre os parâmetros de qualidade (PDI, finos e rendimento) em função dos dados de produção, composição bromatológica e inclusão de ingredientes nas dietas para frangos de corte e suínos. Este estudo gerou modelos matemáticos que identificam os principais fatores influentes e quantificam o efeito destes fatores sobre a peletização. A amperagem, a temperatura do resfriador e do condicionador, além da inclusão do óleo de soja na fórmula da ração foram os principais fatores nos modelos para prever PDI e finos. A análise de validação mostrou que os modelos PDI-I, FINOS-I e REND-I apresentaram maior acurácia e veracidade em relação aos demais modelos obtidos neste estudo (II e III). E, portanto, sendo considerados modelos mais aplicáveis a campo.

Por serem também baseados em dados coletados em ambiente industrial, os modelos apresentados nesse trabalho são úteis nos setores de garantia de qualidade das fábricas de ração, permitindo a melhor definição de parâmetros para monitoramento e também podem ser úteis como facilitadores nas tomadas de decisão. O trabalho do nutricionista na fábrica de ração também pode ser beneficiado pela disponibilidade de dados concretos nesta área do conhecimento. Neste cenário, a qualidade dos péletes poderá ser acuradamente estimada antes mesmo de a ração ser produzida, o que certamente beneficiará todo o processo de produção das rações.

Além disso, este trabalho agrega dados sobre o processo de peletização, uma área que carece de informações científicas. Este trabalho demonstra que a metodologia de modelagem é válida para o diagnóstico de pontos críticos em uma fábrica de ração, tornando-se uma importante ferramenta para a tomada de decisões em busca da melhoria do processo de peletização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDOLLAHI, M. R. *et al.* Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 168, n. 1/2, p. 88-99, 2011.
- ATINCO, L. P. **Qualidade de pélete em dietas para leitões em fase de creche**. 2015. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- BEHNKE, K. Factors affecting pellet quality. *In*: MARYLAND NUTRITION CONFERENCE, 1., 1995, College Park. **Proceedings**. College Park: College of Agriculture, University of Maryland, 1994. p. 44-54.
- BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. *In*: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 4., 2000, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: AGA, 2000. p. 59-78.
- BIAGI, J. D. Tecnologia da peletização da ração. *In*: SIMPÓSIO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1990, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1990. p. 37-59.
- CAVALCANTI, W. B.; BEHNKE, K. C. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: a mixture experimental approach. II. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 82, n. 4, p. 462-467, 2005.
- CRAMER, K. R. *et al.* Effect of sorghum-based diets subjected to various manufacturing procedures on broiler performance. **Journal Applied Poultry Research**, Champaign, v. 12, n. 1, p. 404-410, 2003.
- CRESWELL, D.; BEDFORD, M. High pelleting temperatures reduce broiler performance. **Australian Poultry Science**, Sydney, v. 18, n. 1, p. 1-6, 2006.
- DONALD, A. M. Plasticization and self-assembly in the starch granule. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 78, n. 3, p. 307-314, 2001.
- DOZIER, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más económica. **Alimentacion Balance Animal**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 16-19, 2001.
- FAHRENHOLZ, A. C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability**. 2012. 104 f. These (Doctor of Philosophy) - Department of Grain Science and Industry College of Agriculture, Kansas University, Manhattan, Kansas, 2012.
- FREITAS, E. R. *et al.* Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 107-115, 2006.

- FROETSCHNER, J. Conditioning controls pellet quality. **Feed Technology**, [England], v. 10, n. 6, p. 12-15, 2006.
- HAN, X. Z.; HAMAKER, B. R. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. **Journal of Cereal Science**, London, v. 34, n. 3, p. 279-284, 2001.
- HANCOCK, J. D.; BEHNKE, K. C. Use of ingredient and diet processing technologies to produce quality feeds for pigs. *In*: LEWIS, A. J.; SOUTHER, L. L. (ed.). **Swine nutrition**. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRS, 2001. p. 469-492.
- HERMANSSON, A. M.; KIDMAN, S. Starch a phase-separated biopolymer system. *In*: J.R. Mitchell (Ed.). **Biopolymer mixtures**. Nottingham: Nottingham University Press, 1995. p. 225-245.
- KLEIN, C. H.; KESSLER, A. M.; PENZ, A. M. Efeito da forma física da ração sobre alguns parâmetros do metabolismo energético de frangos de corte. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais** [...]. Brasília, DF: SBZ, 1995. p. 482-483.
- KLEIN, C. H. **Efeito da forma física e do nível de energia da ração sobre o desempenho, a composição da carcaça e a eficiência de utilização da energia metabolizável consumida por frango de corte**. 1996. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração uma abordagem prática. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV - EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1., 1999, Concórdia. **Anais**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1999. p. 1-19.
- KOTARA, D.; FUCHS, B. The effect of gelatinization degree and source of starch on the ileal and faecal digestibility of nutrients and growth performance of early-weaned pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 10, p. 163- 170, 2001. Supl.2.
- KULIG, R.; LASKOWSKI, J. Effect of conditioning parameters on pellet temperature and energy consumption in the process of plant material pressing. **Teka Komisji Motoryzacji Energetyki i Rolnictwa - OL PAN**, Lublin, v. 8, n. 1, p. 105-111, 2008.
- LARA, L. J. C. *et al.* Influência da forma física da ração e da linhagem sobre o desempenho e rendimento de cortes de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 4, p. 970-978, 2008.
- LOWE, R. Judging pellet stability as part of pellet quality. **Feed Technology**, [England], v. 9, n. 2, p. 15-19, 2005.

LUND, D.; LORENZ, K. J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia v. 20, n. 4, p. 249-273, 1984.

MCKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 7, p. 1165-1174, 2004.

MEINERZ, C. *et al.* Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 2026-2032, 2001. Suplemento.

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R. G.; CASADA, M. E. Durability and breakage of feed pellets during repeated elevator handling. *In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING*, 2006, Portland. **Proceedings** [...]. Portland: ASABE, 2006. p. 1-12.

MINAYO, M. C. S. *et al.* **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 1994. 80 p.

MIRANDA D. J. A. **Efeito da granulometria do milho e do valor de energia metabolizável em rações peletizadas para frango de corte**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MORITZ, J. S. *et al.* Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. **Journal Applied Poultry Research**, Champaign, v. 12, n. 3, p. 371-381, 2003.

MOUGHAN, P. J.; SMITH, W. C.; PEARSON, G. Description and validation of a model simulating growth in the pig (20-90 kg live weight). **New Zealand Journal of agricultural Research**, Singapore, v. 30, n. 4, p. 481-489 1987.

MURAMATSU, K. **Aplicação de modelagem preditiva no processo de peletização de rações para frangos de corte**. 2013. 99 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MURRAY, S.M. *et al.* In vitro fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chyme from dogs. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 2, p. 435-444, 2001.

NETTO, T. V. M. **Temperatura de condicionamento no processo de peletização de dietas para frangos de corte**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

NECKEL, K. J. P. **Influência do condicionamento no processo de**

peletização sobre a qualidade física da dieta para frangos de corte. 2016. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

NILIPOUR, A. Produciendo pelets de calidad. **Indústria Avícola**, [Italy], v. 41, n. 2, p. 28-30, 1994.

SKINNER-NOBLE, D. O.; MCKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: III. Feed form affects broiler performance by modifying behavior patterns. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, n.3, p. 403-411, 2005.

OREDEIN, A. I.; OLATAYO, T. O.; LOYINMI, A. C. On validating regression models with bootstraps and data splitting techniques. **Global Journal of Science Frontier Research**, [Massachusetts], v. 11, n. 6, p. 1-6, 2011.

PEISKER, M. Impacts on nutritive value and hygienic status in broiler feeds. *In*: AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 18., 2006, Sydney. **Proceedings** [...]. Sydney: APSS, 2006. p. 7-16.

PUCCI, L. E. A. *et al.* Forma física, suplementação enzimática e nível nutricional de rações para frangos de corte na fase inicial: desempenho e digestibilidade dos nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1272-1279, 2010.

REIMER, L. L.; BEGGS W. A. Making better pellets: harnessing steam quality. **Feed Management**, Sea Isle, v. 44, n. 1, p. 1-22, 1993.

ROBINSON, R. Pelleting-Introduction and general definitions. *In*: PFOST, H. B. (ed.). **Feed manufacturing technology**. Arlington: American Feed Manufacturers Association, 1976. p. 103-110.

RONDÓN, E. O. *et al.* **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2014. 678 p.

SALA, F.; DELIA, E. The effect of pellet feed on the performance and nutrient's digestibility of weaned piglets. **Albanian Journal of Agricultural Sciences**, Tirana, v. 11, n. 4, p. 2218-2020, 2012.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009, Austin. **Proceedings** [...]. Austin: [s.n.], 2009. p. 162-176.

SCHLESINGER, S. Terminology for model credibility. **Simulation**, Amsterdam, v.32, p. 103-104, 1979.

SILVA, C. A. *et al.* Sunflower meal as feed to swine during the growing and finishing phase: digestibility, performance and carcass quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 982-990, 2002. Supl. 2.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, Champaign, v. 6, p. 391-398, 1997.

SMALLMAN, C. Maximising conditioning potential. **Feed Milling International**, Rickmansworth, UK, v. 190, v. 11, p. 15-16, 1996.

SUN, Z. *et al.* Thermomechanical transitions of rice kernels. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 3, p. 349-353, 2002.

SVIHUS, B. *et al.* Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 117, n. 3/4, p. 281-293, 2004.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 122, n. 3/4, p. 303-320, 2005.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pellet animal feed. Criteria for pellet quality. *In*: PHYSICAL QUALITY OF PELLET ANIMAL FEED: A FEED MODEL STUDY, 1998, Wageningen. **Proceedings** [...]. Wageningen: WUR, 1998. p. 19-46.

THOMAS, M. *et al.* Effects of process conditions during expander processing and pelleting on starch modification and pellet quality of tapioca. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 79, n. 11, p. 1481-1494, 1999.

WELLIN, F. Pelleting equipment operations. *In*: PFOST, H. B. (ed.). **Feed manufacturing technology**. Arlington: American Feed Manufacturers Association, 1976. p. 329-332.

ZALENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy of poultry diets. *In*: EUROPEAN SYMPOSIUM ON POULTRY NUTRITION, 14., 2003, Lillehammer. **Proceedings** [...]. Lillehammer: World's Poultry Science Association, 2003. p.127-128.

ZANOTTO, D. L.; GUIDONI, A. L.; BRUM, P. R. Granulometria do milho em rações fareladas para frangos de corte. *In*: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: SBZ, 1999.

ZIGGERS, D. Die determines the pellet production. **Feed Technology**, [England], v. 7, n. 8, p. 17-19, 2003.

ANEXO 1: Descrição detalhada da base de dados utilizada para calibração dos modelos

Tabela 11. Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados da calibração

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Rendimento, t/h	34,50	1,20	30,75	33,76	36,36
Proporção de finos, %	23,30	0,23	19,58	24,90	30,83
Índice de durabilidade do pélete, %	77,06	0,31	68,00	76,53	82,56
Amperagem, A	523,55	1,92	460,00	539,50	595,00
Temperatura do resfriador, °C	26,09	0,09	23,85	26,10	28,60
Temperatura ambiente, °C.	21,54	0,10	18,70	21,30	24,65
Temperatura do condicionador, °C	78,40	0,06	77,00	80,00	80,00

EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil.

Tabela 12. Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados da calibração

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Milho, kg/t	585,24	0,71	563,10	586,45	610,60
Farelo de soja 46%, kg/t	186,13	1,24	156,00	178,00	226,00
Farelo de soja semi-integral, kg/t	109,03	1,52	100,00	130,00	160,00
Farelo de arroz integral, kg/t	12,95	0,55	0,00	0,00	0,00
Farinha de carne 45%, kg/t	44,30	0,19	37,00	45,00	50,00
Farinha de vísceras, kg/t	2,49	0,18	0,00	0,00	0,00
Farinha de penas, kg/t	4,60	0,22	0,00	0,00	0,00
L-treonina 98,5%, kg/t	0,94	0,00	0,90	1,00	1,05
Calcário calcítico, kg/t	5,47	0,06	2,00	6,00	8,10
Sal comum, kg/t	2,21	0,01	1,70	1,90	2,30
Bicarbonato de sódio, kg/t	2,33	0,03	1,40	2,60	3,40
Óleo de soja, kg/t	31,85	0,21	28,00	34,00	38,00
Metionina líquida 88%, kg/t	3,32	0,02	3,10	3,80	4,01
Lisina líquida 64%, kg/t	4,12	0,02	3,70	4,40	5,00

EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil.

Tabela 13. Descrição das composições bromatológicas¹ dos principais ingredientes considerados na base de dados da calibração

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Milho					
Proteína bruta, %	7,97	<0,01	7,80	8,02	8,16
Matéria mineral, %	1,22	<0,01	1,21	1,23	1,25
Extrato etéreo, %	4,26	<0,01	4,16	4,24	4,35
Fibra bruta, %	2,05	<0,01	2,03	2,06	2,09
Matéria seca, %	86,37	<0,01	86,17	86,36	86,61
Farelo de soja					
Proteína bruta, %	46,05	0,01	45,72	46,01	46,27
Matéria mineral, %	6,04	<0,01	5,95	6,02	6,15
Extrato etéreo, %	2,14	<0,01	1,85	2,16	2,34
Fibra bruta, %	4,04	<0,01	3,81	3,98	4,28
Matéria seca, %	4,11	0,40	0,62	0,63	0,63
Farelo de soja semi-integral					
Proteína bruta, %	39,90	0,01	39,42	39,97	40,36
Matéria mineral, %	5,40	<0,01	5,34	5,42	5,49
Extrato etéreo, %	10,86	0,01	10,35	10,79	11,25
Fibra bruta, %	3,88	0,01	3,75	3,94	4,29
Matéria seca, %	90,10	0,06	88,26	88,73	93,93
Farinha de carne					
Proteína bruta, %	48,09	0,03	47,32	47,92	48,96
Matéria mineral, %	35,69	0,04	34,49	35,72	36,65
Extrato etéreo, %	10,90	0,02	10,33	10,72	11,52
Matéria seca, %	95,57	0,01	95,13	95,60	96,00
Farelo de arroz					
Proteína bruta, %	14,26	<0,01	14,15	14,26	14,40
Matéria mineral, %	7,89	<0,01	7,75	7,89	8,10
Extrato etéreo, %	19,76	0,01	19,25	19,71	20,31
Fibra bruta, %	5,91	<0,01	5,54	5,88	6,27
Matéria seca, %	4,39	0,44	0,53	0,54	0,56
Farinha de penas					
Proteína bruta, %	80,30	0,11	77,21	79,49	84,26
Matéria mineral, %	3,63	0,02	3,48	3,750	4,44
Extrato etéreo, %	10,32	0,02	9,15	10,54	11,34
Matéria seca, %	91,26	0,06	88,95	91,33	94,09
Farinha de vísceras					
Proteína bruta, %	60,50	0,04	59,65	59,65	59,65
Matéria mineral, %	14,16	0,02	13,95	13,95	13,95
Extrato etéreo, %	17,80	0,03	17,52	17,52	17,52
Matéria seca, %	95,42	<0,01	95,25	95,25	95,25

¹Valores expressos na matéria natural. EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil

ANEXO 2. Descrição detalhada da base de dados utilizada para validação dos modelos

Tabela 14. Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados da validação

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Rendimento, t/h	34,01	2,04	32,38	35,25	37,50
Proporção de finos, %	16,34	0,30	0,00	18,40	35,91
Índice de durabilidade do pélete, %	59,95	0,77	58,94	75,60	81,60
Amperagem, A	516,64	2,34	479,00	530,00	585,00
Temperatura do resfriador, °C	28,93	0,12	27,00	29,44	31,63
Temperatura ambiente, °C.	25,53	0,12	23,22	26,00	28,88
Temperatura do condicionador, °C	79,33	0,12	80,00	80,00	80,00

EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil.

Tabela 15. Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados da validação

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Milho, kg/t	573,91	0,56	565,70	574,30	586,20
Farelo de soja (46%), kg/t	180,00	1,20	142,00	168,00	214,00
Farelo de soja semi-integral, kg/t	115,07	1,48	120,00	150,00	150,00
Farelo de arroz integral, kg/t	9,56	0,43	0,00	0,00	0,00
Farinha de carne (45%), kg/t	63,90	0,31	50,00	61,00	78,00
L-treonina (98,5%), kg/t	0,89	0,01	0,80	1,00	1,00
Calcário calcítico, kg/t	3,95	0,07	1,50	2,30	6,50
Sal comum, kg/t	1,55	0,01	1,20	1,40	1,80
Bicarbonato de sódio, kg/t	2,40	0,01	2,20	2,50	2,50
Óleo de soja, kg/t	29,67	0,16	25,0	30,00	35,00
Metionina líquida (88%), kg/t	3,44	0,02	3,40	4,00	4,00
Lisina líquida (64%), kg/t	4,11	0,01	3,80	4,10	4,50

EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil.

Tabela 16. Descrição das composições bromatológicas¹ dos ingredientes considerados na base de dados da validação

Variáveis	Média	EP	Q1	Mediana	Q3
Milho					
Proteína bruta, %	8,18	0,04	7,70	7,79	8,03
Matéria mineral, %	1,53	0,04	1,10	1,14	1,20
Extrato etéreo, %	5,02	0,09	4,02	4,14	4,33
Fibra bruta, %	2,27	0,02	2,05	2,10	2,15
Matéria seca, %	86,55	0,02	86,21	86,38	86,64
Farelo de soja					
Proteína bruta, %	46,09	0,01	45,88	46,12	46,30
Matéria mineral, %	6,14	0,00	6,09	6,18	6,27
Extrato etéreo, %	2,31	0,01	2,07	2,32	2,51
Fibra bruta, %	3,88	0,01	3,69	3,84	4,09
Matéria seca, %	88,43	0,01	88,35	88,46	88,59
Farelo de soja semi-integral					
Proteína bruta, %	45,47	0,58	46,81	59,18	60,00
Matéria mineral, %	6,17	0,08	6,26	8,04	8,38
Extrato etéreo, %	7,48	0,16	1,20	8,13	14,37
Fibra bruta, %	4,43	0,06	3,89	5,40	6,19
Matéria seca, %	101,52	1,31	104,16	131,09	133,29
Farinha de carne					
Proteína bruta, %	48,56	0,05	46,96	48,45	50,51
Matéria mineral, %	34,18	0,07	31,59	34,15	36,13
Extrato etéreo, %	10,96	0,03	10,16	10,88	12,05
Matéria seca, %	95,72	0,01	95,35	95,70	95,95
Farelo de arroz					
Proteína bruta, %	13,03	0,02	13,34	12,59	14,18
Matéria mineral, %	9,54	0,04	8,09	9,75	10,70
Extrato etéreo, %	19,73	0,01	19,28	19,81	20,18
Fibra bruta, %	7,66	0,03	6,03	8,19	8,69
Matéria seca, %	90,83	0,01	90,12	91,06	91,25

¹Valores expressos na matéria natural. EP: Erro padrão da média; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil.

APÊNDICE

APÊNDICE - Produção bibliográfica durante o curso

Artigos aprovados para publicação em periódicos

KIPPER, Marcos da Silva; ANDRETTA, Ines; RIBEIRO, Andrea Machado Leal; PIRES, Paula Gabriela da Silva; FRANCESCHINA, Carolina Schell; CARDINAL, Kátia Maria; MORAES, Priscila de Oliveira; SCHROEDER, Bruna. Assessing the implications of mycotoxins on productive efficiency of broilers and growing pigs. *Scientia Agricola*, 2018.

KIPPER, Marcos da Silva; ANDRETTA, Ines; QUADROS, Vinicius; SCHROEDER, Bruna; PIRES, Paula Gabriela da Silva, FRANCESCHINA, Carolina Schell. Performance responses of broilers and pigs fed diets B-mannanase. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2018.

Demais trabalhos

Publicação de resumos em anais de eventos (2 expandidos e 1 simples);

Palestras realizadas nos eventos Avicultura em Foco e Swine Day.

VITA

Bruna Schroeder, filha de Roberto Schroeder e Verediana Schmitz, nascida em 29 de abril de 1993, em Arroio do Meio-RS. Completou o ensino fundamental e o ensino médio no Colégio Bom Jesus São Miguel, localizado na cidade de Arroio do Meio-RS concluindo os estudos em dezembro de 2010. Em 2012 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Durante o período da graduação, foi estagiária do Laboratório de Ensino Zootécnico (LEZO) - UFRGS, na área de nutrição de não-ruminantes, sob orientação. Formou-se Zootecnia em fevereiro de 2017. No primeiro semestre de 2018 ingressou como aluna de mestrado com dedicação exclusiva no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFRGS, sob orientação da professora Dra. Ines Andretta. Além de ter se envolvido em diversos projetos de pesquisa ao longo do seu mestrado, teve a oportunidade de participar de eventos científicos onde realizou apresentações orais sobre trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Ensino Zootécnico. Foi submetida à banca de defesa de Dissertação em Março de 2019.