

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
KEYSUKE MURAMATSU

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM PREDITIVA NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE
RAÇÕES PARA FRANGO DE CORTE**

CURITIBA

2013

KEYSUKE MURAMATSU

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM PREDITIVA NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE
RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Veterinárias, na Área de Concentração em Nutrição e Alimentação Animal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Veterinárias.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka

Co-Orientador: Prof. Dr. Fabiano Dahlke

CURITIBA

2013

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

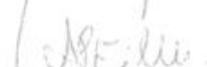


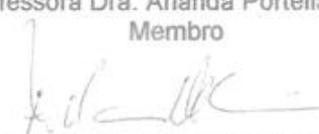
PARECER

A Comissão Examinadora da Defesa da Tese intitulada “APLICAÇÃO DE MODELAGEM PREDITIVA NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES DE FRANGO DE CORTE” apresentada pelo Doutorando **KEYSUKE MURAMATSU** declara ante os méritos demonstrados pelo Candidato, e de acordo com o Art. 79 da Resolução nº 65/09–CEPE/UFPR, que considerou o candidato APTO para receber o Título de Doutor em Ciências Veterinárias, na Área de Concentração em Ciências Veterinárias.

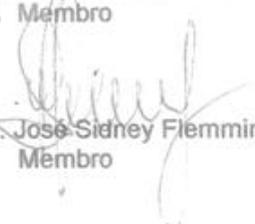
Curitiba, 4 de dezembro de 2013


Professor Dr. Alex Maiorka
Presidente/Orientador


Professora Dra. Ananda Portella Félix
Membro


Professor Dr. Fabiano Dahlke
Membro


Professor Dr. Uíslei Antonio Dias Orlando
Membro


Professor Dr. José Sidney Flemming
Membro

"O que você sabe não tem valor; o valor está no que você faz com o que sabe."
Bruce Lee

"Se hoje eu enxergo mais longe, é porque me apoiei em ombros de gigantes."
Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Hitoshi Muramatsu e Sachiko Muramatsu pelo incondicional apoio e sábios conselhos em todos os momentos de minha vida.

A minha esposa Patrícia pelo suporte e companheirismo durante esse meu breve retorno aos bancos acadêmicos e pelos finais de semana que tive que me dedicar aos estudos e pesquisas.

Aos meus amigos Uislei Orlando, Adelar Almeida e Alessandro Lopes por terem sido os GRANDES facilitadores para que eu pudesse voltar a estudar.

Aos professores Fabiano Dahlke e Alex Maiorka: tive a imensa sorte de tê-los como meus orientadores: vocês são raros e realmente nos ensinam a "pescar".

Aos meus orientadores da graduação, iniciação científica e mestrado Marcos B. Café e José H. Stringhini por terem me sido meus "mestres e educadores" e, sobretudo pelo exemplo que são até hoje para mim.

Agradeço aos colegas do LEPNAN e da pós-graduação: apesar do convívio limitado tive o prazer de dividir atividades em salas de aula e discussão que certamente contribuiram para meu crescimento.

Aos meus gestores da BRF, Fabrício da Silva Delgado, Luiz Stabile Benício e José Ribas pelo apoio e liberação para a realização desta pós-graduação.

Aos meus colegas da equipe corporativa de frangos de corte: Renata N. Reis, Antonio C. Pedroso e Andriana T. Schweitzer por terem literalmente "segurado" as pontas na BRF quando não pude estar presente nas atividades da empresa. Vocês são dez...

Aos colegas da equipe de nutrição animal (Rafael, Fábio, Ana Paulae Ronan) do processo de fabricação de rações (Vivan, Barato, Márcio, Sbaraini, Marcelo e Lanes) e da garantia da qualidade de rações (Ivo, Monica, Isabel) por todo o auxílio dado.

A todos, muito obrigado!!

APLICAÇÃO DE MODELAGEM PREDITIVA NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

A peletização consiste basicamente na transformação de uma massa farelada em agregados cilíndricos por meio de calor úmido (vapor) e força mecânica (compressão). Inúmeros fatores podem contribuir para que o processo de peletização ocorra de forma eficiente. Desde a composição das dietas, as apresentações físicas dos ingredientes, bem como as regulagens e especificações dos equipamentos são algumas das variáveis que podem afetar a qualidade do pelete e as características nutricionais das rações. O objetivo do presente trabalho foi identificar o efeito isolado e combinado do tamanho da partícula de ração, processamento térmico, vários níveis de inclusão de gordura e adição de umidade na quantidade de peletes intactos, índice de durabilidade de peletes (PDI), solubilidade protéica no hidróxido de potássio (**KOH**) e gelatinização do amido a fim de validar um modelo de predição de processos. Os diferentes fatores de processamento foram combinados em uma organização fatorial de 2 x 4 x 4 x 2 em blocos ao acaso (constituídas pelas séries de produção): dois tamanhos de partículas (grosso: 1041 micra e médio: 743 micra), quatro níveis de inclusão de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração), quatro níveis de adição de umidade (0, 7, 14 e 21 g/kg) e dois processamentos térmicos (condicionamento-peletização ou condicionamento-expansão-peletização), os quais resultaram em 64 combinações de rações processadas. Os dados foram transformados usando a transformação de Box-Cox de forma que os dados tenham uma distribuição normal ($p > 0,05$). A adição de umidade (0-21g/kg) melhorou a qualidade dos peletes e aumentou o grau de gelatinização do amido das dietas ($p < 0,05$). O condicionamento-expansão-peletização (a 110°C) diminuiu a solubilidade protéica ($p < 0,05$) em KOH de 686 para 643 g/kg de proteína total e aumentou o grau de gelatinização de amido de 32 para 35% quando comparada ao processo de condicionamento-peletização simples (a 80-82°C). O condicionamento-expansão das dietas

também melhorou o PDI e a quantidade de peletes intactos em 26% e 31% respectivamente ($p < 0,05$), quando comparadas a um condicionamento simples. A quantidade de peletes intactos reduziu de 773 a 746 g/kg de ração ($p < 0,05$), à medida que o tamanho da partícula aumentou de médio para grosso. A qualidade dos peletes foi reduzida com a inclusão de níveis de gordura maiores do que 35g/kg de alimento. Da mesma forma, o grau de gelatinização do amido foi reduzido ($p < 0,05$) com a inclusão de níveis de gordura maiores do que 35 g/kg de dieta. A regressão múltipla aplicada no presente estudo para modelar o processo de peletização foi validada pelo método de validação cruzada (técnica de Splitting) combinada com a equação de Herzberg. O processamento térmico com expandir, os níveis crescentes de adição de umidade e a limitação na inclusão de gordura foram os fatores que mais favoreceram a qualidade de peletes das rações.

Palavras-chave: amido, modelagem, PDI, peletes, regressão múltipla, solubilidade protéica

ABSTRACT

Pelleting consists basically in the aggregation of mash feed as cylindrical structures (pellets) by means of pressure, heat and steam. Several factors can affect the pelleting process: diet formulation, ingredient physical and chemical specifications and equipment operation parameters. The objective of the present study was to determine the effect of particle size, thermal processing, levels of fat inclusion and moisture addition in the amount of intact pellets, pellet durability index (PDI), protein solubility in potassium hydroxide (KOH) and degree of starch gelatinization in order to validate a mathematical model for process prediction. The different processing factors were combined in a 2 x 4 x 4 x 2 factorial arrangement in a randomized block design (consisting of production series): two particle sizes (coarse: 1041 microns and medium: 743 microns), four fat inclusion levels at the mixer (15, 25, 35 and 45 g kg⁻¹ of feed), four moisture addition levels in the conditioner (0, 7, 14 and 21 g kg⁻¹ of feed), and two thermal processing treatments (conditioner-pellet press treatment or conditioner-expander-pellet treatment) which resulted in 64 different processed feeds. The data were transformed using a variation of Box-Cox transformation in order to fit a normal distribution ($p > 0,05$). Adding moisture up to 21 g kg⁻¹ of feed in the conditioner improved pellet quality and increased the degree of starch gelatinization of the diets ($p < 0,05$). Expansion of diets before pelleting improved ($p < 0,05$) PDI and amount of intact pellets by 26% and 31% respectively as compared to a simple conditioning-pelleting feed processing. Expander treatment (at 110°C) decreased ($P < 0,05$) protein solubility in KOH from 686 to 643 g kg⁻¹ total protein and increased degree of gelatinized starch from 32 to 35% as compared to pelleting process (at 80-82°C). The amount of intact pellets reduced from 773 to 746 g kg⁻¹ of feed ($p < 0,05$) as particle size increased from medium to coarse grinding. Pellet quality was significantly reduced with fat inclusion levels higher than 35 g kg⁻¹ of diet. In the same way, starch gelatinization was reduced ($p < 0,05$) as the fat addition level were set above 35 g/kg of the diet. The multiple regression equation applied in the present study to model the feed pelleting process were validated by the

Cross-validation method (Splitting technique) combined with the Herzberg equation. Thermal processing with expander, increasing levels of moisture addition and limiting the inclusion of fat in the diets were the most important factors influencing pellet quality in the diets.

Key words: modelling, multiple regression, PDI, pellets, protein solubility, starch

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II

- Figura 1. Interação do processamento térmico, tamanho de partícula, adição de umidade e inclusão de gordura na quantidade de peletes intactos (g/kg de ração).....53
- Figura 2. Interação do processamento térmico, tamanho de partícula e inclusão de gordura no PDI (%)......55

CAPITULO V

- Figura 1 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos95
- Figura 2 - Fatores influenciando a variabilidade do PDI96
- Figura 3 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos em dietas condicionadas-peletizadas.....96
- Figura 4 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos em dietas condicionadas-expandidas-peletizadas.....97
- Figura 5 - Fatores influenciando a variabilidade PDI em dietas condicionadas-peletizadas.....97
- Figura 6 - Fatores influenciando a variabilidade do PDI em dietas condicionadas-expandidas-peletizadas.....98

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1 - Efeito da gordura adicionada sobre a qualidade de peletes.....	24
Tabela 2 - Temperatura de gelatinização do amido proveniente de diferentes cereais.....	26
Tabela 3 - Características das diferentes metodologias de determinação da durabilidade de peletes	30

CAPITULO II

Tabela 1. Composição das dietas experimentais	45
Tabela 2. Efeito do processamento térmico (TP), tamanho da partícula (TP), adição de umidade (MA) e inclusão de gordura (FI) na qualidade do peletes e solubilidade protéica em KOH das dietas.....	50
Tabela 3. Equação de regressão para a quantidade de peletes intactas ajustada pelo método de eliminação backward.....	51
Tabela 4. Equação de Regressão para PDI ajustado pelo método de eliminação backward.....	51
Tabela 5. Equação de regressão para solubilidade protéica em hidróxido de potássio ajustada pelo método de eliminação backward.....	52

CAPITULO III

Tabela 1. Composição de dietas experimentais	71
Tabela 2. Efeito do processamento térmico (TP), tamanho de partícula (PS), adição de umidade (MA) e inclusão de gordura (FI) na quantidade de amido gelatinizado.....	75
Tabela 3. Equação de regressão da quantidade de amido gelatinizado (%) submetido à transformação de Box-Cox e ajustada pelo método de eliminação backward.....	76

CAPITULO IV

Tabela 1 - Equações de regressão obtidas com os dados totais e com a técnica da splitting para percentual de peletes	89
Tabela 2 - Equações de regressão obtidas com os dados totais e com a técnica da splitting para PDI	90
Tabela 3 - Quadrados médios dos resíduos de predição entre os dados preditos pela equação de regressão e os dados de validação do modelo	91

ABREVIATURAS

°C - Graus Celsius

% - Porcentagem

= Igual

< Menor

> Maior

AOAC - Association of Official Analytical Chemists

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers

Asinh - Arco seno

Cm - Centímetros

DGM - Diâmetro geométrico médio

DPG - Desvio padrão geométrico

FI - Inclusão de gordura

g - Gramas

kg - Quilograma

kgf - Quilograma Força

kwatt - Quilowatt

KOH - Hidróxido de potássio

ln - Logarítimo natural

MA - Adição de umidade

mm - Milímetros

PDI - Índice de durabilidade de peletes

PS - Tamanho de partícula

rpm - Rotações por minuto

ton - Tonelada

TP - Processamento térmico

SUMÁRIO

CAPITULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Equipamentos para condicionamento, expansão e peletização das rações	17
2.2 Impacto do processamento de rações no desempenho de frangos de corte	18
2.3 Fatores que influenciam qualidade de peletes	21
2.4 Efeito do processamento de rações sobre as características químicas das rações.....	25
2.5 Parâmetros de avaliação de qualidade de peletes.....	29
2.6 Aplicação da modelagem matemática em processo industriais	32
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
CAPITULO II – IMPACTO DO TAMANHO DA PARTÍCULA, PROCESSAMENTO TÉRMICO, INCLUSÃO DE GORDURA E ADIÇÃO DE UMIDADE NA QUALIDADE DE PELETES E SOLUBILIDADE PROTEÍCA DAS RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE ..	41
RESUMO:	41
ABSTRACT:	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	44
3. RESULTADOS	48
4. DISCUSSÃO.....	56
5. CONCLUSÕES.....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO III - IMPACTO DO TAMANHO DE PARTÍCULA, PROCESSAMENTO TÉRMICO, INCLUSÃO DE GORDURA E ADIÇÃO DE UMIDADE NA GELATINIZAÇÃO DE AMIDO DAS RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE	65
RESUMO:	65
ABSTRACT:	66
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAL E MÉTODOS	68
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4. CONCLUSÕES.....	78
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SPLITTING NA MODELAGEM DO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE RAÇÃO	82
RESUMO:	82
ABSTRACT:	84

1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	86
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4. CONCLUSÕES.....	92
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

CAPITULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

No processo de produção de rações é necessário reduzir e uniformizar o tamanho dos diferentes ingredientes a fim de garantir a homogeneização dos mesmos no misturador. A redução do diâmetro geométrico médio (DGM) dos grãos de 1200 a 1500 micra para 700 micra proporciona melhor homogeneidade de mistura das dietas (HERMMAN & BENHKE, 1994). Entretanto as aves, devido a sua anatomia que contempla um bico córneo e um estômago mecânico (moela), preferem um intervalo de DGM diferente daquele estabelecido como ideal pelo processo de manufatura de rações. Frangos de corte entre 8 a 16 dias de idade apresentam preferência por partículas com tamanho entre 1180 a 2360 micra e a medida que a idade avança a preferência se altera para partículas maiores que 2360 micra (PORTELA et al. 1988). Em relação aos índices zootécnicos, Dahlke et al. (2001) observaram que frangos de corte de 21 a 42 dias de idade alimentadas com rações com DGM variando de 336 a 1120 micra melhoraram o consumo de ração, ganho de peso e CA com o aumento da granulometria.

Para equacionar essa necessidade de limitar a granulometria dos ingredientes para garantir uma mistura homogênea com a preferência da ave em ingerir partículas maiores existe a alternativa de peletizar as rações. A peletização é uma etapa no processamento de rações na qual calor úmido (vapor) e força mecânica (compressão) são utilizados para agregar termoplasticamente a ração farelada, composta por partículas de tamanhos variados, em uma estrutura firme, de formato cilíndrico conhecido como pelete. Frangos de corte alimentados com peletes apresentam maior consumo de ração, melhor CA e maior ganho de peso quando comparada as aves que receberam alimentos na forma farelada (DOZIER, 2001; ZIGGERS, 2003; MATEOS et al., 2005; BUENO, 2006; CUTLIP, 2007). Entretanto essa melhor eficiência zootécnica só é atingida se houver a produção de peletes de boa qualidade capazes de manter sua integridade até o momento do consumo pelas aves. Peletes de baixa durabilidade não resistem às

forças de atrito, impacto e pressão (elevadores, redlers, helicóides, quedas) existentes ao longo dos processos de armazenamento, de transporte e de expedição da fábrica à granja (LOWE,2005; MINA BOAC et al., 2006). Como consequência, os peletes desintegram-se produzindo uma massa farinácea conhecida popularmente como “finos”. Esses finos prejudicam o desempenho animal uma vez que o seu DGM é igual ou menor do que a granulometria da ração farelada e, adicionalmente, sua análise proximal geralmente reflete desbalanceamento nutricional com alta concentração de minerais.

Inúmeros fatores podem afetar a qualidade de peletes: especificação nutricional da ração, granulometria de moagem, temperatura e tempo de condicionamento, umidade da ração, taxa de compressão da matriz da prensa, distância rolo e matriz da prensa, entre outros (COLOVIC et al., 2010). São possíveis diversas interações entre essas variáveis e, portanto a combinação entre elas pode alterar a resposta esperada de uma variável considerada individualmente. Farenholz (2012) aponta que os métodos de regressão multivariada e superfícies de resposta são ferramentas potenciais para modelar o comportamento individual e combinado desses fatores no processo de peletização. O controle preditivo baseado em modelo tem-se apresentado atualmente como uma das mais populares e eficientes estratégias de controle e tomada de decisão na indústria de processos. Isto ocorre porque muitos dos aspectos de monitoria industrial prática podem ser explorados no controle preditivo baseado em modelo, como a trajetória de referência futura, previsão de perturbações e a inclusão de restrições (SANTOS, 2003).

O objetivo do presente estudo foi empregar a regressão multivariada para obter um modelo matemático capaz de identificar e quantificar os efeitos da granulometria de moagem, do processamento térmico, da adição de umidade e da inclusão de gordura sobre a qualidade de peletes e propriedades da proteína e amido das rações processadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Equipamentos para condicionamento, expansão e peletização das rações

Em termos mecânicos, a peletização consiste em forçar uma massa farelada não compactada através dos furos de um anel metálico de aço carbono ou inox tendo como resultado a formação de estruturas cilíndricas mais densas do que a ração farelada (ZIGGERS, 2003). A peletização é realizada através do conjunto peletizador o qual é composto por uma rosca alimentadora, condicionador, retentor e prensa peletizadora.

A rosca alimentadora regula o volume de ração direcionada para o condicionador e ao mesmo tempo atua como uma barreira que evita o fluxo de vapor do condicionador para o silo da prensa. O tratamento térmico inicia no condicionador, no qual o vapor saturado agrega umidade e calor a massa farelada, de forma que esta atinja um estado físico favorável a compactação (FROETSCHNER, 2006a; COLOVIC et al., 2010). A energia na forma de calor é crítica para facilitar a transferência uniforme de umidade ao interior das partículas de ração. Normalmente ocorre aumento de 11 a 16°C na temperatura da ração condicionada para cada 10 g/kg de umidade adicionada (SCHROIJEN, 2005; FROETSCHNER, 2006a). Quando a incorporação de umidade por meio de vapor é insuficiente para atingir o percentual de umidade necessário ao processo, pode haver inclusão adicional de água na forma líquida previamente no misturador ou mesmo no condicionador (ZIEGERS, 2003). Posterior ao condicionador, opcionalmente, pode-se ter o retentor, que tem a função de aumentar o tempo de retenção da ração com finalidade de prolongar o tempo de exposição da ração farelada ao vapor. O retentor mantém a temperatura da ração próxima daquela do condicionador e com isso promove maior gelatinização do amido e redução da carga microbiológica (LARA, 2013).

No caso do processamento térmico com o expander tipo “annular gap” a ração, após passar pelo condicionador ou elo retentor, é direcionada para o interior de um cilindro oco e por meio

de uma rosca sem fim, a massa de alimento é impulsionada de uma extremidade a outra do cilindro. Na extremidade de saída existe um cone metálico, controlado hidraulicamente, que sela parcialmente a abertura e se contrapõe a saída da ração conduzida pela rosca sem fim. A ração é forçada pela rosca a fluir por essa abertura limitada, criando uma intensa força de atrito e pressão que resulta na produção de calor. Uma vez vencida a pressão do cone, a massa alimentar sai do expander com drástica redução da pressão, o que leva a evaporação espontânea e rápida de parte da umidade contida na massa de ração expandida. A temperatura na massa de ração pode atingir níveis altos (90-130°C) na extremidade de saída do expander, porém se trata de um processo rápido, que se completa em 2 a 10 segundos. A massa farelada que sofrerá a expansão deve ter preferencialmente umidade entre 16 a 18% (PRESTLOKEN & FÔRUTVIKLING - 2012).

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 pelete. Para que haja a produção de ração na forma de peletes a força motriz do rolo precisa ser maior que a resistência oferecida pela matriz da prensa contra a passagem de ração. As indentações 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 (ZIEGGER, 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 densidade próxima do pelete e comece a fluir pelos furos da matriz da prensa. A transformação da energia mecânica do motor da prensa em fricção e pressão eleva a temperatura da ração dentro da matriz da prensa. Quando a massa farelada condicionada com vapor passa pela matriz da prensa, o aumento na temperatura dessa massa não deve exceder 15°C, caso contrário é indicativo de que parte da energia mecânica está sendo desperdiçada sob a forma de calor de fricção (KULIG & LASKOWSKI, 2008).

2.2 Impacto do processamento de rações no desempenho de frangos de corte

2.2.1 Forma física

Os benefícios que o fornecimento de ração peletizada traz para o desempenho zootécnico de frangos de corte são extensamente relatados na literatura científica. Noble et al. (2005) avaliaram o efeito da ração peletizada e da ração farelada em frangos de corte entre 23 e 30 dias de idade. Na avaliação comportamental, esses pesquisadores observaram que nos boxes no qual as aves receberam ração peletizada, uma média de 4,25 e 62,49% das aves estava respectivamente ingerindo ração e em repouso, enquanto essas proporções foram de 18,82 % das aves ingerindo ração e 47,36% das aves em repouso nos boxes com ração farelada. Em relação aos índices zootécnicos, a ração peletizada proporcionou um consumo de ração 15,31% maior, uma CA 5,30% melhor e um ganho de peso 23,30% maior, em relação a ração farelada. Os autores concluíram que rações peletizadas proporcionaram melhoria do ganho de peso e CA, devido a menor energia gasta com atividades físicas e maior ingestão de ração. 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.

As diferenças nos índices zootécnicos em aves alimentadas com ração farelada e peletizada também foram reportados por Abdollahi (2011). Este pesquisador avaliou o efeito da forma física em frangos de corte na fase inicial e reportaram aumento de 10,3 e 13,7% no ganho de peso e consumo de ração e melhoria de 5,4% na CA ajustada para 1,0 kg de peso vivo nas aves que receberam ração peletizada comparada às aves alimentadas com ração farelada. Corzo et al. (2011) forneceram dietas a base de milho e farelo de soja para frangos de corte entre 14 a 42 dias com diferentes quantidades de peletes (0, 320 e 640 g/kg) e verificaram que a CA melhorou progressivamente de 1,78 a 1,71 e o peso corporal passou de 2,354 para 2,557 kgs.

O efeito negativo do percentual de finos da ração na metabolizabilidade dos nutrientes e da energia foi avaliado por Meurer (2009). Em seu estudo, frangos de corte Ross 308 entre 21 e 28 dias de idade (três dias de adaptação as dietas experimentais e quatro dias de coleta total de

excretas) foram alimentados com rações contendo 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 g/kg de finos, e o autor obteve as seguintes equações de predição 1) coeficiente de metabolizabilidade da proteína bruta (%) = $-0,0055 \cdot (\text{quantidade de finos g/kg}) + 78,68$ e 2) energia metabolizável aparente da ração (kcal/kg) = $-0,292 \cdot (\text{quantidade de finos g/kg}) + 3025,3$. Nestas equações observa-se que há redução linear da metabolizabilidade da proteína bruta e do conteúdo de energia metabolizável da ração proporcionalmente ao aumento no percentual de finos na ração. Em outro estudo conduzido por Hu et al. (2012), a presença de 500 g/kg de finos em uma ração comparada com outra isenta de finos, levou a uma queda no peso corporal aos 49 dias e do consumo de ração entre 15 a 49 dias de respectivamente 3,7% e 4,9%.

Cutlip et al. (2008) relataram que mesmo pequenas melhorias na qualidade de peletes podem influenciar positivamente o desempenho de frangos de corte, sendo que no estudo conduzido por esses pesquisadores 4,0 pontos percentuais de aumento no PDI refletiram em uma melhoria de 0,020 pontos na CA de frangos de corte Cobb 500 entre 21-38 dias de idade.

2.2.2 Tratamento térmico

López et al. (2007) avaliaram o efeito de três tipos de processamento térmico (sem processamento térmico ou farelada, condicionada/peletizada e condicionada/expandida/peletizada na metabolizabilidade da energia de frangos de corte machos Ross 308. Os parâmetros de operação utilizados neste experimento foram 60°C por 18 a 20 segundo no condicionador e 110°C por 15 a 20 segundo no expander. A energia metabolizável aparente das rações foram respectivamente de 3020, 3030 e 3060 kcal/kg para as rações farelada, condicionada/peletizada e condicionada/ expandida/peletizada. Os dados de desempenho aos 42 dias de idade confirmaram os ganhos verificados no ensaio de metabolismo mediante o tratamento térmico das rações; as rações fareladas, condicionada/peletizada e condicionada/ expandida/peletizada proporcionaram 2,597, 2,828 e 2,874 kg e 1,744, 1,719 e 1,706 respectivamente para peso corporal e CA.

De forma semelhante, o efeito das diferentes temperaturas de expansão na energia metabolizável das rações, foi avaliado por Lima (2007) em frangos de corte Cobb 500. Na fase de 15 a 19 dias de idade houve redução linear da energia metabolizável corrigida para o nitrogênio conforme as temperaturas de expansão subiram progressivamente de 80 para 100, 120 e 140°C (2937, 2900, 2806 e 2751 kcal/kg, respectivamente). O autor cita que o calor excessivo pode ter provocado aglomeração da proteína por ligações químicas cruzadas que não podem ser hidrolisadas pelas enzimas endógenas. Por outro lado, estes autores avaliaram o efeito dessas temperaturas de expansão sobre o desempenho zootécnico de frangos de corte Cobb 500 e observaram que temperatura de operação de 110 °C (estimativa obtida por LRP: linear negativa entre 80 a 110°C) otimizou a conversão calórica das aves.

2.3 Fatores que influenciam qualidade de peletes

2.3.1 Tamanho de partícula

Como conhecimento geral, entende-se que quanto mais fina a moagem dos ingredientes previamente a peletização, maior será a qualidade de pelete. A redução no tamanho de partículas resulta em aumento da área superficial em relação ao volume da partícula, o que leva a maior número de pontos de contato entre as partículas. Como resultado, há aumento nas forças de adesão interatômicas (forças de Van der Waals, dipolo-dipolo, pontes de hidrogênio), potencialização da força de capilaridade entre as fases sólido-líquido do pelete e penetração de calor e umidade até o centro da partícula de ração com menor tempo de tratamento térmico (CALIFORNIA PELLET MILL CO., 2012; BENHKE, 2013).

Dozier (2001) infere que em dietas para frangos de corte a base de milho e farelo de soja, o DGM ideal para durabilidade de peletes deve ficar ao redor de 650-700 micra. Além disso, deve se evitar que hajam partículas muito maiores que 1000 a 1500 micra que podem servir de pontos de rupturas do pelete (FRANKE & REY, 2006; MENDEZ & SANTOMA, 2008). A redução no diâmetro das partículas também aumenta a sua área superficial dentro do condicionador,

facilitando a transferência de calor e de umidade para a massa farinácea de ração (LOWE – 2005).

Existe controvérsia sobre o efeito do tamanho de partícula dos ingredientes na qualidade dos pelets. Fahrenholz (2012) avaliou rações formuladas com milho moído em duas granulometrias diferentes (298 micra e 462 micra) submetidas ao condicionamento (a 65 e 85°C) com subsequente peletização e não observaram diferenças na quantidade de peletes íntegros ou no PDI. Possivelmente a ausência de efeito da granulometria na qualidade de peletes observado por esse autor reside no fato que o intervalo de DGM avaliado (moagem fina) não foi suficiente para influenciar a qualidade dos peletes.

2.3.2 Adição de umidade

Tanto a água adicionada no misturador, como a água adicionada sob a forma de vapor durante o condicionamento, atuam como “cola” entre as partículas do pelete. Essa capacidade aglutinante tem como base as propriedades de capilaridade e tensão superficial da água (FROETSCHNER, 2006 a).

Moritz et al. (2002) avaliaram o efeito do tratamento térmico (condicionamento-peletização) sobre rações contendo 927 e 853 g/kg de matéria-seca e verificaram que os PDIs alcançados foram respectivamente de 56,5 e 82,2% sugerindo o efeito benéfico do maior teor de umidade sobre a qualidade de peletes. Em experimento realizado na Kansas State University, foi observado que quando se variou a umidade na massa de ração farelada no misturador de 120 a 150 g/kg, houve correlação altamente positiva entre esse teor de umidade da ração e o PDI (GREER & FAIRCHILD, 2010). Fairfield (2003) aponta que uma massa de ração com umidade de cerca de 140 g/kg, ajustado mediante adição de água no misturador, otimizou a operação da fábrica de ração e a durabilidade dos peletes. Moritz et al. (2003) avaliaram três níveis de adição de água (0, 25 e 50 g/kg) no misturador seguida de condicionamento por 10 segundos a 82,2°C e posterior peletização e observaram que o PDI aumentou progressivamente de 75,6 para 76,9 e

79,6% com os níveis crescentes de adição de umidade. Esses resultados estão de acordo com Buchanan (2008), que também observou efeitos positivos da adição de 20 e 40 g de água/kg de ração no misturador sobre a qualidade dos peletes. Abdollahi et al. (2012) verificaram que a adição de 24 g/kg de umidade em ração a base de trigo submetida na sequência a peletização a 60°C melhorou o PDI das rações de 67 para 73%.

Entretanto, essa água pode agir como substância lubrificante para reduzir o atrito entre a ração e a parede dos furos da matriz da prensa (SKOCH et al., 1981; ZIGGERS, 2003; CUTLIP et al., 2008; FARENHOLZ, 2012); o que pode impactar negativamente na durabilidade do pelete. Isso foi evidenciado no estudo conduzido por Colovic et al. (2010) que avaliaram diferentes relações altura da matriz / diâmetros de furos da matriz (18/6 mm, 36/6 mm e 48/6 mm) e o maior teor de umidade no último tratamento anulou a progressiva melhoria da durabilidade do pelete esperada com o aumento da altura da matriz. De forma semelhante Kulig e Laskowski (2008) reportaram que o aumento na temperatura de condicionamento da ração de 64,0 para 90,5°C, com a consequente maior agregação de umidade (na forma de vapor), minimizou o aquecimento da ração em virtude da ação lubrificante da umidade na matriz da prensa.

O limite superior para o conteúdo de umidade na massa condicionada ou condicionada-expandida é de 175 g/kg (FROETSCHNER, 2006 a), uma vez ultrapassado esse patamar de umidade a prensa peletizadora perde a capacidade produtiva. A água dificulta a formação da camada de ração compactada na área de compressão entre o rolo e a matriz da prensa; o rolo deixa de acompanhar a rotação da matriz da prensa e perde a capacidade de empurrar a ração para dentro dos furos da matriz (SCHROIJEN, 2005)

2.3.3 Inclusão de gordura

Geralmente, pode-se dizer que o alto teor de gordura produz peletes frágeis (THOMAS et al., 1998; BRIGGS et al., 1999; MORITZ et al., 2003; FAHRENHOLZ, 2012). 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 a 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). Portanto, a forma em que esta gordura é agregada na mistura é muito importante. Se a gordura estiver contida nas células da planta, então é relativamente melhor para a qualidade de pelete, do que misturas que possuem a gordura na superfície.

A adição de gordura deve ser limitada a um máximo de 5 a 10 g/kg na ração a ser peletizada se o objetivo for a produção de ração com alto percentual de peletes íntegros (LEAVER, 2008). Moritz et al. (2002) avaliaram dois níveis de adição de óleo (30 e 65 g/kg) em rações para frangos de corte e observaram que o PDI caiu de 81,6 para 62,1% com o aumento da gordura adicionada. Fairfield (2003) e California Pellet Mill Co. (2012) comentam que ao dosar mais de 20 g/kg de gordura no misturador, previamente a peletização reduz o percentual de peletes íntegros e o PDI em dietas de milho e farelo de soja. Da mesma forma Briggs et al (1999) reportaram que a medida que o extrato etéreo da ração passou de 29 pra 75 g/kg, o PDI foi reduzido de 88,8 para 57,2%. Na Tabela 1 pode ser verificado que a adição de níveis crescentes de gordura adicionada leva a uma piora gradual na qualidade de peletes (MCKINNEY & TEETER, 2002).

Tabela 1 - Efeito da gordura adicionada sobre a qualidade de peletes

Gordura livre adicionada (%)	Estimativa da qualidade de peletes (%)
0	90
1	82
2	78
3	71
4	68
5	49

Fonte: adaptado de MACKINNEY & TEETER (2001)

2.3.4 Processamento térmico: expander

O condicionamento seguido de expansão levou a uma melhor qualidade dos peletes quando comparado ao condicionamento simples (THOMAS et al., 1999). Estes autores avaliaram o efeito da pressão de vapor no condicionador entre 100 a 180 kPa, adição de água no condicionador entre 0 a 52,0 g/kg, velocidade da rosca do expander entre 60 a 120 rpm e energia consumida pelo motor do expander entre 1,3 a 5,7 kW sobre a qualidade de peletes e verificaram que os fatores que mais afetaram a durabilidade dos peletes foram a energia consumida pelo motor do expander e a pressão do vapor.

O efeito do tratamento térmico por meio do condicionamento da ração a 82°C por 20 segundos foi comparado com o condicionamento nas mesmas condições anteriores seguida de expansão desta ração a temperatura média de 121°C sobre a qualidade de peletes em dietas a base de milho (LUNDBLAD et al., 2009). Os autores observaram que o PDI das rações passou de 81,8 para 92,3%. Fancher et al (1996) compilaram dados de nove fábricas de rações norte americanas e compararam o PDI e produtividade das rações para frangos de corte e perus antes e após a instalação do expander e verificaram que os indicadores passaram de 72 para 89% e 30,7 para 37,1 toneladas por hora respectivamente para PDI e produtividade da linha.

2.4 Efeito do processamento de rações sobre as características químicas das rações

2.4.1 Gelatinização do amido

O grânulo de amido é composto por uma fração cristalina e outra amorfa e é nesta última porção no qual se inicia o processo de gelatinização devido a menor organização de sua estrutura (LUND & LORENZ, 1984). O processo de gelatinização do amido é favorecido pela presença dos seguintes fatores: a) água para enfraquecer e romper as ligações existentes dentro do grânulo, b) calor que favorece a entrada de água e a solubilização da amilose, c) atrito que fornece a força necessária para o rompimento dos grânulos e d) tempo que potencializa o efeito dos três fatores anteriores (THOMAS et al., 1999).

A gelatinização do amido é um processo irreversível, no qual a água se difunde para dentro do grânulo de amido, levando a ruptura das pontes de hidrogênio presente nas cadeias de amilose e amilopectina, aumento de tamanho do grânulo e extravasamento da amilose (LUND & LORENZ, 1984; HOLM et al., 1988; CORAL et al., 2009; MORITZ et al., 2005). White et al. (2008) reportaram também a ocorrência de mudanças nas propriedades ópticas do amido submetido ao tratamento térmico: a "Cruz de Malta" e o padrão de difração tipo A observável no amido quando este é submetido respectivamente a luz polarizada e ao raio X, desaparecem mediante a gelatinização, indicando que houve a perda da cristalinidade do material.

As rações a base de milho e farelo de soja demandam um maior tempo de condicionamento para que ocorra o “derramamento” da amilose e amilopectina dos grânulos de amido (gelatinização do amido) e sua posterior reorganização e coesão com as demais estruturas da ração (DOZIER, 2001). Conforme pode ser verificado na Tabela 2, o milho figura entre os cereais cujo amido apresenta uma das maiores temperaturas de gelatinização. Em países no qual a milho é um dos principais ingredientes de rações, a expansão de ração é um meio eficiente para melhorar o valor nutritivo do amido para ruminantes e não ruminantes (PRESTLOKEN & FÔRUTVIKLING, 2012).

Tabela 2 - Temperatura de gelatinização do amido proveniente de diferentes cereais

Amido de diferentes cereais	Temperature de Gelatinização °C
Milho	70-75
Sorgo	70-75
Arroz	68-75
Trigo	52-54
Cevada	61-62
Batata	56-69

Fonte: LAURISTON, 1996

A dissolução dos cristais de açúcar quando da adição de umidade e sua posterior recristalização após o resfriamento e secagem dos peletes cria “pontes sólidas” e aumenta a interação sólido-sólido entre as partículas. Para que ocorra a completa gelatinização do amido a água precisa estar numa proporção de 1,5:1 em relação ao amido, portanto em condições normais de peletização o percentual de água torna-se o limitante do processo de gelatinização (THOMAS

et al. , 1998; BUCHANAN, 2008). Entretanto em termos de durabilidade de peletes é possível que desde que haja a gelatinização do amido superficial das partículas, essa formação de material aglutinante levará a formação de bons peletes (THOMAS et al., 1998).

Goelema et at. (1999) submeteram leguminosas a diferentes tratamentos térmicos e observaram que o grau de gelatinização do amido passou de 11,3% em rações não tratadas termicamente para 18,5 e 22,0% respectivamente em dietas peletizadas e dietas expandidas-peletizadas. Abdollahi (2011) avaliou temperaturas de condicionamento de 60, 75 e 90°C seguida de peletização em dois tipos de dietas (a base de milho e a base de sorgo) e observou que os percentuais de amido gelatinizado foram de 16,0, 16,9 e 19,9% e 13,0, 11,9 e 15,3% respectivamente para dietas a base de milho e a base de sorgo.

O efeito positivo da água sobre a gelatinização do amido foi relatada por Moritz et al. (2001) que observaram que rações fareladas contendo 927 e 853 g/kg de matéria seca quando submetidas ao condicionamento-peletização apresentaram respectivamente 11,7 e 17,9% de amido gelatinizado. Da mesma forma Thomas et al. (1999) relataram no seu estudo que a gelatinização de amido foi mais afetada pela adição de água (0 a 52 g/kg) e pressão de vapor (níveis variando de 100 a 180 kPa) do que a velocidade de rotação da rosca (60 a 120 rpm) ou a potência aplicada no expander (1,3 a 5,7 kW). Entretanto, resultados diferentes foram obtidos por Abdollahi et al. (2012) na qual a adição de 2,4% de umidade em reações fareladas a base de trigo e condicionadas a 60°C refletiram em nenhum efeito significativo sobre a gelatinização do amido.

2.4.2 Solubilidade e digestibilidade protéica

A digestibilidade protéica dos ingredientes pode ser melhorada com o processamento térmico, por outro lado, quando altas temperaturas de processamento combinadas com alta inclusão de umidade são empregadas, podem ocorrer alterações na estrutura terciária e

quaternária da proteína, reduzindo a digestibilidade de proteínas e aminoácidos (PRESTLOKKEN & FÔRUTVIKLING, 2012).

A susceptibilidade da proteína dos grãos à desnaturação por temperatura foi reportada em diversas pesquisas. Malumba et al. (2009) avaliaram diferentes temperaturas de secagem (sem secagem, 54, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 e 130°C) do grão de milho e verificaram que o índice de solubilidade da albumina, globulina e zeína foram reduzidas significativamente devido a desnaturação protéica ocasionada pelo aumento da temperatura de secagem. De forma similar, Goelema et al. (1999) submeteram leguminosas a diferentes tratamentos térmicos e observaram que a solubilidade do nitrogênio em água passou de 61,8% em rações não tratadas termicamente para 50,7 e 48,7% respectivamente, em dietas peletizadas ou expandidas (parâmetros de operação do expander: 8 segundos a 114°C) seguidas de peletização. Neste sentido, Veloso et al. (2005) relataram que o farelo de soja teve sua solubilidade protéica em KOH reduzida de 805,7 para 641,2 g/kg de proteína após ser submetida a processamento com expander a temperatura de 130-136°C. Os autores mencionaram a possibilidade da expansão provocar a ligação da proteína do farelo de soja com o amido, tornando a proteína insolúvel. Creswell e 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.

Porém 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. Da mesma forma, López et al. (2007) avaliaram o efeito de três tipos de processamento térmico (sem processamento térmico ou farelada, condicionada/peletizada e condicionada/expandida/peletizada) em um ensaio de metabolismo com frangos de corte machos Ross 308 nas fases inicial e crescimento e não reportaram efeitos negativos do tratamento térmico sobre a qualidade da proteína da dieta. Os autores obtiveram, respectivamente, para

rações farelada, condicionada/peletizada e condicionada/ expandida/peletizada os seguintes coeficientes de metabolização da proteína bruta: 62,77; 63,79 e 64,36%

2.5 Parâmetros de avaliação de qualidade de peletes

O processo de degradação dos peletes normalmente está associado a três mecanismos: a) atrito ou abrasão: na qual partículas pequenas são removidas da superfície do pelete; b) fragmentação: na qual impactos intensos levam a quebra do produto em diversas partículas menores e c) lasqueamento: neste processo partículas grandes são removidas da superfície do produto (ZUNIGA, 2012). Peletes 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 à granja (CAVALCANTI & BEHNKE, 2005; MINA BOAC et al., 2006). As metodologias de avaliação da qualidade de peletes simulam esses diferentes mecanismos de degradação dos peletes e quantificam o percentual de finos. Neste sentido são utilizados o índice de durabilidade de peletes (PDI) e quantidade de peletes íntegros.

2.5.1 Índice de durabilidade de peletes

O PDI é um indicador da durabilidade de peletes e reflete a percentagem de peletes que mantiveram a sua integridade após ser submetidos a forças mecânicas. O PDI pode ser determinado por meio de diversas metodologias (Tabela 03).

Tabela 3 - Características das diferentes metodologias de determinação da durabilidade de peletes (adaptado de THOMAS & POEL, 1996)

Metodologia	Critério de avaliação		
	Repetibilidade	Força avaliada	
		Fragmentação	Abrasão
Kahl	--	Sim	Não
Schleuniger	- / +	Sim	Não
Pendulum	+	Sim	Não
Kramer	+	Sim	Sim/não
Pfost	+++	Não	Sim
Peneiramento	?	Sim/não	Sim
Holmen	+++	Sim	Sim

Repetibilidade avaliado como

+++ : CV 0-1%, ++ : CV 1-5%, + : CV 5-10%, - : CV 10-20%, -- : CV >20%

A metodologia Pfost é tipicamente empregada nos Estados Unidos (FROETSCHNER, 2006b) e no Brasil. Nesta metodologia os peletes são submetidos a impactos sucessivos simulando o estresse mecânico encontrado no transporte por elevadores, roscas e *redlers*. Na metodologia Pfost, 500 g de peletes 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 peletes de alternar o seu fluxo constantemente e após os 10 minutos de rotação contínua. O material é peneirado para determinar o percentual de peletes retidos na peneira dotada de furos redondos com 3,0 mm de diâmetro (LOWE, 2005). O teste Pfost determina a durabilidade do pelete submetendo os peletes a uma abrasão e cisalhamento entre os mesmos e contra a parede do equipamento e possui bom índice de repetibilidade (THOMAS & POEL, 1996).

O teste de Holmen, que também possui uma boa repetibilidade, simula o estresse pelo qual o pelete é submetido quando transportado por via pneumática. Por este motivo é largamente empregado na Europa no qual as fábricas de rações empregam sistemas pneumáticos de transporte (MINA BOAC, 2006). Neste teste uma amostra de 100 g de peletes 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 pelete 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). Entretanto, Fahrenholz (2012), observou que a metodologia baseada no recipiente rotativo (como o Pfof e KSU) resultou em avaliações de durabilidade de peletes mais consistentes e de maior repetibilidade que a metodologia Holmen. O autor aponta como possíveis causas, o volume de amostra utilizada nas duas metodologias (100 g versus 500 g) e também a simplicidade do teste de recipiente rotativo menos sujeita a erros de operação. Os demais métodos referenciados para determinação do PDI apresentam uma baixa repetibilidade nas mensurações realizadas (THOMAS & POEL, 1996).

2.5.2 Quantidade de peletes íntegros

A eficácia do processo de peletização em termos de qualidade de peletes pode ser expressa pelo percentual de peletes produzidos, o qual é inversamente proporcional a quantidade de finos no produto. A mensuração do percentual de peletes íntegros pode ser feita mediante o peneiramento da ração e consiste na separação da porção fina da porção grossa através de um recipiente perfurado ou uma malha submetida a agitação (ADVANTECH MANUFACTURING, INC., 2001).

A proporção de partículas de diferentes granulometrias pode ser mensurada por meio de uma técnica descrita pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (1997), na qual 100 g de amostra de ração é peneirada durante 15 minutos através de uma série de peneiras com aberturas variando de 4,750, 3,350, 2,360, 1,700, 1,180, 0,850, 0,600, 0,425, 0,300, 0,212, 0,150, 0,106, 0,075, 0,053 mm e fundo. Outro método simples e bastante difundido nas fábricas de rações consiste no peneiramento de 200 grs de ração utilizando peneira de furos redondos de 3 mm de diâmetro de acordo com os padrões estabelecidos por ISO 3310-2. Todo o material retido nessa malha é considerado pelete íntegro. Baseado na técnica do peneiramento, Lowe (2005) reportou um sistema "on-line" para avaliação de qualidade de peletes na qual uma amostra de aproximadamente 300 g de ração é coletada direta e automaticamente da linha de

produção (após a peletização) em intervalos regulares e submetida ao peneiramento para quantificação da porção de finos, mediante os resultados obtidos ajustes no processo industrial podem ser realizados.

Uma vez que os finos tendem a segregar com o movimento da ração, para que a mensuração do percentual de peletes seja representativa, deve ser realizada uma amostragem múltipla para calcular a média e o desvio padrão. Quando a amostragem é realizada imediatamente na descarga da prensa peletizadora, recomenda-se o cuidado de realizar coleta sempre na mesma posição e evitar que o excesso de peletes deslize para fora do coletor (WINOWSKI, 1995).

2.6 Aplicação da modelagem matemática em processos industriais

A modelagem de um processo consiste na obtenção de um modelo matemático capaz de representar adequadamente as características de interesse de uma planta em estudo. O modelo de um sistema pode ser obtido de duas formas, a partir das equações básicas do sistema desenvolvidas usando princípios físico-químicos (modelagem fenomenológica ou teórica) ou, a partir da análise estatística dos dados de entrada e saída do sistema em estudo (identificação de sistemas ou modelos empíricos) (SANTOS, 2003). De acordo com Teixeira (2010) existem técnicas clássicas de identificação de sistemas, baseadas na introdução de distúrbio tipo degrau ou rampa e o consequente ajuste dos dados de resposta a partir de uma equação de predição. Franke e Rey (2006) citam alguns fatores que afetam a qualidade de peletes, tais como a formulação da dieta, granulometria dos ingredientes, especificações dos equipamentos utilizados e parâmetros de operação, dentre outros e que podem ser considerados como os distúrbios introduzidos no processo.

Uma vez estabelecido um modelo matemático para o sistema em estudo é interessante a checagem da qualidade de predição desse modelo (SNEE, 1977; OREDEIN et al., 2011). A validação de um modelo implica na checagem da equação de predição contra um conjunto

independente de dados para verificar quão bem ele é capaz de predizê-lo (OREDEIN et al., 2011) e, portanto, uma das alternativas é a técnica conhecida como *splitting* ou validação cruzada. Conforme Snee (1977), Steckel e Vanhonacker (1993) e Kozak e Kozak (2003), nessa técnica os dados coletados (n) são divididos em dois grupos tal que: $n = n_m + n_v$; na qual n_m é o número de observações empregadas na construção do modelo e n_v é o número de observações utilizados para o cálculo dos resíduos da predição (validação). Ainda de acordo com os mesmos autores o conjunto de dados que serão utilizados na validação são designados aleatoriamente e usualmente compreendem entre 10 a 50% dos dados totais. Snee (1977) comenta que um das desvantagens da técnica de *splitting* é o aumento das variâncias dos coeficientes da equação. De acordo com esse autor o aumento nos erros padrões dos coeficientes estimados pode ser predito pela seguinte fórmula: % de aumento do erro padrão = $100((2n-1)/(n-1)^{1/2} - 1)$, na qual n é o tamanho dos dados de estimação e predição.

O controle preditivo baseado em modelo tem-se apresentado atualmente como uma das mais populares e eficientes estratégias de controle na indústria de processos. Isto ocorre porque muitos dos aspectos fundamentais num projeto de controle industrial prático podem ser explorados num controle preditivo baseado em modelo, como a trajetória de referência futura, previsão de perturbações e a inclusão de restrições (SANTOS, 2003).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de condicionamento térmico e peletização representam de 40 a 60% do custo de industrialização das dietas animais, constituindo-se numa das etapas mais custosas dentro de uma fábrica de rações. A melhoria da eficiência do processo de peletização para atingir o máximo percentual possível de peletes íntegros e com alto PDI tem sido foco contínuo de trabalho dos supervisores, engenheiros de produção e nutricionistas dentro da indústria de alimentação animal.

Estratégias envolvendo formulação de dietas, adição de umidade durante o condicionamento da ração, granulometria dos ingredientes e condicionamento térmico entre outros parâmetros de produção podem ser implementadas para melhorar a qualidade do peletes e incrementar a gelatinização do amido. A maximização da produção de peletes intactos e resistentes deve ser alcançada sem, no entanto prejudicar as características nutricionais dos alimentos processados. A desnaturação da proteína presente nos alimentos pode ocorrer quando os ingredientes são submetidos a tratamentos térmicos. A solubilidade protéica em KOH é uma metodologia *in vitro* que pode ser utilizada para comparar o efeito dos diferentes tratamentos térmico sobre as dietas.

Quando inúmeros fatores qualitativos e quantitativos estão presentes dentro de um processo de manufatura, a identificação de efeitos isolados e combinados dos fatores é laborioso. Neste sentido a regressão múltipla constitui uma ferramenta de modelagem de processos bastante promissora. A regressão múltipla é uma técnica estatística que busca a previsão da variável resposta (qualidade de peletes ou solubilidade protéica) através de um conjunto de variáveis independentes (adição de umidade, granulometria de moagem, condicionamento térmico e adição de gordura). Quanto mais significativo for o efeito de uma variável específica ou de um conjunto de variáveis independentes é possível a identificação das estratégias mais eficazes em provocar a resposta desejada.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHI, M. R., RAVINDRAN, V., WESTER, T. J., RAVINDRAN, G., THOMAS, D. V. **Effect of improved pellet quality from the addition of a pellet binder and/or moisture to a wheat-based diet conditioned at two different temperatures on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broilers.** Anim. Feed Sci. Technol. (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.05.001>. 2012

ABDOLLAHI, M. R. **Influence of feed processing on the performance, nutrient utilisation and gut development of poultry and feed quality.** Thesis. Poultry Nutrition. Massey University, Palmerson North, New Zealand. 2011

ADVANTECH MANUFACTURING, INC. **Test Sieving: Principles and Procedures.** Disponível em <http://www.advantechmfg.com/pdf/principles_procedures_manual_with_tables-2.pdf>. Acesso em 20/07/2013. 2001

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving.** ANSI/ASAE S319.3 Feb 03. 1997

BEHNKE, K. C. **The Art (Science) of Pelleting.** American Soybean Association. May 23 - June 10. 2005

BRIGGS, J. L., MAIER, D. E., WATKINS, B. A., BEHNKE, K. C. **Effect of Ingredients and Processing Parameters on Pellet Quality.** Poultry Science 78:1464–1471. 1999

BUCHANAN, N. P. **Diet Formulation and Manufacturing Technique Interactions Affect Pellet Quality and Broiler Growth.** Thesis. Division of Animal and Nutritional Sciences, West Virginia University, Morgantown 26506. 2008.

BUENO, F. L. **Efeito da forma física, granulometria (DGM) e adição de óleo em dietas iniciais de frangos.** Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Veterinárias, curso de Pós Graduação em Ciências Veterinárias do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2006

CALIFORNIA PELLET MILL CO. **The pelleting process.** Disponível em <http://ww1.prweb.com/prfiles/2012/01/09/9090113/Animal%20Feed%20Pelleting.PDF>. Acesso em 19/07/2013. 2012

CAVALCANTI, W. B., BEHNKE, K. C. **Effect of Composition of Feed Model Systems on Pellet Quality: A Mixture Experimental Approach. II.** Cereal Chem. 82(4):462–467, Vol. 82, Number. 4. 2005

COLOVIC, R., VUKMIROVIC, D., MATULAITIS, R., BLIZNIKAS, S., UCHOCKIS, V., JUSKIENE, V., LEVIC., J. Food and Feed Research, n.1, 1-6. 2010

CORZO, A., MEJIA, L., LOAR II, R.E. **Effect of pellet quality on various broiler production parameters.** doi: 10.3382/japr.2010-00229. J. Appl. Poult. Res. 20 :68–74, 2011

CRESWELL, D., BEDFORD, M. **High pelleting temperatures reduces broiler performance.** Aust. Pout. Sci. Symp. 2006

CUTILP, S. E. **The Effect of Steam Conditioning Practices on Pellet Quality and Growing Broiler Nutritional Value.** Tese submetida a Davis College of Agriculture, Forestry, and Consumer Sciencesna West Virginia University como parte do requerimento para obtenção do título em Mestre em Ciência e Nutrição Animal. Morgantown, West Virginia. 2007.

DAHLKE, F., RIBEIRO, A. M. L., KESSLER, A. M., LIMA, A. R. **Tamanho da partícula do milho e forma física da ração e seus efeitos sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte.** Rev. Bras. Cienc. Avic., v.3, n.3. doi 10.1590/S1516-635X2001000200006. 2001

DOZIER III, W. A. **Cost effective Pellet quality for meat birds.** Feed management. v. 52, n. 2. February 2001

FAHRENHOLZ, A.C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability.** Manhattan, Kansas. Teseapresentada no Kansas Universty.Department of Grain Science and Industry104 fls. 2012.

FAIRFIELD, D. A. **Pelleting for Profit** - Feed and Feeding Digest. National Grain and Feed Association Part 1. Volume 54, Number 6, November 13. 2003

FANCHER, B. I., ROLLINS, D., TRIMBEE, B. **Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance.** J. Appl. Poultry Res. 5, 386-394. 1996

FRANKE, M., REY, A. **Improving pellet quality and efficiency.** Feed Tech, volume 10, number 3. 2006

FROETSCHNER, J. **Conditioning controls pellet quality.** Feed Tech Volume 10, Number 6. 2006 a

FROETSCHNER, J. **The quest for perfect pellet.** Feed Tech Volume 10, Number 5. 2006 b

GOELEMA, J.O., SMITS, A., VAESSEN, L.M., WEMMERS, A. **Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on in vitro and in situ parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans.** Animal Feed Science and Technology 78, 109-126, 1999

GREER D., FAIRCHILD F. **Cold mash moisture control boosts pellet quality.** Disponível em <<http://www.agricheminc.com/pdfs/cold%20mash.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2010.

HERMMAN, T., BEHNKE, K. **Testing Mixer Performance. Feed manufacturing.** Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Kansas State University. 1994

HU, B. STARK, C. R., BRAKE, J. **Evaluation of crumble and pellet quality on broiler performance and gizzard weight.** J. Anim. Vet. Advanc. v. 11, n. 14 2453-2458. 2012

ISO 3310-2 **Test sieves—technical requirements and testing—Part 2: test sieves of perforated metal plate.**

KOZAK, A., KOZAK, R. **Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models?** Can. J. For. Res. n. 33, p. 976–987. 2003.

KULIG, R., LASKOWSKI, J. **EFFECT OF CONDITIONING PARAMETERS ON PELLET TEMPERATURE AND ENERGY CONSUMPTION IN THE PROCESS OF PLANT MATERIAL PRESSING.** TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN, 8a, 105–111. 2008

LARA, M. A. M. **Processo de produção de ração – Moagem, mistura e peletização.** Disponível em < <http://nftalliance.com.br/assets/Uploads/Artigo-Unifrango-2.pdf>>. Acesso em 21/07/2013.

LAURISTON, R. **Gelatinization Temperatures for Adjuncts.** P ostadopara HBD #2092, 7/9/96, porrobtrisch@mindlink.bc.ca. 1996

LEAVER, R. H. **The pelleting process.** Andritz Sprout. Disponível em <http://www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf>.. Acesso em 19/07/2013.

LIMA, M. F. **Efeitos da temperatura de expansão e da peletização no valor energético de rações para frangos de corte.** Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Animal. 2007

LOPEZ, C. A. A., BAIÃO, N. C., LARA, L. J. C., RODRIGUEZ, N. M., CANÇADO, S. V. **Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte.** Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.59, n.4, p.1006-1013, 2007

LOWE, R. **Judging pellet stability as part of pellet quality.** Feed Tech, volume 9, number 2. 2005

LUNDBLAD, K.K., HANCOCK, J.D., BEHNKE, K.C., PRESTLØKKEN, E., MCKINNEY, L.J., SØRENSEN, M., 2009. **The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander.** Anim. Feed Sci. Technol., 150, 295–302.

MALUMBA, P., JANAS, S., MASIMANGO, T., SINDIC, M., DEROANNE, C., BÉRA, F. **Influence of drying temperature on the wet-milling performance and the proteins solubility indexes of corn kernels.** Journal of Food Engineering 95, 393–399, 2009.

MATEOS, G.G., VALENCIA, D. G., PIQUERAS, B. V. **INFLUENCIA DEL PROCESADO DE INGREDIENTES Y PIENSOS TERMINADOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD EN MONOGÁSTRICOS.** Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid. MADRID. XXI CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA. 2005

MCKINNEY, L.J., TEETER, R.G. **Caloric value of pelleting.** Cobb-Vantress, Inc. Technical Focus. 2002

MENDEZ, J. R. I. E., SANTOMA, G. **Feed Manufacturing.** The Nutrition of the Rabbit. Cab International (2008).

MEURER, R. F. P. **Avaliação de diferentes formas físicas de rações para o frango de corte.** Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2009

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R. G.; CASADA, M. E. **Durability and Breakage of Feed Pellets during Repeated Elevator Handling.** ASABE Annual International Meeting. ASABE. Portland, Oregon. 2006.

MORITZ, J. S., WILSON, K. J., CRAMER, K. R., BEYER, R. S., MCKINNEY, L. J., CAVALCANTI, W. B., MO, X. **Effect of Formulation Density, Moisture, and Surfactant on Feed Manufacturing, Pellet Quality, and Broiler Performance.** J. Appl. Poult. Res. 11:155–163, 2002.

MORITZ, J. S., CRAMER, K. R., WILSON, K. J., BEYER, R. S. **Feed Manufacture and Feeding of Rations with Graded Levels of Added Moisture Formulated to Different Energy Densities.** J. Appl. Poult. Res. 12:371–381. 2003

NOBLE, D. O. S., 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 84:403–411. 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**, v.11, n.6, 2011. Disponível em < https://globaljournals.org/GJSFR_Volume11/1-On-Validating-Regression-Models-with-Bootstraps.pdf>. E-ISSN : 2249-4626. Print ISSN : 0975 - 5896. Acesso em mai.. 2013.

PORTELA, F.J., CASTON, L.J., LEESON, S. **Apparent feed particle size preference by broilers.** Can. J. Anim. Sci., 68:923-930. 1988.

PRESTLOKKEN, E., ORUTVIKLING, F. 2012. Expander treatment. **HFE 305 Feed Manufacturing Technology**. http://www.umb.no/statisk/iha/kurs/nova/feed_technology/4.pdf. On line 2012

SANTOS, J. E. **CONTROLE PREDITIVO NÃO-LINEAR PARA SISTEMAS DE HAMMERSTEIN**. Projeto de Tese de Doutorado submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos do Exame de Qualificação. Florianópolis. 2003. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~santos/Qualify/Qualify_JESS.pdf.> Acesso em 15 de outubro de 2010.

SCHOROIJEN, H. **Correct conditioning assures proficient pelleting**. Feed Tech Volume 9, Number 5. 2005

SKOCH, E., BEHNKE, R., K., DEVOE, C., BINDER, C. W., S. F. **The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process**. Anim. Feed Sci. Technol. 6:83. 1981

SNEE, R.D. Validation of Regression Models: Methods and Examples. **Technometrics**, v.19,n.4. p.415-428, 1977. Disponível em <<http://links.jstor.org/sici?sici=0040-1706%28197711%2919%3A4%3C415%3AVORMMA%3E2.0.CO%3B2-6>> Acesso em abr. 2013.

STECKEL, J.H.; VANHONACKER, W.R. **Cross-Validating Regression Models in Marketing Research**. Marketing Science. v.12, n.4. p 415-427. 1993. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/183938>> Acesso em mai. 2013. ISSN: 07322399. E-ISSN: 1526548X

TEIXEIRA, G. M. **APLICACÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS FRACIONÁRIAS AO CONTROLE DE COLUNAS DE ABSORÇÃO**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de Concentração em Modelagem, Simulação, Otimização e Controle de Processos, Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Curitiba. 2010

THOMAS, M., HUIJNEN, P. T. H. J., VAN VLIET, T., VAN ZUILICHEM, D. ., VAN DER POEL, A. F. B. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79, 1481-1494. 1999

THOMAS, M., POEL, A.F.B. van der. **Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality**. Animal Feed Science Technology 61. 1996.

THOMAS, M., VILLET, T. van, POEL, A.F.B. van der. **Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuffs components**. Animal Feed Science Technology 70. 1998.

VELOSO, J. A. F.; MDEIROS, S. L. S.; AROUCA, C. L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; SALIBA, E. O. S.; OLIVEIRA, S. G., 2005. **Composição química, avaliação físico-química e nutricional e efeito da expansão do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento**. Arq. Bras. M. Vet. Zoot., 57, 5, 623-633.

WINOWSKI, T. S. **Pellet quality in animal feeds**. American Soybean Association. Technical Bulletin, vol. FT21. 1995.

WHITE, G. A., DOUCET, F. J., HILL, S. E., WISEMAN, J. **Physicochemical changes to starch granules during micronisation and extrusion processing of wheat, and their implications for starch digestibility in the newly weaned piglet**. *Animal*, 2:9, 1312–1323. 2008

ZIGGERS, D. **Die determines the pellet production**. *Feed Tech* Volume 7, Number 8. 2003

ZUNIGA, R.;PEREZ, E. **Measuring physical quality of pellets and extrudates: a material science approach**. CIEN Austral (Center for Nutritional Research). Puerto Montt, Chile. Disponível em <http://www.cienaustral.cl/wp-content/uploads/2011/11/rzuniga_vicam1.pdf>. Acesso em jan. 2012

CAPITULO II – IMPACTO DO TAMANHO DA PARTÍCULA, PROCESSAMENTO TÉRMICO, INCLUSÃO DE GORDURA E ADIÇÃO DE UMIDADE NA QUALIDADE DE PELETES E SOLIBILIDADE PROTEÍCA DAS RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO:

O presente estudo avaliou o efeito do tamanho da partícula de ração, processamento térmico, vários níveis de inclusão de gordura e adição de umidade na qualidade do peletes e solubilidade protéica no hidróxido de potássio (**KOH**) em uma dieta baseada em milho, farelo de soja e produto de origem animal. Os diferentes fatores de processamento foram combinados em um esquema fatorial 2 x 4 x 4 x 2 em blocos ao acaso constituído por oito séries de produção: dois tamanhos de partículas (grosso: 1041 micra e médio: 743 micra), quatro níveis de inclusão de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração), quatro níveis de adição de umidade (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração) e dois processamentos térmicos (condicionamento-peletização ou condicionamento-expansão-peletização), os quais resultaram em 64 combinações diferentes de rações processadas. Os dados foram transformados usando a transformação de Box-Cox de forma que os dados tenham uma distribuição normal ($p > 0,05$). A adição de umidade (0-21g/kg) melhorou a qualidade dos peletes das dietas ($p < 0,05$). O condicionamento-expansão-peletização das dietas melhorou o PDI e a quantidade de peletes intactos em 26% e 31% respectivamente ($p < 0,05$), quando comparadas a um condicionamento simples. A quantidade de peletes intactos reduziu de 773 a 746 g/kg de ração ($p < 0,05$), à medida que o tamanho da partícula aumentou de médio para grosso. A qualidade dos peletes foi reduzida com a inclusão de níveis de gordura maiores do que 35g/kg de alimento. O condicionamento-expansão-peletização (a 110°C) diminuiu a solubilidade protéica ($p < 0,05$) em KOH quando comparada ao processo de condicionamento-peletização (a 80-82°C). O condicionamento-expansão-peletização das dietas, a adição de umidade até o nível de 21 g/kg de ração e a limitação da inclusão de gordura até 25 g/kg são estratégias efetivas para melhorar a qualidade de peletes.

Palavras-chave: gordura, peletes; ração; térmico, umidade.

IMPACT OF PARTICLE SIZE, THERMAL PROCESSING, FAT INCLUSION AND MOISTURE ADDITION ON PELLET QUALITY AND PROTEIN SOLUBILITY OF BROILER FEEDS

ABSTRACT:

The present study evaluated the effect of feed particle size, thermal processing, several levels of fat inclusion and moisture addition on pellet quality and protein solubility in potassium hydroxide (**KOH**) in a corn, soybean meal and animal by products based broiler diets. The different processing factors were combined in a 2 x 4 x 4 x 2 factorial arrangement in a eight randomized block design consisting of eight production series: two particle sizes (coarse: 1041 microns and medium: 743 microns), four fat inclusion levels at the mixer (15, 25, 35 and 45 g/kg of feed), four moisture addition levels in the conditioner (0, 7, 14 and 21g/kg of feed), and two thermal processing treatments (conditioner-pellet press treatment or conditioner-expander-pellet treatment) which resulted in 64 different processed feeds. The data were transformed using a variation of Box-Cox transformation in order to fit a normal distribution ($p > 0,05$). Adding moisture up to 21g/kg of feed in the conditioner improved pellet quality of the diets ($p < 0,05$). Expansion of diets before pelleting improved ($p < 0,05$) PDI and amount of intact pellets by 26% and 31% respectively as compared to a simple conditioning-pelleting feed processing. Expander treatment (at 110°C) decreased ($P < 0,05$) protein solubility in KOH from 686 to 645 g/kg total protein as compared to pelleting process (at 80-82°C). The amount of intact pellets reduced from 773 to 746 g/kg of feed ($p < 0,05$) as particle size increased from medium to coarse grinding. Pellet quality was significantly reduced with fat inclusion levels higher than 35 g/kg of diet. The expansion of the diets, the limitation of added fat up to 25 g/kg, medium grinding and addition of water up to 21 g/kg are efficient strategies to enhance pellet quality.

Key words: fat, feed, moisture, pellet, thermal

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do processo de peletização é transformar uma massa farinácea em agregados cilíndricos por meio do uso de calor úmido (vapor) e força mecânica (compressão). Os peletes devem ser duráveis o suficiente para resistir à compressão, impacto e forças de abrasão que ocorrem durante o manuseio e estocagem na fábrica e transporte para as granjas (CAVALCANTI & BEHNKE, 2005; MINA-BOAC et al., 2006).

Muitos fatores podem afetar a qualidade do peletes de uma ração. Como exemplo, o tamanho das partículas dos ingredientes tem um papel importante no processo de peletização. Dozier (2001) observou que em uma dieta de milho e farelo de soja para frangos, o tamanho da partícula deveria ser de aproximadamente 650 a 700 micra para maximizar o PDI. Partículas maiores que 1000 ou 1500 micra se tornam pontos de fraturas no peletes (FRANKE & REY, 2006; MENDEZ & SANTOMA, 2008). Da mesma forma, a gordura adicionada à ração, quando em excesso, reduz a qualidade do peletes (THOMAS et al.; 1998; BRIGGS et al., 1999; MORITZ et al., 2003). O efeito negativo da gordura na peletização decorre do fato de que a mesma reduz a fricção entre as paredes da matriz da prensa e os ingredientes da ração, levando a uma redução da compressão sobre as partículas de ração dentro dos furos da matriz da prensa (KULIG & LASKOWSKI, 2008; FAHRENHOLZ, 2012) Fairfield (2003) sugere que em uma dieta de farelo de soja e milho, a gordura adicionada à mistura antes da peletização não deve exceder 20g/kg de ração, a fim de limitar seus efeitos negativos na qualidade dos peletes. Moritz et al. (2003) relataram efeitos positivos de adicionar água (25 e 50g/kg de ração) no misturador sobre o PDI das rações. Abdollahi et al. (2012) também verificaram que a adição de 24g de umidade/kg de ração quando esta foi condicionada a 60°C, melhorou o PDI de 56,5 para 67,2%.

A digestibilidade da ração pode ser melhorada com o processamento térmico (ex.: temperatura, umidade, pressão e tempo); entretanto, quando excessivo, o processamento em altas temperaturas pode reduzir a digestibilidade ou a solubilidade *in vitro* da proteína da ração (PRESTLOKKEN & FÔRUTVIKLING, 2012). Neste sentido, Veloso et al. (2005) reportaram

que a solubilidade protéica do farelo de soja em hidróxido de potássio (**KOH**) diminuiu de 805,7 a 641,2 g/kg de proteína após o tratamento com expandir a uma temperatura de 130-136°C.

Algumas estratégias podem ser implementadas para melhorar a qualidade do peletes. É importante avaliar a efetividade dessas alternativas para garantir a agregação das partículas e a formação de peletes resistentes sem no entanto prejudicar as características nutricionais dos alimentos para animais. A produtividade e a lucratividade da indústria de frangos podem ser aumentadas com a aplicação correta dessas estratégias. O objetivo do presente estudo é avaliar o tamanho da partícula, a umidade adicionada durante o condicionamento, nível de gordura na dieta e o uso de dois métodos de processamento térmico na qualidade do peletes e na solubilidade protéica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Processamento da ração

As dietas experimentais foram manufaturadas em uma fábrica de ração de uma empresa integradora de frangos de corte, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A ração era baseada em farelo de soja, milho e produtos de origem animal.

Todos os ingredientes foram pesados e submetidos a pós-moagem em moinho de martelos (Buhler VHM com 16 martelos – 10 ton/hora produção/unidade x 6 unidades) com peneiras com furos de 5,00 mm de diâmetro. Os diferentes tamanhos de partículas foram obtidos alterando a velocidade de rotação dos moinhos, uma vez que os mesmos eram equipados com um controle de rotação variável dos martelos (3600 rotações por minuto para moagem média e 1800 rotações por minuto para moagem grossa). Todos os componentes da dieta foram misturados em um misturador do tipo pás (Buhler DFML 8000L). O tempo de mistura foi dividido em três fases: mistura seca (45 segundos), adição de líquidos (60-90 segundos) e mistura úmida (25 segundos). As diferentes adições de gordura na dieta (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração) foram obtidas adicionando a gordura ao misturador durante a fase de adição de líquidos (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das dietas experimentais

Ingredientes (g/kg)	Gordura adicionada (g/kg)			
	15 g/kg	25 g/kg	35 g/kg	45 g/kg
Milho	673,45	663,45000	653,45	643,45
Farelo de Soja 46% CP	235,00	235,00	235,00	235,00
Farinha Subproduto de Aves	40,00	40,00	40,00	40,00
Gordura	15,00	25,00	35,00	45,00
Farinha de Penas	10,00	10,00	10,00	10,00
Calcário	9,50	9,50	9,50	9,50
Lisina Líquida	4,10	4,10	4,10	4,10
Sal	3,00	3,00	3,00	3,00
Metionina Líquida	2,90	2,90	2,90	2,90
Fosfato Bicalcio	2,00	2,00	2,00	2,00
Bicarbonato de Sódio	1,50	1,50	1,50	1,50
Premix Vitamínico ^a	1,20	1,20	1,20	1,20
Cloreto de Colina	0,90	0,90	0,90	0,90
Premix Mineral ^b	0,85	0,85	0,85	0,85
Treonina	0,60	0,60	0,60	0,60
Receita Total (kg)	1000	1000	1000	1000
	Composição química (%)			
Umidade	10,1	10,2	10,0	10,3
Proteína bruta	19,9	19,7	19,9	19,8
Extrato etéreo	5,0	6,1	6,9	7,9
Matéria mineral	5,8	5,3	4,4	5,7
Fibra bruta	2,1	2,2	2,3	2,1

^aFornecido por kg de dieta completa: 7000 IU de vitamina A. 2000 IU de vitamina D3. 25 IU de vitamina E. 2.0 mg de menadiona. 4.0 mg de riboflavina. 25.0 mg de niacina. 12.0 mg de ácido d-pantotenico. 4.0 mg de vitamina piridoxina. 0,01 mg de vitamina B12. 1.0 mg de ácido fólico e 0.08 mg de biotina.

^bFornecido por kg de dieta completa: 10 mg de cobre como sulfato de cobre. 1 mg de iodo como iodato de cálcio. 60 mg de ferro como sulfato ferroso. 70 mg de manganês como sulfato de manganês. 0.3 mg de selênio como selenito de sódio, e 70 mg de zinco como sulfato de zinco.

Para as dietas submetidas ao tratamento correspondente ao condicionamento-expander-peletização, a ração foi condicionada por 15 segundos a 80-82°C sob pressão de vapor de 1,5-2,0 bar em condicionador padrão. Na sequência, a ração foi direcionada para um expander (Kahl Expander, Model 38,2, 2000 mm de comprimento e 400 mm de diâmetro, com um consumo de energia de 11-13 kwatt/ton/hora e 65 bars de pressão no cone). A retenção da ração no expander ocorreu por tempo médio de 5 segundos e à uma temperatura média de 110°C (temperatura calculada). Após a expansão as rações foram direcionadas para a prensa peletizadora (Buhler, Model DPAS - matriz de prensa de 660 mm de diâmetro, furos de 60 mm de profundidade e 4,5

mm de diâmetro e sem alívio). Para o tratamento constituído no condicionamento-peletização, as dietas foram condicionadas a vapor e na sequência, essas dietas foram direcionadas à prensa peletizadora usando os mesmos parâmetros de operação que foram aplicados para o tratamento condicionamento-expansão-peletização. A adição dos níveis diferentes de umidade no condicionador foi realizada por meio de um sistema automático de adição de água (Kahl WD-GLI15, temperatura da água de 60°C e pressão da água de 3-6 bar). A correta adição da umidade para cada tratamento foi verificada mediante sensores de umidade colocados ao final do condicionador e também por meio da coleta de amostras na entrada da prensa peletizadora (uma amostra composta para cada nível de umidade adicionada) as quais foram submetidas a determinação de umidade em estufa a 105°C.

Produção e amostragem da ração

O experimento foi baseado em um delineamento em blocos ao acaso, constituído por oito séries de produção repetidas ao longo de oito semanas do período experimental. Os quatro fatores principais (dois tamanhos de partícula, quatro níveis de adição de umidade, quatro níveis de inclusão de gordura e dois tipos de processamento térmico) foram combinados em um esquema fatorial 2 x 4 x 4 x 2, totalizando 64 combinações diferentes as quais foram replicadas oito vezes (oito séries de produção).

Os pontos de amostragem foram: 1) na descarga do misturador: no qual uma amostra composta da ração farelada, para cada tratamento e série de produção, foram coletadas para determinação de tamanho de partícula, quantidade de umidade e checagem da composição bromatológica; 2) anterior à prensagem dos peletes: no qual uma amostra composta da ração foi coletada para monitoramento da quantidade de umidade para cada tratamento e série de produção e 3) entre a prensa peletizadora e o resfriador: no qual oito amostras compostas de ração peletizada (uma amostra em cada série de produção), correspondendo a oito repetições, foram analisadas para qualidade dos peletes, quantidade de umidade, composição química e

solubilidade protéica em KOH. Uma concha em aço inoxidável com cabo de 40 cm foi usada para a coleta da ração e as amostras foram embaladas em sacos plásticos identificados individualmente.

A temperatura média do ambiente e umidade relativa do ar, ambas mensuradas no local no qual a prensa se localizava, tabuladas durante o período experimental (novembro a dezembro de 2012) foram respectivamente, de 24° e 62%.

Análise da ração

As rações foram analisadas para os seguintes parâmetros químicos e físicos:

- PDI: determinado de acordo com o Método S269.4 dos Padrões ASAE (MINA-BOAC *et al.* - 2006).
- Quantidade de peletes intactos: 200g de ração foi peneirado em uma tela de 3,0 mm com furos redondos e a porção de ração que é retida nesta tela é considerada como peletes intactos.
- A solubilidade protéica em KOH: determinada de acordo com o método prescrito por Parsons *et al.* (1991).
- Conteúdo de umidade: determinada de acordo com o Método 930.15 referenciado na Associação de Químicos Analíticos Oficial Internacional (1998).
- Tamanho das partículas: determinadas de acordo com o método referenciado pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrônomos e Biológicos (ASABE, 2006).

Análise estatística

O modelo estatístico considerou os blocos (séries de produção), os fatores (tamanho das partículas, tipo de processamento térmico, níveis de gordura e adição de umidade), as interações entre os fatores e o erro residual: $Y_{ijklm} = \mu + PR_h + PS_i + TP_j + F_{lk} + MA_l + (PS \times TP)_{ij} + (PS$

$x FI)_{ik} + (PS \times MA)_{il} + (TP \times FI)_{jk} + (TP \times MA)_{jl} + (PS \times TP \times FI)_{ijk} + (PS \times TP \times MA)_{ijl} + (PS \times FI \times MA)_{ikl} + (TP \times FI \times MA)_{jkl} + (PS \times TP \times FI \times MA)_{ijkl} + \epsilon_{hijklm}$.

Na qual: Y_{hijklm} = a característica (PDI ou quantidade de peletes intacto ou solubilidade em KOH) da amostra de ração, μ = média da população, PR_h = efeito da série de produção (h = série de produção 1 a 8), PS_i = efeito do tamanho da partícula (i = tamanho de partícula médio ou grossa), TP_j = efeito do processamento térmico (j = condicionamento-peletização ou condicionamento-expansão-peletização), Fl_k = efeito de inclusão de gordura (k = 15, 25, 35 e 45 g/kg de ração), MA_l = efeito da adição de umidade (l = 0, 7, 14 e 21 g/kg de ração), e ϵ_{ijklm} = erro residual.

O modelo linear geral (GLM) foi empregado para analisar os efeitos de fatores qualitativos e quantitativos presentes no modelo estatístico. O pacote estatístico Statistica versão 8.0 (StarSoft, Inc.) foi usado para realizar a análise de variância dos dados coletados. O teste Anderson-Darling foi usado para checar a normalidade dos resíduos do modelo estimado para a quantidade dos peletes intactos, PDI e solubilidade protéica em KOH. De acordo com Razali e Wah (2011), os testes Shapiro-Wilk e Anderson-Darling são os testes mais poderosos de normalidade seguidos pelos testes Lilliefors e Kolgomorov-Smirnov. O teste Hartley F-Max foi usado para checar a homoscedasticidade dos dados dentro de cada fator principal. O método da eliminação backward foi utilizado para remover os fatores não-significativos das equações de predição. Efeitos lineares e quadráticos devido à adição de umidade e gordura à ração foram determinados por regressão linear. A significância dos testes realizados foi aceita se $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS

Os resíduos para a quantidade de peletes intactos, PDI e solubilidade protéica não seguiram uma distribuição normal (teste Anderson-Darling $p < 0,05$). Para ajustar estes resíduos em uma distribuição Gaussiana, esses dados foram submetidos à transformação Johnson (variante da transformação Box-Cox): 1) quantidade de peletes intactos = $-0,4984 + 0,6016 \cdot \ln(\text{quantidade}$

de peletes intactos g/kg - 460,565)/(929,921- quantidade de peletes intactos g/kg)); 2) PDI = - 0,4998 + 0,7980*Ln((PDI % - 47,6941)/(95,8331- PDI%)) e 3) solubilidade protéica em KOH = -0,3310 + 2,6324*Asinh (solubilidade protéica em KOH g/kg - 64,790)/15,074). Todas as análises estatísticas foram realizadas com base nos dados transformados.

O teste Hartley, realizado para a quantidade de umidade, PDI, a porcentagem de peletes e solubilidade protéica em KOH, mostrou variância similar dentro de cada parâmetro (F-max foi menor que o F-crítico em um nível de significância de 0,05).

Os tamanhos das partículas da dieta obtidos nas dietas testadas foram, respectivamente, de 1041 micra para a moagem grossa e 743 micra para a moagem média. A quantidade de umidade média das amostras de ração moída anteriores ao condicionamento, foi de 102 g/kg de ração. As amostras de ração coletadas antes da prensa peletizadora ratificaram que a adição de umidade no condicionador (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração) aumentou a quantidade de umidade da ração antes da peletização para 130, 138, 145 e 151 g/kg de ração, em média. O conteúdo de umidade das amostras coletadas na saída da prensa peletizadora e previamente ao resfriador foi 7g/kg maior para o tratamento condicionador-expander do que para o tratamento somente no condicionador (146 e 139 g de umidade/kg de ração, respectivamente). A solubilidade protéica (KOH) das amostras de ração moída antes do tratamento de processamento térmico e o farelo de soja usado nesta pesquisa apresentaram uma média de 705 e 819 g/kg de proteína, respectivamente.

Inicialmente, os dados foram analisados conforme o modelo estatístico original constituído por blocos ao acaso em um esquema fatorial 2 x 4 x 2 (Tabela 2). Na sequencia o método backward foi empregado para eliminar os fatores não significativos do modelo (Tabelas 3 e 4).

Tabela 2. Efeito do processamento térmico (TP), tamanho da partícula (PS), adição de umidade (MA) e inclusão de gordura (FI) na qualidade do peletes e solubilidade protéica em KOH das dietas

Fatores	Peletes Intactos (g/kg)	PDI (%)	Sol. Prot. KOH (g/kg)
Principais Efeitos			
Processamento Térmico			
Peletizado	657	69	686
Expandido-Peletizado	861	87	645
P	<0,001	<0,001	<0,001
Tamanho da Partícula			
Médio	773	78	673
Grosso	746	78	662
P	<0,001	0,587	0,050
Adição de Umidade (g/kg)			
0	706	73	674
7	741	78	670
14	776	80	669
21	807	82	664
Efeitos	Linear	Quadratico	Sem Efeito
P	<0,001	0,002	0,934
Inclusão de Gordura (g/kg)			
15	780	87	641
25	802	77	687
35	770	77	696
45	679	71	653
Efeitos	Quadratico	Quadratico	Quadratico
P	<0,001	<0,001	<0,001
Séries de Produção (1 to 8)			
P	0,948	0,900	0,165
Probabilidades de Interações			
PS x TP	0,068	<0,001	<0,001
PS x MA	0,45	0,358	<0,001
PS x FI	0,752	<0,001	0,031
TP x MA	<0,001	0,151	0,486
TP x FI	<0,001	<0,001	0,050
MA x FI	<0,001	0,283	0,423
PS x TP x FI	0,663	<0,001	<0,001
PS x TP x MA	0,899	0,024	<0,001
PS x MA x FI	0,206	0,513	<0,001
TP x FI x MA	0,089	0,181	0,141
PS x TP X FI x MA	0,563	0,010	0,001
R2	0,944	0,863	0,341
Grau de liberdade do resíduo	487	487	487
P	< 0,001	< 0,001	<0,001
Erro padrão da média	39.153	46.454	53.674

Tabela 3. Equação de regressão para a quantidade de peletes intactas ajustada pelo método de eliminação backward

Peletes Intactos (transformação Johnson)	$Y = -1,7699 + 0,1172*FI \text{ (g/kg)} - 0,0026*FI(g/kg)^2 - 0,4417*PS + 0,8977*TP + 0,0124*MA \text{ (g/kg)} + 0,1749*PS*TP + 0,0149*PS*MA \text{ (g/kg)} + 0,0111*TP*FI \text{ (g/kg)} + 0,0189*TP*MA \text{ (g/kg)} + 0,00046*FI \text{ (g/kg)}*MA \text{ (g/kg)}$		
R2	0,942		
Modelo (probabilidade)	< 0,001		
Erro padrão da média	0,232		
Fatores	probabilidade	coeficientes	erro padrão
Tamanho de partícula (PS)	<0,001	-0,4417	0,0172
Processamento termico (TP)	<0,001	0,8977	0,0326
Adição de Gordura (FI)	<0,001	0,1172	0,0064
FI^2	<0,001	-0,0026	0,0001
Adição de umidade (MA)	<0,001	0,0124	0,0038
PS*TP	<0,001	0,1749	0,0103
PS*MA	<0,001	0,0149	0,0013
TP*FI	<0,001	0,0111	0,0009
TP*MA	<0,001	0,0189	0,0013
FI*MA	<0,001	0,0005	0,0001

PS = 0 se médio, 1 se grande

TP = 0 se condicionado-peletizado, 1 se condicionado-expandido-peletizado

Tabela 4. Equação de Regressão para Índice de Durabilidade de peletes ajustado pelo método de eliminação backward

PDI (transformação Johnson)	$Y = 1,5315 + 0,0680* MA \text{ (g/kg)} - 0,0011* MA \text{ (g/kg)} ^2 - 0,1203* FI \text{ (g/kg)} + 0,00073* FI \text{ (g/kg)} ^2 - 1,1420044*PS + 0,829193562*TP + 0,0391*PS* FI \text{ (g/kg)} + 0,0256*TP* FI \text{ (g/kg)}$		
R2	0,853		
Modelo (probabilidade)	<0,001		
Erro padrão da média	0,431		
Coeficientes	probabilidade	coeficientes	erro padrão
Tamanho de partícula (PS)	<0,001	-1,142	0
Processamento termico (TP)	<0,001	1	0
Adição de Gordura (FI)	<0,001	0	0
FI^2	<0,001	0,0007	0,0039
Adição de umidade (MA)	<0,001	0,068	0,0116
MA^2	<0,004	-0,0011	0,0002
PS*FI	<0,001	0,0391	0,0017
TP*FI	<0,001	0,0256	0,0017

PS = 0 se médio, 1 se grande

TP = 0 se peletizado, 1 se peletizado-expandido

Tabela 5. Equação de regressão para solubilidade protéica em hidróxido de potássio ajustada pelo método de eliminação backward

Solubilidade Proteica (transformação Johnson)	$Y = -2,4867 + 0,2082 * FI (g/kg) - 0,0033 * FI (g/kg) ^2 - 0,1661 * PS - 0,6094 * TP$		
R2	0,265		
P	<0,001		
Erro padrão da média	0,859		
Coefficientes	probabilidade	coeficiente	erro padrão
Tamaho de partícula (PS)	0,005	0,208	0,078
Tratamento térmico (TP)	<0,001	-0,609	0,078
Adição de gordura (FI)	<0,001	0,208	0,023
FI^2	<0,001	-0,003	0,001
PS = 0 se médio, 1 se grande			
TP = 0 se condicionado-peletizado, 1 se condicionado-expandido-peletizado			

Qualidade dos peletes

A quantidade de peletes intactos aumentou literalmente ($P < 0,001$) com os crescentes níveis de adição de umidade no condicionador. Os dados obtidos no presente estudo mostraram um aumento de 101g de peletes intactos/kg de ração à medida que a água adicionada no condicionador aumentou de 0 a 21 g/kg de ração. Houve interação entre os diferentes níveis de adição de umidade e os demais fatores de processamento (Figura 1).

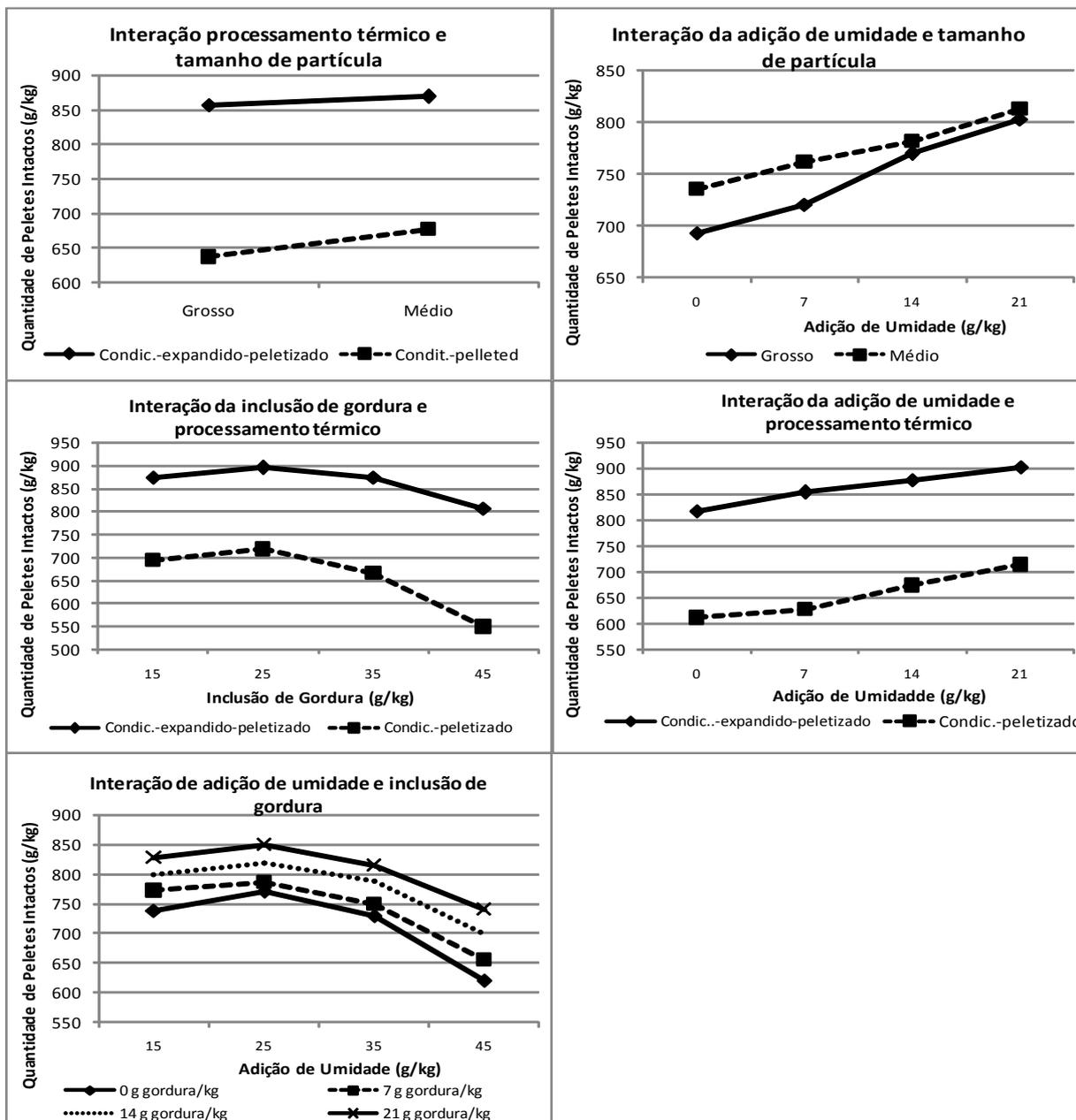


Figura 1. Interação do processamento térmico, tamanho de partícula, adição de umidade e inclusão de gordura na quantidade de peletes intactos (g/kg de ração)

Quando a umidade foi adicionada no condicionador (0 a 21 g/kg de ração), a ração com moagem grossa apresentou um aumento na quantidade de peletes íntegros de 693 para 803 g/kg de ração. Já na ração com partículas médias, a quantidade de peletes aumentou de 735 a 812 g/kg de ração. O processamento térmico também interagiu com o efeito da umidade na quantidade de peletes intactos. Nas rações condicionadas-expandidas-peletizadas, a adição de umidade de 0 a

21 g/kg de ração aumentou a quantidade de peletes intactos de 817 a 901 g/kg de ração. O ganho observado em quantidade de peletes intactos nas rações condicionadas-peletizadas, nesses mesmos níveis de adição de umidade, foi de 611 para 714 g/kg de ração. Um efeito quadrático (curva côncava) da adição de umidade no PDI dos peletes foi também confirmado no presente estudo ($p < 0,001$).

O maior tamanho das partículas prejudicou a quantidade de peletes intactos quando comparado às partículas de tamanho médio. À medida em que a granulometria de moagem mudou de médio para grosso, a quantidade de peletes intactos foi reduzida de 773 para 746 g/kg de ração. Houve uma interação entre o tamanho das partículas e processamento térmico; o efeito negativo das partículas de maior diâmetro na quantidade de peletes intactos foi mais pronunciado para as rações condicionadas-peletizadas do que para rações condicionadas-expandidas-peletizadas. O aumento do tamanho das partículas diminuiu a quantidade de peletes intactos de 677 para 636 g/kg e de 868 para 856 g/kg respectivamente, para os tratamentos condicionamento-peletização e condicionamento-expansão-peletização. No presente estudo, a moagem média das rações teve um efeito negativo marcante na quantidade de peletes intactos à medida que a inclusão de gordura aumentou de 25 a 45 g/kg de ração. Uma interação entre o tamanho das partículas e inclusão de gordura foi observada para o PDI (Figura 2). O aumento na inclusão de gordura de 25 para 35 g/kg na ração com moagem média aumentou o PDI, tal comportamento não foi observado na ração submetida a moagem grossa.

A ração submetida ao condicionamento-expansão-peletização resultou em uma quantidade maior de peletes intactos e PDI (861 g/kg de ração e 86,9%), comparada ao condicionamento-peletização (657 g/kg de ração e 68,8%). Também houve um efeito combinado de processamento térmico e inclusão de gordura. O PDI nas rações condicionadas-peletizadas diminuiu de 82,6 a 60,0%, à medida em que a inclusão de gordura aumentou de 15 para 45 g/kg de ração, este efeito negativo da inclusão de gordura nas rações condicionadas-expandidas-peletizadas foi de 91,0 a 82,2% (Figura 2).

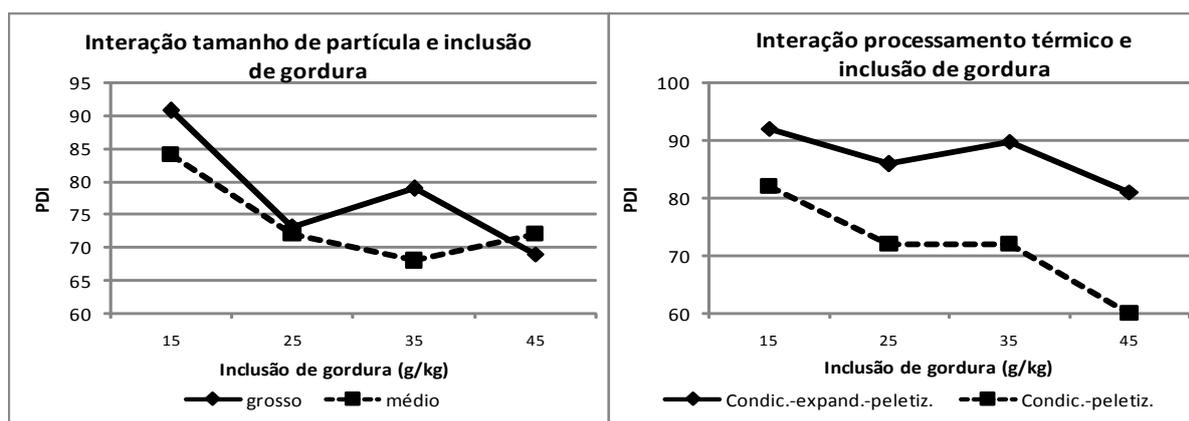


Figura 2. Interação do processamento térmico, tamanho de partícula e inclusão de gordura no PDI (%)

Igualmente, a quantidade de peletes intactos nas rações condicionadas-expandidas-peletizadas diminuiu de 874 para 807 g/kg de ração à medida em que a inclusão de gordura aumentou de 15 para 45 g/kg de ração respectivamente, enquanto no rações condicionadas-peletizadas, a quantidade de peletes foi reduzida de 694 para 550 g/kg de ração com o aumento no nível de inclusão de gordura de 15 para 45 g/kg, respectivamente.

A inclusão de gordura teve um efeito quadrático ($p < 0,05$), tanto na quantidade de peletes intactos (curva convexa) quanto no PDI (curva côncava). A quantidade de peletes intactos diminuiu rapidamente à medida em que a inclusão de gordura ultrapassou 35 g/kg de ração, enquanto o PDI mostrou um forte declínio, à medida em que os níveis de inclusão de gordura excederam 15 g/kg de ração.

Solubilidade protéica

A solubilidade protéica das dietas diminuiu no tratamento condicionamento-expansão-peletização (645 g/kg de proteína), quando comparada ao tratamento condicionamento-peletização (686 g/kg de proteína). Dietas submetidas a moagem grossa mostraram menor solubilidade protéica em KOH (662 g/kg de proteína), quando comparadas às dietas de moagem média. A inclusão de gordura teve efeito quadrático (curva côncava) na solubilidade protéica em

KOH, a solubilidade protéica atingiu seu nível mais alto à medida em que a inclusão de gordura aumentou para 35 g/kg de ração.

4. DISCUSSÃO

Ajustes no modelo

No presente estudo, após aplicação do método da eliminação backward para o modelo completo, as interações entre os fatores ficaram limitadas a 2ª ordem (combinação de dois fatores). Os modelos resultantes da eliminação backward apresentaram valores de R² próximos àqueles do modelo original para o PDI (0,863 e 0,853, respectivamente, para os modelos original e backward) e a quantidade de peletes intactos (0,944 e 0,942, respectivamente, para os modelos original e backward). Os valores de R² de solubilidade protéica em KOH diferiram após e antes da eliminação backward, e mantiveram um R² baixo (0,341 e 0,265, respectivamente, para os modelos original e backward).

Adição de umidade

O nível de umidade na ração processada neste estudo foi maior do que os valores médios da indústria de rações, uma vez que as amostras foram coletadas previamente ao resfriador. A adição de água resultou em um efeito linear e positivo ($p < 0,05$) na quantidade de peletes intactos e uma resposta quadrática no PDI. Resultados similares foram encontrados por Moritz et al. (2003) e Buchanan e Moritz (2009), que avaliaram, respectivamente, a adição de 25 a 50 g e 20 a 40 g de umidade/kg de ração e observaram um efeito positivo na qualidade do peletes. Lundblad et al (2009), concluíram que a adição de 0 a 30 g de água/kg de ração farelada antes do condicionamento aumentou o PDI de 84 a 89% em dietas para suínos com base em milho. Entretanto, Hott et al. (2008), não observaram diferença significativa na qualidade do peletes de dietas para frangos, quando uma mistura de umidade-inibidor fúngico foi adicionada à ração na proporção de 0 a 20 g/kg de ração.

No presente estudo houve uma interação entre a adição de umidade e tamanho das partículas, a adição de umidade teve um efeito mais pronunciado na moagem grossa do que na moagem mais fina. Como os crescentes níveis de adição de umidade à ração com moagem grossa (0 a 21 g/kg de ração), a quantidade de peletes intactos aumentou 15,8%, enquanto essas quantidades aumentaram 10,4% na ração de partículas de tamanho médio. A adição de água provavelmente aumentou a qualidade dos peletes devido à sua propriedade capilar, a qual ajuda a manter as partículas unidas (THOMAS & VAN DER POEL, 1996). A interação entre o tamanho das partículas e a adição de umidade pode ser explicada pelo fato de que, uma vez que as interações entre partículas enfraquecem proporcionalmente ao tamanho das partículas, a propriedade capilar da umidade na qualidade do peletes se torna mais significativo para as partículas de tamanho grande do que para as de tamanho médio.

Assim como no presente estudo, Lundblad et al (2009), relataram que, à medida que a água era adicionada em uma proporção de 0 a 30 g/kg de ração, houve aumento no PDI de 79 para 87%, e de 92 para 94%, respectivamente, para as rações condicionadas-peletizadas e condicionadas-expandidas-peletizadas.

Tamanho das partículas e qualidade dos peletes

Partículas de tamanho médio resultaram em uma quantidade maior de peletes intactos quando comparados a partículas grossas. Esta observação está de acordo com Dozier (2001), que verificou que em dietas a base de farelo de soja e milho, o tamanho de partícula ideal é de aproximadamente 650-700 micra. Adicionalmente, Franke e Rey (2006) e Mendez et al. (2008) reportaram que o aumento do tamanho das partículas afetou negativamente a qualidade dos peletes. Uma vez que a força de união entre os sólidos pode ser calculada pela equação de Laplace (força de união = $2 \times \text{superfície de tensão do líquido} / \text{diâmetro da partícula} / 2$), o aumento no tamanho das partículas enfraquece as ligações na estrutura dos peletes (THOMAS & VAN DER POEL, 1996).

O efeito positivo da moagem média na qualidade dos peletes foi observada somente nas rações condicionadas-peletizadas. No tratamento baseado em condicionamento-expansão-peletização, os diferentes tamanhos de partículas não afetaram a quantidade de peletes intactos; neste tratamento as mudanças na textura da ração devido a temperatura, pressão e umidade do expander provavelmente sobrepujaram os pontos de ruptura constituídas pelas partículas grossas.

Processamento térmico e qualidade dos peletes

A quantidade de peletes intactos e PDI foram, respectivamente, 31% e 26% maior nas rações condicionadas-expandidas-peletizadas quando comparadas as rações condicionadas-peletizadas. Estes resultados estão de acordo com Fanher et al (1996), que reportaram uma pesquisa realizada em fábricas de rações norte-americanas, a qual indicou que as dietas processadas no expander antes da peletização, quando comparadas ao condicionamento-peletização convencionais, aumentaram a qualidade dos peletes em 15 a 25% . Adicionalmente, Van der Poel et al. (1997), relataram que o condicionamento-expansão-peletização claramente aumentou a durabilidade do peletes e a dureza do peletes em uma dieta para suínos contendo mandioca, ervilhas e farelo de soja, quando comparadas ao condicionamento-peletização simples. Uma vez que as rações condicionadas-expandidas-peletizadas foram submetido a um tratamento adicional de calor (a ração foi submetida a 5 segundos a uma temperatura média de 110°C) e pressão (o consumo de energia no expander foi de 11-13 kwatt/ton de ração/hora), estes parâmetros de processamento podem ter levado à maior gelatinização do amido e compressão no expander resultando em peletes mais resistentes.

Inclusão de gordura e qualidade dos peletes

Os efeitos negativos da inclusão de gordura na qualidade de peletes verificados no presente estudo estão de acordo com as observações relatadas por Mackinney et al (2001), os quais relataram que, à medida em que a inclusão de gordura aumentou de 0 para 50 g/kg de ração, a quantidade de peletes intactos na ração diminuiu de 900 para 490 g/kg de ração. Moritz et al

(2003), também observou efeitos negativos similares da inclusão de gordura na qualidade dos peletes: à medida em que a adição de gordura variou de 36 para 50 g/kg de ração, o PDI diminuiu de 75 para 54%. Estes autores reportaram que esse aumento na inclusão de óleos resultou em redução do atrito e aumento no fluxo da ração através prensa, diminuindo o amido gelatinizado de 196 para 100 g/kg de ração e comprometendo a resistência do peletes.

Solubilidade protéica

Foi observado que as rações condicionada-peletizadas apresentaram maior solubilidade protéica em KOH quando comparadas as rações condicionadas-expandidas-peletizadas. Goelema et al (1999) submeteram uma mistura de ervilhas trituradas, tremoço e favas a diferentes processamentos térmicos, e reportaram que a dispersibilidade protéica e solubilidade do nitrogênio na água foram reduzidos significativamente após expansão (redução de 14,4% e 14,2% pontos percentuais em relação a dieta não submetida ao tratamento térmico), quando comparadas ao condicionamento simples (redução de 10,1% e 11,1% pontos percentuais em relação à ração não submetida ao tratamento térmico). Malumba et al (2009), submeteram grãos de milho à diferentes temperaturas de secagem (54 e 130°C), e verificaram que temperaturas altas de secagem induzem insolubilização das proteínas solúveis em sal. Neste mesmo sentido, Veloso et al (2005), relataram que ao submeter farelo de soja à expansão a 130-136°C diminuiu a solubilidade protéica em KOH de 80,57% para 64,12%.

No presente estudo, a ração com moagem médio quando submetida ao tratamento térmico apresentou maior solubilidade protéica em KOH ($p < 0,05$) do que a ração com moagem grossa. Em contraste, Benhke (2001) alegou que a penetração do calor e da umidade é mais eficiente em partículas menores com uma área de superfície maior por unidade de peso. De acordo com este autor, a proteína presente nas partículas menores deveria ser submetida a gradientes térmicos mais altos, com a consequente desnaturação de proteína. Uma vez que a solubilidade protéica em KOH é um método aplicado preferencialmente para ingredientes protéicos como o farelo de soja,

mas não usualmente para dietas compostas, é importante considerar as observações deste estudo como dados exploratórios.

5. CONCLUSÕES

O condicionamento-expansão-peletização das dietas, a adição de umidade até o nível de 21 g/kg de ração e a limitação da inclusão de gordura até 25 g/kg são estratégias efetivas para melhorar a qualidade de peletes. Partículas grossas afetam negativamente a qualidade de peletes, sendo que seu efeito é mais pronunciado nas rações condicionadas-peletizadas. A solubilidade protéica em KOH é reduzida nas rações submetidas a condicionamento-expansão-peletização quando comparada ao condicionamento-peletização simples.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T.J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D.V. **Effect of improved peletes quality from the addition of a peletes binder and/or moisture to a wheat-based diet conditioner at two different temperatures on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broilers.** Anim. Feed Sci. Technol. , 175, 150-157. 2012
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLGICAL ENGINEERS (ASABE). **Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving.** American National Standard Institute S319.3 Feb. 03. 2006
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL (AOAC). **Method 930.15** in Official Methods of Analysis, 16th ed. AOAC, Arlington, VA. 1998.
- BEHNKE, Keith, C. **Factors influencing pellet quality.** Feed Tech Volume 5, Number 4. 2001.

BRIGGS, J. L., MAIER, D. E., WAKINS, B. A., BEHNKE, K. C. **Effect of Ingredients and Processing Parameters on Peletes Quality.** *Poult. Sci.*, 78, 1464–1471. 1999.

BUCHANAN, N. P., MORITZ, J. S. **Main effects and interactions of varying formulation protein, fiber, and moisture on feed manufacture and peletes quality.** *J. Appl. Poult. Res.*, 18, 274–283. 2009.

CAVALCANTI, W. B., BEHNKE, K. C. **Effect of Composition of Feed Model Systems on Peletes Quality: A Mixture Experimental Approach. II.** *Cereal Chemistry*, 82, 462–467. 2005.

DOZIER, III, W. A. **Cost effective Peletes quality for meat birds.** *Feed Management*, 52, number 2. 2001.

FAIRFIELD, D. A. **Pelleting for Profit - Feed and Feeding Digest.** *National Grain and Feed Association Part 1*, 54, Number 6. 2003.

FANCHER, B., I.; ROLLINS, D.; TRIMBE, B. **Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance.** *J. Appl. Poult. Res.*, 5, 386–394. 1996.

FAHRENHOLZ, A. C. **Evaluating factors affecting peletes durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating peletes durability.** Thesis presented in Kansas Universtiy. Manhattan, Kansas. 2012.

FRANKE, M.; REY, A. **Improving peletes quality and efficiency.** *Feed Tech*, 10, number 3. 2006.

GOELEMA, J.O., SMITS, A., VAESSEN, L.M., WEMMERS, A. **Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on in vitro and in situ parameters of protein and starch**

in a mixture of broken peas, lupins and faba beans. Anim. Feed Sci. Technol., 78 109-126. 1999.

HOTT, J.M., BUCHANAN, N.P., CUTLIP, S.E., MORITZ, J.S. **The effect of moisture addition with a mold inhibitor on peletes quality, feed manufacture, and broiler performance.** J. Appl. Poult. Res., 17, 262–271. 2008.

KULIG, R., LASKOWSKI, J., 2008. **Effects of conditioning parameters on peletes temperature and energy consumption in the process of plant material pressing.** Teka Kom. Mot. Energ. Roln. – Ol Pan, 8a, 105–111. 2008

LUNDBLAD, K.K., HANCOCK, J.D., BEHNKE, K.C., PRESTLØKKEN, E., MCKINNEY, L.J., SØRENSEN, M. **The effect of adding water into the mixer on peletesing efficiency and peletes quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander.** Anim. Feed Sci. Technol., 150, 295–302. 2009.

MACKINNEY, L.J., SKINNER, N. D.O., TEETER, R.G. **Peletes quality effects on broiler growth and efficiency.** Oklahoma Agriculture Experiment Station Report. 2001

MALUMBA, P., JANAS, S., MASIMANGO, T., SINDIC, M., CLAUDE, D., BÉRA, F. **Influence of drying temperature on the wet-milling performance and the proteins solubility indexes of corn kernels.** J. Food Eng., 95, 393–399. 2009.

MENDEZ, J.; R. I. E.; SANTOMÁ, G. **Feed Manufacturing.** The Nutrition of the Rabbit. Cab International. 2008.

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R.; G.; CASADA, M., E. **Durability and Breakage of Feed Peletes during Repeated Elevator Handling.** ASABE Annual International Meeting. ASABE. Portland, Oregon. 2006.

MORITZ, J. S., CRAMER, K. R., WILSON, K. J., BEYER, R. S., **Feed Manufacture and Feeding of Rations with Graded Levels of Added Moisture Formulated to Different Energy Densities.** J. Appl. Poult. Res., 12, 371–381. 2003.

PARSONS, C. M., HASHIMOTO, K., WEDEKIND, K. J., BAKER, D. H. **Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality.** J Anim Sci. 69, 7, 2918-24. 1991.

PRESTLOKKEN, E., FÔRUTVIKLING, F. **Expander treatment.** HFE 305 Feed Manufacturing Technology. http://www.umb.no/statisk/iha/kurs/nova/feed_technology_/4.pdf. Accessed Feb. 2012. 2012.

RAZALI, N. M., WAH, Y. B. **Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolgomorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests.** J. Statistic. Model. and Anal., 1, 21-33. 2011.

THOMAS, M., VAN DER POEL, A.F.B. **Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality.** Animal Feed Science Technology 61. 1996.

THOMAS, M., VILIET, T. van, POEL, A.F.B. van der. **Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuffs components.** Animal Feed Science Technology 70. 1998

VAN DER POEL, A.F.B., FRANSEN, H.M.P., BOSCH, M.W., **Effect of expander conditioning and/or peletesing of a diet containing tapioca, pea and soybean meal on the total tract digestibility in growing pigs.** Anim. Feed Sci. Technol., 66, 289–295. 1997.

VELOSO, J. A. F.; MEDEIROS, S. L. S.; AROUCA, C. L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; SALIBA, E. O. S.; OLIVEIRA, S. G. **Composição química, avaliação físico-química e nutricional e efeito da expansão do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento.** Arq. Bras. M. Vet. Zoot., 57, 5, 623-633. 2005.

CAPÍTULO III - IMPACTO DO TAMANHO DE PARTÍCULA, PROCESSAMENTO TÉRMICO, INCLUSÃO DE GORDURA E ADIÇÃO DE UMIDADE NA GELATINIZAÇÃO DE AMIDO DAS RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO:

O presente estudo avaliou o efeito do tamanho da partícula da ração, processamento térmico, diferentes níveis de inclusão de gordura e da adição de umidade no grau de amido gelatinizado em uma dieta para frangos à base de milho-soja. Os diferentes fatores de processamento foram combinados em um esquema fatorial 2 x 4 x 4 x 2 com três blocos ao acaso, constituído de três series de produção: dois tamanhos de partículas (grande: 1041 micra e médio: 743 micra), quatro níveis de inclusão de gordura no misturador (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração), quatro níveis de adição de umidade no condicionador (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração) e dois tratamentos de processamento térmico (condicionamento-peletização ou condicionador-expander-peletizador). Adição de umidade em até 21 g/kg de ração no condicionador aumentou linearmente a quantidade de amido gelatinizado ($p < 0,05$). O condicionamento-expansão-peletização das dietas (a 110°C) aumentou ($P < 0,05$) o grau de gelatinização de amido de 32,0 para 35,3% quando comparado ao tratamento condicionamento-peletização (a 80-82°C). O conteúdo de amido gelatinizado aumentou de 30,2 para 37,2% na ração ($p < 0,05$) devido ao aumento do tamanho da partícula de moagem média para grande. A inclusão de gordura teve um efeito quadrático ($p < 0,05$) na gelatinização do amido. A adição de umidade, tratamento com expander e a moagem grossa aumentaram o grau de gelatinização do amido das rações.

Palavras-chave: condicionamento; expander; gelatinização, umidade, amido

IMPACT OF PARTICLE SIZE, THERMAL PROCESSING, FAT INCLUSION AND MOISTURE ADDITION ON STARCH GELATINIZATION OF BROILER FEEDS

ABSTRACT:

The present study evaluated the effect of feed particle size, thermal processing, several levels of fat inclusion and moisture addition on the amount of gelatinized starch in a corn-soybean broiler diet. The different processing factors were combined in a 2 x 4 x 4 x 2 factorial arrangement in a three randomized block consisting of three production series: two particle sizes (coarse: 1041 microns and medium: 743 microns), four fat inclusion levels at the mixer (15, 25, 35 and 45 g/kg of feed), four moisture addition levels in the conditioner (0, 7, 14 and 21g/kg of feed), and two thermal processing treatments (conditioner-pelleting or conditioner-expander-pelleting). Adding moisture up to 21g/kg of feed in the conditioner increased linearly the amount of gelatinized starch ($p < 0,05$). The conditioner-expander-pelleting treatment of the diets (at 110°C) increased ($P < 0,05$) degree of starch gelatinization from 32,0 to 35,3 % compared to conditioner-pelleting treatment (at 80-82°C). The gelatinized starch content increased from 30,2 to 37,2% in the feed ($p < 0,05$) as the particle size increased from medium to coarse grinding. The fat inclusion had a quadratic effect ($p < 0,05$) on starch gelatinization. The degree of starch gelatinization was significantly reduced with fat inclusion levels that were higher than 35 g/kg of diet. The factors evaluated in this study resulted in significant effects on degree of starch gelatinization. The addition of moisture, expander treatment and coarse grinding increased the degree of starch gelatinization of the diets.

Key words: conditioning; expander; gelatinization, moisture, starch

1. INTRODUÇÃO

Quando o grânulo de amido é submetido ao calor, umidade e cisalhamento durante a expansão e/ou o condicionamento da ração, um fenômeno conhecido como gelatinização do amido pode ocorrer. O grânulo de amido é uma estrutura composta por regiões amorfas e cristalinas e devido à sua menor cristalinidade, a gelatinização ocorre primeiramente nas regiões amorfas do que na região cristalina (LUND & LORENZ, 1984). A gelatinização é um processo irreversível no qual a água difunde no grânulo do amido e inicia o rompimento das ligações de hidrogênio existentes na cadeia glicosídica. O grânulo incha, perde forma e a amilose começa a extravasar do grânulo (LUND & LORENZ., 1984; HOLM et al., 1988; MORITZ et al., 2005; CORAL et al., 2009). A temperatura na qual o amido perde a sua cristalinidade e o material difunde dos grânulos é chamada de “temperatura de gelatinização”. Em um estudo conduzido por Sandhu & Singh (2007), as temperaturas iniciais e de pico de gelatinização determinados para nove variedades de milho variaram de 67,7°C a 72,3°C.

Muitos fatores presentes em uma fábrica de ração podem afetar a gelatinização do amido. Moritz et al. (2005) e Tran et al. (2007) observaram que diferentes condições de processamento (temperatura mais alta e força de cisalhamento) podem afetar a taxa de gelatinização. Quando os autores condicionaram o milho a 65,6°C, seguido de uma peletização, puderam observar que o percentual de gelatinização do amido aumentou de 0% para 28,58%. Por outro lado, quando o mesmo milho foi submetido à extrusão (temperatura da câmara de extrusão ajustada para 48, 90, 120, 150, 142, 142 e 152°C) o percentual de gelatinização atingiu 91,52%. Svihus et al. (2011) relataram que métodos de processo amenos tais como condicionamento-peletização e condicionamento-expansão-peletização tem um efeito limitado na gelatinização do amido (condicionamento-peletização e expansão gelatinizaram respectivamente entre 1 a 20% e 22 a 35% de conteúdo de amido).

Moritz et al. (2002) observaram que a gelatinização do amido aumentou proporcionalmente com a adição de umidade; esses pesquisadores relataram que o aumento do

teor de umidade da ração farelada de 6,97 para 14,47% antes do condicionamento aumentou a gelatinização do amido de 6,97 para 13,11%. Lund e Lorenz (1984) também relataram que a proporção de água no amido influencia a temperatura de gelatinização, quando a proporção de água:amido aumentou de 0,75 para 3,00 e as temperaturas iniciais e de pico da gelatinização do amido de arroz diminuíram respectivamente de 74,3 e 81,5°C para 71,3 e 77,2°C. Quando o amido estiver contido em um grão intacto então a gelatinização é limitada pela taxa de difusão da água nesse grão. Neste sentido, Coral et al. (2009) e Fouhse (2011) relataram que o tamanho do grão podem influenciar o processo de gelatinização, assim como também o nível de gordura adicionada à dieta poderá influenciar o índice de gelatinização do amido (MORITZ et al., 2005).

A amilose liberada dos grânulos atua como elemento adesivo entre as partículas da ração. Estas propriedades de ligação do amido gelatinizado possuem um efeito positivo na qualidade dos peletes (SVIHUS & ZIMONJA, 2011). Além disso, o amido de cereal gelatinizado pode melhorar o desempenho animal devido ao acesso enzimático às ligações glicosídicas ser favorecido pela quebra da estrutura cristalina do amido, resultando em uma maior digestibilidade (HOLM et al., 1988; MORITZ et al., 2005; TRAN et al., 2007). Holm et al. (1988) relataram uma correlação de 0.96 entre a gelatinização do amido e a digestibilidade do amido puro.

Algumas estratégias de processamento de ração aumentam a gelatinização do amido. É importante avaliar a eficácia dessas alternativas na mudança da estrutura do amido nas dietas animais. A produtividade e lucratividade da indústria do frango podem ser melhoradas por meio da correta aplicação dessas estratégias. O objetivo do presente estudo é avaliar o tamanho da partícula, adicionada umidade durante o condicionamento, o nível de gordura alimentar e o uso de dois diferentes métodos de processamento térmico sobre o grau de gelatinização do amido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Processamento da ração

As dietas experimentais foram manufaturadas em uma fábrica de ração de uma empresa integradora de frangos de corte, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A ração foi baseada em farelo de soja e milho e subproduto animal e foi formulada para conter diferentes níveis de inclusão de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração) (Tabela 1).

Todos os ingredientes foram pesados e submetidos a pós-moagem em moinho de martelos (Buhler VHM com 16 martelos – 10 ton/hora produção/unidade x 6 unidades) com peneiras com furos de 5.00 mm de diâmetro para obter os tamanhos de partículas médio e grosso da dieta final. Os diferentes tamanhos de partículas foram obtidos alterando a velocidade de rotação dos moinhos, uma vez que o mesmo era equipado com um controle de rotação variável dos martelos (3600 rotações por minuto para moagem média e 1800 rotações por minuto para moagem grossa). Todos os componentes da dieta foram misturados em um misturador do tipo pás (Buhler DFML 8000L). O tempo de mistura foi dividido em três fases: mistura seca (45 segundos), adição de líquidos (60-90 segundos) e mistura úmida (25 segundos). As diferentes adições de gordura na dieta foram obtidas adicionando a gordura ao misturador durante a fase de adição de líquidos.

Para as dietas submetidas ao tratamento correspondente ao condicionamento-expandir-peletização, a ração foi condicionada por 15 segundos a 80-82°C sob uma pressão de vapor de 1,5-2,0 bar em um condicionador padrão. Na sequência, a ração foi direcionada para um expander (Kahl Expander, Model 38.2, 2000 mm de comprimento e 400 mm de diâmetro, com um consumo de energia de 11-13 kwatt/ton/hora e 65 bars de pressão no cone). A ração foi retida no expander por um tempo médio de 5 segundos e a uma temperatura média de 110°C. Após a expansão a ração era direcionada para a prensa peletizadora (Buhler, Model DPAS - matriz de prensa de 660 mm de diâmetro, furos de 60 mm de profundidade e 4.5 mm de diâmetro e sem alívio). Para o tratamento constituído no condicionamento-peletização, as dietas foram condicionadas a vapor e na sequência, essas dietas foram direcionadas à prensa peletizadora usando os mesmos parâmetros de operação que foram usados para o tratamento de

condicionamento-expansão-peletização. A adição dos níveis diferentes de adição de umidade no condicionador foi realizada por meio de um sistema automático de adição de água (Kahl WD-GLI15, temperatura da água de 60°C e pressão da água de 3-6 bar). A correta adição de umidade para cada tratamento foi checada mediante sensores de umidade colocados ao final do condicionador e também por meio da coleta de amostras na entrada da prensa peletizadora (uma amostra composta para cada nível de umidade adicionada) as quais foram submetidas a determinação de umidade na estufa a 105°C.

Produção e amostragem da ração

O experimento foi baseado em um delineamento em blocos ao acaso, constituído de três séries de produção repetidas ao longo de três semanas de período experimental. Os quatro fatores principais (dois tamanhos de partícula, quatro níveis de adição de umidade, quatro níveis de inclusão de gordura e dois de processamento térmico) foram combinados em um esquema fatorial de 2 x 4 x 4 x 2 e totalizando 64 combinações diferentes as quais foram replicadas três vezes (três séries de produção). Um total de 384 toneladas de ração foi processada ao longo deste estudo. Os ingredientes foram primeiramente moídos em dois tamanhos diferentes de partículas (grosso 1041 micra e médio 743 micra), e então combinados em quatro níveis de inclusão de gordura no misturador (15 a 45 g de gordura/kg de ração – Tabela 1). Essas combinações de rações fareladas foram direcionadas para o condicionador, no qual as mesmas foram submetidas a diferentes adições de umidade (0, 7, 14 e 21g/kg de ração) e dois processamentos térmicos (condicionamento-peletização e condicionamento-expansão-peletização).

Os pontos de amostragem foram: 1) na descarga do misturador: no qual uma amostra composta da ração farelada, para cada tratamento e série de produção, foi coletada para avaliação do tamanho de partícula, nível de adição de umidade e checagem da composição bromatológica; 2) anterior à prensagem dos peletes: no qual uma amostra composta da ração condicionada e condicionada-expandida para cada tratamento e série de produção foi coletada para

monitoramento da quantidade de umidade e 3) entre a prensa peletizadora e o resfriador: no qual três amostras compostas de ração peletizada (uma amostra em cada série de produção), correspondendo a três repetições, foram analisadas para teor de amido e quantidade de amido gelatinizado. Uma concha inoxidável com um cabo de 40 cm foi usada para a coleta da ração e as amostras foram embaladas em sacos plásticos identificados individualmente.

A temperatura média do ambiente e umidade relativa do ar, ambas mensuradas no local no qual a prensa se localizava, durante o período experimental (novembro a dezembro de 2012) foram respectivamente, de 24° e 62%.

Tabela 1. Composição das dietas experimentais

Ingredientes (g/kg)	Gordura adicionada (g/kg)			
	15 g/kg	25 g/kg	35 g/kg	45 g/kg
Milho	673,45	663,45000	653,45	643,45
Farelo de Soja 46% CP	235,00	235,00	235,00	235,00
Farinha Subproduto de Aves	40,00	40,00	40,00	40,00
Gordura	15,00	25,00	35,00	45,00
Farinha de Penas	10,00	10,00	10,00	10,00
Calcário	9,50	9,50	9,50	9,50
Lisina Líquida	4,10	4,10	4,10	4,10
Sal	3,00	3,00	3,00	3,00
Metionina Líquida	2,90	2,90	2,90	2,90
Fosfato Bicalcio	2,00	2,00	2,00	2,00
Bicarbonato de Sódio	1,50	1,50	1,50	1,50
Premix Vitamínico ^a	1,20	1,20	1,20	1,20
Cloreto de Colina	0,90	0,90	0,90	0,90
Premix Mineral ^b	0,85	0,85	0,85	0,85
Treonina	0,60	0,60	0,60	0,60
Receita Total (kg)	1000	1000	1000	1000
Composição química (%)				
Umidade	10,1	10,2	10,0	10,3
Proteína bruta	19,9	19,7	19,9	19,8
Extrato etéreo	5,0	6,1	6,9	7,9
Matéria mineral	5,8	5,3	4,4	5,7
Fibra bruta	2,1	2,2	2,3	2,1

^aFornecido por kg de dieta completa: 7000 IU de vitamina A. 2000 IU de vitamina D3. 25 IU de vitamina E. 2.0 mg de menadiona. 4.0 mg de riboflavina. 25.0 mg de niacina. 12.0 mg de ácido d-pantotenico. 4.0 mg de vitamina piridoxina. 0,01 mg de vitamina B12. 1.0 mg de ácido fólico e 0.08 mg de biotina.

^bFornecido por kg de dieta completa: 10 mg de cobre como sulfato de cobre. 1 mg de iodo como iodato de cálcio. 60 mg de ferro como sulfato ferroso. 70 mg de manganês como sulfato de manganês. 0.3 mg de selênio como selenito de sódio, e 70 mg de zinco como sulfato de zinco.

Análise da Ração

A ração oriunda dos diferentes tratamentos foi analisada para os seguintes parâmetros analíticos:

- Grau de gelatinização do amido (%): determinado de acordo com o Método 27 no Compêndio brasileiro de nutrição animal (2009)
- Teor de Umidade: determinado de acordo com o Método 930.15 da Associação de Químicos Analíticos Oficial Internacional (AOAC, 1998)
- Tamanho de partícula: determinado de acordo com o método referenciado pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrônomos e Biológicos (ASABE, 2006)

Análise Estatística

O modelo estatístico incluiu os blocos (séries de produção), os fatores (tamanho das partículas, tipo de processamento térmico, níveis de gordura e adição de umidade), as interações entre os fatores eo erro residual: $Y_{ijklm} = \mu + PR_h + PS_i + TP_j + FI_k + MA_l + (PS \times TP)_{ij} + (PS \times FI)_{ik} + (PS \times MA)_{il} + (TP \times FI)_{jk} + (TP \times MA)_{jl} + (PS \times TP \times FI)_{ijk} + (PS \times TP \times MA)_{ijl} + (PS \times FI \times MA)_{ikl} + (TP \times FI \times MA)_{jkl} + (PS \times TP \times FI \times MA)_{ijkl} + \epsilon_{ijklm}$.

No qual: Y_{ijklm} = a característica (PDI ou quantidade de peletes intacto ou solubilidade em KOH) da amostra de ração, μ = média da população, PR_h = efeito da série de produção (h = série de produção 1 a 8), PS_i = efeito do tamanho da partícula (i = tamanho de partícula médio ou grossa), TP_j = efeito do processamento térmico (j = condicionamento-peletização ou condicionamento-expansão-peletização), FI_k = efeito de inclusão de gordura (k = 15, 25, 35 e 45 g/kg de ração), MA_l = efeito da adição de umidade (l = 0, 7, 14 e 21 g/kg de ração), e ϵ_{ijklm} = erro residual.

O modelo linear geral (GLM) foi utilizado para analisar os efeitos de fatores qualitativos e quantitativos presentes no modelo estatístico. O pacote estatístico Statistica versão 8.0 (StarSoft,

Inc.) foi usado para realizar a análise da variação dos dados coletados. Os valores médios dos dados coletados foram apresentados como médias marginais. O teste Anderson-Darling da versão 16 do Minitab foi usado para checar a normalidade dos resíduos.

De acordo com Razali e Wah (2011), os testes Shapiro-Wilk e Anderson-Darling são os testes mais poderosos de normalidade seguidos pelos testes Lilliefors e Kolgomorov-Smirnov. O teste Hartley F-Max foi usado para checar a homoscedasticidade dos dados. Efeitos lineares e quadráticos devido à adição de umidade e gordura à ração foram determinados por regressão linear. A significância dos testes realizados foi aceita caso o valor de $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos para a quantidade de amido gelatinizado (% do total) não seguiram uma distribuição normal (teste Anderson-Darling $p < 0,05$). Yeo & Johnson (2000) relataram um tipo de transformação Box-Cox capaz de reduzir a distorção e aproximar os dados à normalidade. No presente estudo este procedimento, conhecido como transformação Johnson, foi utilizado para ajustar a quantidade de amido gelatinizado em uma distribuição gaussiana: quantidade de amido gelatinizado (%do total) = $1,10121 + 1,02935 * \ln[(\text{quantidade de amido gelatinizado \% do total} - 16,2726) / (71,1461 - \text{quantidade de amido gelatinizado \% do total})]$. Os dados transformados foram, então, analisados pelo teste Anderson-Darling para certificar a normalidade dos dados ($p > 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas com base nos dados transformados. O teste Hartley ratificou que as variâncias presentes nos tratamentos eram semelhantes para a quantidade de amido gelatinizado (%) (F-max foi menor que F-crítico em um nível de significância 0,05). No presente estudo, após aplicar o método de eliminação backward ao modelo original, os níveis de interação significativos limitaram-se as interações de segunda ordem (entre dois fatores). O modelo resultante apresentou valores R^2 próximos ao do modelo original para a quantidade de amido gelatinizado (0,733 e 0,715 respectivamente para os modelos original e backward).

Os tamanhos das partículas alcançados nas dietas testadas foram, respectivamente, de 1041 micra para a moagem grossa e 743 micra para a moagem média. O conteúdo de umidade média das amostras de ração fareladas previamente ao processamento térmico foi de 102 g/kg de ração. As amostras de ração coletadas antes da prensa peletizadora confirmaram que a adição de umidade no condicionador (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração) aumentou a quantidade de umidade da ração pós condicionamento/expansão para 130, 138, 145 e 151 g/kg de ração, em média. A quantidade de umidade das amostras coletadas na saída da prensa peletizadora foi 7g/kg maior para o tratamento condicionamento-expansão do que para o tratamento baseado em condicionamento simples (146 e 139 g de umidade/kg de ração, respectivamente). Inicialmente os dados foram analisados conforme o modelo estatístico inicialmente proposto. Dessa forma, os coeficientes dos fatores, a significância e o valor R^2 (0,728) do modelo foram definidos no delineamento inicialmente proposto: três blocos num esquema fatorial: 2 tamanho de partícula x 2 processamento térmico x 4 nível de adição de umidade x 4 nível de inclusão de gordura (Tabela 2). Posteriormente, o método de eliminação regressiva foi empregado para remover os fatores não significativos das equações de predição (Tabela 3). O modelo resultante teve valores R^2 de 0,715 e valor $p < 0,01$).

A média de teor de amido das amostras foi de 502,0 +/- 24,4 g/kg de ração. Baseado no ensaio enzimático empregado neste estudo, foi observado que 22,7% do teor total de amido na ração (502,0 +/- 24,4 g amido/kg de ração) já estava na forma gelatinizada previamente ao processo ao térmico. Provavelmente alguns dos ingredientes usados na dieta experimental foram submetidos a um processo térmico (secagem com ar quente, extração de solvente e moagem) que causaram a gelatinização do amido, uma vez que na agroindústria não é incomum encontrar secadores industriais secando sementes de milho com ar aquecido acima de 120°C (MALUMBA et al., 2009). Malumba et al. (2009) e Yang et al. (2011) relataram que o tratamento por calor por meio de ar aquecido acima dos 80°C ocasiona o inchaço dos grânulos de amido enfraquecimento das cruzes Malta sugerindo a ocorrência de pré-gelatinização do amido.

Tabela 2. Efeito do processamento térmico (TP), tamanho de partícula (PS), adição de umidade (MA) e inclusão de gordura (FI) na quantidade de amido gelatinizado

Fatores	Qtd de amido gelatinizado (%)	P valor / Efeito
Processamento Térmico		
Peletizado	31,98	<0,001
Expandido-Peletizado	35,33	
Tamanho da partícula		
Médio	30,15	<0,001
Grande	37,15	
Adição de Umidade (g/kg)		
0	31,60	<0,001
7	32,38	
14	35,20	
21	35,43	
Inclusão de gordura (g/kg)		
15	26,10	<0,001
25	37,05	
35	44,86	
45	26,60	
Probabilidades de Interações		
PS x TP		0,081
PS x MA		0,847
PS x FI		0,067
TP x MA		0,152
TP x FI		0,225
MA x FI		0,567
PS x TP x FI		0,004
PS x MA x FI		0,130
TP x FI x MA		0,203
PS x TP X FI x MA		0,072
R2		0,733
P		<0,01
Erro padrão da média		4,723

Tabela 3. Equação de regressão da quantidade de amido gelatinizado (%) submetido à transformação de Box-Cox e ajustada pelo método de eliminação backward

Qtde de amido gelatinizado (transformação Box Cox)	$Y = -4,6130019 - 0,31689749*PS + 0,577617009*TP + 0,339560758*FI(g/kg) + 0,017268101*MA(g/kg) - 0,00558161*FI(g/kg)^2 - 0,54385216*PS*TP$		
R2	0,715		
P	<0,001		
Erro padrão da média	0,631		
Coeficientes	probabilidade	coeficiente	erro padrão
Tamanho de partícula (PS)	<0,01	-0,3169	0,0420
Processamento térmico (TP)	<0,01	0,5776	0,0470
Inclusão de gordura (FI)	<0,01	0,3396	0,0470
FI ²	<0,01 (efeito quadrático)	-0,0056	0,0010
Adição de umidade (MA)	<0,01 (efeito linear)	0,0173	0,0060
PS*TP	<0,01	-0,5439	0,0470

PS = 1 se médio, 0 se grande

TP = 0 se condicionado-peletizado, 1 se condicionado-expandido-peletizado

As diferenças entre as taxas de gelatinização foram encontradas entre os dois processamentos térmicos avaliados neste estudo: a ração condicionada-expandida-peletizada resultou em uma maior quantidade ($p < 0,01$) de amido gelatinizado (35,3%) comparado a ração condicionada-peletizada (32,0%). Resultados parecidos foram obtidos por Goelema et al. (1999) que submeteram uma mistura de ervilhas trituradas, tremoços e favas a diferentes processos térmicos e verificaram que condicionamento-peletização e condicionamento-expansão-peletização resultaram respectivamente em 19 e 22% de gelatinização de amido. Svihus & Zimonja (2011) e Prestlokken, & Forutvikling (2012), relataram que a expansão das dietas geralmente gelatiniza o amido num maior grau, mas que a pequena quantidade de água presente na ração pode se tornar um ponto restritivo nesse processo.

Além disso, houve interação entre o processamento térmico e tamanho da partícula na quantidade de amido gelatinizado. Em rações condicionadas-expandidas-peletizadas o aumento do tamanho da partícula de 743 para 1041 micra aumentou a quantidade de amido gelatinizado de 30,5 para 40,1%. Em rações condicionadas-peletizadas o mesmo aumento do tamanho da partícula resultou em uma menor mudança no grau de gelatinização do amido (de 29,8 para

34,2%). Lund & Lorenz (1984) relataram que um tamanho mais fino de partícula aumentaria a gelatinização do amido. Coral et al (2009) e Fouhse (2011) também relataram que grãos de menor tamanho podem otimizar o processo de gelatinização. Tamanhos menores de partícula aumentam o calor e difusão de água de fora para dentro da partícula e, portanto, aumenta a gelatinização. No entanto, um comportamento contrário foi observado no presente estudo, no qual o grau de gelatinização do amido aumentou com o acréscimo de tamanho da partícula. Uma hipótese seria que as forças de fricção no interior da matriz da prensa de peletização maiores para as partículas grossas levaram a um maior aquecimento e que aumentando, assim, a gelatinização do amido.

A quantidade de amido gelatinizado na ração aumentou linearmente ($P < 0,01$) com o acréscimo da adição de umidade no condicionador (Tabela 3). Os dados obtidos no presente estudo mostram uma mudança de 3,8% de gelatinização do amido (31,6 para 35,4% de amido gelatinizado) com adição de água no condicionador aumentada de 0 para 21 g/kg de ração. Moritz et al. (2002b) também relataram que o aumento do teor de umidade de ração farelada de 69,7 para 144,7 g/kg aumentou a gelatinização do amido de 6,97 para 13,11%. Este efeito positivo do teor de umidade na gelatinização do amido pode ser parcialmente explicado pelo fato que a relação água:amido de aproximadamente 1,5:1 seria necessária para a gelatinização completa (Lund e Lorenz, 1984). A adição de água, embora não suficiente para alcançar a relação ideal para uma completa gelatinização do amido, resulta em uma relação mais favorável de água:amido na hidratação, inchamento e quebra do grânulo de amido.

A inclusão de gordura teve efeito quadrático na quantidade de amido gelatinizado. A inclusão de 15, 25, 35 e 45 g de gordura/kg de ração resultou respectivamente em 26,1, 37,1, 44,9 e 26,6% de gelatinização de amido (Tabela 2). Era esperado que a adição de gordura prejudicasse a gelatinização do amido, uma vez que a gordura age como lubrificante entre a ração e a matriz da prensa, reduzindo o calor provocado pela fricção e aumentando a taxa do fluxo através da prensa de peletes (MORITZ et al., 2002a). Moritz et al. (2002b) relataram que o

efeito negativo dos gordura na gelatinização do amido poderia ser uma consequência dos ácidos graxos envolvendo os grânulos de amido, e conseqüentemente, reduzindo o inchamento e solubilização do amido. No presente estudo o efeito negativo da gordura no grau de gelatinização do amido foi somente observado quando a inclusão de gordura aumentou de 35 para 45 g/kg.

4. CONCLUSÕES

O tratamento condicionador-expander-peletizador aumenta a taxa de gelatinização do amido comparado ao tratamento condicionamento-peletização. A adição de umidade na dieta (0 a 21 g/kg) aumenta o grau de gelatinização do amido. A moagem grossa aumentou a quantidade de amido gelatinizado. Adição de gordura superior 35 g/kg diminuiu significativamente o teor de amido gelatinizado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving**. American National Standard Institute S319; 3 Feb. 03. 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL (AOAC). **Method 930.15** in Official Methods of Analysis, 16th ed. AOAC, Arlington, VA. 1998.

Compêndio brasileiro de nutrição animal. **Método n° 27**. Sindirações; 106-111. 2009.

CORAL, D.F., PINEDA-GÓMEZ, P., ROSALES-RIVERA, A., RODRIGUEZ-GARCIA, M.E.. XIX Latin American Symposium on Solid State Physics (SLAFES XIX). Journal of Physics: Conference Series; 167, 012057. 2009.

FOUHSE, J. **Effect of particle size and extrusion processing parameters on in vitro starch fractions, in vivo starch digestibility and glycemic index of field pea in dogs.** Dissertation submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Master of Science. Department of Animal and Poultry Science. University of Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan, Canada;. 2011.

GOELEMA, J.O., SMITS, A., VAESSEN, L.M., WEMMERS, A. **Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on in vitro and in situ parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans.** Anim. Feed Sci. Technol., 78 109-126. 1999.

HOLM, J., LUNDQUIST, I., BJORCK, I., ELIASSON, A. C., ASP, N. G. **Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats.** Am. J. Clin. Nutr., 47, 1010-1016. 1988.

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

MALUMBA, P., JANAS, S., ROISEUX, O., SINNAEVE, G., MASIMANGO, T., SINDIC, M., DEROANNE, C., BÉRA, F. **Comparative study of the effect of drying temperatures and heat-moisture treatment on the physicochemical and functional properties of corn starch.** Carb. Polymers, 79, 633–641. 2010.

MALUMBA, P., MASSAUX, C., DEROANNE, C., MASIMANGO, T., BÉRA, F. **Influence of drying temperature on functional properties of wet-milled starch granules.** Carb. Polymers, 75, 299–306. 2009.

MORITZ, J. S., PARSONS, A. S., BUCHANAN, N. P., CALVALCANTI, W. B., CRAMER K. R., BEYER. R. S. **Effect of Gelatinizing Dietary Starch Through Feed Processing on Zero to Three-Week Broiler Performance and Metabolism.** J. Appl. Poult. Res., 11, 155-163. 2005.

MORITZ, J. S., WILSON, K.J., CRAMER K. R., BEYER. R. S., MCKINNEY, L.J., CALVALCANTI, W. B., MO, X. **Effect of Formulation Density, Moisture, and Surfactant on Feed Manufacturing, Peletes Quality, and Broiler Performance.** J. Appl. Poult. Res., 14, 47–54. 2002a.

MORITZ, J.S., BEYER, R.S., WILSON, K.J., CRAMER, K.R., MCKINNEY, L.J., FAIRCHILD, F. J. **Effect of moisture addition at the mixer to a corn-soybean-based diet on broiler performance.** J. Appl. Poult. Res., 10, 347–353. 2002b.

PRESTLOKKEN, E., FORUTVIKLING, F. **Expander treatment.** HFE 305 Feed Manufacturing Technology. 2012.
http://www.umb.no/statisk/iha/kurs/nova/feed_technology/4.pdf. Accessed on feb 2012

RAZALI, N. M., WAH, Y. B. **Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolgomorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests.** J. Statistic. Model. and Anal., 1, 21-33. 2011.

SANDHU, S. K., SINGH, N. **Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties.** Food Chemistry, 101, 1499–1507. 2007.

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.** Anim. F. Sci. and Tech., 122, 303–320. 2005

SVIHUS, B., ZIMONJA, O. **Chemical alterations with nutritional consequences due to peletesing animal feeds: a review.** Anim. Prod. Sci., 2011. 51, 590-596

TRAN, Q.D., VAN LIN, C.G.J.M., HENDRIKS, W.H., VAN DER POEL, A.F.B. **Lysine reactivity and starch gelatinization in extruded and peletesed canine diets.** Anim. F. Sci. and Tech., 138, 162–168. 2007.

WHITE, G. A., DOUCET, F. J., HILL, S. E., WISEMAN, J. **Physicochemical changes to starch granules during micronisation and extrusion processing of wheat, and their implications for starch digestibility in the newly weaned piglet.** Animal, 2, 1312-1323. 2008.

YANG, J., WANG, H., GAO, Y., LI, J., HU, B. **Influence of Hot Air and Natural Drying on Extrusion Properties of Maize.** ASABE Annual International Meeting. ASABE. Louisville, Kentucky. 2011.

YEO, I. K., JOHNSON, R. A. **A new family of power transformations to improve normality or symmetry.** Biometrika, 87, 4, 954–959. 2000.

CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SPLITTING NA MODELAGEM DO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE RAÇÃO

RESUMO:

O presente trabalho teve como objetivos aplicar a técnica de splitting para gerar uma equação de regressão para qualidade de peletes de rações de frangos de corte e comparar os resíduos e coeficientes de determinação entre os modelos obtidos pela técnica de splitting e o modelo obtido com os dados totais a fim de validar o modelo estatístico empregado. Para aplicação das diferentes técnicas de obtenção das equações de predição foi utilizado um banco de dados oriundos de um experimento no qual quatro variáveis independentes: granulometria de moagem (grossa e fina), tratamento térmico (expandida-peletizada e peletizada), níveis de inclusão de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração) e níveis de adição de água no condicionador (0, 7, 14 e 21g/kg de ração) foram combinados num esquema fatorial $2 \times 2 \times 4 \times 4$ totalizando 64 tratamentos com 8 repetições cada. Essas variáveis independentes correspondem aos dados de entrada do modelo. Como dados de saída do modelo ou variáveis dependentes foram considerados o percentual de peletes e o PDI (do inglês pelete durability index) das rações. A técnica de splitting dividiu o total das 512 observações em dois conjuntos: 1) dados de construção do modelo (abrangeu 75% do total de dados) e 2) dados de validação do modelo (abrangeu 25% do total de dados segregados aleatoriamente do banco original). Para a construção da equação de predição a técnica de splitting utilizou somente os dados de construção do modelo (75% dos dados) enquanto que a equação de predição gerada pelo método tradicional utilizou todos os dados disponíveis (ambos os dados de construção e os dados de validação). Tanto as equações obtidas pela técnica de splitting quanto as equações considerando os dados totais apresentaram bons coeficientes de determinação e semelhantes quadrado médio dos resíduos. Na técnica de splitting, ocorreu um aumento nos erros padrões dos coeficientes da equação quando estes foram comparados aos coeficientes da equação construída com os dados totais. A equação de Herzberg

e a técnica de splitting validaram o presente modelo estatístico utilizado para descrever o efeito das variáveis que afetam o processo de peletização de rações para frangos de corte.

Palavras-chave: modelagem, splitting, validação, equação, peletes

THE USE OF SPLITTING TECHNIQUE IN MODELLING BROILER FEED PELLETING PROCESS

ABSTRACT:

The present study had the objectives to evaluate the splitting method to fit a regression model for broiler feed pellet quality and to compare standard errors and coefficient of determination between the equations obtained by the whole data set or by the splitting method. The independent factors (input data) were the particle size (coarse and medium), thermal processing (expanded-pelleted and pelleted), fat inclusion levels (15, 25, 35 and 45 g/kg of feed) and moisture addition levels (0, 7, 14 and 21 g/kg of feed) which were combined in a full factorial design, resulting in 64 different treatment with eight replicates each. The pellets percentage and PDI (pellet durability index) were considered as the model's output data. The total data set composed by 512 observations were splitted in two data set: 1) model construction data set (75% of the total data) and 2) model validation data set (25% of the total data selected randomly from the total data set). Both equations obtained by the splitting method and the equation obtained by the whole data set had good coefficient of determination and similar square means of the residues. The equation estimated by the splitting method had higher standard error for the equation coefficients when they were compared to the equation estimated by the whole data set. The Herzberg equation and the splitting method validated the mathematical model applied in the present study to describe the pelleting process of broiler feeds.

Key words: modelling, splitting, validation, equation, pellets

1. INTRODUÇÃO

A modelagem de um processo consiste na obtenção de uma equação matemática capaz de representar adequadamente as características de interesse de uma planta em estudo. O modelo de um sistema pode ser obtido de duas formas, a partir das equações básicas do sistema desenvolvidos usando princípios físico-químicos (modelagem fenomenológica ou teórica) ou, a partir da análise estatística dos dados de entrada e saída do sistema em estudo (identificação de sistemas ou modelos empíricos) (SANTOS, 2003). De acordo com Teixeira (2010) existem técnicas clássicas de identificação de sistemas, baseadas na introdução de distúrbio tipo degrau ou rampa e o consequente ajuste dos dados de resposta a partir de uma equação de predição. Franke e Rey (2006) citam alguns fatores que afetam a qualidade de peletes tais como a formulação da dieta, granulometria dos ingredientes, especificações dos equipamentos utilizados e parâmetros de operação dentre outros e que podem ser considerados como os distúrbios introduzidos no processo.

Uma vez estabelecido um modelo matemático para o sistema em estudo é interessante a verificação da qualidade de predição desse modelo (OREDEIN et al., 2011; SNEE, 1977). A validação de um modelo implica na checagem da equação de predição contra um conjunto independente de dados para verificar quão bem ele é capaz de predizê-lo (OREDEIN et al., 2011), e portanto, uma das alternativas é a técnica conhecida como *splitting* ou validação cruzada. Conforme Snee (1977), Steckel e Vanhonacker (1993) e Kozak e Kozak (2003), nessa técnica os dados coletados (n) são divididos em dois grupos tal que: $n = n_m + n_v$; no qual n_m é o número de observações empregadas na construção do modelo e n_v é o número de observações utilizados para o cálculo dos resíduos da predição (validação). Ainda de acordo com os mesmos autores o conjunto de dados que serão utilizados na validação são designados aleatoriamente e usualmente compreendem entre 10 a 50% dos dados totais. A técnica de *splitting* pode ser utilizada para melhorar a equação original, uma vez que a o mesmo pode sugerir a eliminação de

variáveis instáveis que prejudicam a qualidade da predição com a conseqüente obtenção de uma equação com aplicação generalizada (SOBOL, 1991).

Snee (1977) comenta que um das desvantagens da técnica de splitting é o aumento das variâncias dos coeficientes da equação. De acordo com esse autor o aumento nos erros padrões dos coeficientes estimados pode ser predito pela seguinte fórmula: % de aumento do erro padrão = $100((2n-1)/(n-1)^{1/2} - 1)$, no qual n é o tamanho dos dados de estimação e predição.

Na presente pesquisa foram utilizados como dados de entrada da equação de predição 1) duas diferentes granulometrias de moagem, 2) dois tipos de tratamento térmico, 3) quatro níveis de adição de água no condicionador e 4) quatro níveis de adição de gordura no misturador. Como dados de saída foram considerados o percentual de peletes íntegros e o PDI. O objetivo deste trabalho foi validar o modelo estatístico utilizado no estudo por meio da: 1) aplicação da técnica de splitting para gerar uma equação de regressão para qualidade de peletes de rações de frangos de corte e 2) comparação dos resíduos e coeficientes de determinação entre os modelos obtidos pela técnica de splitting e o modelo obtido com os dados totais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A produção das rações experimentais foi realizada numa fábrica de rações comercial localizado no estado do Rio Grande do Sul. As quatro inclusões de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração); quatro níveis de adição de água no condicionador (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração), duas granulometrias de moagem (média e grossa) e dois tipos de tratamento térmico (expandida-peletizada e peletizada) foram combinadas num esquema fatorial 4 x 4 x 2 x 2 totalizando 64 tratamentos num delineamento inteiramente ao acaso. Oito amostras (repetições) de cada um dos tratamentos foram coletadas, totalizando 512 amostras.

Os dados referentes as 512 amostras foram utilizadas para a obtenção da equação de regressão do modelo considerando os dados totais. Para a técnica da splitting os dados dessas 512 amostras foram divididos em dois grupos: 384 observações (75%) foram empregados na

construção da equação de predição e 128 observações (25%) foram segregados como dados de validação. Para as equações obtidas pela técnica de splitting, os quadrados médios dos resíduos foram calculados tanto para os dados de construção do modelo como para os dados de validação. Para as equações geradas com os dados totais o quadrado médio dos resíduos foi calculado para os dados de construção do modelo.

O modelo estatístico incluiu as repetições, tamanho de partícula, tipo de tratamento térmico, níveis de adição de água, níveis de adição de gordura e suas interações: $Y_{ijklm} = \mu + PS_i + HT_j + FA_k + MA_l + (PS \times HT)_{ij} + (PS \times FA)_{ik} + (PS \times MA)_{il} + (HT \times FA)_{jk} + (HT \times MA)_{jl} + (PS \times HT \times FA)_{ijk} + (PS \times HT \times MA)_{ijl} + (PS \times FA \times MA)_{ikl} + (HT \times FA \times MA)_{jkl} + (PS \times HT \times FA \times MA)_{ijkl} + \epsilon_{ijklm}$.

No qual: Y_{ijklm} = observação, μ = média da população, PS_i = Efeito do tamanho da partícula (i = médio ou grosso), HT_j = Efeito do tratamento térmico (j = Peletizado or Expandido-peletizado) FA_k = Efeito da adição de gordura (k = 15 a 45 g/kg de ração), MA_l = Efeito da adição de água (l = 0 a 21 g/kg de ração), and ϵ_{ijklm} = erro residual.

O modelo geral linear foi utilizado para modelar o efeito das variáveis independentes sobre o percentual de peletes e PDI sendo que o programa estatístico utilizado foi o Statistica versão 8.0 (StatSoft, Inc). O teste de Anderson-Darling presente no Minitab versão 16 foi utilizado para checar a normalidade dos dados referentes a percentual de peletes e PDI. O teste de Hartley F-Max foi empregado para checar a homocedasticidade dos dados.

O banco de dados totais e o banco de dados de construção do modelo foram submetidos independentemente à análise de regressão para a obtenção das equações de predição para PDI e percentual de peletes (ambas com nível de significância do modelo $p < 0,001$). Inicialmente as análises foram realizadas conforme o modelo estatístico originalmente proposto (fatorial completo $2 \times 2 \times 4 \times 4$). Foi empregado o método de eliminação Backward para remover os fatores não significativos da equação de predição e limitando as interações até o nível de dois

fatores. A significância do efeito linear e quadrático devido a adição de água ou gordura foi aceita se $P < 0,05$.

Considerou-se que para que a equação de predição originada pela técnica de splitting fosse considerada como válida, o coeficiente de determinação dos dados desconhecidos (ou dados de validação) seja igual ou superior ao coeficiente de determinação calculado utilizando uma técnica referenciada por Sobol (1991) conhecida como equação de Herzberg: $R_c^2 = 1 - \left(\frac{N-1}{N-K-1}\right) \left(\frac{N+K+1}{N}\right) (1 - R^2)$, no qual R_c^2 é o coeficiente de determinação esperado, N é o número total de dados de validação e K é o número de variáveis independentes presentes no modelo em estudo (inclusive a constante).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O percentual de peletes e PDI não apresentaram uma distribuição normal quando submetidos a o teste de Anderson-Darling ($p < 0,05$). Por conseqüência os dados foram submetidos às seguintes transformações de Johnson: 1) Percentual de peletes = $- 0,498404 + 0,601586 * \ln(\text{percentual de peletes g/kg} - 460,565) / (929,921 - \text{percentual de peletes g/kg})$; 2) PDI = $-0,499811 + 0,797976 * \ln[(\text{PDI \%} - 47,6941) / (95,8331 - \text{PDI\%})]$.

As equações de regressão obtidas mediante a técnica de splitting foram para (Tabela 1 e 2):

1) percentual de peletes = $1,5145 + 0,0690 * \text{MA (g/kg)} - 0,0012 * \text{MA (g/kg)}^2 - 0,1188 * \text{FI (g/kg)} + 0,00070 * \text{FI (g/kg)}^2 - 1,17472 * \text{PS} + 0,879146379 * \text{TP} + 0,0400 * \text{PS} * \text{FI (g/kg)} + 0,0243 * \text{TP} * \text{FI (g/kg)}$

2) PDI = $-1,7961 + 0,1192 * \text{FI (g/kg)} - 0,0026 * \text{FI (g/kg)}^2 - 0,4474 * \text{PS} + 0,8682 * \text{TP} + 0,0126 * \text{MA (g/kg)} + 0,1858 * \text{PS} * \text{TP} + 0,0152 * \text{PS} * \text{MA (g/kg)} + 0,0116 * \text{TP} * \text{FI (g/kg)} + 0,0199 * \text{TP} * \text{MA (g/kg)} + 0,00047 * \text{FI (g/kg)} * \text{MA (g/kg)}$

Os coeficientes de determinação das equações obtidas com os dados totais e com a técnica de splitting foram respectivamente de 0,971 e 0,968 para percentual de peletes e 0,853 e 0,851

para PDI. Neste estudo, tanto a equação gerada com os dados totais como a equação gerada pela técnica de splitting apresentaram um bom coeficiente de determinação para percentual de peletes e PDI. É provável que o sistema em estudo estivesse sob controle e as principais variáveis que poderiam afetar o processo estavam mantidas constantes com exceção daquelas utilizadas como dados de entrada (SNEE, 1977). Isto está de acordo com Fahrenholz (2012) que utilizou a modelagem no processo de peletização de rações para predizer o efeito de diferentes fatores de variação sobre qualidade de peletes e verificou consistência nas suas predições. Além disso pode-se dizer que a capacidade de predição do modelo não foi prejudicada com o uso da técnica de splitting.

Tabela 1. Equações de regressão obtidas com os dados totais e com a técnica da splitting para percentual de peletes

Tipo	Equação obtida com os dados totais ^A		Equação obtida com validação cruzada ^B		Variação do erro padrão dos coeficientes de B em relação a A
Quantidade de peletes (Transformação de Johnson)	$Y = -1,7699 + 0,1172*FI \text{ (g/kg)} - 0,0026*FI \text{ (g/kg)}^2 - 0,4417*PS + 0,8977*TP + 0,0124*MA \text{ (g/kg)} + 0,1749*PS*TP + 0,0149*PS*MA \text{ (g/kg)} + 0,0111*TP*FI \text{ (g/kg)} + 0,0189*TP*MA \text{ (g/kg)} + 0,00046*FI \text{ (g/kg)}*MA \text{ (g/kg)}$		$Y = -1,7961 + 0,1192*FI \text{ (g/kg)} - 0,0026*FI \text{ (g/kg)}^2 - 0,4474*PS + 0,8682*TP + 0,0126*MA \text{ (g/kg)} + 0,1858*PS*TP + 0,0152*PS*MA \text{ (g/kg)} + 0,0116*TP*FI \text{ (g/kg)} + 0,0199*TP*MA \text{ (g/kg)} + 0,00047*FI \text{ (g/kg)}*MA \text{ (g/kg)}$		
R2	0,971		0,968		
Modelo (probabilidade)	< 0,001		< 0,001		
Quadrado médio residuo	0		0,0596		
Coefficientes	probabilidade	erro padrão	probabilidade	erro padrão	
PS	<0,001	0,0172	<0,001	0,0491	285%
TP	<0,001	0,0326	<0,001	0,0832	255%
FI	<0,001	0,0064	<0,001	0,0078	122%
FI ²	<0,001	0,0001	<0,001	0,0001	100%
MA	<0,001	0,0038	<0,001	0,0051	134%
PS*TP	<0,001	0,0103	<0,001	0,0500	485%
PS*MA	<0,001	0,0013	<0,001	0,0032	246%
TP*FI	<0,001	0,0009	<0,001	0,0022	244%
TP*MA	<0,001	0,0013	<0,001	0,0032	246%
FI*MA	<0,001	0,0001	<0,001	0,0001	100%

PS = 0 se médio, 1 se grosso

TP = 0 se peletizado, 1 if peletizado-expandido

Tabela 2. Equações de regressão obtidas com os dados totais e com a técnica da splitting para PDI

Tipo	Equação obtida com os dados totais ^A		Equação obtida com validação cruzada ^B		Variação do erro padrão dos coeficientes de B em relação a A
PDI (Transformação de Johnson)	$Y = 1,5315 + 0,0680 \cdot MA \text{ (g/kg)} - 0,0011 \cdot MA \text{ (g/kg)}^2 - 0,1203 \cdot FI \text{ (g/kg)} + 0,00073 \cdot FI \text{ (g/kg)}^2 - 1,1420044 \cdot PS + 0,829193562 \cdot TP + 0,0391 \cdot PS \cdot FI \text{ (g/kg)} + 0,0256 \cdot TP \cdot FI \text{ (g/kg)}$		$Y = 1,5145 + 0,0690 \cdot MA \text{ (g/kg)} - 0,0012 \cdot MA \text{ (g/kg)}^2 - 0,1188 \cdot FI \text{ (g/kg)} + 0,00070 \cdot FI \text{ (g/kg)}^2 - 1,17472 \cdot PS + 0,879146379 \cdot TP + 0,0400 \cdot PS \cdot FI \text{ (g/kg)} + 0,0243 \cdot TP \cdot FI \text{ (g/kg)}$		
R2	0,853		0,851		
Modelo (probabilidade)	<0,001		<0,001		
Quadrado médio do resíduo	0,186		0,189		
Coefficientes	probabilidade	erro padrão	probabilidade	erro padrão	
PS	<0,001	0,1098	<0,001	0,1276	116%
TP	<0,001	0,1098	<0,001	0,1276	116%
FI	<0,001	0,0118	<0,001	0,0138	117%
FI ²	0,0001	0,0118	0,0002	0,0200	169%
MA	<0,001	0,0085	<0,001	0,0099	116%
MA ²	0,0037	0,0004	0,0103	0,0005	125%
PS*FI	<0,001	0,0034	<0,001	0,0040	118%
TP*FI	<0,001	0,0034	<0,001	0,0040	118%

PS = 0 se médio, 1 se grosso

TP = 0 se peletizado, 1 if peletizado-expandido

Estas equações foram utilizadas para estimar os valores preditos e a partir dos mesmos foram calculados os resíduos de predição em relação aos dados de validação (Tabela 3). Os quadrados médios dos resíduos observados entre os dados preditos e os dados de validação foram respectivamente de 0,0379 para percentual de peletes e de 0,1775 para PDI.

Os coeficientes de determinação obtidos pela equação oriunda da técnica de splitting sobre os dados de validação foram respectivamente de 0,952 e 0,834 para percentual de peletes e PDI e, portanto iguais ou superiores aos coeficientes de determinação estimados pela equação de Herzberg (R_c^2) (0,952 e 0,826 para esses mesmos parâmetros) (Tabela 3). Dessa forma conforme comenta Oredein (2011), a equação de Herzberg permitiu ratificar a qualidade da predição do modelo matemático originado pela técnica de splitting utilizando um grupo de observações "desconhecidas".

Tabela 3. Quadrados médios dos resíduos de predição entre os dados preditos pela equação de regressão e os dados de validação do modelo

N	PS	HT	FI (g/kg)	MA (g/kg)	Peletes (Johnson) observado	PDI (Johnson) observado	Peletes (Johnson) calculado	PDI (Johnson) calculado	Quadrado resíduo Peletes	Quadrado resíduo PDI
1	grosso	Exp.	15	0	0,2026	0,7504	0,1875	0,5589	0,0002	0,0367
2	grosso	Pelet.	15	0	-0,9850	-0,1470	-1,0405	-0,6847	0,0031	0,2892
3	grosso	Exp.	15	7	0,6315	1,0506	0,5708	0,9831	0,0037	0,0046
4	grosso	Pelet.	15	7	-0,8777	0,0424	-0,7966	-0,2605	0,0066	0,0917
5	grosso	Exp.	15	14	0,7275	1,3524	0,9540	1,2897	0,0513	0,0039
6	grosso	Pelet.	15	14	-0,5492	0,3420	-0,5526	0,0461	0,0000	0,0876
7	grosso	Exp.	15	21	0,9565	1,9126	1,3373	1,4787	0,1450	0,1883
8	grosso	Pelet.	15	21	-0,2906	0,3248	-0,3087	0,2351	0,0003	0,0080
9	medio	Exp.	15	0	0,8210	1,0970	0,4491	1,1336	0,1383	0,0013
...
...
119	medio	Exp.	45	0	-0,0539	-0,3645	-0,3069	-0,4414	0,0640	0,0059
120	medio	Pelet.	45	0	-1,6150	-3,1363	-1,6971	-2,4140	0,0067	0,5217
121	medio	Exp.	45	7	0,1316	-0,0380	0,0687	-0,0172	0,0040	0,0004
122	medio	Pelet.	45	7	-1,5276	-2,4914	-1,4609	-1,9898	0,0045	0,2516
123	medio	Exp.	45	14	0,3844	0,1960	0,4442	0,2894	0,0036	0,0087
124	medio	Pelet.	45	14	-1,1905	-2,2473	-1,2246	-1,6832	0,0012	0,3182
125	medio	Exp.	45	21	0,4980	0,4737	0,8198	0,4784	0,1035	0,0000
126	medio	Pelet.	45	21	-0,7440	-1,9725	-0,9884	-1,4942	0,0597	0,2288
127	medio	Pelet.	15	0	-0,5664	-0,0120	-0,5931	-0,1100	0,0007	0,0096
128	grosso	Pelet.	35	21	-0,3189	-1,0263	-0,3273	-0,6409	0,0001	0,1485
Quadrado médio do resíduo									0,0379	0,1775
Soma de quadrados totais									109,9420	146,4380
Soma de quadrados do resíduo									4,8510	22,7250
Coeficiente de determinação									0,9520	0,8340

As equações geradas com os dados totais demonstraram menores quadrado médio dos resíduos quando comparadas as equações oriundas da técnica de splitting tanto para o percentual de peletes (0,0538 versus 0,0596) quanto para o PDI (0,1859 versus 0,1890). O uso da técnica de splitting acarretou em aumento nos erros padrões dos coeficientes da equação de predição entre 16 a 385% em relação às equações geradas com os dados totais, provavelmente devido ao fato de que somente 75% dos dados foram utilizados para a construção do modelo.

A observação acima está de acordo com Snee (1977), que comenta que uma das desvantagens da técnica de splitting é o aumento das variâncias dos coeficientes da equação.

Steyeberg et al. (2001) relataram que a técnica de splitting levou a uma melhora nos desvios padrões dos coeficientes quando os dados segregados para validação foram reduzidos de 50 para 33% das observações totais. No presente estudo, o conjunto de observações “desconhecidas” utilizadas como dados de validação do modelo (OREDEIN, 2011) correspondo qual a 25% do total das observações. De acordo com Steckel & Vanhonacker (1993) quando o total de observações é maior do que 100; ao redor de 20% desses dados podem ser segregados como dados de validação. Entretanto estes mesmos autores comentam que essa proporção para splitting é dependente da variável estudada.

4. CONCLUSÕES

O uso da técnica da splitting proporciona ferramentas interessantes tais como o comparativo dos quadrados médios de resíduos entre dados preditos versus dados desconhecidos e reais (dados de validação) e a aplicação das equações de Herzberg para validar o modelo estatístico utilizado no estudo. Por meio destas ferramentas o modelo estatístico utilizado se mostrou válido para descrever o processo de peletização avaliado neste estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAHRENHOLZ, A.C. Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability.

104 fls. Manhattan, Kansas. Tese apresentada no Kansas University. Department of Grain Science and Industry. 2012.

FRANKE, M.; REY, A. Improving pellet quality and efficiency. Feed Tech., v.10, n.3, p. 12-15, 2006. Disponível em <http://www.allaboutfeed.net/PageFiles/10790/001_boerderij-download-AAF10415D01.pdf>. Acesso em abr. 2010.

KOZAK, A.; KOZAK, R. **Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models?** Can. J. For. Res. n. 33, p. 976–987. 2003.

OREDEIN, A.I; OLATAYO, T.O.; LOYINMI, A.C. **Validating Regression Models with Bootstraps and Data Splitting Techniques.** Global Journal of Science Frontier Research, v.11, n.6, 2011. Disponível em < https://globaljournals.org/GJSFR_Volume11/1-On-Validating-Regression-Models-with-Bootstraps.pdf>. E-ISSN : 2249-4626. Print ISSN : 0975 - 5896. Acesso em mai.. 2013.

SANTOS, J.E. **Controle preditivo não-linear para sistemas de Hammerstein.** Projeto de Tese de Doutorado submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos do Exame de Qualificação. Florianópolis. 2003. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~santos/Qualify/Qualify_JESS.pdf> Acesso em out. 2010.

SNEE, R.D. **Validation of Regression Models: Methods and Examples.** Technometrics, v.19, n.4. p.415-428, 1977. Disponível em <<http://links.jstor.org/sici?sici=0040-1706%28197711%2919%3A4%3C415%3AVORMMA%3E2.0.CO%3B2-6>> Acesso em abr. 2013.

SOBOL, M.G. **Validation strategies for multiple regression analysis: Using the coefficient of determination.** Interfaces. v.21 n.6 p.106-120. 1991. Disponível em < <http://interfaces.journal.informs.org/content/21/6/106.full.pdf+html>> Acesso em abr. 2013. doi: 10.1287/inte.21.6.106.

STECKEL, J.H.; VANHONACKER, W.R. **Cross-Validating Regression Models in Marketing Research.** Marketing Science. v.12, n.4. p 415-427. 1993. Disponível em <

<http://www.jstor.org/stable/183938>> Acesso em mai. 2013. ISSN: 07322399. E-ISSN: 1526548X

STEYEBERG, E.W.; HARREL JR, F.E.; BOORSBOOM, G.J.J.M.; EIJKEMANS, M.J.C.; VERGOUWE, Y.; HABBEMA, J.D.F. **Internal validation of predictive models: Efficiency of some procedures for logistic regression analysis.** Journal of Clinical Epidemiology, v.54. p.774–781. 2001. Disponível em < <http://www.jclinepi.com/article/S0895-4356%2801%2900341-9/pdf>> Acesso em mai. 2013. doi.: S0895-4356(01)00341-9

TEIXEIRA, G.M. **Aplicação de equações diferenciais fracionárias ao controle de colunas de absorção.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de Concentração em Modelagem, Simulação, Otimização e Controle de Processos, Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Curitiba. 2010

CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reimer et al. (1992) verificaram que os diferentes fatores tais como tamanho de partícula, condicionamento, matriz da prensa, resfriamento/secagem e formulação) afetaram a durabilidade de peletes conforme a seguinte partição de efeitos:

- 5% devidos ao processo de resfriamento/secagem,
- 15% relacionados as especificações da matriz da prensa,
- 20% ligados ao condicionamento térmico,
- 20% relacionados ao tamanho de partícula de ingredientes
- 40% atribuídos a formulação de rações

Neste trabalho foram avaliados o tamanho da partícula, o processamento térmico, adição de umidade e inclusão de gordura e também foi possível determinar a participação de cada um desses fatores na qualidade de peletes. No presente estudo a quantidade de peletes intactos e PDI variaram respectivamente de um mínimo de 469 g/kg a um máximo de 927 g/kg e de um mínimo de 46 a 96% entre as amostras analisadas.

Quando se avaliou o efeito de todos os fatores modelados, o processamento térmico foi o fator mais importante nestes dois parâmetros e respondeu por 47% e 44% da variabilidade observada para quantidade de peletes e PDI respectivamente (Figuras 1 e 2).

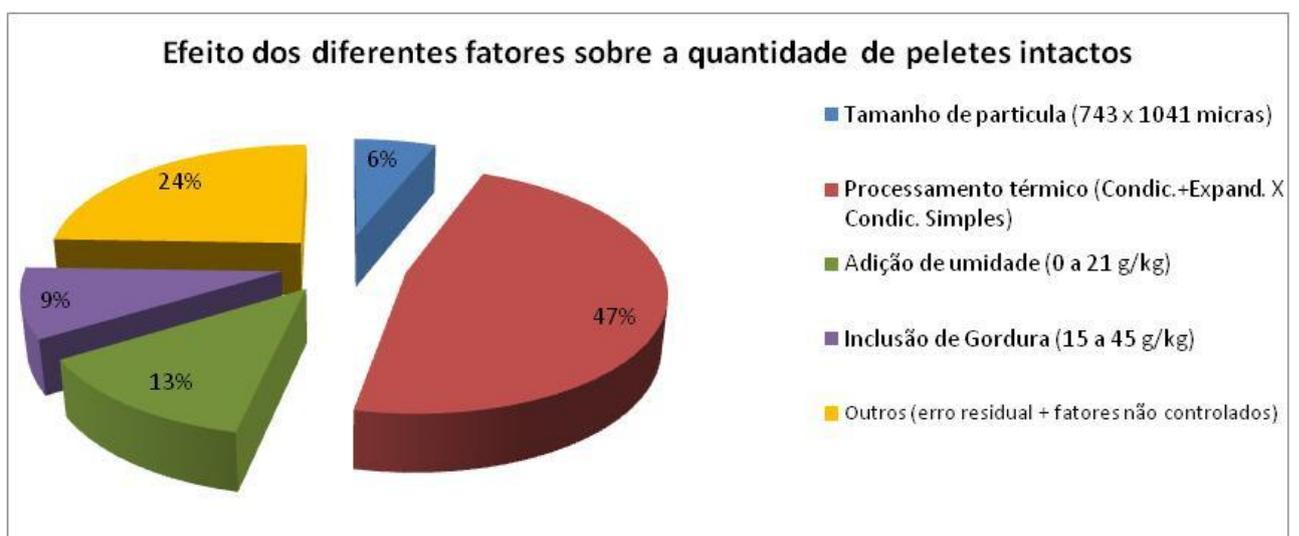


Figura 1 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos.

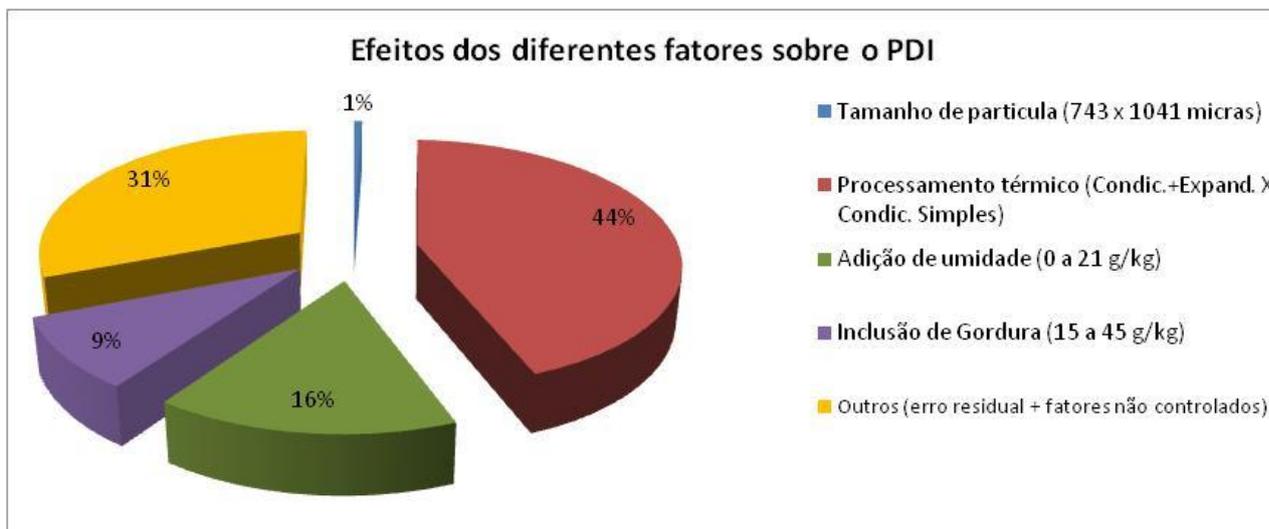


Figura 2 - Fatores influenciando a variabilidade do PDI

Quando as amostras foram segregadas por tipo de processamento térmico (condicionada-peletizada x condicionada-expandida-peletizada), os fatores mais importantes para a quantidade de peletes intactos foram a inclusão de gordura e a adição de umidade respectivamente para dietas condicionadas-peletizadas e dietas condicionadas-expandidas-peletizadas (Figuras 3 e 4).

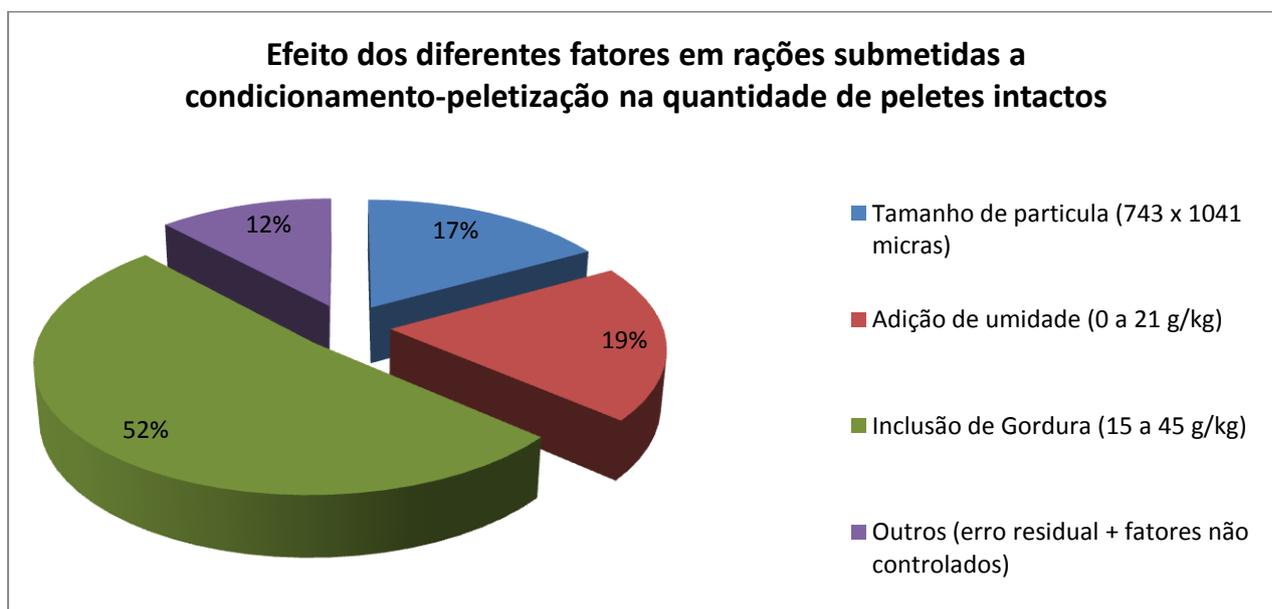


Figura 3 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos em dietas condicionadas-peletizadas.

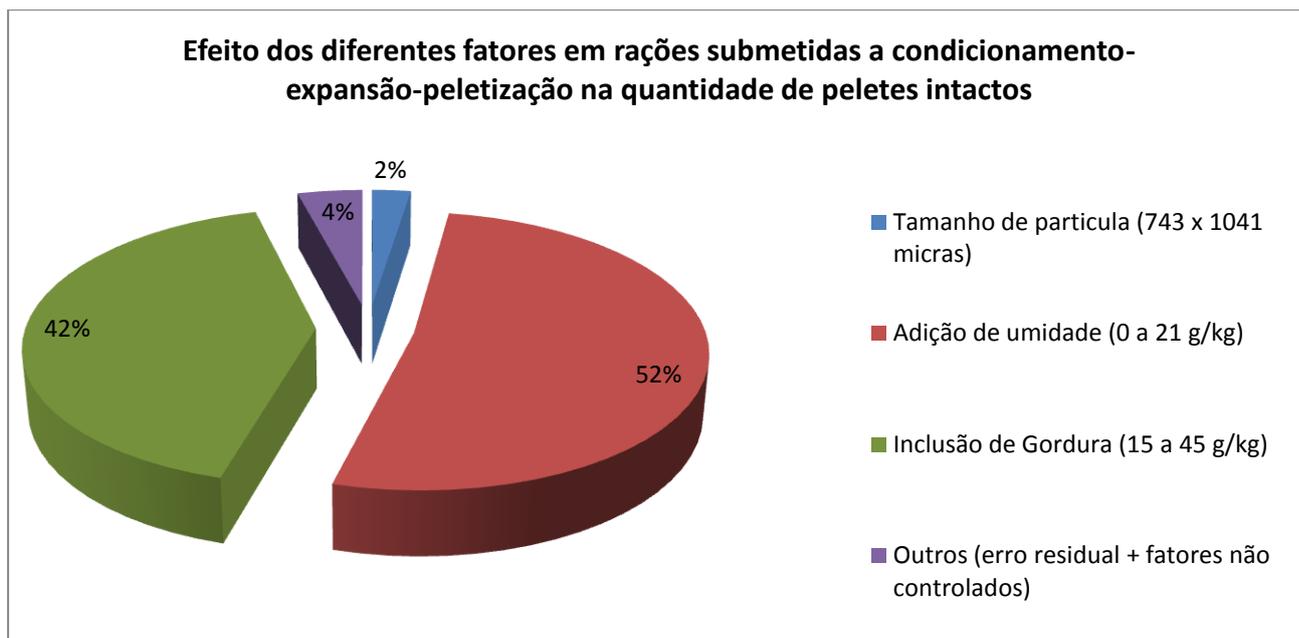


Figura 4 - Fatores influenciando a variabilidade da quantidade de peletes intactos em dietas condicionadas-expandidas-peletizadas.

Em relação ao PDI o fator mais importante para este parâmetro foi a adição de gordura para ambos os processamentos térmicos (Figuras 5 e 6)

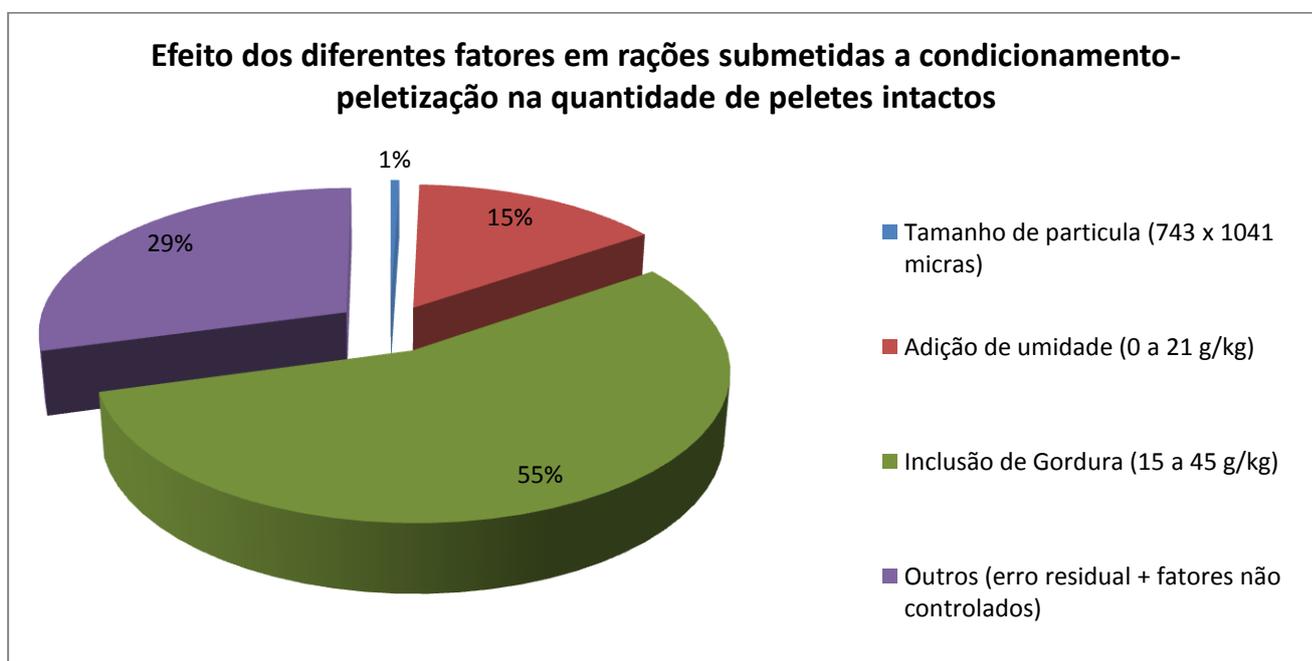


Figura 5 - Fatores influenciando a variabilidade PDI em dietas condicionadas-peletizadas.

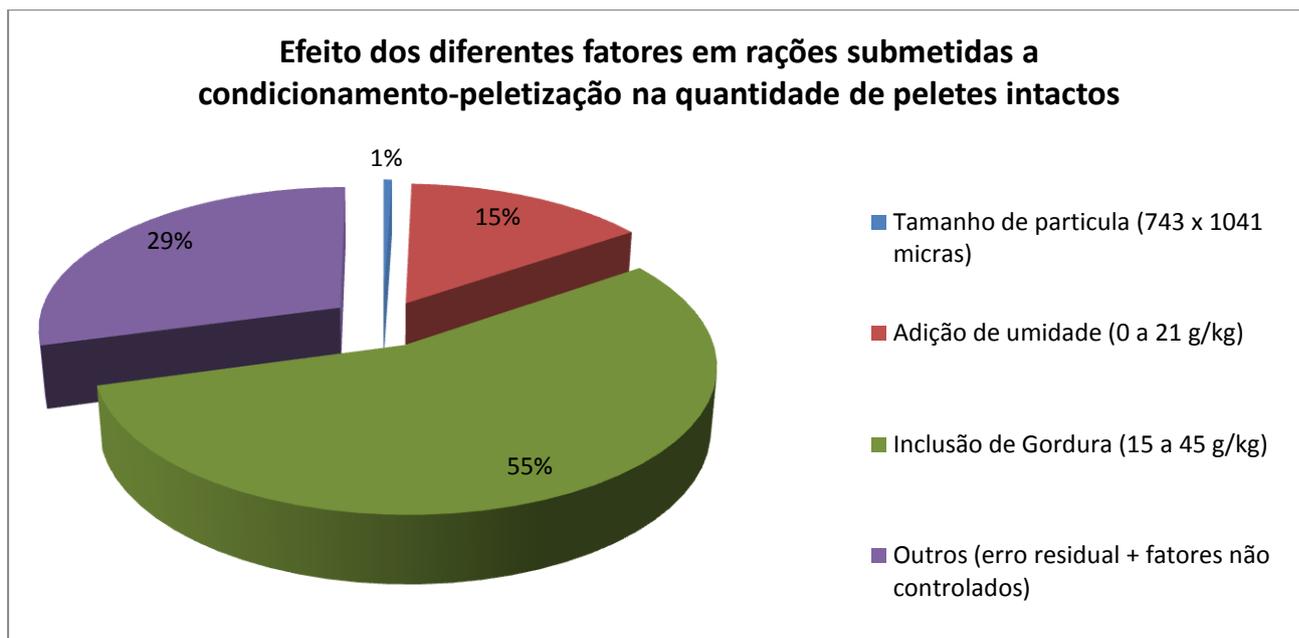


Figura 6 - Fatores influenciando a variabilidade do PDI em dietas condicionadas-expandidas-peletizadas.

Verificou-se que nas condições do presente estudo, a alternativa mais eficiente para melhorar a qualidade de peletes foi a expansão das dietas após o condicionamento, seguida em ordem decrescente de contribuição pelo aumento nos níveis de adição de umidade, pelas restrições na inclusão de gordura e finalmente pela redução no tamanho de partícula.

As equações de predição geradas a partir dos dados coletados no presente estudo foram eficazes (R^2 altos e valores- $p < 0,05$) para modelar as repostas em qualidade de peletes mediante ajustes em granulometria de moagem, na adição de umidade no condicionador, na inclusão de gordura e no processamento térmico. No atual cenário de produção animal no qual a margem de lucro é baixa, é necessário otimizar o retorno sobre o capital investido; neste sentido a modelagem do processo de peletização de rações pode auxiliar na seleção de variáveis do processo no qual as intervenções gerem as melhores relações de custo:benefício.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REIMER, L. **Conditioning**. Proc. Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course. p7. California Pellet Mill Co. 1992 in HANCOCK, J. D.,

KEITH, C. B., WONDRA, K. J., TRAYLOR, S. L., MAVROMICHALIS, I. Feed processing and diet modifications affect growth performance and economics of swine production. Kansas State University. Disponível em < http://www.bliss-industries.com/system/resources/0000/0027/feed_process_affects_growth_of_swine.pdf>. Acesso em nov. 2013