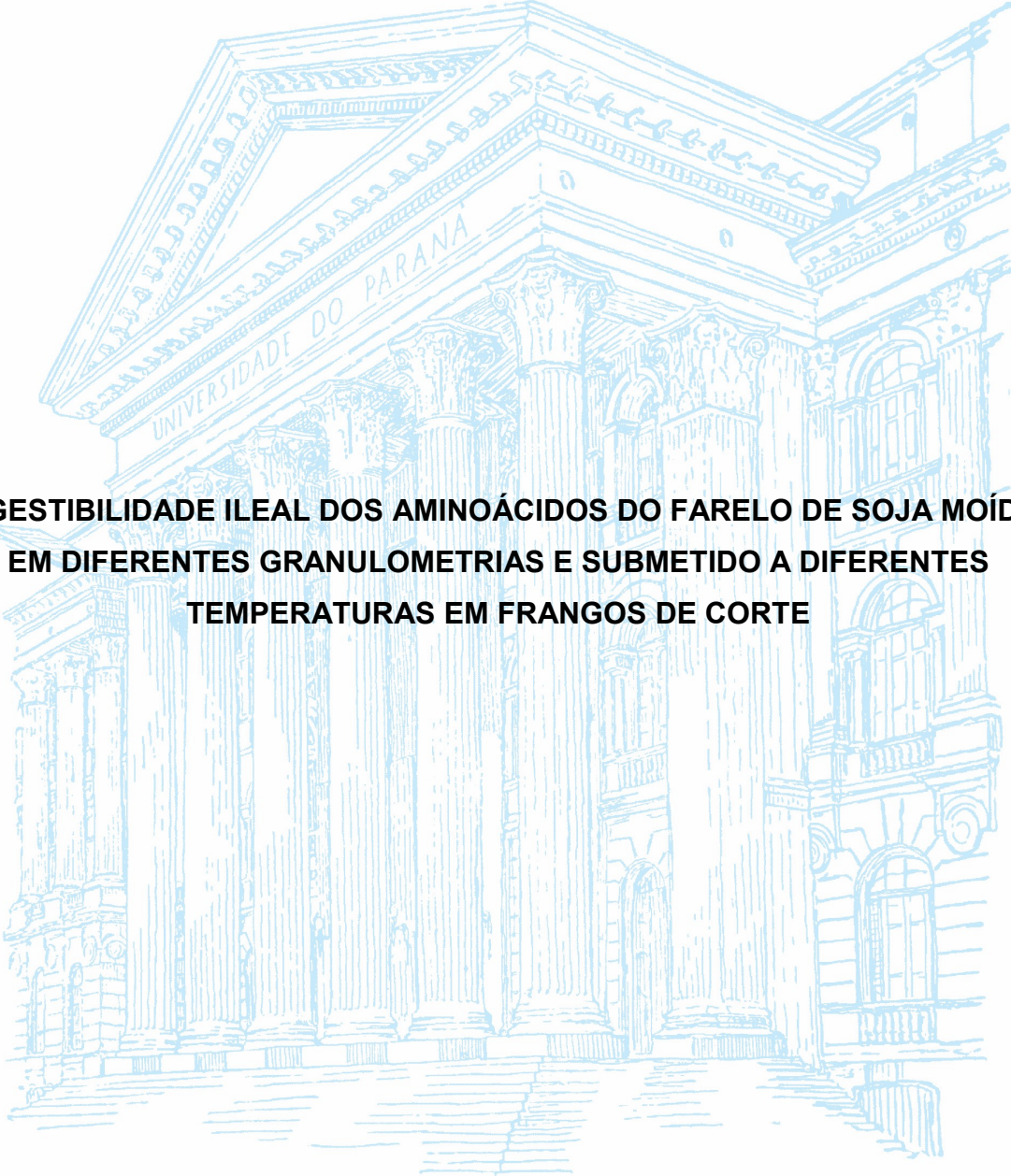


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANTONIEL POSPISSIL GONÇALVES FRANCO



**DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS DO FARELO DE SOJA MOÍDO  
EM DIFERENTES GRANULOMETRIAS E SUBMETIDO A DIFERENTES  
TEMPERATURAS EM FRANGOS DE CORTE**

CURITIBA

2017

ANTONIEL POSPISSIL GONÇALVES FRANCO

**DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS DO FARELO DE SOJA MOÍDO  
EM DIFERENTES GRANULOMETRIAS E SUBMETIDO A DIFERENTES  
TEMPERATURAS EM FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre. Área de concentração: Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia - PPGZ. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka  
Co orientadora: Profa. Dra. Ananda Portella Felix

CURITIBA

2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA

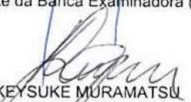
## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANTONIEL POSPISSIL GONÇALVES FRANCO** intitulada: "*Digestibilidade ileal dos aminoácidos do farelo de soja moído em diferentes granulometrias e tratado em diferentes temperaturas na alimentação de frango de corte*"., após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO

Curitiba, 28 de Abril de 2017.

  
ALEX MAIORKA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
KEYSUKU MURAMATSU

Avaliador Externo (JBS S.A)

  
ANA VITORIA FISCHER DA SILVA

Avaliador Externo (UFPR)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo número 082/2016, referente ao projeto “Determinação dos coeficientes de digestibilidade ileal de aminoácidos de farinhas de origem animal (penas e aves) e farelo de soja com diferentes granulometrias para frango de corte”, sob a responsabilidade de Alex Maiorka – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de Outubro, de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - BRASIL, com grau 1 de invasividade, em reunião de 14/09/2016.

Vigência do projeto	Outubro/2016
Espécie/Linhagem	<i>Gallus domesticus</i> (frango de corte) / Cobb 500
Número de animais	140
Peso/Idade	40 g / 1 dia
Sexo	Macho
Origem	Incubatório comercial em Castro – PR


CERTIFICATE

We certify that the protocol number 082/2016, regarding the project “Ileal digestibility determination of animal meal amino acids (feathers and birds) and soybean meal with different particle sizes for broilers” under Alex Maiorka supervision – which includes the production, maintenance and/or utilization of animals from Chordata phylum, Vertebrata subphylum (except Humans), for scientific or teaching purposes – is in accordance with the precepts of Law nº 11.794, of 8 October, 2008, of Decree nº 6.899, of 15 July, 2009, and with the edited rules from Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), and it was approved by the ANIMAL USE ETHICS COMMITTEE OF THE AGRICULTURAL SCIENCES CAMPUS OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (Federal University of the State of Paraná, Brazil), with degree 1 of invasiveness, in session of 14/09/2016.

Duration of the project	October/2016
Specie/Line	<i>Gallus domesticus</i> (broiler) / Cobb 500
Number of animals	140
Wheight/Age	40 g / 1 day
Sex	Male
Origin	Commercial incubatory at Castro – PR

Curitiba, 14 de setembro de 2016.

  
Simone Tostes de Oliveira Stedile



Dedico esse trabalho ao meu Pai, Sebastião, que não está mais entre nós, pelo menos fisicamente, mas que sempre me incentivou a seguir esse caminho, a minha mãe Maria Elizabeth, a minha querida esposa Bruna por estar sempre presente e ao meu lado, me dando força, incentivo e carinho para continuar essa jornada, e a minha filha Lorena, a qual me enche de alegria e orgulho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Dr. Alex Maiorka pelos conselhos, tanto acadêmicos como pessoais.

A minha co orientadora Professora Dra. Ananda Portella Félix, por toda orientação e ajuda na correção.

A equipe do LEPNAN, Josiane Panisson, Jean Durau, Andréia Massuqueto, Victor Taveira e aos estagiários.

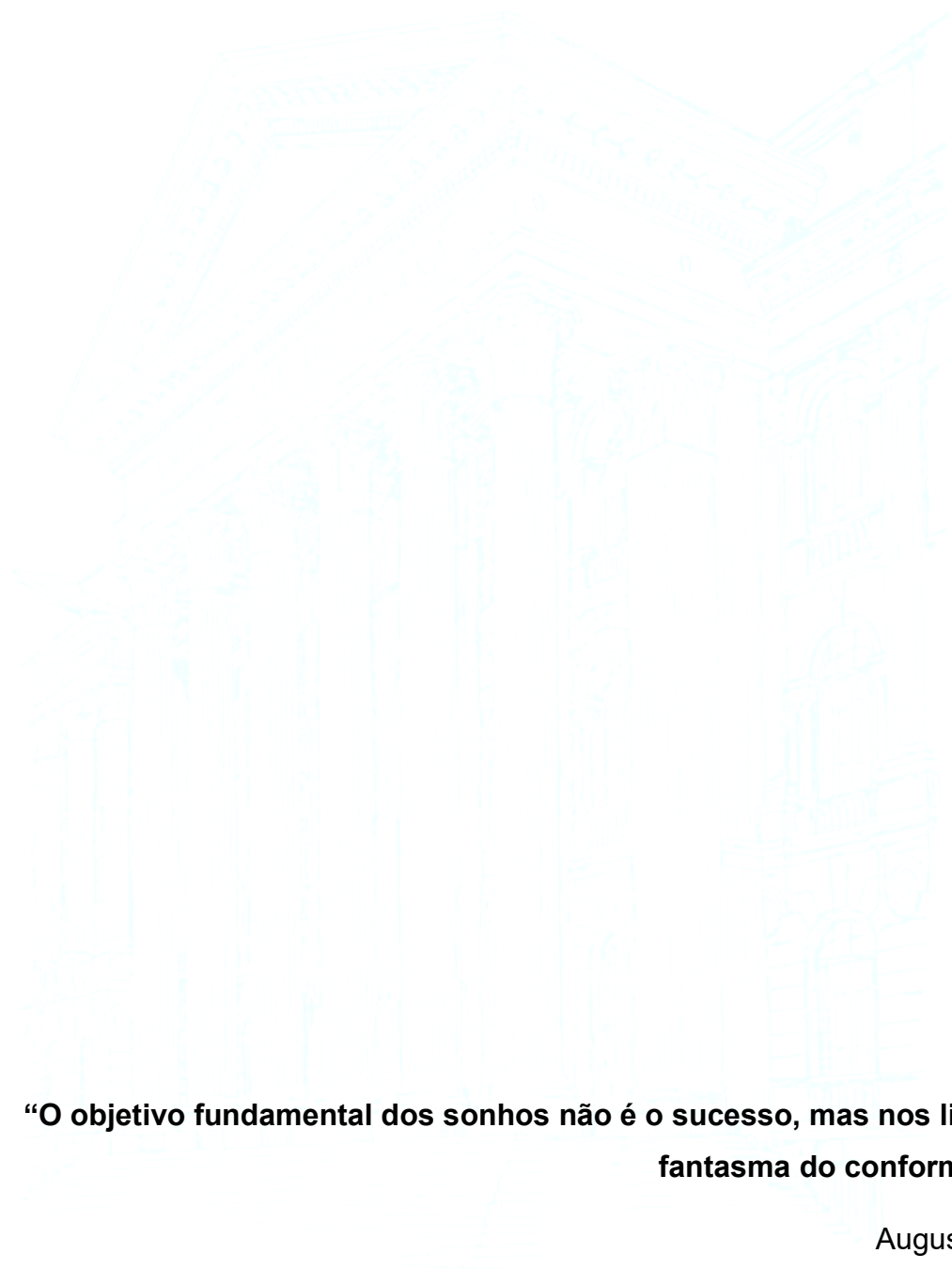
Ao pessoal do Laboratório de Nutrição Animal, Cleusa, Marcelo, Ruy, Hair e Aldo pela paciência e pela amizade.

Ao professor Dr. Hank Classen por ter me aceito e orientado durante o programa de intercâmbio na University of Saskatchewan - Canadá.

Ao professor Dr. Rex Newkirk pela amizade e apoio antes, durante e após a execução do 2º experimento.

Ao pessoal da University of Saskatchewan, Dawn Abbot, John Smillie, Rachel Savary, Eugenia Herwig, Dervan Bryan, Namalika Karunaratne, Robert Gonda e Mark.

**A todos o meu muito obrigado!**



**“O objetivo fundamental dos sonhos não é o sucesso, mas nos livrar do fantasma do conformismo.”**

Augusto Cury

## RESUMO

A moagem e o tratamento térmico são um dos principais processos na fabricação de ração. A granulometria em especial, é extremamente importante quando pensamos na alimentação de frango de corte, devido às características do trato digestório desse animal. Quanto à temperatura, hoje temos a grande maioria da ração fornecida aos animais de forma peletizada, ou seja, a mesma passa por um tratamento térmico durante a sua produção, podendo influenciar na digestibilidade da dieta. Com o objetivo de identificar a influência do tamanho de partícula e do tratamento térmico na energia metabolizável aparente (EMA), digestibilidade da proteína bruta (PB) e ileal dos aminoácidos do farelo de soja em frangos de corte. Foram conduzidos dois experimentos, o 1º experimento avaliou a granulometria e o 2º avaliou o tratamento térmico do farelo de soja. Para o 1º experimento utilizou-se 140 pintos de corte divididos em 5 tratamentos com 7 repetições, contendo 4 aves cada. Os tratamentos foram: uma dieta isenta de proteína (DIP) e outras quatro com diferentes granulometrias (649, 824, 937 e 1234  $\mu\text{m}$ ). Foi verificado efeito linear negativo com o aumento da granulometria para PB e lisina e quadrática para os demais aminoácidos ( $P < 0,05$ ), com o aumento na granulometria do farelo de soja. No 2º experimento utilizou-se 216 pintos de corte divididos em 6 tratamentos com 6 repetições, contendo 6 aves cada. Foram avaliadas uma dieta basal composta basicamente por milho e outras cinco dietas com diferentes temperaturas de processamento do farelo de soja (55, 65, 75, 85 e 95°C). Não houve efeito para regressão da temperatura sobre a EMA e metionina ( $P > 0,05$ ). Porém, houve efeito linear ( $P = 0,03$ ) com redução da digestibilidade para PB e uma resposta quadrática para os demais aminoácidos ( $P < 0,05$ ). Considerando os resultados desses experimentos é possível concluir que há uma granulometria ideal do farelo de soja para alimentação dos frangos de corte em torno de 824  $\mu\text{m}$ , bem como uma temperatura máxima de 75°C para o processamento desse ingrediente.

Palavras-chave: fatores antinutricionais, Maillard, moagem, partícula, temperatura.

## ABSTRACT

The grinding and thermic treatment are one of the most important process is related to feed processing. The particle size in special is extremely important when considering poultry nutrition and feeding, due to the characteristics of the digestive system of this animal. Nowadays the majority of the feed provided to the animals is pelleted, and taking in account that this feed suffers a heat treatment during its production, this process can influence the nutrient digestibility. This work had the objective of identifying the influence of the particle size and thermic treatment over the apparent metabolizable energy (AME), crude protein (CP) and amino acid digestibility. Two trials were conducted, the 1<sup>st</sup> trial evaluated the particle size and the 2<sup>nd</sup> evaluated the thermic treatment of the soybean meal. For the 1<sup>st</sup> trial, 140 broilers were used, divided in 5 treatments with 7 replications, containing 4 birds each. The treatments consisted in: a diet without protein and 4 others with different particle size (649, 824, 937 e 1234  $\mu\text{m}$ ). It was verified a negative linear effect with the increase of the particle size for CP) and lysine and quadratic to the others amino acids ( $P < 0,05$ ). In the 2<sup>nd</sup> rial 216 broilers were used, divided in 5 treatments with 6 replications, containing 6 birds each. The treatments consisted in one basal diet and 5 others diets with different processing temperature of the soybean meal (55, 65, 75, 85 e 95°C). There were no regression effect AME and methionine ( $P > 0,05$ ). However there was linear effect ( $P = 0,03$ ) with digestibility reduction for CP and quadratic response to the others amino acids ( $P < 0,05$ ). Considering the results of these trials, it is possible to conclude that there is an ideal particle size of the soybean meal used as feed around 824  $\mu\text{m}$ , as well as a maximum temperature of 75oC for processing this ingredient.

Key words: antinutritional factors, grinding, Maillard, particle size, temperature.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FÓRMULA DIETA INICIAL.....	38
TABELA 2 - FÓRMULAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	40
TABELA 3 - FÓRMULA DIETA INICIAL.....	45
TABELA 4 - FÓRMULAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	47
TABELA 5 - ENERGIA METABOLIZÁVEL APARENTE (KCAL), DIGESTIBILIDADE ILEAL DA PROTEÍNA BRUTA E DOS AMINOÁCIDOS (%) COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS DO FARELO DE SOJA. ....	50
TABELA 6 - ENERGIA METABOLIZÁVEL APARENTE (KCAL), DIGESTIBILIDADE ILEAL DA PROTEÍNA BRUTA E DOS AMINOÁCIDOS (%) COM DIFERENTES TEMPERATURAS DE PROCESSAMENTO DO FARELO DE SOJA.....	51

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

$\mu\text{m}$  – Micrômetro

AA - Aminoácidos

APROSOJA – Associação dos produtores de soja do Brasil

CIA – Cinza insolúvel em ácido

CCK – Colicistoquinina

$\text{CD}_{\text{apPB}}$  – Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta

$\text{CV}_{\text{IPB}}$  – Coeficiente de digestibilidade ileal da proteína bruta

$\text{CD}_{\text{IAA}}$  – Coeficiente de digestibilidade ileal dos aminoácidos

DIC – Delineamento inteiramente casualizado

DIP – Dieta isenta de proteína

EMA – Energia metabolizável aparente

FI – Fator de indigestibilidade

HPLC – High performance liquid chromatography

PB – Proteína bruta

pH – Potencial hidrogeniônico

PNAS – Polissacáídeos não-amídicos solúveis

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	FARELO DE SOJA .....	16
2.2	PROCESSAMENTO DA SOJA.....	17
2.3	EFEITO DA GRANULOMETRIA NA DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES 18	
2.4	PROTEÍNAS .....	19
2.4.1	Composição química .....	19
2.4.2	Digestão e absorção da proteína.....	20
2.5	AMINOÁCIDOS.....	25
2.5.1	Digestibilidade aminoácidos in vivo e in vitro.....	25
2.5.2	Disponibilização e uso de aminoácidos.....	26
2.5.3	Desnaturação da proteína .....	27
2.6	REAÇÃO DE MAILLARD .....	27
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>
	<b>EFEITO DA GRANULOMETRIA E TRATAMENTO TÉRMICO DO FARELO DE SOJA NA DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS EM FRANGOS DE CORTE.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESUMO.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
	EXPERIMENTO 1 – DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS PRESENTES NO FARELO DE SOJA PROCESSADO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS. ....	36
6.1	ANIMAIS E LOCAL DO EXPERIMENTO.....	36

6.2	DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS.....	37
6.3	ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE .....	41
6.4	ANÁLISES QUÍMICAS.....	41
6.5	EQUAÇÕES DE DIGESTIBILIDADE .....	42
6.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
	EXPERIMENTO 2 – DIGESTIBILIDADE ILEAL VERDADEIRA DOS AMINOÁCIDOS PRESENTES NO FARELO DE SOJA PROCESSADO COM DIFERENTES TEMPERATURAS.....	44
6.7	ANIMAIS E LOCAL DO EXPERIMENTO .....	44
6.8	DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS.....	44
6.9	ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE .....	47
6.10	ANÁLISES QUÍMICAS.....	48
6.11	EQUAÇÕES, CÁLCULOS, ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	49
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
7.1	Experimento 1 - Granulometria .....	50
7.2	Experimento 2 – Tratamento térmico .....	51
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS GERAIS .....</b>	<b>60</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A absorção dos nutrientes pelos animais pode ser influenciada pela granulometria do alimento e pelo tipo de processamento térmico que o material recebeu antes de ser fornecido ao animal. Um exemplo disso é a soja, a qual possui a necessidade de passar por alguns processamentos antes de ser utilizada na alimentação animal.

A soja é um dos principais ingredientes utilizados na nutrição animal, sendo principalmente utilizado na forma de farelo de soja, um coproduto derivado da extração do óleo presente nos grãos. Considerando toda a soja processada no Brasil, aproximadamente 18,5% dela é destinada à alimentação animal (APROSOJA, 2016). Este ingrediente passa por diferentes tipos de processamentos antes de ser fornecido ao animal, sendo eles: processos físicos e térmicos (BELLAVÉR; SNIZEK JR, 1999).

No entanto, ela possui diversos fatores antinutricionais na sua forma *in-natura* que podem inviabilizar sua utilização, caso não seja realizado um tratamento térmico adequado (LIENER, 1994). De acordo com Leterme et al. (1988), os inibidores de enzima tripsina (Kunitz e Bowman-Birk) é considerada o fator antinutricional presente na soja com o maior impacto no desempenho animal, afetando de forma direta e negativa a absorção dos nutrientes. A dificuldade na avaliação da eficácia do tratamento térmico é determinar se o processamento da soja foi adequado do ponto de vista nutricional. O correto tratamento térmico do produto deve proporcionar um eficiente meio de inativação dos fatores antinutricionais, porém sem que isso ocasione em uma redução na disponibilidade dos aminoácidos presentes no produto (VAN BARNEVELD, 1992). Assim como o tratamento térmico, a granulometria possui papel fundamental na disponibilização e aproveitamento dos nutrientes presentes no farelo de soja.

Há grande dificuldade de se trabalhar com a granulometria do farelo de soja na fábrica de ração, uma vez que esse ingrediente passa por processamento nas indústrias esmagadoras que modificam o tamanho das partículas do produto como, moagem e prensagem (BELLAVÉR; SNIZEK JR, 1999). De acordo com Amerah et al. (2007), o tamanho das partículas influencia na digestão, taxa de passagem e

absorção dos nutrientes nas aves, sendo que partículas maiores proporcionam redução na taxa do trânsito intestinal, ocasionando em maior permanência na luz intestinal, possibilitando maior interação enzimática, com efeito na digestibilidade dos nutrientes.

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes granulometrias e temperaturas de peletização na energia metabolizável aparente (EMA) e digestibilidade ileal da proteína bruta (PB) e dos aminoácidos presentes no farelo de soja em frangos de corte.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FARELO DE SOJA

O farelo de soja possui importante papel na produção animal, uma vez que a especificação típica deste produto é possuir em torno de 46 a 48% de proteína bruta, possuindo considerável homogeneidade e perfil de aminoácidos muito interessante para a alimentação animal (PIVATTO, 2003).

De acordo com a Associação dos Produtores de Soja do Brasil (APROSOJA, 2016), 49% de toda a soja produzida no Brasil é processada, sendo 21% deste volume constituído da porção líquida destinada para produção do óleo e 79% constituído de porção sólida destinado para a produção de farelo de soja. Já convertido em farelo, 48% deste volume é utilizado na produção de ração animal.

Para ser possível a utilização da soja na alimentação animal, esta deve ser submetida a tratamentos com o objetivo de inativar os fatores antinutricionais, sendo comumente utilizado o tratamento térmico.

Os principais fatores antinutricionais da soja são:

- Inibidores de tripsina e quimiotripsina (Kunitz e Bowman-Birk), que ocasionam a inibição na digestão proteica;
- Lectinas (hemaglutininas), que possuem como principal modo de ação a combinação com células da parede intestinal, causando interferência não específica na absorção de nutrientes (JAFFÉ, 1980);
- Fatores alérgicos (Glicinina e  $\beta$ -Conglicinina), causando a redução na absorção de nutrientes, resultando em efeitos deletérios sobre as microvilosidades do intestino delgado;
- Lipase e lipoxigenase, que auxiliam na oxidação e rancificação do óleo de soja
- Polissacarídeos não-amiláceos solúveis (PNAS), que causam diminuição no desempenho dos animais pelo aumento no trânsito do conteúdo intestinal (BELLAVÉR; SNIZEK JR, 1999).

## 2.2 PROCESSAMENTO DA SOJA

Com foco na alimentação animal, o processamento da soja resulta em dois principais ingredientes: o farelo e o óleo de soja. Para que o processo de extração do óleo de soja seja eficiente, as partículas da soja precisam ser reduzidas, tanto em tamanho (quebra) como em espessura (laminação). A soja expandida é então levada ao extrator de hexano onde são produzidas duas frações: a micela e o farelo de soja. A micela é a porção que contém o óleo de soja, juntamente com o hexano, o qual segue para um processamento específico com o intuito de recuperar o hexano. O farelo de soja é levado ao “toaster” que tem duas funções: recuperar parte do hexano ainda presente no farelo e desativar os fatores antinutricionais (OETTERER; REGINATO-D'ARCE; SPOTO, 2006). O farelo de soja obtido utilizando-se a extração com solvente contém entre 0,75 e 1,5% de óleo residual e lecitinas (SWICK, 1998).

A porcentagem de PB deste produto ao sair do processamento é entre 42 e 50%. Esse valor, porém, pode ser diferente no produto final com a retirada ou adição de casca (SAID, s.d.). Quando processada adequadamente, é altamente palatável e digestível, possuindo bom balanço de aminoácidos, baixa concentração de fibras e elevado conteúdo de energia digestível (SWICK, 1998).

O tratamento térmico durante a extração do óleo pode interferir na digestibilidade de alguns aminoácidos, especialmente a lisina. Isto é importante porque a lisina é o primeiro aminoácido limitante para suínos e o segundo limitante para aves (dietas a base de milho e farelo de soja) (BAKER ET AL. 2002). O superaquecimento pode fazer com que ocorra o aparecimento da reação de Maillard, que é a ligação de um carboidrato com um grupo amina do aminoácido (MAURON, 1981). O sub aquecimento também é prejudicial, pois não realiza a desativação dos fatores antinutricionais que interferem no processo digestivo de aves e suínos (SWICK, 1998).

Parsons et al. (1997) realizaram um estudo a fim de avaliar os efeitos do calor excessivo no tratamento do farelo de soja sobre a digestibilidade dos aminoácidos. O excesso de calor reduziu o desempenho dos frangos de corte por redução da lisina total e da disponibilidade desse aminoácido. Para avaliar o grau de processamento térmico no farelo de soja existem vários métodos, entre os quais o índice de atividade

ureática, a solubilidade da proteína em KOH e atividade inibidora da tripsina (BELLAVAR; SNIZEK JR 1999).

### 2.3 EFEITO DA GRANULOMETRIA NA DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES

A granulometria da ração possui papel importante na produção animal, tanto na produção de ração quanto na fisiologia animal. Do ponto de vista produtivo, a ração moída mais fina proporciona mistura mais homogênea do produto, reduzindo dessa forma a possibilidade de segregação dos ingredientes. Por outro lado, a moagem mais fina da ração demanda mais energia elétrica para sua produção ao utilizar os moinhos por mais tempo (BEHNKE, 2001).

Do ponto de vista nutricional, partículas menores propiciam maior área de contato do alimento às enzimas digestivas, possibilitando incremento na digestibilidade dos nutrientes. Por outro lado, as aves demonstram preferir partículas mais grossas, as quais estimulam o funcionamento da moela, sendo esse um dos principais órgãos, responsável pelo controle da motilidade intestinal (FERKET & GERNAT, 2006). Uma moela totalmente funcional tem demonstrado papel fundamental no funcionamento do sistema gastrointestinal e no tempo de retenção da digesta (AMERAH et al. 2008).

A importância da estrutura física da dieta como forma de aumentar a eficiência alimentar e o desempenho durante a vida do animal é altamente significativo. Partículas de ração mais grossas demonstram influência positiva no desempenho dos animais (NIR et al., 1995; AMERAH et al., 2008; PALANDER et al., 2010).

O processo de moagem de grãos impactam no aumento do ganho de peso e na melhora da conversão alimentar nos frangos de corte, uma vez que pode impactar na melhora da digestibilidade dos nutrientes (SCHAIBLE, 1970). De acordo com Xu et al. (2015), ao ser fornecido alimento com uma granulometria maior resulta em um maior tempo de retenção do alimento no sistema digestório, impactando positivamente em resultados de melhoria de digestibilidade ileal aparente.

Estudos realizados por Amerah et al. (2008) apontam a importância da granulometria da ração na alimentação de frangos de corte. Com a utilização de aveia e milho em diferentes granulometrias, verificou-se melhor desempenho em animais alimentados com partículas de milho com maior granulometria. Em ambos os alimentos foi possível verificar uma redução no consumo de alimento quando esse possuía menor granulometria. Além disso, foi verificado melhora na energia metabolizável aparente quando os animais foram alimentados com o trigo com maior granulometria. Em aves, partículas maiores favorecem o desenvolvimento do sistema digestivo, resultando em um incremento no aproveitamento dos nutrientes pelo mesmo, além do que, partículas maiores ativam o centro de saciedade mais rapidamente.

## 2.4 PROTEÍNAS

### 2.4.1 Composição química

Proteínas são macromoléculas compostas de uma ou mais cadeias polipeptídicas, todas possuem uma sequência de aminoácidos. Esse nutriente possui grande importância na formação do organismo, uma vez que, 80% do peso dos músculos, 70% da pele e 90% do sangue, após desidratados, são constituídos por proteínas (aminoácidos) (CHAMPE, 2006). Além disto, considerando as enzimas proteicas, transportadores proteicos do sangue, anticorpos, transportadores de oxigênios, entre outros, pode-se afirmar que praticamente 50% de toda a matéria orgânica do ser vivo é proteína.

As proteínas são constituídas por aminoácidos, sendo uma molécula orgânica contendo um grupo carboxila (COOH) e um grupo amina (NH<sub>2</sub>). Há mais de 220 aminoácidos conhecidos, entre eles, 20 a 22 aminoácidos padrões, que são requeridos para síntese de diferentes proteínas. Aproximadamente dez desses aminoácidos padrões não são sintetizados na velocidade ou em quantidade de que o animal necessita, sendo necessária suplementação externa. Tais aminoácidos são chamados de essenciais (HILL et al. 2008).

Os principais aminoácidos essenciais para o frango de corte são: lisina, metionina, triptofano, treonina, arginina, isoleucina, leucina, histidina, fenilalanina e valina. Nas dietas comerciais à base de milho e soja, como é o caso do Brasil, a metionina passa a ser o primeiro aminoácido limitante e a lisina o segundo para crescimento e produção (RAVINDRAN; BRYDEN, 1999).

#### 2.4.2 Digestão e absorção da proteína

A digestão proteica da ração pelo frango inicia-se no estômago, pela ação da enzima pepsina secretada, sob sua forma inativada chamada de pepsinogênio, pelas células principais ou pépticas. O pepsinogênio é armazenado como grânulo de zimogênio nas células principais das glândulas fúndicas e do corpo do estômago. O pepsinogênio é enzimaticamente inativo no interior celular, porém, quando secretado, ao entrar em contato com o meio ácido do estômago, transforma-se em pepsina ativa. Esta, de forma auto catalítica, atua sobre outras moléculas de pepsinogênio e produz novas moléculas de pepsina (AIRES, 1999).

O principal estimulante da secreção de pepsinogênio é a acetilcolina. A ativação vagal ocorre durante as fases cefálica e gástrica resultando em significativa secreção de pepsinogênio. O íon H<sup>+</sup> tem importante papel em várias fases desse processo (AIRES, 1999):

- a) O ácido é necessário para a conversão do pepsinogênio à pepsina. Em pH 2,0 essa conversão é quase que instantânea;
- b) O ácido ativa um reflexo colinérgico local que estimula a secreção de pepsinogênio pelas células principais;
- c) Esse reflexo sensível ao ácido aumenta a sensibilidade das células principais a outros estímulos e;
- d) O ácido promove a liberação de secretina, hormônio produzido pelas células duodenais, que também estimula a secreção de pepsinogênio.

A gastrina é um hormônio que igualmente estimula a secreção de pepsinogênio. Seu efeito se faz pela estimulação da secreção de hidrogênio e subsequente ativação do reflexo colinérgico local.

A pepsina é uma enzima proteolítica e a única do suco gástrico que hidrolisa as ligações peptídicas em que, um íon hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) é removido de um aminoácido, enquanto um íon hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) é removido do próximo aminoácido.

Assim, os aminoácidos combinam-se, por meio de um processo de condensação, ao mesmo tempo em que perdem uma molécula de água. A digestão das proteínas, por conseguinte, envolve também um processo de hidrólise, em que as enzimas proteolíticas fazem a água voltar às moléculas proteicas, para desdobrá-las em seus aminoácidos constituintes (GUYTON, 2006).

A pepsina inicia rapidamente a hidrólise de proteínas nas ligações peptídicas envolvendo o grupo carboxila de um resíduo aromático (fenilalanina, triptofano ou tirosina). Além disso, a pepsina age de maneira mais lenta nas ligações peptídicas que envolvem outros resíduos, como por exemplo, a leucina e resíduos ácidos (CHAMPE, 2006).

Ela somente inicia o processo de digestão proteica, liberando oligopeptídeos de cadeia longa e apenas 15% de aminoácidos totais presentes no alimento ingerido, sendo, portanto, responsável pela digestão de 10 a 30% das proteínas totais da dieta (FRENHANI; BURINI 1999).

De acordo com Barrett et al. (2001), as enzimas proteolíticas são comumente classificadas em proteinases típicas, que são capazes de atuar em moléculas inteiras de proteínas e; peptidases intestinais, que catalisam a clivagem de fragmentos relativamente pequenos, os peptídeos.

Todas essas enzimas são relativamente de alta especificidade (substrato+enzima). Contudo, enquanto as proteinases podem fracionar as proteínas, podendo ser em forma de peptídeos, ou em um maior grau de degradação, chegando a aminoácidos, os produtos resultantes da atividade das peptidases são sempre aminoácidos (Barrett et al. 2001).

Outra importante diferença entre os dois grupos de enzimas é que as proteinases possuem ação em ligações de difícil acesso no interior da hélice das proteínas, por isso são chamadas de endopeptidases, enquanto que as peptidases, também chamadas exopeptidases têm a sua ação restrita à hidrólise das ligações

peptídicas adjacentes aos grupos  $\alpha$ -amino ou  $\alpha$ -carboxílico (as pontas) que se encontram do lado de fora da hélice da proteína (BARRETT et al. 2001).

A maior parte da digestão das proteínas ocorre principalmente no intestino delgado, sob influência das enzimas proteolíticas da secreção pancreática (FRENHANI; BURINI 1999). Quando as proteínas deixam o estômago, em geral encontram-se principalmente na forma de peptonas e grandes polipeptídios (GUYTON, 2006).

Quando o conteúdo ácido (quimo) passa para o duodeno, seu baixo pH estimula a secreção de hormônio secretina, que, pela via sanguínea, estimula o pâncreas a secretar bicarbonato para, neutralizar o ácido clorídrico gástrico. Assim, o pH do duodeno sobe abruptamente de 1,5 a 2,5 para até 7 (AIRES, 1999).

A presença de aminoácidos e ácidos graxos na porção superior do intestino delgado estimula as células I da mucosa duodenal a liberarem a colicistoquinina (CCK), que, através da via sanguínea, atinge o tecido pancreático, ativando a extrusão dos grânulos de zimogênio das células acinosas. A CCK é o principal hormônio estimulante do componente enzimático da secreção pancreática. A secreção pancreática provocada pelo estímulo da CCK é pouco abundante, porém rica em enzimas (AIRES, 1999).

A entrada de aminoácidos no duodeno estimula a secreção de enzimas proteolíticas e peptidases, que atuam na faixa de pH ótimo de 7 a 8 e, desse modo, fazem com que a digestão da proteína continue. As proteases – peptonas e peptídeos de cadeia longa, resultantes da digestão das proteínas no estômago – são atacadas por exopeptidases e endopeptidases secretadas pelas células exócrinas do pâncreas, inicialmente sob a forma de zimogênios, sendo na forma de enzima inativa. A síntese dessas enzimas, sob a forma de precursores inativos protege as células pancreáticas do ataque proteolítico (AIRES, 1999). As enzimas endopeptidases hidrolisam as proteínas em pontos internos ao longo das cadeias de aminoácidos, enquanto as exopeptidases hidrolisam as proteínas liberando aminoácidos individuais das terminações de cadeias peptídicas (CHAMPE, 2006).

O pâncreas secreta um líquido ligeiramente alcalino, que contém zimogênios inativos de várias proteases, isto é, tripsinogênio, três quimiotripsinogênios, procarboxipeptidases A e B e proelastase. Uma enzima presente na membrana da

borda em escova intestinal, a enteropeptidase (antigamente denominada enteroquinase), é responsável pela conversão rápida e específica do tripsinogênio em tripsina. A enteropeptidase converte o zimogênio pancreático (tripsinogênio) em tripsina pela remoção de um hexapeptídeo do NH<sub>2</sub>-terminal do tripsinogênio. A liberação do peptídeo é acompanhada do aparecimento da atividade enzimática e de certa mudança na conformação da molécula (CHAMPE, 2006).

A tripsina, por sua vez, age autocataliticamente ativando as demais enzimas proteolíticas pancreáticas (AIRES, 1999). A enteropeptidase age com velocidade 2.000 vezes maior que a clivagem auto catalítica do tripsinogênio pela própria tripsina. A ação da enteropeptidase é decisiva, visto que a tripsina é responsável pela conversão de todos os outros zimogênios inativos e pró enzimas nas suas formas ativas (CHAMPE, 2006). A tripsina, quimo tripsina e elastase são endopeptidases, enquanto as carboxipeptidases A e B são exopeptidases (NELSON, 2006).

Todas as enzimas proteolíticas, incluindo aquelas do suco gástrico, do suco pancreático e da borda em escova das células do epitélio intestinal, são muito específicas para hidrolisar tipos individuais de ligações peptídicas. As ligações entre certos pares de aminoácidos diferem em sua energia, portanto é necessária uma enzima específica para os tipos específicos de ligação. Por isso se faz necessário uma multiplicidade de enzimas proteolíticas (GUYTON, 2006).

A tripsina atua sobre as ligações peptídicas que envolvem os grupos carboxila da arginina e lisina (AIRES, 1999; NELSON, 2006). As quimiotripsinas são mais ativas para as ligações peptídicas que envolvem os grupos carboxila da fenilalanina, triptofano e tirosina (AIRES, 1999; NELSON, 2006) e em menor velocidade a metionina (AIRES, 1999). A elastase ataca ligações peptídicas dos aminoácidos alifáticos neutros (NELSON, 2006).

Outras peptidases completam a degradação dos peptídeos de cadeia curta. Assim, a carboxipeptidase A, uma enzima que contém cobre, libera rapidamente os resíduos COOH- terminais que possuem cadeias laterais aromáticas ou alifáticas. A carboxipeptidase B atua somente nos peptídeos com resíduos terminais de arginina ou lisina (NELSON, 2006). A ação dessas enzimas é aditiva, o que resulta em hidrólise mais completa atacando os peptídeos de cadeia pequena.

A mucosa do intestino também contém enzimas que hidrolisam ligações peptídicas. Existem diversas enzimas na borda-em-escova e no citoplasma. Embora essas enzimas possam ser secretadas no suco intestinal, elas funcionam, em grande parte, ao nível intracelular. Pode ocorrer hidrólise de oligopeptídeos após a sua entrada nas células da mucosa e durante a transferência através das células epiteliais. Extratos da mucosa intestinal contêm um grupo de amino peptidases, enzimas que atuam sobre polipeptídios ou cadeias peptídicas com grupo amino livre, liberando um aminoácido pela cisão da ligação peptídica adjacente ao grupo  $\alpha$ -amino livre. Assim, a leucina-amino peptidase, uma enzima que contém  $Zn^{2+}$ , exibe larga especificidade em relação ao resíduo  $NH_2$ -terminal do polipeptídio. Através de hidrólises sucessivas das ligações peptídicas  $NH_2$ -terminal, a enzima pode degradar peptídeos a aminoácidos livres. A enzima é também ativada por  $Mn^{2+}$ , que substitui o  $Zn^{2+}$ . O íon metálico funciona provavelmente num complexo de coordenação com a enzima e seu substrato (NELSON, 2006).

Tecidos da mucosa possuem também dipeptidases, como, por exemplo, glicilglicina-dipeptidase, que requer  $Co^{2+}$  ou  $Mn^{2+}$  para a sua ação e não ataca o tripeptídio glicilglicina. Por conseguinte, a ação enzimática depende da presença de grupos amino e carboxila adjacentes à ligação peptídica sensível. Uma enzima que hidrolisa peptídeos contendo prolina é encontrada quase exclusivamente na fração citoplasmática das células da mucosa. A enzima é denominada prolidase e hidrolisa dipeptídios como X-Pro, por exemplo. Os dipeptídios são hidrolisados, em grande parte, por enzimas citoplasmáticas; os tripeptídios e peptídeos maiores o são por enzimas da borda em escova, enquanto os tripeptídios sofrem a ação hidrolítica de ambos os tipos de enzimas (NELSON, 2006).

A ação sucessiva de enzimas proteolíticas no estômago e no intestino delgado resulta na hidrólise das proteínas alimentares e endógenas, na presença de distúrbios que limitam a quantidade de enzimas pancreáticas disponíveis no intestino, resultam no aparecimento de quantidades não digeridas de proteínas nas fezes (CHAMPE, 2006).

## 2.5 AMINOÁCIDOS

### 2.5.1 Digestibilidade aminoácidos *in vivo* e *in vitro*

A oferta ideal de um alimento, de boa constituição proteica, boa qualidade e alto valor biológico é aquela que fornece quantidades adequadas de aminoácidos essenciais e nitrogênio total, possuindo assim uma boa digestibilidade (PIRES et al., 2008).

A avaliação de digestibilidade pode ser realizada de duas formas, pela coleta total das excretas (digestibilidade aparente) ou realizando a coleta ileal (digestibilidade ileal). Na coleta total pode haver influências de fatores além daqueles esperados para a digestibilidade de aminoácidos, como por exemplo a influência da microbiota cecal, perdas endógenas e metabólicas, além da particularidade de que nas aves a excreção de urina e fezes ocorrem juntas. Há grande preocupação dos nutricionistas sobre qual metodologia de digestibilidade de proteína é a mais apropriada, sendo a digestibilidade verdadeira a mais indicada. A digestibilidade aparente mede a digestibilidade de aminoácidos, tanto proveniente da dieta quanto da perda endógena. Já a digestibilidade ileal utiliza uma fórmula de correção, desconsiderando os aminoácidos endógenos (BRYDEN; LI 2010).

Na coleta ileal, a digesta juntamente com o indicador de não digestibilidade, são coletados no+ íleo. O material é analisado e aponta o resultado de digestibilidade aparente, uma vez que ainda existem os valores de aminoácidos endógenos nesse material. Para se estimar os valores de aminoácidos endógenos, há algumas alternativas, como, possuir em paralelo, alguns animais em jejum, fornecendo uma dieta isenta de proteína ou utilizando-se de uma dieta basal isenta de proteína, realizando a coleta do conteúdo ileal desses animais para poder estimar as perdas endógenas (COSTA et al. 2008).

Pode-se questionar, se alguns ingredientes das rações possuem influência no aumento da perda endógena de aminoácidos pertencentes à parede do intestino delgado, representando assim, perda energética do animal e conseqüentemente devendo ser considerada nas estimativas e cálculos de digestibilidade. Porém estudos recentes mostram que a perda endógena é influenciada por dois fatores,

primeiramente pela ingestão de matéria seca e em segundo pela composição inerente do produto, como nível de fibras, presença de fatores antinutricionais, entre outros (COSTA et al. 2008).

### 2.5.2 Disponibilização e uso de aminoácidos

Apesar da metionina, ou metionina mais cistina, ser o principal aminoácido limitante na produção de frangos de corte, a lisina se tornou o aminoácido de referência por diversas razões. Em primeiro lugar a análise química da lisina é mais simples, quando comparado com a recuperação de metionina, em especial a cisteína, por exemplo. Outro fator que merece destaque é que a lisina é quase exclusivamente utilizada como fonte de aminoácido para a formação de tecidos dos animais, sofrendo menor influência de outras funções metabólicas. Além disso, não há nenhuma transformação metabólica entre lisina e outros aminoácidos, já por outro lado a metionina pode ser convertida em cistina (LEMME et al. 2004).

Ainda não há disponibilidade comercial de todos os aminoácidos essenciais. Apenas alguns são encontrados comercialmente como: lisina, metionina, treonina, triptofano, valina e isoleucina. (DUARTE e JUNQUEIRA, 2013). O custo desses produtos limita o seu uso quando se avalia o desempenho zootécnico do animal. Mesmo não havendo disponibilidade comercial de todos os aminoácidos, de qualquer maneira, estes devem ser considerados durante a formulação das rações, uma vez que o conceito de proteína ideal só terá seu efeito máximo se todas as exigências de aminoácidos essenciais forem respeitadas (LEMME et al. 2004).

Este conceito é sempre importante quando se trata de rações pré-iniciais e iniciais, momento em que se busca a otimização da nutrição com significativa importância no desenvolvimento do trato gastrointestinal e multiplicação das células musculares (VIEIRA; MORAN, 1999, HALEVY et al., 2000). Isto justifica, o uso de níveis que atendam os requerimento dos animais para proteínas e aminoácidos.

### 2.5.3 Desnaturação da proteína

Proteínas globulares nativas (proteína em seu estado natural) sofrem desnaturação quando aquecidas, expostas a valores extremos de pH, tratadas com solventes orgânicos miscíveis com água, entre outros. Por isso a preocupação com a nutrição animal quanto à produção e ao processamento da ração com tratamentos térmicos, uma vez que ela poderá sofrer algum processamento excessivo no qual possa ocasionar uma desnaturação não benéfica à proteína, pois do ponto de vista nutricional a desnaturação controlada da proteína pode ser benéfica para a digestão do nutriente. Testes diretos mostram que quando as proteínas sofrem desnaturação não ocorre rompimento de ligações covalentes do esqueleto da cadeia polipeptídica. Assim, a sequência de aminoácidos característica da proteína está ainda intacta depois da desnaturação; entretanto, a atividade biológica da maioria das proteínas é perdida quando a desnaturação ocorre (NELSON, 2006). O calor e vários outros tratamentos podem desnaturar ou desenrolar as proteínas globulares sem quebrar o esqueleto covalente. A proteína desnaturada pode assumir, ao acaso, muitas formas diferentes, as quais em geral são biologicamente inativas dificultando assim a ação das enzimas digestivas (NELSON, 2006).

## 2.6 REAÇÃO DE MAILLARD

Um das maiores preocupações quanto a presença de calor, proteína e açúcar redutor, fatores e nutrientes presente em praticamente todas as formulações e produções de rações, é a reação de Maillard (ALMEIDA, 2013).

A reação de Maillard depende de vários fatores, como por exemplo: temperaturas elevadas (acima de 40°C), atividade de água na faixa de 0,4 a 0,7, pH na faixa de 6 a 8 (preferencialmente alcalino), umidade relativa de 30 a 70% e a presença de íons metálicos (SHIBAO; BASTOS, 2011). A reação de Maillard envolve a condensação do grupo amina (NH<sub>2</sub>) de um aminoácido com um açúcar redutor. Dentre todos os aminoácidos a lisina é a mais suscetível a reação de Maillard por conter o grupo amina mais exposto ( $\epsilon$ -NH<sub>2</sub>), reagindo com o grupo carbonila do açúcar redutor (PHAM et al., 2008). Os açúcares redutores sofrem processos

diferenciado de escurecimento, sendo as cetoses mais reativas para a formação de produtos de Heyns e as aldoses mais propensas a realizar a formação de produtos de Amadori (SHIBAO; BASTOS, 2011). O composto deoxyketosyl é formado após o rearranjo de Amadori. O composto deoxyketosyl é a forma mais comum de se encontrar a lisina bloqueada após as reações iniciais de Maillard, sendo biologicamente indisponível (HURRELL & CARPENTER, 1981). Um aquecimento posterior do farelo e soja ocasiona a formação de avançada reação de Maillard tal como premelanoidinas, as quais também reagem com outros aminoácidos, podendo ocasionar na inviabilidade destes aminoácidos (FORD, 1973; HURRELL, 1990). Sendo assim, o grau e o tipo de tratamento térmico podem afetar a digestibilidade dos aminoácidos presentes no farelo de soja (CHANG et al., 1987).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há grande variedade de trabalhos relatando o impacto da granulometria e do processamento térmico dos alimentos na digestibilidade dos nutrientes em aves. Porém há limitação de informações quanto ao impacto desses fatores no processamento do farelo de soja. Qual é o tamanho de partícula mais apropriado para fornecimento às aves e que proporciona o melhor aproveitamento dos nutrientes? Qual é a temperatura máxima ou ideal para se trabalhar no processo de peletização quando estamos trabalhando com esse ingrediente?

## REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Apparent metabolizable energy value of meat and bone meal for white pekin ducks. **Poultry science**, v. 84, n. 10, p. 1539–1546, 2005.
- ALMEIDA, F. **Effects of the Maillard reactions on chemical composition and amino acid digestibility of feed ingredients and on pig growth performance**, 2013. University of Illinois at Urbana-Champaign. Disponível em: <<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/44249>>. Acesso em: 21/11/2016.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 03, p. 439–455, 2007.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Influence of Feed Particle Size on the Performance, Energy Utilization, Digestive Tract Development, and Digesta Parameters of Broiler Starters Fed Wheat- and Corn-Based Diets. **Poultry Science**, v. 87, n. 11, p. 2320–2328, 2008.
- AMEZCUA, C. M.; PARSONS, C. M. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. **Poultry science**, v. 86, n. 2, p. 331–337, 2007.
- ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. **Poultry Science**, v. 69, n. 1, p. 76–83, 1990.
- BAKER, D. H.; BATAL, A. B.; PARR, T. M.; AUGSPURGER, N. R.; PARSONS, C. M. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, v. 81, n. 4, p. 485–494, 2002.
- BARRETT, A. J.; RAWLINGS, N. D.; O'BRIEN, E. A. The MEROPS Database as a Protease Information System. **Journal of Structural Biology**, v. 134, n. 2-3, p. 95–102, 2001.
- BEHNKE, K. C. Factors influencing pellet quality. **Feed Tech**, v. 5, n. 4, p. 19–22, 2001.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JR, P. N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. Anais do Congresso brasileiro de soja. **Anais...** . p.183–199, 1999. Embrapa Soja Londrina^ ePR PR. Disponível em: <[http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja\\_si\\_ai.pdf](http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja_si_ai.pdf)>. Acesso em: 10/4/2016.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Extrusion Processing of Wet Corn Gluten Meal. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 5, p. 1508–1509, 1985.
- BOKELMAN, G. E.; COBLE, K. F.; STARK, C. R.; et al. Evaluation of Extreme Thermal Processing Methods to Improve Nutrient Utilization of Low-Energy Diets for Finishing Pigs. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 1, n. 7, 2015. Disponível em: <<http://newprairiepress.org/kaesrr/vol1/iss7/16>>. Acesso em: 17/4/2017.
- BRYDEN, W. L.; LI, X. Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 279–287, 2010.
- CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 68, n. 3, p. 200–205, 1991.

- CARRÉ, B. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 01, p. 76–89, 2004.
- COSTA, L. F.; LOPES, D. C.; FREITAS, L.; OTHERS. Determinação das perdas endógenas e da digestibilidade ileal da proteína e dos aminoácidos em suínos utilizando-se duas técnicas. **Rev. Bras. Zootec**, v. 37, p. 1243–1250, 2008.
- DAHLKE, F.; RIBEIRO, A.; KESSLER, A.; LIMA, A. Tamanho da Partícula do Milho e Forma Física da Ração e Seus Efeitos Sobre o Desempenho e Rendimento de Carcaça de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 3, p. 241 – 248, 2001.
- FRENHANI, P. B.; BURINI, R. C. Mechanisms of amino acids and oligopeptides absorption in humans. **Arquivos de gastroenterologia**, v. 36, n. 4, p. 227–237, 1999.
- GANZER, C.; KLUTH, H.; RODEHUTSCORD, M.; OTHERS. Effect of particle size on precaecal digestibility of amino acids from maize and soybean meal in broilers. Proc. 16th Europ. Symp. Poultr. Nutri. **Anais...** p.459–462, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Holger\\_Kluth/publication/238094267\\_Effect\\_of\\_particle\\_size\\_on\\_precaecal\\_digestibility\\_of\\_amino\\_acids\\_from\\_maize\\_and\\_soybean\\_meal\\_in\\_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Holger_Kluth/publication/238094267_Effect_of_particle_size_on_precaecal_digestibility_of_amino_acids_from_maize_and_soybean_meal_in_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf)>. Acesso em: 23/3/2017.
- JACOBS, C. M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M. Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. **Poultry Science**, v. 89, n. 3, p. 539–544, 2010.
- KILBURN, J.; EDWARDS, H. M. The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broiler chicks. **Poultry science**, v. 83, n. 3, p. 428–432, 2004.
- LEMME, A.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 4, p. 423–438, 2004.
- LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, n. 1, p. 31–67, 1994.
- NIR, I.; HILLEL, R.; PTICHI, I.; SHEFET, G. Effect of particle size on performance. 3. Grinding pelleting interactions. **Poultry Science**, v. 74, n. 5, p. 771–783, 1995.
- NIR, I.; SHEFET, G.; AARONI, Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn. **Poultry Science**, v. 73, n. 1, p. 45–49, 1994.
- PACHECO, W. J.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; BRAKE, J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v. 92, n. 11, p. 2914–2922, 2013.
- PALANDER, S.; NÄSI, M.; PALANDER, P. Digestibility and energy value of cereal-based diets in relation to digesta viscosity and retention time in turkeys and chickens at different ages estimated with different markers. **Archives of Animal Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 238–253, 2010.
- PARSONS, A. S.; MORITZ, J. S.; BLEMMINGS, K. P.; KLANDORF, H. **Effect of grain particle size, feed form and pellet texture on broiler performance, carcass quality, true metabolizable energy, feed passage time and preference**. West Virginia University Libraries, 2004.
- PARSONS, C. M.; CASTANON, F.; HAN, Y. Protein and amino acid quality of meat and bone meal. **Poultry Science**, v. 76, n. 2, p. 361–368, 1997.

PIVATTO, R. S. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA. , 2003. Disponível em: <<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/Disserta%20Renato%20Pivatto.pdf>>. Acesso em: 10/4/2016.

RAHMAN, M. A. U.; REHMAN, A.; CHUANQI, X.; et al. Extrusion of Feed/Feed Ingredients and Its Effect on Digestibility and Performance of Poultry: A Review. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 4, n. 4, p. 48–61, 2015.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Amino acid availability in poultry—In vitro and in vivo measurements. **Crop and Pasture Science**, v. 50, n. 5, p. 889–908, 1999.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; et al. Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**, v. 3, 2011. Disponível em: <[http://cienciaavicola.com.br/teste/public\\_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf](http://cienciaavicola.com.br/teste/public_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf)>. Acesso em: 1/9/2016.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos para avaliação biológica dos alimentos e exigências nutricionais para animais monogástricos**. UNESP, 2007.

SANTOS, R. O. F. DOS. Influência dos parâmetros de condicionamento na qualidade física da rações e desempenho de frangos de corte. , 2016. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43358>>. Acesso em: 30/3/2017.

SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. Maillard reaction products in foods: implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 6, p. 895–904, 2011.

SVIHUS, B.; HETLAND, H.; CHOCT, M.; SUNDBY, F. Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. **British Poultry Science**, v. 43, n. 5, p. 662–668, 2002.

VAN DER POEL, A.; STOLP, W.; VAN ZUILICHEM, D. J. Twin-screw extrusion of two pea varieties: Effects of temperature and moisture level on antinutritional factors and protein dispersibility. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 83–87, 1992.

XU, Y.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; et al. Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. **Poultry Science**, v. 94, n. 1, p. 53–60, 2015.

ZANG, J. J.; PIAO, X. S.; HUANG, D. S.; et al. Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 1, p. 107–112, 2009.

ZUMBADO, M.; NAVARRO, H. EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDE1. .

## EFEITO DA GRANULOMETRIA E TRATAMENTO TÉRMICO DO FARELO DE SOJA NA DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS EM FRANGOS DE CORTE

### 4 RESUMO

Neste estudo foram realizados dois experimentos com o intuito de verificar a influência do tamanho de partícula e do tratamento térmico na energia metabolizável aparente (EMA), digestibilidade ileal da proteína bruta e dos aminoácidos do farelo de soja. No 1º avaliou-se a granulometria do farelo de soja e no 2º avaliou-se o tratamento térmico desse ingrediente. Para o 1º experimento foram utilizados 140 pintos de corte divididos em 5 tratamentos com 7 repetições contendo 4 aves cada. Os tratamentos experimentais foram divididos em uma dieta isenta de proteína (DIP) e outras 4 com diferentes granulometrias do farelo de soja (649, 824, 937 e 1234µm). Foi verificada significância para ANOVA em todos os indicadores avaliados sendo eles, EMA, digestibilidade da proteína bruta e aminoácidos, com efeito linear para PB e lisina e quadrática para os demais aminoácidos. No 2º experimento foram utilizados 216 pintos de corte divididos em 6 tratamentos com 6 repetições contendo 6 aves cada. Nesse experimento os tratamentos consistiam de uma dieta basal e outras 5 dietas com diferentes temperaturas de processamento do farelo de soja (55, 65, 75, 85 e 95°C). Para esse experimento não foi verificada significância para ANOVA e regressão nos indicadores EMA e nos aminoácidos arginina e metionina, porém foi verificado efeito significativo para ANOVA nos demais aminoácidos avaliados e com efeito linear para PB e quadrático para os demais aminoácidos. Com esses experimentos foi possível concluir que há uma granulometria ideal do farelo de soja para alimentação dos frangos de corte em torno de 824µm bem como uma temperatura máxima para o processamento desse ingrediente de aproximadamente 75°C, fornecendo assim o melhor aproveitamento de aminoácidos presentes nesse alimento.

**Palavras-chave:** fatores antinutricionais, Maillard, moagem, partícula, temperatura.

## 5 INTRODUÇÃO

O custo de produção é uma das grandes preocupações, não somente na avicultura, mas como em qualquer sistema de produção animal, uma vez que sempre se trabalha com margens limitadas e com constantes oscilações das *commodities*, sendo que o preço do produto é determinado pelo mercado. Sendo assim, quanto menor o custo de produção, com melhor aproveitamento dos nutrientes presentes na ração pelos animais, melhor será o seu desempenho e conseqüentemente maior lucratividade na atividade. Considerando que entre 65 e 70% do custo de produção seja atribuída ao custo da ração (EMBRAPA, 2015), se faz necessário cada vez mais estudos e pesquisas que visem encontrar soluções para melhor aproveitamento dos nutrientes pelos animais.

Dentro desse contexto, o farelo de soja possui papel extremamente importante quando consideramos a produção animal, já que boa parte dos 49% de todo o farelo de soja comercializado internamente é destinado para esse fim (ABIOVE, 2016). Fazendo com que unitariamente o farelo de soja seja um dos ingredientes de maior custo dentro da ração. Considerando essa demanda, há necessidade de maior compreensão quanto à digestibilidade desse ingrediente, bem como a absorção dos nutrientes pelos animais.

É de amplo conhecimento a importância da granulometria na alimentação animal, especialmente em se tratando de frangos de corte. Segundo estudos de Reece et al. (1986) e Lott et al. (1992), houve melhora no desempenho dos frangos de corte quando os animais tiveram uma mudança no tamanho de granulometria do milho moído, passando de 1.289 a 987 $\mu$ m e de 1.173 a 710 $\mu$ m, respectivamente. Maiores reduções de 900 para 300 $\mu$ m também demonstraram resultados na melhoria de desempenho (HEALY, B. J. 1992). Por outro lado, Nir, (1994) demonstrou que ao aumentar as partículas de 525 para 897 $\mu$ m, resultou em uma melhora no desempenho de frangos de corte. Os trabalhos encontrados, sugerem que quando os animais são alimentados com partículas de tamanho intermediário, algo em torno de 700 e 900 $\mu$ m. Artigos sobre esse assunto, trabalharam principalmente com partícula do milho ou ração, não foram encontrados trabalhos utilizando diferentes tamanhos de partículas do farelo de soja e o impacto desse na digestibilidade dos nutrientes.

O farelo de soja passa por diversos processos antes de efetivamente ser consumido pelo animal, dentre eles podemos citar os processos, físico, químico e térmico. O processamento térmico possui grande importância para a redução e/ou inativação dos fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina e quimiotripsina (Kunitz e Bowman-Birk), lectinas (hemaglutininas), (JAFFÉ, 1980), fatores alérgicos, lipase e lipoxigenase, além dos polissacarídeos não-amiláceos solúveis (PNAS) (BELLAVÉ; SNIZEK JR (1999). Quanto ao tratamento físico, ele pode ocorrer na indústria esmagadora de soja, como por exemplo os processos de quebra, laminação e/ou peletização, ou podendo ocorrer na fábrica de ração por meio do processo de moagem e peletização (OETTERER; REGINATO-D'ARCE; SPOTO, 2006)

A concentração e digestibilidade dos aminoácidos contidos nos ingredientes das rações podem ser reduzidas devido ao processamento térmico ao qual esses produtos passam (AMEZCUA; PARSONS 2007; BOUCHER et al., 2009). Na presença de temperatura elevada, há a possibilidade da ocorrência da reação de Maillard, ocasionando redução da disponibilidade de aminoácidos, dentre eles a lisina, uma vez que esse aminoácido, juntamente com um açúcar redutor é um dos principais responsáveis pela ocorrência dessa reação (PHAM et al., 2008; BOUCHER et al., 2009). A dificuldade na avaliação da eficácia do tratamento térmico é determinar se o processamento da soja foi adequado do ponto de vista nutricional, ou seja, se foi eficaz na inativação dos fatores antinutricionais, porém sem afetar significativamente a disponibilidade dos aminoácidos.

Considerando a importância do tema, este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da granulometria do farelo de soja, bem como o efeito da temperatura no processamento desse ingrediente na energia metabolizável aparente (EMA) e digestibilidade dos aminoácidos em frangos de corte.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro experimento aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Paraná, setor de Ciências Agrárias sob o número 082/2016 emitido no dia 14 de setembro de 2016.

O segundo experimento seguiu as normas e diretrizes propostas pelo comitê de ética da University of Saskatchewan, departamento de Animal and Poultry Nutrition (Saskatoon, Canadá), seguindo o regulamento para cuidado e uso de animais para experimentação (Conselho canadense de proteção animal, 1993).

### **EXPERIMENTO 1 – DIGESTIBILIDADE ILEAL DOS AMINOÁCIDOS PRESENTES NO FARELO DE SOJA PROCESSADO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS.**

#### 6.1 ANIMAIS E LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na sala de metabolismo do Departamento de Zootecnia, no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR.

Foram utilizados 140 pintos de corte machos da linhagem Cobb® com um dia de idade, alojados em gaiolas metabólicas de arame galvanizado com dimensões de 0,45 m de comprimento, 0,40 m de largura e 0,30 m de altura, equipadas com comedouros e bebedouros tipo calha. Na parte inferior, de cada uma das células experimentais, havia uma bandeja metálica, forrada com lona plástica, para coleta das excretas. Foi realizado o monitoramento da temperatura por meio do uso de termo higrômetros com possibilidade de visualização da temperatura mínima e máxima, bem como a umidade. O controle de temperatura era feito com o uso de aquecedores elétricos e abertura das janelas laterais, mantendo-se 31°C no primeiro dia com redução de forma gradual até 22°C no 21º dia, conforme preconizado pelo manual da linhagem. A ração e a água foram fornecidas de forma *ad libitum* durante todo o período experimental.

## 6.2 DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS

Do primeiro ao 17º dia as aves foram alojadas sem que houvesse distribuição experimental, para melhor aproveitamento do aquecimento do ambiente. Durante este período as aves receberam a mesma dieta, respeitando as exigências nutricionais da fase seguindo as recomendações propostas por Rostagno et al. (2011) (

TABELA 1).



Tabela 1. Fórmula da dieta inicial.

<b>Ingredientes</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Milho grão	57,47
Farelo de soja 48%	35,48
Óleo de soja	3,20
Fosfato bi cálcico	1,79
Calcário	0,91
Sal	0,48
Metionina DL	0,29
L-lisina HCL	0,18
Premix Vit. Aves	0,15
Premix Min. Aves	0,05
L-treonina	0,0014
<b>Níveis de garantia</b>	
Energia metabolizável (kcal/Kg)	3.050
Proteína bruta (%)	21,00
Cálcio (%)	0,89
Fósforo disponível (%)	0,45
Sódio (%)	0,21
<b>Aminoácidos digestíveis</b>	
Lisina (%)	1,32
Metionina (%)	0,33
Met+Cis (%)	0,93
Triptofano (%)	0,27
Arginina (%)	1,44
Valina (%)	1,01

\*Suplementação por kg de ração: vit. A, 15000UI; vit. D3, 5000 UI; vit. E, 100mg; vit. K, 5mg; ácido fólico, 3mg; ácido nicotínico, 75mg; ácido pantotênico, 25mg; riboflavina, 8mg; tiamina, 5mg; piridoxina, 7mg; biotina, 300qg; colina, 400mg; vit. B12, 20qg. \*\*Concentração por kg de ração: iodo, 2mg; selênio, 200qg; cobre, 20mg; ferro, 50mg; manganês, 120mg; zinco, 100mg

No 18º dia as aves foram distribuídas em delineamento experimental em blocos casualizado. Foi considerado o peso das aves para separação dos blocos, no qual buscou-se possuir um mesmo peso médio entre os tratamentos, utilizando-se de

um peso médio entre as repetições, possuindo 5 tratamentos, 7 repetições e 4 aves por unidade experimental. As aves consumiram a dieta experimental por 4 dias, com coleta do material no 21º dia.

Foram avaliadas cinco dietas, sendo uma dieta basal, isenta de proteína (DIP) e 4 tratamentos contendo farelo de soja com diferentes granulometrias: 1234 e 1,80, 937 e 1,85, 824 e 1,74 e 649 e 1,73, diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico, respectivamente. Em todos os tratamentos foi adicionando 1% de cinza insolúvel ácida (CIA) como marcador indigestível (TABELA 2). O farelo de soja utilizado possuía 49,36% de proteína bruta com uma solubilidade de 89,65%.

Tabela 2. Fórmulas dietas experimentais

<b>Ingredientes</b>	<b>DIP (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Farelo de soja 48%	-	43,22
Amido	81,05	37,83
Açúcar	5,00	5,00
Óleo de soja	5,00	5,00
Celulose	4,00	4,00
Fosfato bi cálcico	2,10	2,10
Celite®	1,00	1,00
Calcário	1,00	1,00
Sal	0,45	0,45
Cloreto de colina	0,20	0,20
Premix Vit. Aves*	0,15	0,15
Premix Min. Aves**	0,05	0,05
<b>Níveis de garantia</b>	<b>DIP (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Energia metabolizável (kcal/Kg)	3.568	2.989
Proteína bruta (%)	0,450	21,00
Cálcio (%)	0,864	1,066
Fósforo disponível (%)	0,389	0,492
Sódio (%)	0,180	0,189
<b>Aminoácidos digestíveis</b>	<b>DIP (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Lisina (%)	0,000	1,266
Metionina (%)	0,000	0,281
Met+Cis (%)	0,000	0,588
Triptofano (%)	0,000	0,290
Arginina (%)	0,000	1,387
Valina (%)	0,000	0,869

\*Suplementação por kg de ração: vit. A, 15000UI; vit. D3, 5000 UI; vit. E, 100mg; vit. K, 5mg; ácido fólico, 3mg; ácido nicotínico, 75mg; ácido pantotênico, 25mg; riboflavina, 8mg; tiamina, 5mg; piridoxina, 7mg; biotina, 300qg; colina, 400mg; vit. B12, 20qg. \*\*Concentração por kg de ração: iodo, 2mg; selênio, 200qg; cobre, 20mg; ferro, 50mg; manganês, 120mg; zinco, 100mg

### 6.3 ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE

No 18º dia as aves iniciaram a ingestão das dietas experimentais. Para realização da coleta do conteúdo ileal, no 21º dia, após 4 dias de consumo da dieta experimental, as aves foram eutanasiadas por deslocamento cervical, evisceradas e posteriormente tiveram seus intestinos separados. A fração ileal foi definida como a região situada abaixo do divertículo de Meckel e 2 cm acima da junção íleo-cecocolica. Todo o conteúdo ileal foi retirado manualmente realizando uma leve compressão no íleo, com auxílio de tesouras e pinças. O conteúdo foi acondicionado em recipientes plásticos devidamente identificados. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em freezer a uma temperatura de -18°C, até serem enviadas para sofrerem o processo de liofilização.

### 6.4 ANÁLISES QUÍMICAS

Após um período de congelamento, as amostras passaram por um processo de liofilização (Liofilizador Laboratory freezer dryer – Alpha 1-4 LD Plus, 37520 Osterode am Harz, Alemanha) com uma pressão de vácuo de  $5 \times 10^{-2}$  mbar. As amostras foram moídas com ajuda de um gral e pistilo de laboratório. As amostras moídas, foram quarteadas, divididas em duas porções, sendo uma parcela destinada para análise de aminoácidos no laboratório da Evonik Nutrition and Care GmbH em Essen na Alemanha por Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC) e outra parcela para análises químicas, sendo elas, umidade, proteína bruta, proteína digestível segundo metodologia descrita pela AOAC (1995). A energia bruta foi realizada utilizando-se da bomba calorimétrica (Ike Werke® Modelo C2000 Control) e cinza insolúvel em ácido (CIA) utilizando a metodologia descrita por (SCOTT E BOLDAJI, 1997).

A análise de HPLC foi realizada seguindo o procedimento interno da própria empresa realizadora das análises. A metodologia consiste em oxidar e posteriormente hidrolisar a amostra para liberação dos aminoácidos. Porém tal metodologia degrada a tirosina, não sendo possível a sua determinação, para determinação desse aminoácido, é necessário realizar a hidrólise em amostra separada.

Os valores de excreção endógenas foram determinadas por meio do uso de aves submetidas à dieta isenta de proteína (DIP).

## 6.5 EQUAÇÕES DE DIGESTIBILIDADE

Para determinação dos valores de EMA, foram utilizadas as equações sugeridas por Adedokun; Adeola (2005).

Os valores de digestibilidade ileal da proteína bruta e dos aminoácidos foram determinadas utilizando-se o cálculo do fator de indigestibilidade, proposto por Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S (2007):

- a) cálculo do fator de indigestibilidade (FI):

$$FI = \frac{\text{Marcador dieta}}{\text{Marcador digesta}}$$

- b) coeficiente de digestibilidade aparente do fator analisado ( $CD_{apPB}$ ):

$$CD_{apPB} (\%) = \frac{PB \text{ dieta} - (PB \text{ digesta} \times FI)}{PB \text{ dieta}} \times 100$$

- c) coeficiente de digestibilidade ileal da proteína bruta ( $CV_{IPB}$ ):

$$CD_{IPB} (\%) = \frac{PB \text{ dieta} - (PB \text{ digesta} \times FI_1 - PB_e \times FI_2)}{PB \text{ dieta}} \times 100$$

na qual:  $PB_e$  = PB endógena excretada na digesta; e  $FI_2$  = fator de indigestibilidade da DIP.

d) Coeficiente de digestibilidade aparente de aminoácidos  $CD_{apAA}$ ):

$$CD_{apAA} (\%) = \frac{AA \text{ dieta} - AA E_1 \times FI_1}{AA \text{ dieta}} \times 100$$

$E_1$  = digesta da dieta teste

e) coeficiente de digestibilidade ileal de aminoácidos ( $CV_vAA$ ):

$$CD_{iAA} (\%) = \left( \frac{AA \text{ dieta} - (AA E_1 \times FI_1 - AA E_2 \times FI_2)}{AA \text{ dieta}} \right) \times 100$$

$E_2$  = digesta da DIP;  $FI_2$  = fator de indigestibilidade da DIP

f) A EMA foi obtida com as seguintes equações:

$$\% \text{ de utilização energia} = 100 \times \{1 - [(\text{marcador dieta} / \text{marcador digesta}) \times (\text{energia digesta} / \text{energia dieta})]\}$$

$$EMA \text{ (kcal/kg)} = \{ \% \text{ de utilização de energia} / 100 \} \times \text{energia dieta}$$

## 6.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos dados obtidos e calculados foram testados para normalidade pelo teste Shapiro-Wilk e quando normais e homogêneos foram submetidos a análise de regressão, considerando  $P < 0,05$ .

## EXPERIMENTO 2 – DIGESTIBILIDADE ILEAL VERDADEIRA DOS AMINOÁCIDOS PRESENTES NO FARELO DE SOJA PROCESSADO COM DIFERENTES TEMPERATURAS

### 6.7 ANIMAIS E LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na sala de metabolismo do “Poultry Center” no Departamento “Animal and Poultry Nutrition da University of Saskatchewan”, Saskatoon - Canadá.

Foram utilizados 216 pintos de corte machos da linhagem Ross® 308 com um dia de idade, alojados em gaiolas metabólicas com dimensões de 0,51 m de comprimento, 0,51 m de largura e 0,46 m de altura, equipadas com comedouros tipo calha e bebedouros tipo *nipple*. Na parte inferior, das células experimentais, havia uma cinta plástica com função de coleta das excretas. Foi realizada a monitoria de temperatura por meio do uso de termo higrômetros com possibilidade de visualização da temperatura mínima e máxima, bem como a umidade. O controle de temperatura era automático conforme previamente programado no sistema, o aquecimento ocorria por meio do uso de água quente, a qual circulava por tubulação presa à parede da sala. A temperatura da sala foi programada para 32°C para o dia 0, sendo gradualmente reduzida em 2,8°C por semana. O esquema de luz foi programado para, 23 horas de luz do dia 0 ao dia 7 e 18 horas do dia 8 ao 21. A intensidade de luz, era de no mínimo 25 lux em toda a sala. A ração e água foram fornecidas de forma *ad libitum* durante todo o período experimental.

### 6.8 DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS

No 1º dia as aves foram distribuídas em delineamento inteiramente ao acaso. Durante o período de 1 a 14 dias as aves receberam a mesma dieta, inicial respeitando as exigências nutricionais da fase seguindo as recomendações do fornecedor da linhagem, conforme está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Fórmula da dieta inicial

<b>Ingredientes</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Milho grão	50,00
Farelo de soja 46%	43,08
Óleo de canola	2,97
Calcário	1,80
Fosfato bi cálcico	1,70
Premix vit/min	0,50
Sal	0,20
Cloreto de colina	0,20
L-treonina	0,15
<b>Níveis de garantia</b>	
Energia metabolizável (kcal/Kg)	3.000
Proteína bruta (%)	22,23
Calcio (%)	0,98
Fósforo disp. (%)	0,60
Sódio (%)	0,11
<b>Aminoácidos digestíveis</b>	
Lisina (%)	1,37
Metionina (%)	0,31
Met+Cis (%)	0,70
Triptofano (%)	0,32
Arginina (%)	1,59
Valina (%)	1,11

\*Suplementação por kg de ração: vit. A, 11000UI; vit. D3, 2200 UI; vit. E, 120mg; vit. K, 5mg; ácido fólico, 2,4mg; ácido nicotínico, 75mg; ácido pantotênico, 40mg; riboflavina, 24mg; tiamina, 1,6mg; piridoxina, 6mg; biotina, 300qg; colina, 400mg; vit. B12, 8qg. \*\*Concentração por kg de ração: iodo, 2,2mg; selênio, 120qg; cobre, 20mg; ferro, 50mg; manganês, 120mg; zinco, 100mg

No 15º dia as aves iniciaram o consumo das rações experimentais por 7 dias. Divididas em 6 tratamentos, com 6 repetições e 6 aves por unidade experimental.

As dietas avaliadas foram: uma dieta basal contendo apenas milho em sua formulação e 5 tratamentos utilizando o farelo de soja previamente processado. Para esse processamento foram utilizados condicionador e retentor BÜHLER e peletizadora Muyang, sendo configuradas de acordo com as diferentes temperaturas propostas no experimento. As temperaturas utilizadas para realizar o tratamento do farelo de soja desse experimento foram; 55, 65, 75, 85 e 95 °C. Após o processamento desse farelo, o mesmo foi misturado com os outros ingredientes. Em todos os tratamentos foi adicionando 0,3% de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) como marcador indigestível (Tabela 4). O farelo de soja utilizado possuía 47,93% de proteína bruta com uma solubilidade de 89,65%.

Tabela 4. Fórmulas dietas experimentais

<b>Ingredientes</b>	<b>Dieta basal (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Milho	92,26	53,79
Farelo de soja 48%	-	40,00
Óleo de canola	3,67	2,15
Fosfato bi cálcico	1,52	1,52
Calcário	1,26	1,26
Premix vit/min	0,50	0,50
Sal	0,39	0,39
Dióxido de titânio	0,30	0,30
Cloreto de colina	0,10	0,10
<b>Níveis de garantia</b>	<b>Dieta basal (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Energia metabolizável (kcal/Kg)	3.470	3.000
Proteína bruta (%)	8,119	24,569
Calcio (%)	0,777	0,870
Fósforo disp. (%)	0,358	0,435
Sódio (%)	0,179	0,180
<b>Aminoácidos digestíveis</b>	<b>Dieta basal (%)</b>	<b>Dieta experimental (%)</b>
Lisina (%)	0,231	1,383
Metionina (%)	0,166	0,381
Met+Cis (%)	0,369	0,779
Triptofano (%)	0,083	0,324

Suplementação por kg de ração: vit. A, 11000UI; vit. D3, 2200 UI; vit. E, 120mg; vit. K, 5mg; ácido fólico, 2,4mg; ácido nicotínico, 75mg; ácido pantotênico, 40mg; riboflavina, 24mg; tiamina, 1,6mg; piridoxina, 6mg; biotina, 300qg; colina, 400mg; vit. B12, 8qg. \*\*Concentração por kg de ração: iodo, 2,2mg; selênio, 120qg; cobre, 20mg; ferro, 50mg; manganês, 120mg; zinco, 100mg

## 6.9 ENSAIO DE DIGESTIBILIDADE

No 15º dia as aves iniciaram a ingestão das dietas experimentais com consumo durante 7 dias. Para a realização do cálculo de digestibilidade ileal dos nutrientes, aos 21 dias de idade, as aves foram eutanasiadas administrando via intravenosa o medicamento T-61 (embutramida, iodo de mebezomium e hidrocloreto de tetracaína) via veia braquial com uma dosagem de 0,35ml por kg de peso vivo da ave. Após a comprovação do óbito do animal, realizado por meio da inspeção de

reações motoras e de pálpebras, as aves foram evisceradas, com posterior remoção e separação dos seus intestinos. Foi retirado todo o conteúdo ileal de cada um dos intestinos segregados. A fração ileal foi definida como a região situada abaixo do divertículo de Meckel e 2 cm acima da junção íleo-ceco-cólica. O conteúdo ileal foi retirado manualmente realizando uma leve compressão no íleo, com auxílio de tesouras e pinças. O conteúdo foi acondicionado em recipientes plásticos devidamente identificados. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em freezer a uma temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ , até serem enviadas para o processo de liofilização.

## 6.10 ANÁLISES QUÍMICAS

Após um período de congelamento, as amostras passaram por um processo de liofilização (Liofilizador FreeZone 6 Liter Benchtop Freeze Dry System – Labconco, USA) até a pressão de vácuo de  $5 \times 10^{-2}$  mbar. As amostras foram moídas com ajuda de um gral e pistilo de laboratório. As amostras moídas foram quarteadas e divididas em 2 porções, uma parcela com destino para análise de aminoácidos no laboratório da University of Missouri em Columbia, Missouri (Estados Unidos da América) por Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC) e outra parcela foi destinada para realização das análises químicas de umidade e proteína bruta utilizando o procedimento padrão da AOAC (1995). Dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) utilizando o procedimento descrito por Myers et al. (2014). Energia bruta utilizando a bomba calorimétrica (Model A1435DDEB, Parr Instruments, Moline, IL, USA).

A análise de HPLC foi realizada seguindo o procedimento interno da própria instituição (University of Missouri), em concordância com as recomendações da AOAC (Association of Official Analytical Chemists, International). A metodologia consiste em oxidar e posteriormente hidrolisar a amostra para liberação dos aminoácidos. Tal metodologia tem como efeito indesejado a degradação da tirosina, não sendo possível a sua determinação, para determinação desse aminoácido, é necessário realizar a hidrólise em amostra separada.

Os valores de excreção endógenas foram determinadas por meio do uso de aves submetidas à dieta basal. Os valores de digestibilidade ileal dos aminoácidos foi

determinada utilizando-se do cálculo do fator de indigestibilidade, proposto por Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S (2007):

Para determinação dos valores de energia metabolizável aparente, foram utilizadas as fórmulas sugeridas por Adedokun; Adeola (2005).

#### 6.11 EQUAÇÕES, CÁLCULOS, ANÁLISE ESTATÍSTICA

As equações, cálculos e análise estatística foram realizados da mesma maneira do experimento 1.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 EXPERIMENTO 1 - GRANULOMETRIA

Após análise dos resultados das análises, foram realizados os cálculos para determinação de EMA, digestibilidade ileal da PB e aminoácidos, utilizando-se das equações descritas anteriormente.

Não houve efeito para regressão quando avaliado os resultados de granulometria do farelo de soja sobre a EMA ( $P>0,05$ ). Porém, o aumento na granulometria do farelo de soja resultou em resposta linear negativa para a PB, reduzindo a digestibilidade com o aumento do tamanho das partículas, houve uma resposta quadrática em todos os aminoácidos, exceto para lisina, o qual apresentou resposta linear ( $P<0,05$ ), ; (Tabela 5).

Tabela 5. Energia metabolizável aparente (kcal), digestibilidade ileal da proteína bruta e dos aminoácidos (%) com diferentes granulometrias do farelo de soja.

	Farelo de soja				Regressão			
	1234 $\mu$ m	937 $\mu$ m	824 $\mu$ m	649 $\mu$ m	Linear	Quadrático	R <sup>2</sup>	EPM
EMA	3398,74	3290,71	3354,75	3298,80	0,054	0,333	-	-
Proteína bruta <sup>1</sup>	90,80	90,27	93,15	91,53	0,028	0,281	0,069	0,295
Metionina <sup>2</sup>	90,98	93,72	94,80	92,95	0,012	0,001	0,358	0,360
Lisina <sup>3</sup>	90,36	92,05	93,80	92,91	<0,001	0,003	0,380	0,282
Treonina <sup>4</sup>	86,60	87,82	91,79	88,45	0,020	0,013	0,174	0,519
Valina <sup>5</sup>	87,27	90,39	92,52	89,80	0,004	0,001	0,378	0,452
Isoleucina <sup>6</sup>	89,32	91,71	93,61	91,08	0,010	<0,001	0,346	0,375
Arginina <sup>7</sup>	94,53	96,99	97,34	96,20	0,002	<0,001	0,770	0,248

EMA = Energia metabolizável aparente

EPM = Erro padrão da média

$$^1\hat{Y} = -0,0023X + 93,58$$

$$^2\hat{Y} = -3E-05X^2 + 0,0434X + 75,503$$

$$^3\hat{Y} = -0,0052X + 97,044$$

$$^4\hat{Y} = -2E-05X^2 + 0,0347X + 75,353$$

$$^5\hat{Y} = -3E-05X^2 + 0,053X + 68,723$$

$$^6\hat{Y} = -3E-05X^2 + 0,0454X + 72,897$$

$$^7\hat{Y} = -2E-05X^2 + 0,0408X + 79,799$$

## 7.2 EXPERIMENTO 2 – TRATAMENTO TÉRMICO

Assim como no 1º experimento os valores de EMA, digestibilidade ileal da PB e aminoácidos, foram determinadas utilizando-se das mesmas equações descritas anteriormente.

Quando analisados para regressão, não foi encontrada resposta significativa para os parâmetros de EMA e metionina ( $P>0,05$ ). Realizando regressão entre os tratamentos foi verificado uma resposta linear para a proteína ( $P=0,03$ ), com redução na digestibilidade, conforme havia o aumento da temperatura. Analisando os resultados dos aminoácidos, verificamos que houve uma resposta quadrática para os demais aminoácidos (lisina, treonina, valina, isoleucina e arginina) ( $P<0,05$ ); (Tabela 6)

Tabela 6. Energia metabolizável aparente (kcal), digestibilidade ileal da proteína bruta e dos aminoácidos (%) com diferentes temperaturas de processamento do farelo de soja.

	Tratamentos					Regressão			
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	Linear	Quadrático	R <sup>2</sup>	EPM
EMA	3549,39	3504,60	3572,13	3506,26	3488,37	0,261	0,526	-	-
Proteína bruta <sup>1</sup>	84,36	81,15	86,52	81,15	79,88	0,035	0,221	0,118	0,727
Lisina reativa	2,69	2,89	2,97	2,95	2,83	-	-	-	-
Metionina	91,37	92,11	93,59	91,18	90,77	0,435	0,062	-	-
Lisina <sup>2</sup>	86,84	88,15	90,13	86,59	86,80	0,530	0,017	0,179	0,418
Treonina <sup>3</sup>	84,37	85,38	88,38	84,02	83,80	0,469	0,022	0,173	0,548
Valina <sup>4</sup>	85,14	86,66	88,70	84,64	85,21	0,543	0,036	0,145	0,483
Isoleucina <sup>5</sup>	85,06	86,37	88,58	84,63	85,21	0,619	0,034	0,141	0,461
Arginina <sup>6</sup>	88,51	89,53	91,20	88,60	88,67	0,780	0,025	0,161	0,343

EMA = Energia metabolizável aparente

EPM = Erro padrão médio

$$^1\hat{Y} = -0,095X + 89,793$$

$$^2\hat{Y} = -0,0055X^2 + 0,8115X + 58,983$$

$$^3\hat{Y} = -0,007X^2 + 1,0294X + 48,937$$

$$^4\hat{Y} = -0,0057X^2 + 0,8364X + 56,546$$

$$^5\hat{Y} = -0,0054X^2 + 0,8024X + 57,512$$

$$^6\hat{Y} = -0,0044X^2 + 0,6548X + 65,859$$

## 8 DISCUSSÃO

No experimento 1, foi possível verificar efeito aditivo com o incremento de granulometria no processamento do farelo de soja até a granulometria 824  $\mu\text{m}$ . Para granulometrias maiores que 824  $\mu\text{m}$  os resultados sugerem efeito deletério na digestibilidade da ração testada. Resultado parecido com esse foi encontrado por Jacobs et al. (2010) encontraram resultados semelhantes ao utilizar milho moído com diferentes granulometrias. Eles verificaram que a melhor eficiência alimentar foi obtida quando utilizaram partículas intermediárias de aproximadamente 858  $\mu\text{m}$ . O efeito de digestibilidade visualizado no experimento de granulometria pode ser influenciado pelo tamanho final do alimento, facilitando assim a apreensão do alimento e consequentemente favorecendo uma maior ingestão do mesmo pelo animal (DAHLKE et al. 2001). Há a hipótese de que partículas finas possam passar mais rapidamente pelo trato gastrointestinal, dificultando assim a ação das enzimas digestivas, enquanto que partículas mais grossas podem apresentar uma redução na velocidade do trânsito intestinal (SVIHUS et al. 2002). No entanto, Kilburn; Edwards (2004), demonstrou que as aves tiveram resultado positivo na digestibilidade dos nutrientes avaliados ao serem alimentadas com milho possuindo partículas mais finas. Segundo trabalho desse mesmo autor o aumento de granulometria até 900 $\mu\text{m}$ , resultou em uma redução na taxa de passagem, favorecendo assim a digestibilidade dos nutrientes. Isto também pode ser observado no presente trabalho, o qual apresentou significativa melhora de digestibilidade com partículas apresentando 824  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, com o aumento da granulometria do farelo de soja para 1234  $\mu\text{m}$ , obteve-se a redução da digestibilidade. Tal fator também foi verificado por Carré (2004), o qual demonstrou em estudo que uma moagem mais grosseira de leguminosas, em torno de 1000  $\mu\text{m}$ , pode dificultar o acesso de nutrientes presentes na porção mais interna da partícula.

O presente trabalho demonstra efeito positivo na digestibilidade na maioria dos nutrientes, exceto para EMA. Essa não apresentou resposta concreta quando analisados os resultados das diferentes granulometrias, pois ocorreram diferenças estatísticas entre a granulometria 1234 e 937  $\mu\text{m}$ , porém com resultados não significativos quando comparados com os demais valores, tal resultado também foi encontrado por Zang et al. (2009). Para as outras variáveis, proteína bruta e

aminoácidos, houve diferença entre os tratamentos conforme alterávamos os valores da granulometria. Este comportamento também foi descrito por Pacheco et al. (2013), no qual a oferta de alimentos com uma crescente granulometria apresentou melhora do aproveitamento nos nutrientes. No entanto, quando atingido valores  $>1000 \mu\text{m}$  houve redução do desempenho de digestibilidade dos nutrientes, o que pode ser explicado por uma possível dificuldade de redução da partícula pela moela e conseqüentemente menor disponibilidade de nutrientes para o animal. Segundo Nir et al. (1994) o trato intestinal da ave possui melhor aproveitamento dos nutrientes quando esses são provenientes de alimentos com moagem mais grosseira em comparação a moagem fina. Eles afirmam que partículas mais grossas possibilitam maior estímulo do peristaltismo. Esta teoria também foi confirmada por Amerah et al. (2007), os quais demonstraram que partículas mais grossas permitiram maior uniformidade no alimento, melhorando a performance do frango e, isto pode ser resultado do desenvolvimento da moela.

Já o trabalho de Zang et al. (2009), encontraram resposta diferente quando analisaram a digestibilidade da proteína utilizando duas granulometrias de ração, uma grossa e uma fina, sendo  $937$  e  $597 \mu\text{m}$ , respectivamente. Os autores encontraram melhor resposta de digestibilidade de proteína bruta no alimento com a menor granulometria. Parsons et al. (2004) trabalhando com diferentes granulometrias de milho, observaram resultados piores para eficiência alimentar quando utilizaram milho moído com uma granulometria mais grossa.

Resultado muito semelhante ao encontrado nesse trabalho, no qual tivemos uma melhor digestibilidade de nutrientes nos tratamentos com granulometria intermediária, entre  $824$  e  $937 \mu\text{m}$ , foi apresentado por Nir et al. (1994), no qual utilizando milho com 3 diferentes granulometrias ( $<0,710$ ,  $0,710-0,900$  e  $>1,170 \mu\text{m}$ ), obteve melhor resposta de desempenho das aves quando utilizado partículas medianas, entre  $0,710$  e  $0,900 \mu\text{m}$ . No trabalho de Zumbado; Navarro. 2007, foi verificado uma melhora de desempenho dos animais quando estes foram alimentados com uma soja moída mais fina, em torno de  $610 \mu\text{m}$ , quando comparados com os animais que receberam o alimento moído com  $752 \mu\text{m}$ . Em uma pesquisa parecida o Ganzer et al. (2007) demonstrou que partículas moídas em peneira de  $2\text{mm}$  obtiveram resultados de digestibilidade melhores quando comparados com a digestibilidade dos aminoácidos moídos em peneira de  $3\text{mm}$ .

Neste experimento foi possível observar que partículas intermediárias, com valor próximo de 800  $\mu\text{m}$ , possibilitam um melhor aproveitamento dos nutrientes, pois não permitem uma eficiente seleção de partículas pelas aves. Além disso, este tamanho de partícula de ração favoreceu, o trânsito intestinal, fazendo com que o alimento permaneça tempo suficiente para o melhor aproveitamento pelo animal.

No experimento 2 foi possível verificar um efeito aditivo na digestibilidade dos nutrientes conforme ocorria o incremento da temperatura de processamento do farelo de soja até 75°C. Houve exceção para EMA, o qual não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos. Após esse valor percebeu-se redução nos valores de digestibilidade conforme a temperatura foi aumentada para 85°C e posteriormente para 95°C. Ao analisar os resultados de lisina reativa é observado o mesmo comportamento do descrito para os aminoácidos, com aumento dos valores ao aumentarmos a temperatura até 75°C e redução nas temperaturas acima dessa (85 e 95°C), com possibilidade de desnaturação da proteína estar contribuindo para isso, na qual até 75°C ocorre uma desnaturação benéfica e após essa temperatura passamos a ter uma desnaturação maléfica. Comportamento semelhante a esse foi descrito por Bokelman et al. (2015) trabalhando com uma dieta completa o qual também presenciou uma perda de digestibilidade com elevadas temperaturas.

O aumento da digestibilidade pode ser explicado pela possibilidade da inativação de fatores antinutricionais presentes no farelo de soja, fazendo com que o mesmo tenha seu valor nutricional aumentado conforme encontrado por Liener (1994). Outro ponto que favorece a digestibilidade da proteína bruta/aminoácido presente no farelo de soja é a alteração estrutural desse nutriente, em experimento realizado por Camire (1991), foi demonstrado que o processamento térmico pode influenciar na característica estrutural do farelo de soja. Isto pode explicar, a diferença nutricional entre os farelos tratados com diferentes temperaturas. O trabalho realizado por Bhattacharya; Hanna (1985) avaliou que o aquecimento do farelo de soja possibilitou o acesso à nutrientes que estão normalmente dobrados e compactados: uma vez que as ligações são quebradas resultando em desnaturação benéfica da proteína, aumentando o acesso das enzimas digestivas, porém quando temos uma temperatura excessiva no processamento, temos uma desnaturação maléfica da proteína.

Por outro lado, o excesso de temperatura no processamento do farelo de soja pode levar à redução na solubilidade da proteína bruta, com possível destruição de alguns aminoácidos. Rahman et al. (2015) identificaram em seu experimento que a lisina, possui grande susceptibilidade de degradação em temperaturas elevadas. Além de reagir facilmente com açúcares livres presentes na dieta, ocasionando a reação de Maillard. Araba; Dale (1990) e Van der Poel et al. (1992) reportaram redução da digestibilidade da proteína e aminoácidos com o uso de temperatura elevada, semelhante ao que ocorreu no presente trabalho, porém no presente trabalho o experimento foi realizado utilizando-se uma alta inclusão de farelo de soja, enquanto que no trabalho dos autores citados, foi utilizado ervilha. Essa redução de digestibilidade indica a possibilidade de formação de reação de Maillard primária ou avançada segundo trabalho realizado por Amezcua; Parsons, (2007). Utilizando uma dieta completa Santos (2016), encontrou resultados parecidos ao desse trabalho quando elevou a temperatura de processamento da ração de 65 para 85°C, percebendo perda no desempenho zootécnico do animal.

## 9 CONCLUSÃO

O aumento de granulometria do farelo de soja possuiu efeito positivo na digestibilidade da proteína bruta e dos aminoácidos, tendo o seu melhor resultado com partículas de 824  $\mu\text{m}$ , com perda na digestibilidade em granulometria mais elevada. Entretanto para EMA não houve resposta em regressão.

O processamento do farelo de soja em diferentes temperaturas proporcionou um efeito positivo na digestibilidade dos aminoácidos lisina, treonina, isoleucina e valina quando processado à 75°C. Para os aminoácidos metionina e arginina não foi verificado efeito entre os tratamentos. Foi verificado um fator linear com redução da digestibilidade da proteína bruta conforme aumentamos a temperatura de processamento do farelo de soja. Não foi verificado qualquer diferença na EMA quando processamos o farelo de soja em diferentes temperaturas.

## REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Apparent metabolizable energy value of meat and bone meal for white pekin ducks. **Poultry science**, v. 84, n. 10, p. 1539–1546, 2005.
- ALMEIDA, F. **Effects of the Maillard reactions on chemical composition and amino acid digestibility of feed ingredients and on pig growth performance**, 2013. University of Illinois at Urbana-Champaign. Disponível em: <<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/44249>>. Acesso em: 21/11/2016.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 03, p. 439–455, 2007.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Influence of Feed Particle Size on the Performance, Energy Utilization, Digestive Tract Development, and Digesta Parameters of Broiler Starters Fed Wheat- and Corn-Based Diets. **Poultry Science**, v. 87, n. 11, p. 2320–2328, 2008.
- AMEZCUA, C. M.; PARSONS, C. M. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. **Poultry science**, v. 86, n. 2, p. 331–337, 2007.
- ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. **Poultry Science**, v. 69, n. 1, p. 76–83, 1990.
- BAKER, D. H.; BATAL, A. B.; PARR, T. M.; AUGSPURGER, N. R.; PARSONS, C. M. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, v. 81, n. 4, p. 485–494, 2002.
- BARRETT, A. J.; RAWLINGS, N. D.; O'BRIEN, E. A. The MEROPS Database as a Protease Information System. **Journal of Structural Biology**, v. 134, n. 2-3, p. 95–102, 2001.
- BEHNKE, K. C. Factors influencing pellet quality. **Feed Tech**, v. 5, n. 4, p. 19–22, 2001.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JR, P. N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. Anais do Congresso brasileiro de soja. **Anais...** . p.183–199, 1999. Embrapa Soja Londrina^ ePR PR. Disponível em: <[http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja\\_si\\_ai.pdf](http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja_si_ai.pdf)>. Acesso em: 10/4/2016.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Extrusion Processing of Wet Corn Gluten Meal. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 5, p. 1508–1509, 1985.
- BOKELMAN, G. E.; COBLE, K. F.; STARK, C. R.; et al. Evaluation of Extreme Thermal Processing Methods to Improve Nutrient Utilization of Low-Energy Diets for Finishing Pigs. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 1, n. 7, 2015. Disponível em: <<http://newprairiepress.org/kaesrr/vol1/iss7/16>>. Acesso em: 17/4/2017.
- BRYDEN, W. L.; LI, X. Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 279–287, 2010.
- CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 68, n. 3, p. 200–205, 1991.

- CARRÉ, B. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 01, p. 76–89, 2004.
- COSTA, L. F.; LOPES, D. C.; FREITAS, L.; OTHERS. Determinação das perdas endógenas e da digestibilidade ileal da proteína e dos aminoácidos em suínos utilizando-se duas técnicas. **Rev. Bras. Zootec**, v. 37, p. 1243–1250, 2008.
- DAHLKE, F.; RIBEIRO, A.; KESSLER, A.; LIMA, A. Tamanho da Partícula do Milho e Forma Física da Ração e Seus Efeitos Sobre o Desempenho e Rendimento de Carcaça de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 3, p. 241 – 248, 2001.
- FRENHANI, P. B.; BURINI, R. C. Mechanisms of amino acids and oligopeptides absorption in humans. **Arquivos de gastroenterologia**, v. 36, n. 4, p. 227–237, 1999.
- GANZER, C.; KLUTH, H.; RODEHUTSCORD, M.; OTHERS. Effect of particle size on precaecal digestibility of amino acids from maize and soybean meal in broilers. Proc. 16th Europ. Symp. Poultry Nutri. **Anais...** p.459–462, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Holger\\_Kluth/publication/238094267\\_Effect\\_of\\_particle\\_size\\_on\\_precaecal\\_digestibility\\_of\\_amino\\_acids\\_from\\_maize\\_and\\_soybean\\_meal\\_in\\_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Holger_Kluth/publication/238094267_Effect_of_particle_size_on_precaecal_digestibility_of_amino_acids_from_maize_and_soybean_meal_in_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf)>. Acesso em: 23/3/2017.
- JACOBS, C. M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M. Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. **Poultry Science**, v. 89, n. 3, p. 539–544, 2010.
- KILBURN, J.; EDWARDS, H. M. The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broiler chicks. **Poultry science**, v. 83, n. 3, p. 428–432, 2004.
- LEMME, A.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 4, p. 423–438, 2004.
- LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, n. 1, p. 31–67, 1994.
- NIR, I.; HILLEL, R.; PTICHI, I.; SHEFET, G. Effect of particle size on performance. 3. Grinding pelleting interactions. **Poultry Science**, v. 74, n. 5, p. 771–783, 1995.
- NIR, I.; SHEFET, G.; AARONI, Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn. **Poultry Science**, v. 73, n. 1, p. 45–49, 1994.
- PACHECO, W. J.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; BRAKE, J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v. 92, n. 11, p. 2914–2922, 2013.
- PALANDER, S.; NÄSI, M.; PALANDER, P. Digestibility and energy value of cereal-based diets in relation to digesta viscosity and retention time in turkeys and chickens at different ages estimated with different markers. **Archives of Animal Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 238–253, 2010.
- PARSONS, A. S.; MORITZ, J. S.; BLEMMINGS, K. P.; KLANDORF, H. **Effect of grain particle size, feed form and pellet texture on broiler performance, carcass quality, true metabolizable energy, feed passage time and preference**. West Virginia University Libraries, 2004.
- PARSONS, C. M.; CASTANON, F.; HAN, Y. Protein and amino acid quality of meat and bone meal. **Poultry Science**, v. 76, n. 2, p. 361–368, 1997.

PIVATTO, R. S. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA. , 2003. Disponível em: <<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/Disserta%20Renato%20Pivatto.pdf>>. Acesso em: 10/4/2016.

RAHMAN, M. A. U.; REHMAN, A.; CHUANQI, X.; et al. Extrusion of Feed/Feed Ingredients and Its Effect on Digestibility and Performance of Poultry: A Review. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 4, n. 4, p. 48–61, 2015.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Amino acid availability in poultry—In vitro and in vivo measurements. **Crop and Pasture Science**, v. 50, n. 5, p. 889–908, 1999.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; et al. Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**, v. 3, 2011. Disponível em: <[http://cienciaavicola.com.br/teste/public\\_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf](http://cienciaavicola.com.br/teste/public_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf)>. Acesso em: 1/9/2016.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos para avaliação biológica dos alimentos e exigências nutricionais para animais monogástricos**. UNESP, 2007.

SANTOS, R. O. F. DOS. Influência dos parâmetros de condicionamento na qualidade física da rações e desempenho de frangos de corte. , 2016. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43358>>. Acesso em: 30/3/2017.

SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. Maillard reaction products in foods: implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 6, p. 895–904, 2011.

SVIHUS, B.; HETLAND, H.; CHOCT, M.; SUNDBY, F. Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. **British Poultry Science**, v. 43, n. 5, p. 662–668, 2002.

VAN DER POEL, A.; STOLP, W.; VAN ZUILICHEM, D. J. Twin-screw extrusion of two pea varieties: Effects of temperature and moisture level on antinutritional factors and protein dispersibility. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 83–87, 1992.

XU, Y.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; et al. Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. **Poultry Science**, v. 94, n. 1, p. 53–60, 2015.

ZANG, J. J.; PIAO, X. S.; HUANG, D. S.; et al. Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 1, p. 107–112, 2009.

ZUMBADO, M.; NAVARRO, H. EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDE1. .

## REFERÊNCIAS GERAIS

- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Apparent metabolizable energy value of meat and bone meal for white pekin ducks. **Poultry science**, v. 84, n. 10, p. 1539–1546, 2005.
- ALMEIDA, F. Effects of the Maillard reactions on chemical composition and amino acid digestibility of feed ingredients and on pig growth performance, 2013. **University of Illinois at Urbana-Champaign**. Disponível em: <<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/44249>>. Acesso em: 21/11/2016.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 03, p. 439–455, 2007.
- AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Influence of Feed Particle Size on the Performance, Energy Utilization, Digestive Tract Development, and Digesta Parameters of Broiler Starters Fed Wheat- and Corn-Based Diets. **Poultry Science**, v. 87, n. 11, p. 2320–2328, 2008.
- AMEZCUA, C. M.; PARSONS, C. M. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. **Poultry science**, v. 86, n. 2, p. 331–337, 2007.
- ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. **Poultry Science**, v. 69, n. 1, p. 76–83, 1990.
- BAKER, D. H.; BATAL, A. B.; PARR, T. M.; AUGSPURGER, N. R.; PARSONS, C. M. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, v. 81, n. 4, p. 485–494, 2002.
- BARRETT, A. J.; RAWLINGS, N. D.; O'BRIEN, E. A. The MEROPS Database as a Protease Information System. **Journal of Structural Biology**, v. 134, n. 2-3, p. 95–102, 2001.
- BEHNKE, K. C. Factors influencing pellet quality. **Feed Tech**, v. 5, n. 4, p. 19–22, 2001.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JR, P. N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. Anais do Congresso brasileiro de soja. **Anais...** . p.183–199, 1999. Embrapa Soja Londrina^ ePR PR. Disponível em: <[http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja\\_si\\_ai.pdf](http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/2012/soja_si_ai.pdf)>. Acesso em: 10/4/2016.
- BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Extrusion Processing of Wet Corn Gluten Meal. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 5, p. 1508–1509, 1985.
- BOKELMAN, G. E.; COBLE, K. F.; STARK, C. R.; et al. Evaluation of Extreme Thermal Processing Methods to Improve Nutrient Utilization of Low-Energy Diets for Finishing Pigs. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 1, n. 7, 2015. Disponível em: <<http://newprairiepress.org/kaesrr/vol1/iss7/16>>. Acesso em: 17/4/2017.
- BRYDEN, W. L.; LI, X. Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 279–287, 2010.
- CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 68, n. 3, p. 200–205, 1991.
- CARRÉ, B. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 01, p. 76–89, 2004.

COSTA, L. F.; LOPES, D. C.; FREITAS, L.; OTHERS. Determinação das perdas endógenas e da digestibilidade ileal da proteína e dos aminoácidos em suínos utilizando-se duas técnicas. **Rev. Bras. Zootec**, v. 37, p. 1243–1250, 2008.

DAHLKE, F.; RIBEIRO, A.; KESSLER, A.; LIMA, A. Tamanho da Partícula do Milho e Forma Física da Ração e Seus Efeitos Sobre o Desempenho e Rendimento de Carcaça de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 3, p. 241 – 248, 2001.

FRENHANI, P. B.; BURINI, R. C. Mechanisms of amino acids and oligopeptides absorption in humans. **Arquivos de gastroenterologia**, v. 36, n. 4, p. 227–237, 1999.

GANZER, C.; KLUTH, H.; RODEHUTSCORD, M.; OTHERS. Effect of particle size on prececal digestibility of amino acids from maize and soybean meal in broilers. Proc. 16th Europ. Symp. Poultr. Nutri. **Anais...** p.459–462, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Holger\\_Kluth/publication/238094267\\_Effect\\_of\\_particle\\_size\\_on\\_precaecal\\_digestibility\\_of\\_amino\\_acids\\_from\\_maize\\_and\\_soybean\\_meal\\_in\\_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Holger_Kluth/publication/238094267_Effect_of_particle_size_on_precaecal_digestibility_of_amino_acids_from_maize_and_soybean_meal_in_broilers/links/54229aa40cf290c9e3a92c0f.pdf)>. Acesso em: 23/3/2017.

JACOBS, C. M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M. Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. **Poultry Science**, v. 89, n. 3, p. 539–544, 2010.

KILBURN, J.; EDWARDS, H. M. The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broiler chicks. **Poultry science**, v. 83, n. 3, p. 428–432, 2004.

LEMME, A.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 4, p. 423–438, 2004.

LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, n. 1, p. 31–67, 1994.

NIR, I.; HILLEL, R.; PTICHI, I.; SHEFET, G. Effect of particle size on performance. 3. Grinding pelleting interactions. **Poultry Science**, v. 74, n. 5, p. 771–783, 1995.

NIR, I.; SHEFET, G.; AARONI, Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn. **Poultry Science**, v. 73, n. 1, p. 45–49, 1994.

PACHECO, W. J.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; BRAKE, J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v. 92, n. 11, p. 2914–2922, 2013.

PALANDER, S.; NÄSI, M.; PALANDER, P. Digestibility and energy value of cereal-based diets in relation to digesta viscosity and retention time in turkeys and chickens at different ages estimated with different markers. **Archives of Animal Nutrition**, v. 64, n. 3, p. 238–253, 2010.

PARSONS, A. S.; MORITZ, J. S.; BLEMININGS, K. P.; KLANDORF, H. **Effect of grain particle size, feed form and pellet texture on broiler performance, carcass quality, true metabolizable energy, feed passage time and preference**. West Virginia University Libraries, 2004.

PARSONS, C. M.; CASTANON, F.; HAN, Y. Protein and amino acid quality of meat and bone meal. **Poultry Science**, v. 76, n. 2, p. 361–368, 1997.

PIVATTO, R. S. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA. , 2003. Disponível em:

<<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/Disserta%20Renato%20Pivatto.pdf>>. Acesso em: 10/4/2016.

RAHMAN, M. A. U.; REHMAN, A.; CHUANQI, X.; et al. Extrusion of Feed/Feed Ingredients and Its Effect on Digestibility and Performance of Poultry: A Review. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 4, n. 4, p. 48–61, 2015.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Amino acid availability in poultry—In vitro and in vivo measurements. **Crop and Pasture Science**, v. 50, n. 5, p. 889–908, 1999.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; et al. Composição de alimentos e exigências nutricionais. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**, v. 3, 2011. Disponível em: <[http://cienciaavicola.com.br/teste/public\\_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf](http://cienciaavicola.com.br/teste/public_html/pdf/02-TABELAS-BRASILEIRAS-AVES-E-SUINOS-2011.pdf)>. Acesso em: 1/9/2016.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos para avaliação biológica dos alimentos e exigências nutricionais para animais monogástricos**. UNESP, 2007.

SANTOS, R. O. F. DOS. Influência dos parâmetros de condicionamento na qualidade física da rações e desempenho de frangos de corte. , 2016. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43358>>. Acesso em: 30/3/2017.

SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. Maillard reaction products in foods: implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 6, p. 895–904, 2011.

SVIHUS, B.; HETLAND, H.; CHOCT, M.; SUNDBY, F. Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. **British Poultry Science**, v. 43, n. 5, p. 662–668, 2002.

VAN DER POEL, A.; STOLP, W.; VAN ZUILICHEM, D. J. Twin-screw extrusion of two pea varieties: Effects of temperature and moisture level on antinutritional factors and protein dispersibility. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 83–87, 1992.

XU, Y.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; et al. Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. **Poultry Science**, v. 94, n. 1, p. 53–60, 2015.

ZANG, J. J.; PIAO, X. S.; HUANG, D. S.; et al. Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 1, p. 107–112, 2009.

ZUMBADO, M.; NAVARRO, H. EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HARINA DE SOYA EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDE, 2007 .