

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação do grão e do farelo de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados

Natália Cristina Milani

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2021**

Natália Cristina Milani
Zootecnista

Avaliação do grão e do farelo de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.

Orientador:
Prof. Dr. **URBANO DOS SANTOS RUIZ**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Milani, Natalia Cristina

Avaliação do grão e do farelo de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados / Natália Cristina Milani. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

240 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Desempenho 2. Digestibilidade 3. Extrusão 4. Soja I. Título

DEDICATÓRIA

A Deus

Por todas as oportunidades que me foram concedidas e a todos os desafios superados.

*À minha mãe **Lirane Salete Coradi***

*Ao meu pai **Celso José Milani***

*Ao meu irmão **Murilo Henrique Milani***

Por compreender as ausências. Pelo suporte, paciência, incentivo e alento. Amo vocês!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Prof. Dr. Urbano dos Santos Ruiz, pela orientação acadêmica e ensinamentos despendidos durante a realização do doutorado e pela amizade do dia a dia. Por todas as oportunidades! Pelo suporte, pela paciência e sobretudo pela contribuição em meu crescimento pessoal.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo Auxílio à Pesquisa concedido ao Prof. Dr. Urbano dos Santos Ruiz (Processo FAPESP 2019/01849-6).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela Bolsa de Doutorado concedida (Processo FAPESP 2018/02343-6).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Doutorado concedida (Processo 1706625 e Processo 88887.481339/2020-00).

Aos funcionários do Setor de Suinocultura (ESALQ/USP), Gilberto Antonio Aliberti Júnior “Giba”, José Kossut Knapik “Gaúcho” e Leonilço Ramos “Léo”, pelo auxílio na condução do experimento.

Ao funcionário do Departamento de Zootecnia (ESALQ/USP) Paulo Marcos de Oliveira pela ajuda nas pesagens e nos abates do experimento. Aos funcionários Antônio Carlos Oliva e Gilberto da Silva Duarte pelo auxílio na confecção das dietas; José Henrique Rocha e Luis Rafael Lorena, pela disposição e prontidão. À funcionária Sandra Vicente Augusto pelo profissionalismo e pela amizade.

Aos técnicos do Laboratório de Análises Bromatológicas ESALQLab (ESALQ/USP) Carlos Cesar Alves, Ana Beatriz Rotelli, Joyce Cristiane Nunes da Silva, Maria Daniele Sampaio, pelo auxílio na realização das análises bromatológicas. Um especial agradecimento as meninas Ana, Joyce e Maria pela motivação, paciência e carinho despendidos ao longo dos meses de análises.

Ao Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi e ao funcionário Lucas Bassi Scarpim do Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos da FCAV/UNESP pela realização da extrusão dos ingredientes utilizados.

Ao Prof. Dr. Messias Alves da Trindade Neto do Departamento de Nutrição e Produção Animal da FMVZ/USP, Pirassununga pela realização das análises de aminoácidos.

À equipe do Laboratório de Anatomia e Fisiologia Animal (ESALQ/USP), sob coordenação do Prof. Dr. Eduardo Francisquine Delgado, por disponibilizar os equipamentos do laboratório para a realização da leitura das lâminas histológicas e armazenamento das amostras biológicas.

À pesquisadora Dra. Débora Botéquio Moretti, pela disposição e auxílio científico! Por todas as sugestões e interesse demonstrado.

Ao Zootecnista e acadêmico de doutorado Marcos Busanello, pela amizade ao longo de todos estes anos e por todo o auxílio científico na condução das análises estatísticas deste e de outros trabalhos. Obrigada por todas as sugestões e interesse demonstrado.

Aos meus colegas de pós-graduação Vinicius Ricardo Cambito de Paula, Cândida Pollyanna Francisco Azevedo, Leury Jesus de Sousa e Anderson Aparecido Sedano pela ajuda ao longo do doutorado.

Aos estagiários e colegas de profissão Dave Hanneman Alves Duarte, Hélio Moreira Junior, José Matheus de Moura Andrade e Raquel de Souza Fernandes. Pelo auxílio essencial na condução dos experimentos e análises realizadas. Obrigada pela paciência e pela amizade cultivada.

A Dra. Helen Krystine da Silva, pela amizade! Por compartilhar das experiências vivenciadas desde os tempos da graduação, mestrado e agora no doutorado. Obrigada pelas conversas e conselhos. Obrigada pela paciência, pela motivação e pelo conforto.

A Dra. Rafaela Pereira, obrigada pela amizade e por todo o apoio!

A Zootecnista Alessandra Arno, minha prima, obrigada pelo apoio nos momentos difíceis, pela cumplicidade e também por me fazer acreditar que tudo dá certo no final.

Aos amigos e colegas da ESALQ, da UDESC, de Piracicaba e de Chapecó, pelo apoio nos momentos de angústia e comemoração nos momentos de felicidade.

Aos meus familiares, pela ajuda e suporte e pelos votos de sucesso e mensagens de apoio despendidas ao longo do doutorado.

BIOGRAFIA

NATÁLIA CRISTINA MILANI, filha de Lirane Salete Coradi e Celso José Milani, nasceu em Chapecó – SC, em 21 de junho de 1991.

Cursou ensino fundamental e médio na Escola de Educação Básica Professora Zélia Scharf em Chapecó – SC.

Em fevereiro de 2009, ingressou no curso de graduação em Zootecnia – Ênfase em Produção Animal Sustentável na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Educação Superior do Oeste (CEO) em Chapecó – SC.

Durante a graduação participou de atividades nos campos de ensino, pesquisa e extensão, sendo bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) do Ministério de Educação (MEC) de dezembro de 2010 a julho de 2012. Ainda durante a graduação, de setembro de 2012 a junho de 2013, participou do Programa Ciências sem Fronteiras, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) realizando graduação sanduíche no curso de Engenharia Zootécnica na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro em Vila Real, Portugal.

Em julho de 2014, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em “Ciência Animal e Pastagens” da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), sendo bolsista do CNPq, orientada pelo Prof. Dr. Valdomiro Shigueru Miyada. No ano de 2016 defendeu a dissertação de mestrado intitulada “Utilização de zinco, na forma de óxido de zinco nanoparticulado, em dietas para leitões recém-desmamados”.

Em fevereiro de 2017, ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em “Ciência Animal e Pastagens” ESALQ/USP, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

EPÍGRAFE

*“O período de maior ganho em
conhecimento e experiência é o período
mais difícil da vida de alguém”.*

Dalai Lama

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
LISTA DE TABELAS.....	13
1. Introdução geral.....	17
1.1. Fatores antinutricionais.....	19
1.2. Sistema imune do intestino e barreira intestinal.....	20
1.3. Estratégias para superar os efeitos negativos dos fatores antinutricionais da soja.....	23
1.4. Extrusão.....	25
Referências.....	27
2. OBJETIVOS.....	37
2.1. Objetivo geral.....	37
2.2. Objetivos específicos.....	37
3. Efeito de diferentes temperaturas de extrusão do grão de soja e do farelo de soja não tostado sobre a composição nutricional e as digestibilidades, ileal e total, dos nutrientes e da energia em leitões recém-desmamados.....	39
Resumo.....	39
Abstract.....	40
3.1. Introdução.....	41
3.2. Material e métodos.....	42
3.2.1. Extrusão, ingredientes e dietas experimentais.....	43
3.2.2. Animais, instalações e procedimentos experimentais.....	45
3.2.3. Análises químicas.....	46
3.2.4. Cálculos, análises estatísticas e delineamento experimental.....	47
3.3. Resultados.....	49
3.3.1. Grão de soja desativado e grão de soja in natura extrudado em diferentes temperaturas.....	49
3.3.1.1. Composição nutricional e parâmetros de qualidade dos ingredientes.....	49
3.3.1.2. Digestibilidade total aparente e valores digestíveis dos nutrientes e da energia dos ingredientes.....	50
3.3.1.3. Digestibilidade ileal aparente e valores digestíveis ileais aparentes da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes.....	50
3.3.1.4. Digestibilidade ileal standardizada e valores digestíveis ileais standardizados da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes.....	51
3.3.2. Farelos de soja tostado e não tostado extrudado em diferentes temperaturas.....	52
3.3.2.1. Composição nutricional e parâmetros de qualidade dos ingredientes.....	52
3.3.2.2. Digestibilidade total aparente e valores digestíveis dos nutrientes e da energia dos ingredientes.....	52
3.3.2.3. Digestibilidade ileal aparente e valores digestíveis ileais aparentes da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes.....	53
3.3.2.4. Digestibilidade ileal standardizada e valores digestíveis ileais standardizados da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes.....	54
3.4. Discussão.....	56

3.4.1. Grão de soja desativado e grão de soja in natura extrudado em diferentes temperaturas.....	56
3.4.1.1. Composição dos ingredientes	56
3.4.1.2. Digestibilidade total aparente dos nutrientes e da energia bruta dos ingredientes	58
3.4.1.3. Digestibilidade ileal aparente e estandardizada da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes	63
3.4.2. Farelo de soja tostado e farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas.....	67
3.4.2.1. Composição dos ingredientes	67
3.4.2.2. Digestibilidade total aparente dos nutrientes e da energia bruta dos ingredientes	70
3.4.2.3. Digestibilidade ileal aparente e estandardizada da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes	73
3.5. Conclusão	76
Referências	76
4. Efeitos da substituição do farelo de soja tostado por farelo de soja não tostado extrudado associado a reduções nos teores de plasma sanguíneo seco em dietas para leitões recém-desmamados	105
Resumo	105
Abstract.....	106
4.1. Introdução	107
4.2. Material e métodos	108
4.2.1. Ingredientes avaliados e processamento de extrusão	109
4.2.2. Unidade de creche experimental.....	110
4.2.3. Animais e delineamento experimental	110
4.2.4. Dietas experimentais.....	111
4.2.5. Desempenho	112
4.2.6. Frequência da ocorrência de diarreia.....	112
4.2.7. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta.....	112
4.2.8. Hemograma	113
4.2.9. Morfometria e peso de órgãos	114
4.2.10. Histologia do epitélio intestinal.....	114
4.2.11. Integridade da barreira epitelial intestinal	115
4.2.12. Imunoglobulina A na mucosa intestinal	115
4.2.13. Análise econômica.....	117
4.2.14. Análise estatística	117
4.3. Resultados.....	119
4.3.1. Desempenho, frequência da ocorrência de diarreia e digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta.....	119
4.3.2. Análises sanguíneas	120
4.3.3. Morfometria e peso de órgãos	121
4.3.4. Histologia do epitélio intestinal.....	121
4.3.5. Integridade da barreira epitelial intestinal	122
4.3.6. Imunoglobulina A na mucosa intestinal	122
4.3.7. Análise econômica.....	122
4.4. Discussão.....	124
4.5. Conclusão	137
Referências	139

5. Efeitos da substituição do farelo de soja tostado por blend de milho e grão de soja extrudados ou grão de soja desativado na dieta de leitões recém-desmamados.....	173
Resumo.....	173
Abstract	174
5.1. Introdução	174
5.2. Material e métodos.....	176
5.2.1. Ingredientes avaliados e processamento de extrusão	176
5.2.2. Unidade de creche experimental	177
5.2.3. Animais e delineamento experimental	178
5.2.4. Dietas experimentais	178
5.2.5. Desempenho.....	179
5.2.6. Frequência da ocorrência de diarreia	179
5.2.7. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta	179
5.2.8. Hemograma	180
5.2.9. Morfometria e peso de órgãos.....	181
5.2.10. Histologia do epitélio intestinal	181
5.2.11. Integridade da barreira epitelial intestinal.....	182
5.2.12. Imunoglobulina A na mucosa intestinal.....	182
5.2.13. Análise econômica	184
5.2.14. Análise estatística.....	184
5.3. Resultados	185
5.3.1. Desempenho, frequência da ocorrência de diarreia e digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta	186
5.3.2. Análises sanguíneas	187
5.3.3. Morfometria e peso de órgãos.....	187
5.3.4. Histologia do epitélio intestinal	188
5.3.5. Integridade da barreira epitelial intestinal.....	188
5.3.6. Imunoglobulina A na mucosa intestinal.....	188
5.3.7. Análise econômica	189
5.4. Discussão	189
5.5. Conclusão.....	202
Referências.....	202
6. Considerações finais	231
APÊNDICES.....	235
APÊNDICE A. Grão de soja extrudado	235
APÊNDICE B. Farelo de soja não tostado extrudado.....	238

RESUMO

Avaliação do grão e do farelo de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados

O estudo foi dividido em três experimentos, utilizando-se leitões recém-desmamados, com pesos iniciais de 6,02 a 7,26 kg. O experimento 1 consistiu na avaliação das digestibilidades, ileal e total, dos nutrientes e da energia do grão de soja *in natura* extrudado a 82°C; 122°C e 137°C, do farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; 120°C e 149°C, do grão de soja desativado, do farelo de soja tostado e de uma dieta livre de nitrogênio em leitões, totalizando 9 tratamentos, 8 repetições e 1 animal por unidade experimental. No experimento 2 foram avaliadas 6 dietas, com diferentes teores de plasma sanguíneo seco e de farelos de soja tostado ou não tostado extrudado na alimentação de leitões recém-desmamados, com 8 repetições e 4 animais por unidade experimental. No experimento 3 foram avaliadas 5 dietas nas quais o farelo de soja tostado foi substituído por um *blend* de milho e grão de soja, extrudado ou desativado, em 50 e 100%, com 8 repetições e 4 animais por unidade experimental. Nos experimentos 2 e 3, ao longo de 42 dias, foram avaliados o desempenho zootécnico, a ocorrência de diarreia, a digestibilidade dos nutrientes e da energia das dietas, hemograma completo, a integridade do epitélio intestinal e a viabilidade econômica. Nos três experimentos, adotou-se delineamento experimental em blocos completos casualizados e os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). No experimento 1, as digestibilidades, total aparente dos nutrientes, ileal aparente e standardizada da PB e dos aminoácidos, dos grãos de soja desativado e extrudados a 122°C e 137°C não diferiram ($P > 0,05$), porém foram superiores ($P < 0,05$) às do grão de soja extrudado a 82°C. Resultados similares ocorreram para os farelos de soja tostado e não tostados extrudados a 120°C e 149°C, que apresentaram, em geral, digestibilidades semelhantes ($P > 0,05$), mas maiores ($P < 0,05$) que as do farelo de soja não tostado extrudado a 86°C. No experimento 2, a substituição do farelo de soja tostado pelo farelo de soja não tostado extrudado nas dietas dos leitões não influenciou ($P > 0,05$) o desempenho e saúde intestinal, no entanto as dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado proporcionaram os maiores custos médios de ração por quilograma de peso vivo ganho. Em relação a substituição do plasma sanguíneo, a dieta com o menor nível de inclusão do farelo de soja, independentemente da fonte, e o maior nível de plasma sanguíneo resultou em um melhor ($P < 0,05$) ganho diário de peso dos animais nas primeiras duas semanas de experimento. No experimento 3, a temperatura de extrusão do *blend* de milho e grão de soja foi insuficiente para inativar os fatores antinutricionais no grão de soja, e provavelmente este foi o motivo da menor ($P < 0,05$) digestibilidade da PB e também do menor desempenho dos animais que consumiram estas dietas. A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição do farelo de soja da dieta reduziu ($P < 0,05$) o desempenho dos leitões após o desmame.

Palavras-chave: Desempenho, Digestibilidade, Extrusão, Soja

ABSTRACT

Evaluation of extruded soybean and soybean meal on weanling pig diets

The study was divided in three experiments, using weanling pigs ranging from 6.02 to 7.26 kg initial BW. Experiment 1 consisted in evaluating ileal and total tract digestibility of nutrients and energy of raw soybean extruded at 82°C; 122°C and 137°C, untoasted soybean meal extruded at 86°C; 120°C and 149°C, deactivated soybean, toasted soybean meal and a nitrogen-free diet in piglets, totaling 9 treatments, 8 repetitions and 1 animal per experimental unit. In experiment 2, 6 diets containing different levels of spray-dried and of toasted or extruded untoasted soybean meal were evaluated in piglets feeding, with 8 repetitions and 4 animals per experimental unit. In experiment 3, 5 diets in which soybean meal was replaced by corn soybean, extruded or deactivated, blends in 50 and 100% were evaluated in piglets feeding, with 8 repetitions and 4 animals per experimental unit. The parameters evaluated in experiments 2 and 3, over a 42 days period, were pigs' growth performance, diarrhea occurrence, diet nutrient and energy digestibility, blood parameters, gut epithelium integrity and economic viability. A randomized complete block design was adopted in the three experiments, and data were submitted to ANOVA and means were separated using Tukey test ($P < 0.05$). In experiment 1, apparent total tract digestibility of nutrients and apparent and standardized ileal digestibility of CP and amino acids of soybeans, deactivated and extruded at 122°C and 137°, did not differ ($P > 0.05$), but were greater ($P < 0.05$) than in soybean extruded at 82°C. Similar results occurred for toasted or untoasted soybean meal extruded at 120°C and 149°C that presented similar digestibility of nutrients ($P > 0.05$), but higher ($P < 0.05$) than untoasted soybean meal extruded at 86°C. In experiment 2, toasted soybean meal replacement by extruded untoasted soybean meal had no ($P < 0.05$) effects on pigs' growth performance and intestinal health, however, diets with extruded untoasted soybean meal had higher ($P < 0.05$) cost per kilogram weight. Regarding the spray-dried plasma replacement, pigs fed diets with lower soybean meal levels, regardless of soybean meal source, and higher spray-dried plasma levels, showed greater ($P < 0.05$) average daily gain at two first week experimental period. In experiment 3, the extrusion temperature of the corn-soybean blend was insufficient to inactivate the anti-nutritional factors of soybean and probably this was the reason for the lower ($P < 0.05$) diet protein digestibility and the lower ($P < 0.05$) growth performance of pigs that consumed these diets. The inclusion of extruded corn-soybean blend in replacement of soybean meal reduced ($P < 0.05$) weanling pig growth performance.

Keywords: Growth performance, Digestibility, Extrusion, Soybean

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições de operação da extrusão dos ingredientes avaliados.....	89
Tabela 2. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)	90
Tabela 3. Composição da dieta do período de adaptação (matéria natural)	91
Tabela 4. Composição das dietas experimentais (matéria natural)	92
Tabela 5. Composição nutricional das dietas experimentais (matéria natural)	93
Tabela 6. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca, DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca), e parâmetros qualidade do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	94
Tabela 7. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	95
Tabela 8. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	96
Tabela 9. Digestibilidade ileal standardizada (DIE) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	97
Tabela 10. Conteúdo digestível ileal standardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	98
Tabela 11. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca, DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca), e parâmetros de qualidade do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	99
Tabela 12. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	100
Tabela 13. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	101
Tabela 14. Digestibilidade ileal standardizada (DIE) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	102
Tabela 15. Conteúdo digestível ileal standardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	103
Tabela 16. Condições de operação da extrusão do ingrediente avaliado	150
Tabela 17. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)	151
Tabela 18. Composição da dieta do período de adaptação (matéria natural)	152

Tabela 19. Composição das dietas experimentais (matéria natural)	153
Tabela 20. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação.....	155
Tabela 21. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação.....	157
Tabela 22. Anticorpos e diluições utilizadas nas análises de <i>Dot Blot e Western Blot</i>	159
Tabela 23. Desempenho zootécnico dos leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	160
Tabela 24. Frequência da ocorrência de diarreia dos leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	162
Tabela 25. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	163
Tabela 26. Valores de C.h.c.m., hemácias, hemoglobina, hematócrito, proteína total e V.c.m. de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	164
Tabela 27. Valores de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	165
Tabela 28. Morfometria e peso de órgãos de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	166
Tabela 29. Histologia do epitélio intestinal (duodeno e jejuno) de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	168
Tabela 30. Proteínas das junções oclusivas do jejuno de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	169
Tabela 31. Imunoglobulina A no duodeno e no jejuno de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	170
Tabela 32. Custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho, índice médio de custo e índice de eficiência econômica de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta ¹	171
Tabela 33. Condições de operação da extrusão dos ingredientes avaliados	213
Tabela 34. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)	214
Tabela 35. Composição das dietas experimentais (matéria natural)	215
Tabela 36. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação.....	217
Tabela 37. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação.....	219
Tabela 38. Anticorpos e diluições utilizadas nas análises de <i>Dot Blot e Western Blot</i>	221
Tabela 39. Desempenho zootécnico dos leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	222

Tabela 40. Frequência da ocorrência de diarreia dos leitões alimentados com blend de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	223
Tabela 41. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	223
Tabela 42. Valores de C.h.c.m., hemácias, hemoglobina, hematócrito, proteína total e V.c.m. de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	224
Tabela 43. Valores de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	225
Tabela 44. Morfometria e peso de órgãos de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	226
Tabela 45. Histologia do epitélio intestinal (duodeno e jejuno) de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	227
Tabela 46. Proteínas das junções oclusivas do jejuno de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	228
Tabela 47. Imunoglobulina A no duodeno e no jejuno de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	228
Tabela 48. Custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho, índice de eficiência econômica e índice médio de custo de leitões alimentados com <i>blend</i> de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado ¹	229
Tabela 49. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca e DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	235
Tabela 50. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	236
Tabela 51. Conteúdo digestível ileal standardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	237
Tabela 52. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca e DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	238
Tabela 53. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	239
Tabela 54. Conteúdo digestível ileal standardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche ¹	240

1. INTRODUÇÃO GERAL

O desmame precoce, realizado em média aos 21 dias de idade dos leitões, é uma prática consolidada na suinocultura industrial brasileira com vistas à obtenção do maior número possível de leitões terminados ao ano, devido à maximização do número de leitegadas por matriz por ano (Kummer et al., 2009). Frente a isto a elaboração das dietas para este período exige atenção por parte dos nutricionistas, devido ao desafio fisiológico que o desmame representa para os leitões.

Durante a fase de aleitamento, o leitão consome principalmente o leite materno, rico em gordura, caseína e lactose, que apresenta elevada digestibilidade. Após o desmame, ocorre a mudança para dietas à base de alimentos sólidos e secos, principalmente de origem vegetal, que não são bem aproveitadas pelo animal em função da imaturidade de seu trato digestório. O baixo consumo de alimento neste período e a insuficiente produção de ácido clorídrico e enzimas digestivas adaptadas a estes substratos, associados à redução da altura das vilosidades intestinais e o aprofundamento das criptas no intestino, acarretam reduzidas digestão e absorção dos nutrientes, o que pode limitar o desempenho dos leitões (Jensen et al., 1997; Pluske et al., 1997; Huguet et al., 2006).

Pensando nisto, a dieta fornecida aos leitões imediatamente após o desmame desempenha papel crucial para atenuar e contornar o impacto do desmame sobre a fisiologia gastrointestinal e, conseqüentemente, garantir a máxima eficiência do aproveitamento dos alimentos e o desempenho animal.

A soja, pelas suas qualidades nutricionais, facilidade de adaptação às regiões agrícolas, alta produtividade e facilidade de cultivo, é um dos produtos da agricultura com maior valor econômico (Bellaver e Snizek Junior, 1999) e a principal oleaginosa cultivada no Brasil, sendo o país o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA, com uma produção de 120.751 milhões de toneladas no ano de 2019 (ABIOVE, 2020).

Os produtos do complexo da soja, que corresponde ao grão, ao óleo e ao farelo, juntamente com o milho, são considerados os principais alimentos utilizados na alimentação animal (Bellaver e Snizek Junior, 1999).

O grão de soja pode ser considerado uma boa fonte proteica para os suínos devido ao seu bom equilíbrio em aminoácidos essenciais. Contudo, seu uso na nutrição animal não é recorrente. Um dos principais motivos é que a soja é um dos principais produtos de exportação do Brasil e uma das principais *commodities* no mundo. Estima-se que no ano de 2019 das 120.751 milhões de toneladas produzidas, 74.073 milhões de toneladas de soja foram

exportadas como grão *in natura* pelo Brasil, totalizando um valor de 26.077 milhões de dólares, correspondendo a 11,57% da participação total do mercado brasileiro de exportações (ABIOVE, 2020). Outro fator é que o grão de soja *in natura* apresenta uma série de fatores antinutricionais, tais como os inibidores de tripsina [20,9 a 38,8 mg/g de PB na matéria natural (Friedman et al., 1991; Herkelman et al., 1992; Kim et al., 2000; Brasil et al., 2002)], hemaglutininas [2,31 a 8,3 mg/g de soja na matéria natural (Douglas et al., 1999; Maenz et al., 1999)], e fatores alergênicos [Glicinina e β -Conglicinina com 131,1 a 254,2 e 255,8 a 407,50 mg/g de PB na matéria natural respectivamente (Carrão-Panizzi et al., 2008)] que reduzem o valor nutricional deste ingrediente, promovendo uma redução na biodisponibilidade da sua proteína, e ocasionam efeitos deletérios na estrutura, função e saúde intestinal, o que limita a sua utilização na alimentação de suínos (Fan et al., 1995; Qin et al., 1996; Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003).

Em detrimento da utilização do grão de soja na alimentação de suínos, são utilizados os produtos derivados de seu processamento, como o farelo de soja, resultante da extração do óleo de soja, sendo a principal fonte proteica utilizada nas dietas de suínos (Stein et al., 2008; Jeziorny et al., 2010). No Brasil no ano de 2019 foram processadas 43.454 milhões de toneladas do grão soja, sendo produzidas 33.477 milhões de toneladas de farelo de soja (ABIOVE, 2020), das quais 16.756 milhões de toneladas foram utilizadas na alimentação animal, sendo 3.982 milhões de toneladas em dietas para suínos (SINDIRAÇÕES, 2020).

Embora o farelo de soja seja a principal fonte proteica em rações para suínos, seu uso é limitado para leitões, pois, tal como o grão de soja, apresenta uma série de fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina [1,99 a 6,85 mg/g de PB na matéria natural (Zhang et al., 2013; Baker et al., 2014; Sotak-Peper et al., 2015; Lagos e Stein, 2017)], hemaglutininas [(2,81 a 8,0 mg/g de soja na matéria natural (Douglas et al., 1999; Gu et al., 2010)], e fatores alergênicos [Glicinina e β -Conglicinina com 38,78 e 116,42 mg/g de PB na matéria natural respectivamente (Zhang et al., 2013)]. Estes fatores antinutricionais e alergênicos podem provocar reações de hipersensibilidade nos animais que levam a redução no desempenho, a distúrbios no trato gastrintestinal e a ocorrência de diarreia após o desmame (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Sohn et al., 1994a,b; Zhao et al., 2008; Song et al., 2010).

Estudos indicam que a inclusão do grão de soja na dieta de leitões após o desmame não é viável quando este não for submetido a processamentos térmicos (Herkelman et al., 1992; Palacios et al., 2004; Valencia et al., 2008). Mesmo a tostagem não é suficientemente capaz de reduzir a concentração dos fatores antinutricionais e alergênicos a níveis que não afetem a saúde, a digestibilidade dos nutrientes da dieta e o desempenho animal (Cera et al., 1989; Marty

e Chavez, 1993; Kim et al., 1999). Para o farelo de soja tostado, inclusões de 15,0 a 22,0% podem ser feitas nas dietas de leitões recém-desmamados, desde que fontes proteicas lácteas ou do plasma sanguíneo sejam suplementadas concomitantemente para que sejam evitadas reduções no desempenho animal, ao longo do período inicial de crescimento e desenvolvimento (Friesen et al., 1993).

1.1. Fatores antinutricionais

Os inibidores de tripsina são proteínas funcionais da soja, armazenadas junto com as proteínas de reserva no cotilédone, sendo considerados importantes metabólitos de defesa contra insetos e patógenos. Os inibidores de tripsina representam de 0,2 a 2% do conteúdo proteico total da soja. No lúmen intestinal estes compostos formam um complexo irreversível com as enzimas proteolíticas tripsina e quimotripsina, inibindo as atividades destas enzimas por meio da competição pelo sítio ativo das enzimas com as proteínas a serem digeridas, o que reduz a digestibilidade das proteínas e o aproveitamento dos aminoácidos dos alimentos (Yen et al., 1977; Goebel e Stein, 2011).

Como efeito secundário o pâncreas é estimulado a secretar maiores quantidades destas enzimas o que leva a hipertrofia e hiperplasia pancreática devido a hipersecreção crônica de enzimas. O mecanismo pelo qual o pâncreas é estimulado a secretar mais enzima ocorre pela redução no conteúdo de enzima tripsina e quimotripsina livre e a presença de peptídeos não digeridos servindo de substrato para estas enzimas no lúmen do duodeno, estimulando a secreção continuada de enzimas pelo pâncreas (Broadway e Duffey, 1986).

Desta forma tem-se a redução no desempenho animal, não apenas pela redução no aproveitamento das proteínas da dieta, mas também pela excessiva perda fecal das proteínas secretadas pelo pâncreas, que não é compensada pela absorção de aminoácidos no intestino (Yen et al., 1977). A redução no ganho de peso decorrente da ação dos inibidores de tripsina sobre a digestibilidade dos aminoácidos é, em média, de 20%, podendo chegar a 55% quando se compara as variedades convencionais da soja com variedades modificadas para conter baixos teores destes inibidores, enquanto que a redução na digestibilidade dos aminoácidos essenciais pode variar de 5,0 a 28,0% (Marty e Chavez, 1993; White et al., 2000; Zarkadas e Wiseman, 2005; Goebel e Stein, 2011).

Estudos indicam que produtos oriundos da soja adequadamente processados, com efetiva desativação dos seus fatores antinutricionais, devem possuir valores máximos de atividade de inibidores de tripsina de 4 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína na

matéria natural (Kim et al., 1999; Kim et al., 2000; Clarke e Wiseman, 2007). Entretanto, Kim et al. (1999) e Kim et al. (2000) observaram reduções no desempenho e na digestibilidade da proteína da dieta na ordem de 8% em leitões que consumiram dietas com a inclusão de grão de soja contendo níveis de inibidores de tripsina entre 2,2 e 3,2 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína em contraste a dietas contendo o grão de soja contendo teores inferiores a 2 miligramas (Kim et al., 1999; Kim et al., 2000).

As proteínas globulinas correspondem de 55 a 70% da fração proteica do grão de soja, sendo que 55% das proteínas globulinas correspondem a glicinina e a β -conglucina. Tais proteínas são consideradas fatores alergênicos para suínos. A proporção destas proteínas que escapa da digestão gástrica e intestinal está relacionada com a sensibilização do intestino delgado (Song et al., 2010), sendo capaz de estimular a produção de anticorpos, reações antígeno-anticorpo (Li et al., 1990; Hao et al., 2010; Song et al., 2010) e a ocorrência de reações de hipersensibilidade na mucosa intestinal de leitões após o desmame (Li et al., 1990; Hao et al., 2010).

1.2. Sistema imune do intestino e barreira intestinal

A mucosa intestinal representa uma barreira eficiente contra a ação deletéria de patógenos, fatores alergênicos e macromoléculas diversas, tais como as proteínas alergênicas da soja, desempenhando um papel importante na indução e controle das respostas imunes. Compreendem a função imune do intestino a barreira intestinal formada pelas células do epitélio intestinal e a camada de muco que recobre o epitélio, e o Tecido Linfoide Associado ao Trato Gastrointestinal (GALT) representado pelas placas de Peyer, os linfonodos mesentéricos e os linfócitos difusos na superfície epitelial e na lâmina própria, uma camada de tecido conjuntivo localizada entre o epitélio e a muscular da mucosa (Langkamp-Henken et al., 1992; Solé et al., 2018).

As células epiteliais na mucosa intestinal constituem a primeira barreira protetiva na superfície da mucosa, atuando como uma barreira física impedindo a adesão e a internalização de agentes potencialmente patogênicos do lúmen intestinal. Esta ação se dá pela secreção de peptídeos antibacterianos pelas células de Paneth no epitélio e pela produção de muco pelas células caliciformes tendo como função revestimento, lubrificação e propriedades bactericidas, o que reduz o contato direto de antígenos com a superfície epitelial dificultando a translocação para o meio interno. Esta proteção de barreira também é conferida pelas células M transportadoras de antígenos, e pelos próprios enterócitos e células enteroendócrinas que atuam

como barreira física (Solé et al., 2018). Adicionalmente, a integridade da estrutura da mucosa intestinal e a permeabilidade de substâncias é controlada por proteínas que compõem as junções oclusivas, claudinas, ocludinas e *zonula occludens* 1. São proteínas que formam complexos de adesão entre células epiteliais adjacentes na mucosa intestinal, tendo função de canal e barreira, como no caso das claudinas, podem estar envolvidas também na manutenção e regulação da estrutura transmembrana do epitélio e sinalização celular, como no caso das claudinas, e ancoragem das proteínas que compõem as junções oclusivas com o citoesqueleto de actina, controlando a forma celular e o tráfego intracelular (Zihni et al., 2016).

As placas de Peyer são agregados de células linfóides distribuídas ao longo do intestino, encontradas principalmente no íleodistal e em pequenos agregados no apêndice e no cólon. Apresentam estrutura de folículos linfóides, com centros germinativos contendo linfócitos B, linfócitos T, células dendríticas e macrófagos. As células M presentes no epitélio intestinal capturam os antígenos na interface mucosa-lúmen intestinal e o transportam até a lâmina própria onde as células dendríticas realizam o processamento e apresentação dos antígenos diretamente aos linfócitos T que estimulam a diferenciação dos linfócitos B para a produção de anticorpos. Os linfócitos B diferenciados migram para os linfonodos mesentéricos onde atingem a corrente sanguínea e são distribuídos para as superfícies mucosas se alojando na lâmina própria, onde secretam anticorpos (Langkamp-Henken et al., 1992; Abbas et al., 2008). Os anticorpos representam a primeira barreira protetiva na superfície da mucosa, com a IgA sendo o anticorpo mais abundante nas secreções mucosas. Na lâmina própria da mucosa, cerca de 95% das células plasmáticas secretam IgA. Quando liberada no lúmen intestinal mediante estímulo, a IgA se liga aos antígenos e impede sua adesão ao epitélio ou promove aglutinação e subsequente remoção do antígeno na camada de muco que recobre o epitélio (Abbas et al., 2008; Agarwal e Mayer, 2014).

Linfócitos T e B também estão presentes nos linfonodos mesentéricos onde atuam como uma segunda linha de defesa, uma vez que atuam na defesa contra moléculas que se sobrepuseram as defesas primárias do epitélio, chegando intactas a circulação sanguínea e linfática. Na mucosa intestinal, células dendríticas e macrófagos se projetam entre as células epiteliais e capturam antígenos na interface mucosa-lúmen intestinal. Estas células migram através da linfa para os linfonodos mesentéricos, onde apresentam os antígenos processados a células T imaturas que se diferenciam em células T efetoras produtoras de citocinas e linfócitos B secretores de IgA, que migram para a lâmina própria intestinal para atuarem diretamente contra os antígenos (Langkamp-Henken et al., 1992; Abbas et al., 2008). Adicionalmente, em condições que favoreçam alterações na integridade da barreira intestinal, tais como os eventos

estressantes ao desmame, associados a imaturidade fisiológica e imunológica dos leitões neste período, há o direcionamento dos linfócitos T ao estímulo a produção de IgE nos linfonodos mesentéricos, com ligação aos mastócitos e liberação de mediadores inflamatórios. Após nova exposição ao antígeno, ocorre a ativação dos linfócitos T de memória, que secretam citocinas e induzem maior produção de IgE, desencadeando uma série de efeitos locais e sistêmicos (Langkamp-Henken et al., 1992; Solé et al., 2018).

Os linfócitos difusos na superfície epitelial são linfócitos T que apresentam a função de manter e proteger a barreira mucosa. Os linfócitos difusos na lâmina própria, por sua vez, compreendem linfócitos T e B dispersos na lâmina própria do intestino, sendo o local de maior produção de anticorpos no intestino. A maior fração de linfócitos na lâmina própria produz IgA, no entanto células produtoras de IgM, IgG, IgD e IgE também podem ser encontradas na lâmina própria. Células dendríticas, macrófagos, eosinófilos e mastócitos também são encontrados dispersos nesta região (Langkamp-Henken et al., 1992; Solé et al., 2018).

Como decorrência das reações alérgicas desencadeadas pelas proteínas glicinina e a β -conglucina, na mucosa intestinal o complexo anticorpo-antígeno IgE-proteína alergênica forma complexos nas vênulas o que ativa a síntese de proteínas do sistema complemento pelos mastócitos, um composto multiproteico por mais de 30 componentes na maioria proteínas plasmáticas enzimas convertases que possuem como função a lise celular para eliminação dos complexos anticorpo-antígeno (Abbas et al., 2008). Como ações nocivas destas reações de hipersensibilidade há o aumento da fagocitose e lise celular das células da mucosa intestinal causando a descamação do enterócito com atrofia das vilosidades intestinais, que leva a redução na secreção das enzimas da borda em escova, reduzindo a digestão dos nutrientes e também a redução na área superficial para absorção luminal que leva a um quadro de má absorção. Observa-se também a proliferação celular nas criptas com aprofundamento das criptas intestinais visando compensar a redução das vilosidades como uma tentativa de regeneração do epitélio. A altura das vilosidades são 20% menores e das criptas 18% maiores em leitões alimentados com dietas a base de produtos da soja como ingrediente proteico único. Por consequência da menor digestibilidade e absorção dos nutrientes e do gasto de nutrientes para proliferação celular no epitélio, se tem a redução no desempenho animal (Li et al., 1990; Li et al., 1991a; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010).

A imunoresposta mediada pela IgE também desencadeia a liberação dos mediadores de inflamação histamina e das citocinas pró-inflamatórias IL-4, IL-6, IL-13 e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Liu et al., 2007; Abbas et al., 2008; Zhao et al., 2010) que promovem o rearranjo dos filamentos de actina do

citoesqueleto dos enterócitos, o que altera a morfologia da barreira intestinal com encurtamento das vilosidades intestinais e desregulação das proteínas que compõe as junções oclusivas. Este efeito compromete a adesão e a vedação entre as células resultando no aumento da permeabilidade paracelular que contribui para a secreção de Cl^- para o lúmen intestinal e pode ocasionar a internalização de bactérias potencialmente patogênicas presentes na mucosa e no lúmen intestinal (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010). O $\text{TNF-}\alpha$ promove ainda a redução na ingestão de alimento. Este efeito pode ocorrer através da redução das secreções gástricas, motilidade e esvaziamento do estômago e também pelo estímulo da liberação de neurotransmissores anorexigênicos (como por exemplo o CRH) em terminais nervosos do hipotálamo (Johnson, 1997).

A liberação do mediador da inflamação histamina pelos mastócitos na lâmina própria do intestino causa inflamação pelo aumento da vasodilatação e da permeabilidade vascular dos vasos locais, com desregulação nos processos de absorção e secreção no lúmen intestinal que gera um gradiente osmótico para a difusão de água ao longo do intestino. A este quadro se somam as consequências da redução dos processos de absorção e digestão em que ocorre um aumento da fração não digerida do alimento que serve de substrato para fermentação bacteriana, levando a produção de ácido lático e de ácidos graxos voláteis que promovem um aumento da osmolaridade no lúmen intestinal. Desta forma aumenta o fluxo de água para o lúmen intestinal e a redução na sua absorção, levando a ocorrência de diarreia e desidratação do animal, agravando ainda mais a redução no desempenho animal (Vannucci e Guedes, 2009; Wen et al., 2018).

1.3. Estratégias para superar os efeitos negativos dos fatores antinutricionais da soja

Uma das estratégias para superar os desafios advindos da inclusão de fontes proteicas oriundas da soja na dieta de leitões é o fornecimento de dietas complexas formuladas com ingredientes de melhor palatabilidade e digestibilidade, composta, sobretudo pela associação de fontes proteicas de origem vegetal e animal, como o farelo de soja e o plasma sanguíneo (Gaines et al., 2003; Wolter et al., 2003). Estima-se que no ano de 2019 tenham sido utilizadas 7.155 toneladas de plasma sanguíneo na indústria de rações para suínos no Brasil (SINDIRAÇÕES, 2020).

Diversos trabalhos avaliaram a complementação das dietas ou a substituição parcial do farelo de soja tostado pelo plasma sanguíneo (Hansen et al., 1993; Kats et al., 1994; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Hartke et al., 2003; Jeong et al., 2016; Torrallardona e Polo, 2016).

Estes estudos têm demonstrado que esta suplementação resulta numa maior digestibilidade dos nutrientes e da energia da dieta, e aumentos no consumo de alimento e no ganho de peso dos leitões em comparação ao fornecimento de dietas simples que utilizam o farelo de soja tostado como principal ingrediente proteico da dieta (Kats et al., 1994; Coffey e Cromwell, 1995; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Kim et al., 2002; Hartke et al., 2003; Wolter et al., 2003; Torrallardona e Polo, 2016). A principal justificativa para estes resultados é a alta palatabilidade e digestibilidade dos nutrientes destes ingredientes (Grinstead et al., 2000; Bosi et al., 2001), o que converge para um aumento no consumo de alimento e em um maior ganho de peso quando comparado às fontes proteicas da soja. Adicionalmente, o plasma sanguíneo, devido ao seu conteúdo em imunoglobulinas e glicoproteínas, pode atuar como um agente imunomodulador, atuando na regulação dos processos inflamatórios no organismo e na defesa contra a adesão de patógenos na parede intestinal (Bosi et al., 2001; Pierce et al., 2005), o que auxilia na manutenção da estrutura, função e saúde intestinal.

Estudos demonstram que o consumo de dietas contendo plasma sanguíneo pelos leitões nos primeiros 14 dias após o desmame proporciona um efeito positivo na integridade do epitélio intestinal com o aumento na altura das vilosidades intestinais, na área de superfície das vilosidades, e na relação vilosidade:cripta, sem efeitos claros sobre a profundidade de cripta (Zhao et al., 2007; Torrallardona, 2010; Che et al., 2012; Tran et al., 2014). Estes efeitos se devem a ação imunomoduladora do plasma sanguíneo ao reduzir a produção de citocinas pró-inflamatórias e estimular a produção de citocinas anti-inflamatórias na mucosa intestinal, o que reduz os danos nas vilosidades intestinais (Bosi et al., 2004; Peace et al., 2011; Tran et al., 2014). Ademais, este efeito positivo na integridade da mucosa intestinal auxilia na manutenção da integridade da barreira protetora no interior do trato gastrointestinal ao prevenir a adesão e colonização de antígenos no epitélio intestinal (Carroll et al., 2002).

Apesar das vantagens da suplementação destas fontes proteicas de origem animal nas dietas após o desmame, o alto custo do plasma sanguíneo seco limita a sua inclusão (Kummer et al., 2009; Jeong et al., 2016), sendo restrita somente às rações fornecidas aos leitões por um período de uma a duas semanas após o desmame (Kummer et al., 2009), uma vez que a inclusão deste ingrediente pode representar em torno de 35,0% dos custos das dietas deste período. Frente a isto, a nutrição de suínos passa por uma nova fase de reformulação nutricional, fazendo-se necessário à busca por fontes alternativas de menor custo e também livres de fatores antinutricionais e alergênicos, com vistas a garantir a maximização do aproveitamento nutricional e do desempenho animal.

Em razão de seu preço, disponibilidade e segurança alimentar, as fontes proteicas da soja são consideradas o foco de interesse na nutrição e elaboração de rações para os suínos (Kummer et al., 2009; Lenehan et al., 2003). Contudo, como relatado anteriormente, a inclusão destas fontes na dieta de leitões após o desmame é limitada, muito em função da presença de fatores antinutricionais e alergênicos (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Zhao et al., 2008; Song et al., 2010). Desta forma é importante o desenvolvimento de métodos de processamento que visem a melhoria da qualidade nutricional destes ingredientes, passando, sobretudo, pela redução dos seus fatores antinutricionais e alergênicos, objetivando a sua maior inclusão nas dietas de leitões, sem afetar negativamente o desempenho animal, substituindo assim, as fontes proteicas como o plasma sanguíneo.

O processamento térmico, tanto do grão de soja como do farelo de soja, pode otimizar a utilização destes ingredientes na nutrição de leitões após o desmame, reduzindo os efeitos de seus fatores antinutricionais e alergênicos (Kaankuka et al., 1996; Qin et al., 1996), sendo um destes processamentos, a extrusão (Kim et al., 2000; Palacios et al., 2004).

1.4. Extrusão

Na extrusão o alimento é submetido a aquecimento em alta temperatura, sob alta pressão por um período curto de tempo. Desta forma, a estrutura de componentes tais como as proteínas, amido, lipídios e parte da fibra insolúvel dos alimentos são transformados. O material a ser extrudado é transferido a partir de um compartimento de armazenamento, através de um cilindro de mistura, para dentro da área de compressão da extrusora. Nesta área, o material a ser extrudado percorre uma série de passagens e orifícios que oferecem resistência crescente ao mesmo tempo em que é submetido a pressão e a temperatura crescente. À medida que o material extrudado sai da zona de compressão, o contato com a pressão ambiente faz com que este material se expanda, e o contato com o ar ambiente, ou com uma injeção de vapor d'água, faz com que o material libere vapor e perca umidade (Steel et al., 2012).

Neste processo são empregadas pressões na ordem de 30 a 60 atm. e temperaturas na ordem dos 100-180°C, por um período que pode variar de 5 segundos a mais de 2 minutos (Steel et al., 2012). O objetivo é evitar alterações indesejáveis no ingrediente em decorrência das reações de *Maillard*, que podem levar a formação de complexos de carboidratos com a lisina (Căpriță et al., 2010; Žilić et al., 2014).

O principal benefício da extrusão dos grãos de soja é a redução do seu conteúdo em fatores antinutricionais, uma vez que, em sua maioria, estes fatores são susceptíveis ao

aquecimento (Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003). A extrusão promove a desnaturação destas proteínas, com alterações conformacionais que facilitam a hidrólise enzimática. Trabalhos realizados com leitões após o desmame demonstram em média, reduções de 19,23% na concentração do teor dos inibidores de tripsina dos grãos de soja submetidos a extrusão (Marty e Chavez, 1993; Marty et al., 1994; Kim et al., 1999; Kim et al., 2000), que resultam em melhorias na digestibilidade da proteína na ordem de 13% a 18,7% (Marty e Chavez, 1993; Kim et al., 1999), o que pode resultar no aumento da disponibilidade dos aminoácidos para síntese de proteína muscular.

Esta desnaturação proteica também reduz a antigenicidade das proteínas glicinina e β -conglucina que são alergênicas para os leitões (Kim et al., 1999), sofrendo desnaturação a temperaturas de 92 a 149 °C e 77 a 118,7°C, respectivamente (German et al., 1982; Kitabatake et al., 1990), o que contribui para a manutenção da integridade da estrutura e saúde intestinal (Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003).

No processo de extrusão também ocorre a gelatinização e a fusão do amido por ação do calor e umidade nas pontes de hidrogênio que ficam entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura do grânulo de amido. A gelatinização e a fusão causam o rompimento dos grânulos o que promove o maior acesso das enzimas a amilose e a amilopectina. Além disto a extrusão promove a hidrólise dos oligossacarídeos rafinose e estaquiose que são responsáveis pelo aumento da viscosidade da digesta e também a incidência de diarreia e flatulência nos leitões após o desmame (Cheftel, 1986).

Os efeitos mecânicos e térmicos exercidos sobre o ingrediente durante a extrusão promovem a ruptura dos vacúolos lipídicos presentes no grão de soja em função da ocorrência de danos físicos na estrutura celular lipídica, o que pode levar ao aumento da digestibilidade da gordura do ingrediente, e conseqüentemente da dieta, pela maior área de exposição das gotículas de gordura a ação enzimas lipolíticas (Noland et al.; 1976; Adams e Jensen, 1985; Qin et al., 1996; Lin et al., 1997).

Durante a extrusão também pode ocorrer uma reestruturação da fibra insolúvel das leguminosas, e mesmo a quebra de ligações glicosídicas, solubilizando parte de seu conteúdo, o que pode deixá-las mais disponíveis para fermentação no intestino grosso, contribuindo para um incremento na disponibilidade de energia pelo ingrediente (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al., 2007).

Quando temperaturas de extrusão de 143°C são empregadas, observa-se a melhoria no valor nutricional do grão da soja, com redução nas concentrações de inibidores de tripsina na ordem de 18,18%. Nestas condições ocorreram melhorias no desempenho de leitões após o

desmame, com incrementos de, em média, 21% no ganho de peso, 13% no consumo de alimento e 22% na eficiência alimentar (Kim et al., 1999), em comparação a leitões alimentados com o grão de soja *in natura* ou tostado, ou ainda o farelo de soja convencional, substituídos na sua totalidade. Foram observadas também melhorias na digestibilidade da proteína na ordem de 13% a 18,7% (Marty e Chavez, 1993; Kim et al., 1999), o que pode resultar no aumento da disponibilidade dos aminoácidos para síntese de proteína muscular.

Por outro lado, quando temperaturas de extrusão de 163°C são empregadas em grãos de soja *in natura*, embora sejam observadas reduções na concentração dos inibidores de tripsina na ordem de 18,75%, com melhorias na digestibilidade das proteínas por leitões após o desmame, não são observados benefícios sobre o valor biológico das proteínas e nem sobre a retenção de nitrogênio pelos animais (Kim et al., 2000).

Estes resultados podem ser indicativos de que as condições físicas empregadas durante a extrusão podem resultar em processamento inadequado dos grãos e do farelo de soja, tanto por superprocessamento, com complexação das proteínas, tornando os aminoácidos menos digestíveis para os animais, como por subprocessamento, que pode fazer com que os inibidores de tripsina se mantenham estáveis ao processamento térmico (Fan et al., 1995; Căpriță et al., 2010; Veum et al., 2017).

Estas evidências indicam que a magnitude da redução dos fatores antinutricionais e alergênicos, e da melhoria do valor nutricional advinda do processo de extrusão, tanto do grão como do farelo de soja, está diretamente relacionada com a qualidade do processamento térmico empregado, o que torna necessário a avaliação das condições físicas empregadas durante o processo, bem como a avaliação da efetividade deste processamento na qualidade nutricional do produto final, a fim de se garantir um processamento adequado e a qualidade nutricional do produto final.

Desta forma, a garantia de um processamento adequado e a adequada qualidade nutricional do produto final, poderia viabilizar a maior inclusão destas fontes nas dietas de leitões de forma segura, bem como a possível redução nos níveis de inclusão do plasma sanguíneo nas dietas, o que poderia minimizar os custos das dietas após o desmame sem afetar negativamente o desempenho e a saúde dos leitões após o desmame.

Referências

Abbas, A.K., Lichtman, A.H., Pillai, S., 2008. *Imunologia Celular e Molecular*, 8 th ed. Elsevier Inc, Philadelphia. 1262p.

- ABIOVE. Estatística Mensal do Complexo Soja. São Paulo, 2019. 2020. <http://abiove.org.br/>. Acesso em 07 de novembro de 2020.
- Adams, K.L., Jensen, A.H., 1985. Effect of Processing on the Utilization by Young Pigs of the Fat in Soya Beans and Sunflower Seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12, 267-274.
- Agarwal, S., Mayer, L., 2014. The Mucosal Immune System. In: Metcalfe, D.D., Sampson, H.A., Simon, R.A., Lack, G. (Eds.), *Food Allergy: Adverse Reactions to Foods and Food Additives*, 5th ed. Wiley-Blackwell, Hoboken, pp. 3-15.
- Baker, K.M., Liu, Y., Stein, H.H., 2014. Nutritional value of soybean meal produced from highprotein, low oligosaccharide, or conventional varieties of soybeans and fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188, 64–73.
- Bellaver, C., Snizek Junior, P.N., 1999. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: Congresso Brasileiro de Soja, 1999. Londrina. pp. 183-199.
- Bosi, P., Casini, L., Finamore, A., Cremokolini, C., Merialdi, G., Trevisi, P., Nobili, F., Mengheri, E., 2004. Spray-dried plasma improves growth performance and reduces inflammatory status of weaned pigs challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli* K88J. *Anim. Sci.* 82, 1764-1772.
- Bosi, P., Han, I.K., Jung, H.J., Heo, K.N., Perini, S., Castellazzi, A.M., Casini, L., Creston, D., Gremokolini, C., 2001. Effect of Different Spray Dried Plasmas on Growth, Ileal Digestibility, Nutrient Deposition, Immunity and Health of Early-Weaned Pigs Challenged with *E. coli* K88. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 14, 1138-1143.
- Brasil, I.C.F., Campello, C.C., Morais, J.K.S., Oliveira, J.T.A., Vasconcelos, I.M., 2002. Avaliação bioquímica e nutricional da soja comercial submetida a diferentes processamentos. In: VI REUNIÃO REGIONAL DA SBBq NORDESTE, 2002. Fortaleza. 10 p.
- Broadway, R.M., Duffey, S.S., 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of action and effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exiqua*. *J. Insect Physiol.* 32, 827-833.
- Căpriță, R., Căpriță, A., Crețescu, I., 2010. Laboratory Procedures for Assessing Quality of Soybean Meal. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.* 2, 375-378.
- Carrão-Panizzi, M.C., Kwanyuen, P., Erhan, Sevim Z., Lopes, I.O.N., 2008. Genetic variation and environmental effects on beta-conglycinin and glycinin content in Brazilian soybean cultivars. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 43, 1105-1114.

- Carroll, J.A., Touchette, K.J., Matteri, R.L., Dyer, C.J., Allee, G.L., 2002. Effect of spray-dried plasma and lipopolysaccharide exposure on weaned pigs: II. Effects on the hypothalamic-pituitary-adrenal axis of weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 502-509.
- Cera, K.R., Mahan, D.C., Reinlaart, G.A., 1989. Postweaning Swine Performance and Serum Profile Responses to Supplemental Medium-Chain Free Fatty Acids and Tallow. *J. Anim. Sci.* 67, 2048-2055.
- Che, L., Zhan, L., Fang, Z., Lin, Y., Yan, T., Wu, D., 2012. Effects of dietary protein sources on growth performance and immune response of weanling pigs. *Livest. Sci.* 148, 1-9.
- Cheftel, J.C., 1986. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking. *Food Chem.* 20, 263-283.
- Clarke, E.J., Wiseman, J. 2007. Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. *Br. Poult. Sci.* 48, 703-712.
- Coffey, R.D., Cromwell, G.L., 1995. The impact of environment and antimicrobial agents on the growth response of early-weaned pigs to spray-dried porcine plasma. *J. Anim. Sci.* 73, 2532-2539.
- de Rodas, B.Z., Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Spicer, L.J., 1995. Plasma Protein for Pigs Weaned at 19 to 24 Days of Age: Effect on Performance and Plasma Insulin-Like Growth Factor I, Growth Hormone, Insulin, and Glucose Concentrations. *J. Anim. Sci.* 73, 3657-3665.
- Douglas, M.W., Parsons, C.M., Hymowitz, T., 1999. Nutritional Evaluation of Lectin-Free Soybeans for Poultry. *Poult. Sci.* 78, 91-99.
- Dréau, D., Lallès, J.P., 1999. Contribution to the study of gut hypersensitivity reactions to soybean proteins in preruminant calves and early-weaned Piglets. *Livest. Sci.* 60, 209-218.
- Fan, M.Z., Sauer, W.C., Lange, C.F.M., 1995. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52, 189-203.
- Friedman, M., Brandon, D.L., Bates, A.H., Hymowitz, T., 1991. Comparison of a Commercial Soybean Cultivar and an Isoline Lacking the Kunitz Trypsin Inhibitor: Composition, Nutritional Value, and Effects of Heating. *J. Agric. Food Chem.* 39, 327-335.
- Friesen, K.G., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Behnke, K.C., Kats, L.J., 1993. The Effect of Moist Extrusion of Soy Products on Growth Performance and Nutrient Utilization in the Early-Weaned Pig. *J. Anim. Sci.* 71, 2099-2109.
- Gaines, A.M., Carroll, J.A., Yi, G.F., Allee, G.L., Zannelli, M.E., 2003. Effect of menhaden fish oil supplementation and lipopolysaccharide exposure on nursery pigs II. Effects on the

- immune axis when fed simple or complex diets containing no spray-dried plasma. *Domest. Anim. Endocrinol.* 24, 353-365.
- German, B., Damodaran, S., Kinsella, J.E., 1982. Thermal dissociation and association behavior of soy proteins. *J. Agric. Food Chem.* 30, 807-811.
- Goebel, K.P., Stein, H.H., 2011. Ileal Digestibility of Amino Acids in Conventional and Low-Kunitz Soybean Products Fed to Weanling Pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24, 88-95.
- Grinstead, G.S., Goodband, R.D., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Nelssen, J.L., Woodworth, J.C., Molitor, M., 2000. Effects of a whey protein product and spray-dried animal plasma on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 78, 647-665.
- Gu, C., Pan, H., Sun Z., Qin, G., 2010. Effect of soybean variety on anti-nutritional factors content, and growth performance and nutrients metabolism in rat. *Int. J. Mol. Sci.* 11, 1048-1056.
- Hansen, J.A., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Weeded, T.L., 1993. Evaluation of Animal Protein Supplements in Diets of Early-Weaned Pigs. *J. Anim. Sci.* 71, 1853-1862.
- Hao, Y., Li, D., Piao, X., Piao, X., 2010. *Forsythia suspensa* extract alleviates hypersensitivity induced by soybean conglycinin in weaned piglets. *J. Ethnopharmacol.* 128, 412-418.
- Hartke, J.L., Apgar, G.A., Griswold, K.E., Jacobson, B.N., Rosenthal, T.L., Guthrie, T.A., 2003. Responses of weanling pigs to spray-dried animal plasma added to simple diets containing varying levels of soya-bean meal. *Anim. Sci.* 77, 73-78.
- Herkelman, K.L., Rodhouse, S.L., Veum, T.L., Ellersieck, M.R., 1992. Effect of Extrusion on the Ileal and Fecal Digestibilities of Lysine in Yellow Corn in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 68, 2414-2424.
- Huguet, A., Seve, B., Le Dividich, J., Le Huerou-Luron, I., 2006. Effects of a bovine colostrum-supplemented diet on some gut parameters in weaned piglets. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 167-178.
- Jensen, M.S.; Jensen, S.K.; Jakobsen, K., 1997. Development of Digestive Enzymes in Pigs with Emphasis on Lipolytic Activity in the Stomach and Pancreas. *J. Anim. Sci.* 75, 437-445.
- Jeong, J.S., Park, J.W., Lee, S.I., Kim, I.H., 2016. Apparent ileal digestibility of nutrients and amino acids in soybean meal, fish meal, spray-dried plasma protein and fermented soybean meal to weaned pigs. *Anim. Sci. J.* 87, 697-702.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Bauer, E., 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157, 111-128.
- Johnson, R. 1997. Inhibition of growth by pro-inflammatory cytokines: An integrated view. *J. Anim. Sci.* 75, 1244-1255.

- Kaankuka, F.G., Balogun, T.F., Tegbe, T.S.B., 1996. Effects of duration of cooking of full-fat soya beans on proximate analysis, levels of antinutritional factors, and digestibility by weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62, 229-237.
- Karr-Lilienthal, L.K., Kadzere, C.T., Grieshop, C.M., Fahey, G.C. 2005. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. *Livest. Sci.* 97, 1-12.
- Kats, L.J., Nelssen, J.L., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Hansen, J.A., Laurin, J.L., 1994. The Effect of Spray-Dried Porcine Plasma on Growth Performance in the Early-Weaned Pig'. *J. Anim. Sci.* 72, 2075-2081.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Jones, D.B., Reddy, P.G., 1999. Extrusion Processing of Low-Inhibitor Soybeans Improves Growth Performance of Early-Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 12, 1251-1257.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hines, R.H., Gugle, T.L., 2000. Roasting and Extruding Affect Nutrient Utilization from Soybeans in 5 and 10 kg Nursery Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 13, 200-206.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hong, J.W., Cabrera, M.R., Hines, R.H., Behnke, K.C., 2002. Corn Particle Size Affects Nutritional Value of Simple and Complex Diets for Nursery Pigs and Broiler Chicks. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 15, 872-877.
- Kitabatake, N., Tahara, M., Doi, E., 1990. Thermal Denaturation of Soybean Protein at Low Water Contents. *Agric. Biol. Chem.* 54, 2205-2212.
- Kummer, R., Gonçalves, M.A.D., Lippke, R.T., Marques, B.M.F.P.P., Mores, T.J., 2009. Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche. *Acta Sci. Vet.* 37, 195-209.
- Lagos, L.V., Stein, H.H., 2017. Chemical composition and amino acid digestibility of soybean meal produced in the United States, China, Argentina, Brazil, or India. *J. Anim. Sci.* 95, 1626-1636.
- Langkamp-Henken, B., Glezer, J.A., Kudsk, K.A., 1992. Invited Review: Immunologic Structure and Function of the Gastrointestinal Tract. *Nutr. Clin. Pract.* 7, 100-108.
- Lenahan, N.A., Goodband, R.D., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Nelssen, J.L., Barker, M.R., Frantz, N.Z., Groesbeck, C.N., Iwasawa, T., Keegan, T.P., Lawrence, K.R., 2003. Evaluation of different soy protein concentrate sources on growth performance of weanling pigs. *Swine Day, Manhattan*, p. 81-89.

- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., Klemm, R., 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68, 1790-1799.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Giesting, D.W., Hancock, J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., 1991a. Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69, 3299-3307.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Goodband, R.D., 1991b. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 69, 4062-4069.
- Lin, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 30, 754-761.
- Liu, X., Feng, J., Xu, Z.R., Wang, Y.Z., Liu, J.X., 2007. Oral allergy syndrome and anaphylactic reactions in BALB/c mice caused by soybean glycinin and b-conglycinin. *Clin. Exp. Allergy.* 38, 350-35.
- Liu, H., Kim, I.B., Touchette, K.J., Newcomb, M.D., Allee, G.L., 2001. The effect of Spray Dried Plasma, Lactose and Soybean Protein Sources on the Performance of Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 14, 1290-1298.
- Maenz, D.D., Irish, G.G., Classen, H.L., 1999. Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 335-343.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., 1993. Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 411-419.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., de Lange, C.F.M., 1994. Recovery of Amino Acids at the Distal Ileum for Determining Apparent and True Ileal Amino Acid Digestibilities in Growing Pigs Fed Various Heat-Processed Full-Fat Soybean Products. *J. Anim. Sci.* 72, 2029-2037.
- Noland, P.R., Campbell, D.R., Gage, R.K., Sharp, R.N., Johnson, Z.B., 1976. Evaluation of Processed Soybeans and Grains in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 43, 763-769.
- Palacios, M.F., Easter, R.A., Soltwedel, K.T., Parsons, C.M., Douglas, M.W., Hymowitz, T., Pettigrew, J.E., 2004. Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 82, 1108-1114.
- Peace, R.M., Campbell, J., Polo, J., Crenshaw, J., Russell, L., Moeser, A., 2011. Spray-Dried Porcine Plasma Influences Intestinal Barrier Function, Inflammation, and Diarrhea in Weaned Pigs. *J. Nutr.* 141, 1312-1317.

- Pierce, J.L., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Russell, L.E., Weaver, E.M., 2005. Effects of spray-dried animal plasma and immunoglobulins on performance of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2876-2885.
- Pluske, J.R.; Hampson, D.J.; Williams, I.H., 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest. Sci.* 51, 215-236.
- Qiao, S., Li, D., Jiang, J., Zhou, H., Li, J., Thacker, P.A., 2003. Effects of Moist Extruded Full-fat Soybeans on Gut Morphology and Mucosal Cell Turnover Time of Weanling Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 16, 63-69.
- Qin, G., ter Elst, E.R., Bosch, M.W., van der Poel, A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 313-324.
- SINDIRAÇÕES. Boletim Informativo do Setor – Junho/2020. São Paulo, 2020.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L., 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 916-929.
- Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Buchanan, D.S., Southern, L.L., 1994a. Improved Soybean Protein Sources for Early-Weaned Pigs: I. Effects on Performance and Total Tract Amino Acid Digestibility. *J. Anim. Sci.* 72, 622-630.
- Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Southern, L.L., Buchanan, D.S., 1994b. Improved Soybean Protein Sources for Early-Weaned Pigs: II. Effects on Ileal Amino Acid Digestibility. *J. Anim. Sci.* 72, 630-637.
- Solé, D., Silva, L.R., Cocco, R.R., Ferreira, C.T., Sarni, R.O., Oliveira, L.C., Pastorino, A.C., Weffort, V., Morais, M.B., Barreto, B.P., Oliveira, J.C., Castro, A.P.M., Franco, J.M., Neto, H.J.C., Rosário, N.A., Alonso, M.L.O., Sarinho, E.C., Yang, A., Maranhão, H., Toporovski, M.S., Epifanio, M., Wandalsen, N.F., Rubini, N.M., 2018. Consenso Brasileiro sobre Alergia Alimentar: 2018 - Parte 1 - Etiopatogenia, clínica e diagnóstico. Documento conjunto elaborado pela Sociedade Brasileira de Pediatria e Associação Brasileira de Alergia e Imunologia Arq. *Asma Alerg. Imunol.* 2, 7-38.
- Song, Y.S., Pérez, V.G., Pettigrew, J.E., Martinez-Villaluenga, C., Gonzalez De Mejia, E., 2010. Fermentation of soybean meal and its inclusion in diets for newly weaned pigs reduced diarrhea and measures of immunoreactivity in the plasma. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159, 41-49.
- Sotak-Peper, K.M., Gonzalez-Vega, J.C., Stein, H.H., 2015. Concentrations of digestible, metabolizable, and net energy in soybean meal produced in different areas of the United States and fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 93, 5694-5701.

- Steel, C.J., Leoro, M.G.V., Schmiele, M., Ferreira, R.E., Chang, Y.K., 2012. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: El-Sonbati, A. (Ed.). Thermoplastic Elastomers. 1st ed. InTech, Rijeka, pp. 265-290.
- Stein, H.H., Berger, L.L., Drackley, J.K., Fahey, G.C., Hernot, D.C., Parsons, C.M., 2008. Nutritional properties and feeding values of soybeans and their co-products. In: Johnson, L.A., White, P.J., Galloway, R. (Eds.), Soybeans, Chemistry, Productions, Processing, and Utilization. AOCS Press, Urbana, pp. 613-660.
- Tran, H., Bundy, J.W., Li, Y.S., Carney-Hinkle, E.E., Miller, P.S., Burkey, T.E., 2014. Effects of spray-dried porcine plasma on growth performance, immune response, total antioxidant capacity, and gut morphology of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 92, 4494-4504.
- Torrallardona, D., 2010. Spray Dried Animal Plasma as an Alternative to Antibiotics in Weanling Pigs - A Review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23, 131-148.
- Torrallardona, D., Polo, J., 2016. Effect of spray-dried porcine plasma protein and egg antibodies in diets for weaned pigs under environmental challenge conditions. *J. Swine Health Prod.* 24, 21-28.
- Valencia, D.G., Serrano, M.P., Lázaro, R., Latorre, M.A., Mateos, G.G., 2008. Influence of micronization (fine grinding) of soya bean meal and fullfat soya bean on productive performance and digestive traits in young pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 340-356.
- Vannucci, F.A., Guedes, R.M.C., 2009. Fisiopatologia das diarreias em suínos. *Cienc. Rural.* 39, 2233-2242.
- Veum, T.L., Serrano, X., Hsieh, F.H., 2017. Twin- or single-screw extrusion of raw soybeans and preconditioned soybean meal and corn as individual ingredients or as corn-soybean product blends in diets for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 95, 1288-1300.
- Wen, X., Wang, L., Zheng, C., Yang, X., Ma, X., Wu, Y., Chen, Z., Jianet, Z., 2018. Fecal scores and microbial metabolites in weaned piglets fed different protein sources and levels. *Anim. Nutr.* 4, 31-36.
- White, C.E., Campbell, D.R., McDowell, L.R., 2000. Effects of dry matter content on trypsin inhibitors and urease activity in heat treated soya beans fed to weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87, 105-115.
- Wolter, B.F., Ellis, M., Corrigan, B.P., Dedecker, J.M., Curtis, S.E., Parr, E.N., Webel, D.M., 2003. Impact of early postweaning growth rate as affected by diet complexity and space allocation on subsequent growth performance of pigs in a wean-to-finish production system. *J. Anim. Sci.* 81, 353-359.

- Yen, J.T., Jensen, A.H., Simon, J., 1977. Effect of Dietary Raw Soybean and Soybean Trypsin Inhibitor on Trypsin and Chymotrypsin Activities in the Pancreas and in Small Intestinal Juice of Growing Swine. *J. Nutr.* 170, 156-165.
- Zarkadas, L.N., Wiseman, J., 2005. Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets: II. Digestibility and intestinal morphology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 121-137.
- Zhao, J., Harper, A.F., Estienne, M.J., Webb Jr., K.E., McElroy, A.P., Denbow, D.M., 2007. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments. *J. Anim. Sci.* 85, 1302-1310.
- Zhang, H.Y., Yi, J.Q., Piao, X.S., Li, P.F., Zeng, Z.K., Wang, D., Liu, L., Wang, G.Q., Han, X., 2013. The Metabolizable Energy Value, Standardized Ileal Digestibility of Amino Acids in Soybean Meal, Soy Protein Concentrate and Fermented Soybean Meal, and the Application of These Products in Early-weaned Piglets. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 26, 691-699.
- Zhao, Y., Qin, G., Sun, Z., Zhang, X., Bao, N., Wang, T., Zhang, B., Zhang, B., Zhu, D., Sun, D., 2008. Disappearance of immunoreactive glycinin and b-conglycinin in the digestive tract of piglets. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 322–330.
- Zhao, Y., Qin, G.X., Sun, Z.W., Zhang, B., Wang, T. 2010. Effects of glycinin and β -conglycinin on enterocyte apoptosis, proliferation and migration of piglets. *Food Agric. Immunol.* 21, 209-218.
- Zihni, C., Mills, C., Matter, K., Balda, M.S., 2016. Tight junctions: from simple barriers to multifunctional molecular gates. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 17, 564-580.
- Žilić, S., Mogol, B.A., Akillioglu, G., Serpen, A., Delic, N., Gokmen, V., 2014. Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean. *J. Sci. Food Agric.* 94, 45-51.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo é investigar o potencial do processamento de extrusão na melhoria do valor nutricional do grão de soja *in natura* e do farelo de soja não tostado para leitões no período pós-desmame, bem como estabelecer estratégias de utilização destes ingredientes.

2.2. Objetivos específicos

- Investigar o efeito da temperatura de extrusão sobre o valor nutricional do grão de soja *in natura* e do farelo de soja não tostado para leitões recém-desmamados.
- Avaliar o efeito da substituição gradativa do plasma sanguíneo da dieta pelo farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado sobre o desempenho zootécnico, a resposta imune e os indicadores de saúde intestinal dos leitões alimentados com estes ingredientes, e ainda a viabilidade econômica desta substituição.
- Avaliar o efeito da utilização de *blends* de milho e grão de soja extrudados em substituição ao farelo de soja da dieta sobre o desempenho zootécnico, a resposta imune e os indicadores de saúde intestinal dos leitões alimentados com estes ingredientes, e ainda a viabilidade econômica desta substituição.

3. EFEITO DE DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXTRUSÃO DO GRÃO DE SOJA E DO FARELO DE SOJA NÃO TOSTADO SOBRE A COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E AS DIGESTIBILIDADES, ILEAL E TOTAL, DOS NUTRIENTES E DA ENERGIA EM LEITÕES RECÉM-DESMAMADOS

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar as extrusões do grão de soja *in natura* e do farelo de soja não tostado em três temperaturas de extrusão, sobre a composição nutricional e as digestibilidades ileal e total dos nutrientes e da energia dos ingredientes por leitões. Foram utilizados 72 suínos machos castrados ($7,67 \pm 0,90$ kg), alojados individualmente, distribuídos em um delineamento em blocos completos casualizados com 9 tratamentos e 8 repetições. As temperaturas dos ingredientes na saída do canhão da extrusora foram de: 82°C; 122°C e 137°C para o grão de soja *in natura* e 86°C; 120°C e 149°C para o farelo de soja não tostado. Os tratamentos experimentais consistiram em uma dieta livre de nitrogênio (DLN), utilizada para quantificação de perdas endógenas basais de aminoácidos, e em dietas compostas por 70% da DLN e 30% de cada ingrediente extrudado nas três temperaturas, além do farelo de soja tostado e grão de soja desativado. Dióxido de titânio (TiO₂) foi incluído nas dietas como indicador indigestível. Os leitões foram submetidos a um período de cinco dias para adaptação às dietas e manutenção do fluxo do indicador pelo trato digestório e, após, foi realizada a coleta de fezes por um período de cinco dias, e a coleta de digesta ileal após abate dos animais. As amostras de ingredientes, dietas, digestas e fezes foram processadas e submetidas às determinações de MS, EB, EE, PB, Ti, FDN e FDA. Também foram determinados os teores de aminoácidos nos ingredientes, nas dietas e nas digestas. Foram calculadas as digestibilidades totais aparentes dos nutrientes e da energia, bem como as digestibilidades ileais, aparentes e standardizadas, da proteína e dos aminoácidos, das dietas e dos ingredientes e seus respectivos valores digestíveis. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas por Tukey, quando $P < 0,05$. O aumento da temperatura de extrusão do grão de soja *in natura* e do farelo de soja reduziu os valores da atividade dos inibidores de tripsina e melhorou os índices de qualidade destes ingredientes. A temperatura de extrusão de 82°C do grão de soja *in natura* foi insuficiente para inativar os fatores antinutricionais da soja e resultou em reduções ($P < 0,05$) de 15-31% e de 49-62% nas digestibilidades ileais, aparente e standardizada, da proteína bruta e dos aminoácidos, com exceção da lisina e do triptofano, em comparação ao grão de soja desativado e ao grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C, que foram em geral semelhantes entre si. A temperatura de extrusão de 86°C do farelo de soja não tostado foi insuficiente para inativar os fatores antinutricionais da soja e resultou em decréscimos ($P < 0,05$) de 25-29% e 27-31% nas digestibilidades ileais, aparente e standardizada, da proteína bruta e dos aminoácidos, quando comparadas ao farelo de soja tostado e aos farelos de soja não tostados extrudados a 120°C e 149°C que, em sua maioria, não diferiram entre si.

Palavras-chaves: Fatores antinutricionais; Soja extrudada; Suínos; Valor nutricional

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the extrusion of soybean and untoasted soybean meal at three extrusion temperatures, on the nutritional value and the ileal and total digestibility of nutrients and energy of the ingredients by weanling pigs. Seventy-two crossbred barrows (7.67 ± 0.90 kg body weight (BW)) were allotted in a randomized complete block design experiment with 9 dietary treatments and 8 replications per treatment. Ingredients temperatures at extruder exit were: 82°C; 122°C and 137°C for soybean; and 86°C; 120°C and 149°C for untoasted soybean meal. Treatments consisted of a N-free diet, used to determine endogenous amino acids losses, and diets composed of 70% of N-free diet and 30% of each ingredient extruded at three temperatures, as well as deactivated soybean (DS) and toasted soybean meal (SBM), such as control ingredients. Titanium dioxide was added to the diets as an indigestible marker. After a 5 d adaptation period (marker flow), feces were collected over a 5-d period and samples of ileal digesta were collected after piglets' slaughter. Ingredients, diets, ileal digesta and feces samples were processed and analyzed for DM, GE, EE, CP, Ti, NDF and ADF. Amino acid contents in ingredients, diets and ileal digesta were also determined. Diets and ingredients apparent total digestibility of nutrients and energy were calculated, as well as the ileal apparent and standardized digestibility of protein and amino acids, and their respective digestible values. Analysis of variance was performed and the means compared by Tukey, when $P < 0.05$. The soybean and untoasted soybean meal increasing extrusion temperatures reduced trypsin inhibitors concentrations and improved the quality indexes of these ingredients. Soybean extrusion temperature of 82°C was insufficient to inactivate soybean anti-nutritional factors and resulted in reductions ($P < 0.05$) of 15-31% and 49-62% in crude protein and amino acids apparent and standardized ileal digestibility, with the exception of lysine and tryptophan, when compared to deactivated soybean and soybean extruded at 122°C and 137°C, which were, in general, similar to each other. Untoasted soybean meal extrusion temperatures of 86°C was insufficient to inactivate soybean anti-nutritional factors and resulted in decreases ($P < 0.05$) of 25-29% and 27-31% in the crude protein and amino acids apparent and standardized ileal digestibility, when compared to soybean meal and untoasted soybean meal extruded at 120°C and 149°C, which, in their majority, did not differ from each other.

Keywords: Extrusion; Anti-nutritional factors; Extruded soybean; Pigs; Nutritional value

3.1. Introdução

Os produtos do complexo da soja, que correspondem ao grão, óleo e farelo, juntamente com o milho, são considerados os principais ingredientes utilizados na alimentação animal (Bellaver e Snizek Junior, 1999). O grão de soja pode ser considerado uma boa fonte proteica para os suínos devido ao seu bom equilíbrio em aminoácidos essenciais (NRC, 2012), contudo, apresenta uma série de fatores antinutricionais, tais como os inibidores de tripsina, e fatores alergênicos. Tais compostos reduzem o valor nutricional do grão, promovendo redução na biodisponibilidade da sua proteína, e ocasionando efeitos deletérios na estrutura, função e saúde intestinal, o que limita a sua utilização na alimentação de leitões recém-desmamados (Fan et al., 1995; Qin et al., 1996; Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003).

Em detrimento da utilização do grão de soja na alimentação de suínos, o farelo de soja é a principal fonte de proteína e aminoácidos utilizada nas dietas destes animais (Stein et al., 2008; Jezierny et al., 2010). Entretanto, seu fornecimento para leitões recém-desmamados, assim como o do grão de soja, é limitado em função da presença de fatores antinutricionais e proteínas alergênicas (Li et al., 1990; Sohn et al., 1994a,b). Inclusões de 15 a 22% de farelo de soja podem ser realizadas em dietas para leitões após o desmame, desde que fontes proteicas lácteas ou do plasma sanguíneo sejam suplementadas concomitantemente para que sejam evitadas reduções no desempenho animal (Friesen et al., 1993).

Os inibidores de tripsina interagem de forma específica e irreversível com as enzimas proteolíticas pancreáticas tripsina e quimotripsina no lúmen intestinal, sendo resistentes a desnaturação química ao longo do trato gastrointestinal dos suínos (Clemente et al., 2008; Losso, 2008; Goebel e Stein, 2011a,b). Estes inibidores por reduzirem a concentração das enzimas tripsina e quimotripsina livres para se ligarem aos seus substratos, reduzem a digestão das proteínas e o aporte de aminoácidos livres, diminuindo assim, a absorção dos aminoácidos pelos leitões (Broadway e Duffey, 1986; Goebel e Stein, 2011b).

A extrusão, tanto do grão de soja como do farelo de soja, pode melhorar a utilização destes ingredientes por leitões recém-desmamados (Friesen et al., 1993; Kim et al., 2000; Palacios et al., 2004). Neste processo o alimento é submetido a aquecimento em alta temperatura, sob alta pressão por um período curto de tempo, sofrendo modificações químicas e físicas. Em geral, os benefícios da extrusão incluem a desnaturação proteica (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Maurya e Said, 2014), a gelatinização do amido (Cheftel, 1986; Brown, 1996; Lin et al., 1997; Liu et al., 2014), a ruptura das células lipídicas (Adams e Jensen, 1985; Qin et al., 1996), a solubilização de parte da fibra insolúvel (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al.,

2007), aspectos que podem melhorar as digestibilidades dos nutrientes e da energia pelos suínos.

Ademais, as alterações conformacionais da estrutura das proteínas faz com que os inibidores de tripsina percam a sua atividade biológica deixando assim, mais enzimas livres disponíveis para digestão, o que aumenta a digestibilidade das proteínas da soja (Cheftel, 1986; Marty et al., 1994; Fan et al., 1995; Qin et al., 1996; Maurya e Said, 2014). Além disto a extrusão reduz a alergenicidade das proteínas da soja, o que ajuda a manter a função e a saúde intestinal (Pierce et al., 2005), e melhora o desempenho dos leitões recém-desmamados (Li et al., 1991a,b; Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003).

A magnitude da redução no conteúdo dos fatores antinutricionais e da melhoria do perfil nutricional do grão de soja e do farelo de soja dependem das condições de processamento empregadas durante a extrusão (De Valle, 1981; Prudêncio-Ferreira e Arêas, 1993; Lin et al., 1997; Lundblad et al., 2011). Em geral, se observa o incremento no valor nutricional conforme o aumento da temperatura empregada, devido a inativação dos fatores antinutricionais e desnaturação das proteínas presentes no ingrediente. Porém, após atingir um ponto máximo, ocorrem perdas devido às degradações térmicas da proteína e dos aminoácidos em razão de superprocessamento térmico (De Valle, 1981). Desta forma, é importante determinar as condições ideais de extrusão, bem como a qualidade e a efetividade deste processamento a fim de garantir a maximização do valor nutricional do grão de soja e do farelo de soja para leitões recém-desmamados.

O objetivo deste estudo foi investigar o efeito da temperatura de extrusão sobre o valor nutricional do grão de soja e do farelo de soja não tostado para leitões recém-desmamados. Foram determinados a digestibilidade total aparente da MS, EB, EE, PB, FDN e FDA e a digestibilidade ileal aparente e estandardizada da PB e dos AA, e os seus respectivos valores digestíveis nos ingredientes avaliados.

3.2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na creche experimental do Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), localizada no município de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) desta mesma instituição (Protocolo n°2019-02). A extrusão do grão de soja e do farelo de soja não tostado foi realizada na fábrica de rações da Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal.

3.2.1. Extrusão, ingredientes e dietas experimentais

Neste estudo de digestibilidade foram utilizados grão de soja cru *in natura*, grão de soja desativado, farelos de soja tostado e não tostado oriundos de fornecedores comerciais.

O grão de soja desativado foi obtido pelo cozimento do grão inteiro de soja cru *in natura* em reatores herméticos, em condições de temperatura e pressão controladas para desativação dos seus fatores antinutricionais (Freitas et al., 2005; Carvalho et al., 2008). Neste processo o grão de soja é colocado em reatores nos quais extrai-se o ar, criando um ambiente de vácuo, e então submete-se o ingrediente a aquecimento. Completada a desativação, o produto passa por um processo de liofilização em vácuo elevado, removendo a umidade que foi agregada ao produto durante a desativação pelo aquecimento (Raizer, 2016).

O farelo de soja não tostado, por sua vez, é obtido após a extração do óleo da soja por solvente hexano. A massa proteica chamada torta, com 20% a 30% de hexano, passa por um processo de pré-dessolventização rápida realizada em um tubo “*flash desolventizing*” com evaporação de 90% do solvente líquido da massa inicial. Na sequência, ocorre a remoção final do solvente em um equipamento “*stripper*” a vácuo, em que a injeção de vapor d’água superaquecido remove o hexano residual da massa. Apesar da alta temperatura utilizada no equipamento *flash*, a baixa umidade da massa do farelo neste equipamento e o curto tempo de residência, reduzem a desnaturação das proteínas deste farelo, fazendo com que a inativação térmica dos fatores antinutricionais presentes na soja não seja completa (Hettiarachchy e Kalapathy, 1997; Cereto, 2004; Riaz, 2011).

A soja crua *in natura* e o farelo de soja não tostado foram extrudados misturados com amido de milho, devido ao alto teor de lipídios no grão de soja que dificultaria a sua extrusão em extrusora do tipo rosca simples, que foi utilizada na presente pesquisa. A soja crua *in natura* foi moída em moinho martelo (MSB SN507, Lucato, Limeira, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 3 milímetros de diâmetro, e depois misturada com o amido de milho em um misturador vertical (Lucato, Limeira, SP, Brasil), na proporção de 60,35 kg de amido de milho para 39,65 kg do ingrediente, e então foi extrudada em três temperaturas de avaliação. O farelo de soja não tostado, por sua vez, também foi misturado com o amido de milho em um misturador vertical, na mesma proporção, e depois extrudado em três temperaturas de avaliação.

Os ingredientes foram extrudados em uma extrusora de rosca simples (MEX 250, Manzoni, Campinas, SP, Brasil), com capacidade de produção de 250 kg/h. A rosca extrusora empregada possuía 80 mm de diâmetro, com cinco seções: inicial – passo simples sem anel de retenção; segunda – passo simples com anel de retenção pequeno; terceira – passo duplo não cortada com anel de retenção pequeno; quarta – passo duplo não cortada com anel de retenção médio; quinta – cônica, de passo duplo e não cortada para se atingir temperaturas próximas de 75°C e 115°C, e cortada para alcançar temperatura em torno de 155°C. Para a extrusão dos ingredientes nas temperaturas pretendidas de 75°C e 115°C foi empregada matriz com um furo redondo de 10 milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 78,5 mm². Para a extrusão dos ingredientes na temperatura almejada de 155°C foi empregada matriz com um furo redondo de 4,5 milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 15,9 mm². A velocidade de rotação da rosca foi mantida em 521 rpm para a extrusão a 75°C, 591 rpm para a extrusão a 115°C, e 643 rpm para a extrusão a 155°C. Os parâmetros de operação do condicionador não se alteraram, com adição de água no condicionador a aproximadamente 16 L/h na temperatura de 75°C, 10 L/h na temperatura de 115°C, e 8 L/h na temperatura de 155°C, e adição de vapor direto de modo que a temperatura da massa à saída do condicionador ficasse próxima a 65°C e sua umidade 30%, para todos os tratamentos.

As temperaturas das massas dos ingredientes na saída do canhão da extrusora foram próximas as inicialmente planejadas, sendo: para o grão de soja extrudado (GE) de 82°C, 122°C e 137°C; e para o farelo de soja extrudado (FSE) de 86°C, 120°C e 149°C. Os produtos extrudados foram secos a 120°C por 40 minutos, até aproximadamente 90% de umidade e remoídos em moinho martelo (MSB SN507, Lucato, Limeira, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 3 milímetros de diâmetro para serem incluídos nas dietas experimentais. Mais informações sobre o processo de extrusão para cada ingrediente, em cada temperatura, estão descritas na Tabela 1 e os valores analisados do perfil nutricional dos ingredientes extrudados estão descritos na Tabela 2.

As dietas experimentais (Tabelas 4 e 5) consistiram em uma dieta livre de nitrogênio (DLN) e em oito dietas contendo os ingredientes avaliados, incluídos em 30%, como fontes únicas de proteína e aminoácidos. A DLN foi utilizada para quantificação de perdas endógenas basais de aminoácidos e formulada para atender as recomendações nutricionais para leitões, exceto em proteína e aminoácidos (Goebel e Stein, 2011b) e as dietas teste foram as seguintes: dieta com Farelo de soja tostado (FSTOS); dieta com FSE a 86°C (FSE86); dieta com FSE a 120°C (FSE120); dieta com FSE a 149°C (FSE149); dieta com Grão de soja desativado

(GDES); dieta com GE a 82°C (GE82); dieta com GE a 122°C (GE122); e dieta com GE a 137°C (GE137).

Dióxido de titânio (TiO₂) foi incluído nas dietas como indicador indigestível. A quantidade de ração fornecida diariamente foi ajustada de modo a suprir em 2,8 vezes a exigência de energia para manutenção dos animais (2,8 x 106 kcal energia metabolizável/kg PV^{0,75}). A quantidade de ração consumida diariamente por animal foi fornecida em 2 porções iguais às 07:00 e 17:00 h.

3.2.2. Animais, instalações e procedimentos experimentais

Setenta e dois leitões machos castrados, mestiços, oriundos de granja comercial de suínos, desmamados aos 21 dias, com $6,83 \pm 0,77$ kg de peso vivo, foram alojados em grupos de 4 animais em baias metálicas suspensas com piso parcialmente vazado (1,20 x 1,50m = 1,80m²), dotadas de bebedouro tipo chupeta, comedouro do tipo semiautomático, e sistema de aquecimento composto por lâmpadas infravermelhas de 250 W.

Nos primeiros quatro dias após a chegada dos animais, (dia 1 ao dia 4), forneceu-se um período de descanso aos animais para que eles se restabelessem do estresse induzido pelo desmame e pelo transporte até ao Setor de Suinocultura. Neste período os leitões foram alimentados *ad libitum* com a dieta que eles vinham consumindo na granja de origem (Tabela 3).

No dia 5 os leitões foram pesados ($7,18 \pm 0,91$ kg), alojados individualmente em baias metálicas suspensas com piso parcialmente vazado (1,20 x 0,75m = 0,90m²), dotadas de bebedouro tipo chupeta, comedouro do tipo semiautomático, e sistema de aquecimento composto por lâmpadas infravermelhas de 250 W. Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados, em função do peso, e a cada animal foi aleatoriamente atribuído uma das nove dietas avaliadas no experimento. O esquema experimental contou com 9 tratamentos (8 tratamentos experimentais e uma dieta isenta de nitrogênio), 8 repetições (blocos) por tratamento e 1 animal por unidade experimental (baia).

Do dia 5 ao dia 7 realizou-se a adaptação gradativa dos leitões as dietas experimentais, com a substituição da dieta da granja de origem pela respectiva dieta experimental no esquema 75%:25%; 50%:50% e 25%:75% com consumo *ad libitum*. No dia 8 os leitões foram novamente pesados ($7,67 \pm 0,90$ kg de peso vivo) e o experimento efetivamente teve início.

Entre os dias 8 e 12 os leitões passaram por um período de adaptação às dietas experimentais e manutenção do fluxo do indicador pelo trato digestório. Sequencialmente,

foram realizadas as coletas parciais de fezes, do dia 13 ao 17, e da digesta ileal no dia 18, pelo método do sacrifício (Donkoh et al., 1994). Sete horas após a última refeição os animais foram insensibilizados por eletronarcole (0,5 A e 110 V de tensão) e abatidos dos animais, sendo as digestas coletadas da porção final de 20 cm do íleo em frascos contendo solução de ácido fórmico (5%). As amostras de fezes e digestas coletadas foram mantidas congeladas a -18°C até o momento da realização das análises químicas.

3.2.3. Análises químicas

Ao final do período experimental, as amostras de fezes, de cada animal foram descongeladas em temperatura ambiente e homogêneas separadamente, secas a 55°C por 72 h (MA035, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) e moídas em um moinho de faca (MA680, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 1 milímetro de diâmetro. Amostras dos ingredientes extrudados e não extrudados, e das dietas foram somente moídas, como já descrito. Na sequência as amostras de ingredientes, das dietas e das fezes foram submetidas às determinações de matéria seca (MS) [método 934.01 (AOAC, 2006)]; matéria mineral (MM) após queima em forno mufla por 3 horas a 550°C; energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática (C200, Ika®, Guangzhou, China); nitrogênio, pelo método de combustão [método 990.03 (AOAC, 2006)], para estimativa do conteúdo de proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE) [método 2003.06 (AOAC, 2006)]; extrato etéreo com hidrólise ácida [método 954.02 (AOAC, 2006)] nos ingredientes extrudados; fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Van Soest et al., 1991); e TiO₂ (Myers et al., 2004).

As amostras de digesta ileal coletadas foram liofilizadas (LH 0401, Terroni, São Carlos, SP, Brasil), moídas em um moinho analítico (A11 Basic, IKA, Shanghai, China) à fração de 2 milímetros de diâmetro. Na sequência foram determinados os teores de MS [método 934.01 (AOAC, 2006)] e nitrogênio, pelo método de combustão [método 990.03 (AOAC, 2006)] para estimativa do conteúdo de PB das digestas. Os ingredientes, rações e digestas foram analisados quanto ao seu conteúdo de aminoácidos (AA) [método 994.12 (AOAC, 2005)] como descrito por Gallardo et al. (2018).

Nos ingredientes não extrudados e após a extrusão determinou-se a concentração dos inibidores de tripsina por espectrofotometria-UV [método Ba 12-75 (AOCS, 2009)], o índice de atividade ureática [método Ba 9-58 (AOCS, 2009)], e o índice de solubilidade proteica em

Hidróxido de Potássio (KOH) a 0,2% [método 55 (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2013)].

3.2.4. Cálculos, análises estatísticas e delineamento experimental

Os cálculos da digestibilidade total aparente (DTA) da MS, EB, EE, PB, FDN e FDA e os cálculos da digestibilidade ileal aparente (DIA) da PB e dos AA, e os seus respectivos valores digestíveis das dietas referência e testes, foram realizados pelo método do indicador, de acordo com Kong e Adeola (2014):

$$DTA \text{ ou } DIA (\%) = 100 - [100 \times ((CI_{dieta} \times CC_{excreta}) / (CI_{excreta} \times CC_{dieta}))]$$

Em que: CI_{dieta} é a concentração do indicador na dieta (%), $CC_{excreta}$ é a concentração do componente (MS, EB, EE, PB, AA, FDN e FDA) nas fezes ou na digesta (%), $CI_{excreta}$ é a concentração do indicador nas fezes ou na digesta (%), e CC_{dieta} é a concentração do componente na dieta (MS, MM, EB, EE, PB, AA, FDN e FDA) (%).

Os valores digestíveis dos nutrientes das dietas foram calculados aplicando-se os coeficientes de digestibilidade ao teor do nutriente ou da energia bruta da dieta.

As perdas endógenas basais (PEB) de PB e dos AA da dieta referência foram calculadas de acordo com Stein et al. (2007):

$$PEB (\%) = CC_{excreta} \times (CI_{dieta} / CI_{excreta})$$

Em que: $CC_{excreta}$ é a concentração do componente na digesta (%), CI_{dieta} é a concentração do indicador na dieta referência (%), e $CI_{excreta}$ é a concentração do indicador na digesta (%).

Os cálculos da digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da PB e dos AA foram realizados pelo método do indicador, de acordo com Stein et al. (2007):

$$DIE (\%) = DIA + [100 \times (PEB / CC_{dieta})]$$

Em que: DIA é a digestibilidade ileal aparente do componente (%), PEB é a perda endógena basal do componente (%) e CCdieta é a concentração do componente na dieta teste (%).

As digestibilidades dos nutrientes e da energia bruta dos ingredientes (DI) foram calculadas de acordo com Kong e Adeola (2014) e por Zhang e Adeola (2017). Os valores digestíveis dos nutrientes dos ingredientes foram calculados aplicando-se os coeficientes de digestibilidade ao teor do nutriente ou da energia bruta do ingrediente antes da extrusão, pois, em função da extrusão do ingrediente ter sido realizada em conjunto com o amido, não foi possível separar e determinar com precisão a fração correspondente ao ingrediente de soja na mistura extrudada.

$$DI (\%) = DR + [(DT - DR) / PI]$$

$$PI = CI / (CI + CR)$$

Em que: DT é a digestibilidade (%) dos componentes nas dietas teste, DR é a digestibilidade (%) dos componentes na dieta referência e PI é a contribuição proporcional do componente pelo ingrediente na dieta teste. CI é a contribuição do componente pelo ingrediente na dieta teste e CR é a contribuição do componente pela dieta referência na dieta teste.

A análise estatística do grão e do farelo de soja foram realizadas separadamente. Os dados foram submetidos a testes para verificação da adequação ao modelo linear e da não violação das pressuposições da análise de variância (aditividade do modelo, normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias, ausência de outliers) utilizando-se o procedimento UNIVARIATE do SAS® (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) e foram submetidos a análise da variância utilizando-se o procedimento MIXED do SAS®.

Os dados foram analisados como um experimento em um delineamento em blocos casualizados, considerando cada animal como a unidade experimental. O modelo matemático incluiu os efeitos fixos dos tratamentos, os efeitos aleatórios dos blocos e erro experimental, conforme segue:

$$Y(ij) = \mu + t(i) + b(j) + \varepsilon(ij)$$

Em que: $Y(ij)$ é a variável resposta, μ é a média geral, $t(i)$ é o efeito fixo do i -ésimo tratamento ($i = 1, \dots, 4$), $b(j)$ é o efeito aleatório do j -ésimo bloco ($j = 1, \dots, 8$), e $\varepsilon(ij)$ é o erro experimental, NID $(0, \sigma^2)$.

Valores de probabilidade foram considerados significativos quando $P < 0,05$ e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

3.3. Resultados

3.3.1. Grão de soja desativado e grão de soja *in natura* extrudado em diferentes temperaturas

3.3.1.1. Composição nutricional e parâmetros de qualidade dos ingredientes

O grão de soja *in natura* e o grão de soja desativado apresentaram concentrações semelhantes de MS (89,72 vs. 89,92, respectivamente), MM (5,09 vs. 5,21%, respectivamente), PB (35,50 vs. 35,49%, respectivamente), EE (21,84 vs. 21,97%, respectivamente), e FDA (7,37 vs. 7,33%, respectivamente) (Tabela 2). No entanto, o grão de soja *in natura* apresentou maior teor de EB (5473,37 vs. 5207,71 kcal/kg, respectivamente), menor teor de FDN (11,81 vs. 13,00%, respectivamente), e concentrações ligeiramente inferiores de aminoácidos quando comparado ao grão de soja desativado.

Em relação aos indicadores de qualidade do processamento do ingrediente (Tabela 2), o grão de soja *in natura* utilizado apresentou atividade de inibidores de tripsina de 29,47 mg/g de PB, índice de atividade ureática de 1,48 unidades de pH e índice de solubilidade proteica em KOH de 98,56%. Os grãos de soja desativado e extrudados tiveram reduções nos valores dos indicadores de qualidade em relação ao grão de soja cru. O GDES, por sua vez, apresentou atividade de inibidores de tripsina de 1,39 mg/g de PB, índice de atividade ureática de 0,01 unidades de pH e índice de solubilidade proteica em KOH de 92,52%. Para os materiais extrudados, observou-se que as diminuições nos indicadores variaram de acordo com as temperaturas de extrusão. O GE82, GE122 e GE137 apresentaram 4,92, 2,24 e 1,48 mg/g de PB de inibidores de tripsina, respectivamente; 0,20, 0,04 e 0,02 unidades de pH de atividade

ureática, respectivamente; 99,30, 86,33 e 88,07% para o índice de solubilidade proteica em KOH, respectivamente (Tabela 6).

3.3.1.2. Digestibilidade total aparente e valores digestíveis dos nutrientes e da energia dos ingredientes

As DTA da MS do GE122 e do GE137 não diferiram ($P>0,05$), e foram superiores ($P<0,05$) as obtidas para o GDES e GE82, que também foram similares ($P>0,05$) (Tabela 6). Foi observada maior ($P<0,05$) DTA da EB para o G122 quando comparada as DTA da EB do GDES e do GE82, semelhantes entre si ($P>0,05$), enquanto que o G137 não diferiu ($P>0,05$) dos demais ingredientes. No GE122 foi observado maior ($P<0,05$) teor de energia digestível em relação aos valores apresentados pelo GE82 e pelo GDES, sendo o GE82 superior ($P<0,05$) ao GDES em seu conteúdo de energia digestível. O teor de energia digestível do GE137 foi semelhante ($P>0,05$) aos teores apresentados pelo GE122 e pelo GE82, e superior ($P<0,05$) ao GDES.

Para o GE82 observou-se menores ($P<0,05$) DTA da PB e proteína digestível em comparação aos valores obtidos para o GDES, o GE122 e o GE137, que não diferiram entre si ($P>0,05$). Observou-se menores ($P<0,05$) DTA e valor digestível aparente do EE para o GDES, valores intermediários para o GE137, e maiores para GE82 e o GE122, sendo estes similares ($P>0,05$).

Não foram observados efeitos ($P>0,05$) para a DTA do FDN e do FDA, entretanto o valor digestível aparente do FDN no GDES foi superior ($P<0,05$) aos valores apresentados pelo GE82 e GE122, que foram semelhantes ($P>0,05$) entre si, enquanto que o valor digestível do FDN do GE137 não diferiu ($P>0,05$) dos demais ingredientes.

3.3.1.3. Digestibilidade ileal aparente e valores digestíveis ileais aparentes da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

O GE82 apresentou menores ($P<0,05$) DIA (Tabela 7) e valores digestíveis ileais aparentes (Tabela 8) da PB, dos aminoácidos essenciais arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina e valina, e dos aminoácidos não essenciais alanina, asparagina, cistina, glutamina, serina e tirosina, em comparação aos apresentados pelo GDES, e pelo GE122 e GE137, que não diferiram ($P>0,05$) entre si para as variáveis mencionadas.

A DIA da lisina e do triptofano, assim como o teor de lisina digestível aparente, do GE122 e do GE137 não diferiram entre si ($P>0,05$) e foram maiores ($P<0,05$) do que as apresentadas pelo GDES, que, por sua vez, foi superior ($P<0,05$) ao GE82 nas variáveis mencionadas. No entanto, a concentração de triptofano digestível ileal aparente do GDES foi superior ($P<0,05$) aos teores obtidos para o GE122 e para o GE137, que não diferiram ($P>0,05$), mas foram também superiores ($P<0,05$) ao constatado no GE82.

3.3.1.4. Digestibilidade ileal estandardizada e valores digestíveis ileais estandardizados da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

As extrusões do grão de soja *in natura* nas temperaturas de 82°C e 122°C resultaram em DIE (Tabela 9) e valores digestíveis ileais estandardizados (Tabela 10) da PB inferiores ($P<0,05$) aos apresentados pelo grão de soja *in natura* extrudado a 137°C, enquanto que os valores obtidos para o GDES não diferiram ($P>0,05$) dos demais ingredientes.

As DIE dos aminoácidos essenciais arginina, histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina e valina, dos não essenciais alanina, asparagina, cistina, glutamina, serina e tirosina, assim como seus conteúdos ileais digestíveis estandardizados no GE82 foram inferiores ($P<0,05$) aos apresentados pelo GDES, GE122 e GE137, cujos valores obtidos para estas variáveis não diferiram ($P>0,05$).

Para a lisina, o GE82 apresentou as menores ($P<0,05$) DIE e valor digestível ileal estandardizado dentre os ingredientes avaliados. A DIE da lisina do GE122 e do GE137 não diferiram ($P>0,05$) e foram superiores ($P<0,05$) a do GDES. Já o teor de lisina digestível ileal estandardizado do GE137 foi maior ($P<0,05$) do que a do GDES, e ambas foram similares ($P>0,05$) as do GE122.

Foi observado menor ($P<0,05$) DIE da metionina e do triptofano para o GE82 em comparação ao GDES, ao GE122 e ao GE137, cujas DIE destes aminoácidos não diferiram ($P<0,05$) entre si. Para estes aminoácidos também foram observados menores ($P<0,05$) valores digestíveis ileais estandardizados para o GE82 em contraste aos valores encontrados para os demais ingredientes. Para a metionina digestível estandardizada, o valor obtido para o GDES foi inferior ($P<0,05$) aos verificados no GE122 e no GE137, que foram semelhantes ($P>0,05$). O teor de triptofano digestível ileal estandardizado do GDES foi superior ($P<0,05$) ao observado no GE122 e no GE137.

3.3.2. Farelos de soja tostado e não tostado extrudado em diferentes temperaturas

3.3.2.1. Composição nutricional e parâmetros de qualidade dos ingredientes

As concentrações de MS, MM, PB e de aminoácidos no farelo de soja tostado foram inferiores às verificadas no farelo de soja não tostado (Tabela 2), sendo 87,70 vs. 89,18% de MS; 6,16 vs. 6,51% de MM; e 43,99 vs. 48,93% de PB, respectivamente. A concentração de EB, por sua vez, foi semelhante entre os dois ingredientes, de 4209,16 kcal/kg para o farelo de soja tostado e 4252,54 kcal/kg para o farelo de soja não tostado. O farelo de soja tostado apresentou teores superiores de EE, FDN e FDA em comparação ao farelo de soja não tostado, sendo 2,47 vs. 1,30% de EE; 11,01 e 6,93% de FDN; e 6,94 vs. 3,30% de FDA, respectivamente. Em relação a qualidade do processamento dos ingredientes (Tabela 2), o farelo de soja tostado apresentou atividade de inibidores de tripsina de 2,37 mg/g de PB, índice de atividade ureática de 0,02 unidades de pH e índice de solubilidade proteica em KOH de 84,05%. O farelo de soja não tostado apresentou atividade de inibidores de tripsina de 28,24 mg/g de PB, índice de atividade ureática de 1,27 unidades de pH e índice de solubilidade proteica em KOH de 99,29%.

As extrusões do farelo de soja não tostado reduziram a atividade de inibidores de tripsina, o índice de atividade ureática e o índice de solubilidade proteica em KOH, sendo que as diminuições foram dependentes das temperaturas do processo (Tabela 11). Para as extrusões em 86°C, 120°C e 149°C, as atividades de inibidores de tripsina foram 3,51; 1,37 e 1,12 mg /g de PB, respectivamente; as atividades ureáticas foram 0,10, 0,03 e 0,03 unidades de pH, respectivamente; e os índices de solubilidade proteica em KOH foram 94,85; 88,59 e 86,47%, respectivamente.

3.3.2.2. Digestibilidade total aparente e valores digestíveis dos nutrientes e da energia dos ingredientes

As DTA da MS, EB e da PB do FSE86 foram menores ($P < 0,05$) em comparação com as obtidas no FSTOS, FSE120 e FSE149, cujos valores obtidos para estas DTA não diferiram ($P > 0,05$) entre si (Tabela 11). A energia digestível do FSE86 também foi inferior ($P < 0,05$) às encontradas no FSTOS, FSE120 e FSE149. Foram observados menores ($P < 0,05$) valores digestíveis aparentes da PB para o FSTOS e para o FSE86 em comparação ao FSE120 e o FSE149.

Não foram observados efeitos ($P>0,05$) para a DTA do FDN, entretanto o valor digestível aparente do FDN do FSTOS foi superior ($P<0,05$) aos farelos de soja não tostados extrudados em qualquer uma das temperaturas avaliadas. A DTA do FDA do FSTOS, do FSE86 e do FSE120 foram semelhantes ($P>0,05$) e superiores ($P<0,05$) a verificada no FSE149. Foi observado maior ($P<0,05$) valor digestível aparente do FDA do FSTOS, valores intermediários e semelhantes ($P<0,05$) para o FSE86 e o FSE120, enquanto que para o FSE149 se observou o menor ($P<0,05$) valor digestível aparente do FDA em relação aos demais ingredientes.

O FSTOS apresentou a maior ($P<0,05$) DTA e o maior valor digestível aparente do extrato etéreo dentre os quatro ingredientes avaliados, seguido pelo FSE86 e o FSE120, com valores intermediários e semelhantes entre si, e pelo FSE149 com os menores ($P<0,05$) valores observados.

3.3.2.3. Digestibilidade ileal aparente e valores digestíveis ileais aparentes da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

A DIA da PB, dos aminoácidos essenciais isoleucina, leucina, lisina, treonina e valina, e dos aminoácidos não essenciais asparagina, glutamina e serina (Tabela 12), bem como os valores digestíveis ileais aparentes destes nutrientes (Tabela 13) no FSTOS, FSE120 e FSE149 não diferiram ($P>0,05$) entre si, mas foram superiores ($P<0,05$) aos valores observados no FSE86.

Para os aminoácidos arginina e fenilalanina também se obtiveram DIA superiores ($P<0,05$) para o FSTOS, o FSE120 e o FSE149 quando comparados ao FSE86, no entanto os valores digestíveis ileal aparente destes aminoácidos foram maiores ($P<0,05$) no FSE149 em relação ao FSTOS, sendo ambos semelhantes ($P>0,05$) ao FSE120. O valor digestível ileal aparente da arginina e da fenilalanina do FSE86 foi inferior ($P<0,05$) ao observado para os demais ingredientes.

Foi observado menor ($P<0,05$) DIA dos aminoácidos histidina e metionina para o FSE86 em contraste aos valores verificados no FSTOS, FSE120 e FSE149. A DIA destes aminoácidos no FSTOS foi também superior a do FSE120, sendo que ambas não diferiram ($P>0,05$) da constatada no FSE149. O valor digestível ileal aparente da histidina e da metionina do FSE86 foi inferior ($P<0,05$) aos valores do FSTOS, FSE120 e FSE149, que não diferiram ($P>0,05$) entre si.

A DIA do triptofano no FSTOS foi maior ($P<0,05$) em comparação a observada no FSE86 e FSE120, porém similar ($P>0,05$) a do FSE149. A DIA do triptofano no FSE149 foi

também semelhante ($P>0,05$) a do FSE120, mas superior ($P<0,05$) a do FSE86. Com relação aos valores digestíveis ileais aparente do triptofano, o FSTOS e o FSE149 apresentaram maior ($P<0,05$) valor digestível quando comparado ao FSE86, e similares entre si, enquanto que os valores do FSE120 não diferiram ($P>0,05$) dos demais ingredientes.

A DIA da alanina do FSE86 foi menor ($P<0,05$) do que as observadas nos demais ingredientes. Já a DIA da alanina do FSTOS foi similar ($P>0,05$) as da FSE120 e da FSE149, que diferiram entre si ($P>0,05$). O teor de alanina digestível aparente da FSE149 foi o maior ($P<0,05$) e o da FSE86 o menor ($P<0,05$) entre os quatro ingredientes, sendo os valores observados para o FSTOS e o FSE120 intermediários, não diferindo ($P>0,05$) entre si.

A DIA dos aminoácidos cistina e tirosina do FSTOS, do FSE120 e do FSE149 não diferiram ($P>0,05$) entre si, mas foram superiores ($P<0,05$) aos valores apresentados pelo FSE86. Para a cistina, se observou maior ($P<0,05$) valor digestível ileal aparente para o FSE149 em relação ao FSTOS e o FSE86, enquanto que não foram observadas diferenças ($P>0,05$) entre o FSE120 e os demais ingredientes avaliados. Para a tirosina, o valor digestível ileal aparente do FS149 foi superior ($P<0,05$) ao FSTOS e ao FSE86, e não diferiu ($P>0,05$) de FSE120. Também para esta variável, o FSE120 foi semelhante ($P>0,05$) ao FTOS, e ambos foram superiores ($P<0,05$) ao FSE86.

3.3.2.4. Digestibilidade ileal estandardizada e valores digestíveis ileais estandardizados da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

O FSTOS apresentou maior ($P<0,05$) DIE da PB quando comparado aos farelos de soja não tostados extrudados nas temperaturas de 86°C e 120°C, sendo estas semelhantes (Tabela 14). A DIE da PB do FSE149 não diferiu ($P>0,05$) das observadas no FSTOS e no FSE120, mas foi superior ($P<0,05$) a do FSE86. Os valores digestíveis ileais estandardizados da PB do FSTOS, FSE120 e FSE149 não diferiram ($P>0,05$) (Tabela 15). Por sua vez, o teor de proteína digestível estandardizada do FSTOS e FS149 foram superiores ($P<0,05$) a do FSE86, que não diferiu da verificada no FSE120.

A DIE e o valor digestível ileal estandardizado dos aminoácidos essenciais histidina, leucina, lisina, metionina e valina, e dos aminoácidos não essenciais asparagina e serina do FSTOS, do FSE120 e do FSE149 foram semelhantes entre si ($P>0,05$), mas superiores ($P<0,05$) as do FSE86.

Para os aminoácidos fenilalanina e treonina também se obteve DIE superiores ($P<0,05$) para o FSTOS, o FSE120 e o FSE149 quando comparados ao FSE86, no entanto os valores

digestíveis ileais estandardizados destes aminoácidos no FSE149 foram maiores ($P < 0,05$) em relação aos observados no FSTOS, sendo ambos semelhantes ($P > 0,05$) aos encontrados no FSE120. Os valores digestíveis ileais estandardizados da fenilalanina e da treonina do FSE86 foram inferiores ($P < 0,05$) aos observados para os demais ingredientes.

Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre a DIE da arginina do FSTOS e do FSE149, que foram superiores ($P < 0,05$) às determinadas no FSE86 e no FSE149, também semelhantes ($P > 0,05$) entre si. Obteve-se maior ($P < 0,05$) teor de arginina digestível ileal estandardizada para o FSE149 em comparação ao FSE86, enquanto que os valores em ambos os ingredientes não diferiram ($P > 0,05$) dos constatados no FSTOS e FSE120.

O FSTOS apresentou maior ($P < 0,05$) DIE para o triptofano em relação ao FSE86 e ao FSE120, mas não diferiu ($P > 0,05$) do FSE149. Para esta mesma variável, o FSE149 foi semelhante ($P > 0,05$) ao FSE120, e ambos foram superiores ($P < 0,05$) ao FSE86. Os valores digestíveis ileais estandardizados do triptofano do FSTOS, FSE120 e do FSE149 foram semelhantes ($P > 0,05$) e superiores ($P < 0,05$) ao obtido para o FSE86.

A DIE e o valor digestível ileal estandardizado da alanina do FSE86 foi inferior ($P < 0,05$) a DIE dos demais ingredientes. Observou-se maior ($P < 0,05$) DIE da alanina para o FSE149 em relação ao FSE120, sendo ambos valores semelhantes ($P > 0,05$) ao verificado no FSTOS. O valor digestível ileal estandardizado da alanina foi superior ($P < 0,05$) no FSE149 em relação ao FSTOS e FSE120, que foram similares entre si ($P > 0,05$).

A DIE da isoleucina, cistina, glutamina e da tirosina do FSTOS, FSE120 e do FSE149 foram semelhantes ($P > 0,05$) e superiores ($P < 0,05$) aos valores apresentados pelo FSE86. Foram observados menores ($P < 0,05$) teores digestíveis ileais estandardizados da isoleucina, da tirosina e da cistina para o FSE86, valores intermediários ($P < 0,05$) para o FSTOS, e valores superiores ($P < 0,05$) para o FSE149. Ademais, para a isoleucina e para a cistina, o valor digestível ileal estandardizado do FSE120 não diferiu ($P > 0,05$) de FSE149 e FSTOS, e foi superior ($P < 0,05$) ao valor apresentado pelo FSE86. O valor digestível ileal estandardizado da tirosina do FSE120 também não diferiu ($P > 0,05$) de FSE149, no entanto foi superior ($P < 0,05$) tanto ao FSTOS como ao FSE86. Para a glutamina, não se observou diferença entre os valores do FSE149, FSE120 e FSTOS, e entre o FSTOS e o FSE86, no entanto os valores digestíveis ileais estandardizados do FSE149 e do FSE120 foram superiores ($P < 0,05$) ao FSE86.

3.4. Discussão

3.4.1. Grão de soja desativado e grão de soja *in natura* extrudado em diferentes temperaturas

3.4.1.1. Composição dos ingredientes

A composição nutricional do grão de soja está de acordo com os valores nutricionais descritos na literatura, com valores médios de MS de $89,91 \pm 3,65\%$; MM de $5,07 \pm 0,25\%$; EB de $5336,99 \pm 155,55$ kcal/kg; PB de $39,28 \pm 3,01\%$; EE de $19,33 \pm 1,54\%$; FDN de $12,58 \pm 2,40\%$; de FDA de $6,19 \pm 0,02\%$, de lisina de $2,49 \pm 0,13\%$; de metionina de $0,37 \pm 0,13\%$; de treonina de $1,56 \pm 0,10\%$; e de triptofano de $0,57 \pm 0,11\%$ (Grieshop e Fahey Jr., 2001; Baker et al., 2010; NRC, 2012; Gonçalves et al., 2014). Da mesma forma ocorreu com os valores obtidos na análise química do grão de soja desativado, com valores médios de MS de $91,22 \pm 2,16\%$; MM de $5,09 \pm 0,31\%$; EB de $5250,58 \pm 263,99$ kcal/kg; PB de $37,71 \pm 2,14\%$; EE de $19,57 \pm 1,72\%$; FDN de $13,32 \pm 2,46\%$; de FDA de $7,28 \pm 1,25\%$; de lisina de $2,40 \pm 0,18\%$; de metionina de $0,51 \pm 0,07\%$; de treonina de $1,49 \pm 0,11\%$; e de triptofano de $0,49 \pm 0,04\%$ (Freitas et al., 2005; Brum et al., 2006; Carvalho et al., 2007; Toledo et al., 2011; Nunes et al., 2015). As pequenas variações observadas podem estar ligadas a fatores como variações genéticas das sementes, solo e clima onde estes grãos foram cultivados.

O índice de atividade ureática e o índice de solubilidade proteica em KOH são utilizados para avaliar os efeitos do tempo e da temperatura de processamento sobre a redução da concentração dos fatores antinutricionais, sobretudo a atividade de inibidores de tripsina, nos produtos oriundos do grão de soja, e podem dar ideia acerca do efeito da extrusão na qualidade nutricional destes ingredientes (Araba e Dale, 1990; Opapeju et al., 2006; Căpriță et al., 2010; Veum et al., 2017).

Avaliando-se os resultados do índice de atividade ureática para o grão de soja desativado e para o grão de soja *in natura* extrudado, os valores obtidos indicam que as condições empregadas nos processos de desativação dos fatores antinutricionais foram efetivas, uma vez que os valores observados se encontram dentro dos valores de referência para o índice de atividade ureática que situam-se entre 0,05 e 0,30, e são considerados como indicativo de qualidade para os produtos oriundos da soja. Valores de 0,01 para o índice de atividade ureática foram obtidos por Kim et al. (2000) ao extrudar grão de soja *in natura* na temperatura de 163°C.

Cabe ressaltar que, embora foram observados valores de atividade ureática abaixo de 0,05 para o grão de soja desativado e para o grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C, estes valores não indicam a ocorrência de superprocessamento térmico (Araba e Dale, 1990; Căpriță et al., 2010), uma vez que não necessariamente são observados reduções na qualidade da proteína a ponto de prejudicar o desempenho animal (Parsons et al., 1991), o que foi refletido na digestibilidade da proteína bruta e dos aminoácidos destes ingredientes, e nos seus respectivos valores digestíveis.

Com relação aos resultados do índice de solubilidade proteica em KOH, os valores obtidos de 92,52% para o grão de soja desativado e 99,30; 86,33 e 88,07% para o grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 82, 122 e 137°C, respectivamente, encontram-se acima dos parâmetros considerados adequados para a obtenção de um processamento térmico de qualidade, situados na faixa de 70% e 85%, e indicam a ocorrência de subprocessamento, sendo um indicativo de que os fatores antinutricionais da soja ainda se mantêm ativos (Araba e Dale, 1990; Parsons et al., 1991; Mendes et al., 2004), embora Căpriță et al. (2010), indiquem que este método e os valores de referência determinados não sejam bons indicadores da ocorrência de subprocessamento térmico das fontes proteicas de soja.

Valores médios do índice de solubilidade proteica em KOH de $76,99 \pm 8,92\%$ e do índice de atividade ureática de $0,03 \pm 0,01$ foram obtidos para o grão de soja desativado nos estudos de Freitas et al. (2005), Brum et al. (2006), Carvalho et al. (2007), Toledo et al. (2011) e Nunes et al. (2015), sendo os valores médios do índice de solubilidade proteica em KOH inferiores ao observado no presente estudo de 92,52%, e os valores do índice de atividade ureática superiores ao 0,01 obtido neste estudo.

O valor obtido para a atividade de inibidores de tripsina no grão de soja desativado (1,39 mg/g de PB) pode ser um indicativo de que o processo de desativação aplicado ao grão de soja *in natura* foi efetivo na redução dos inibidores de tripsina do ingrediente, o que contraria a classificação de superprocessamento determinada pelo índice de atividade ureática e subprocessamento determinada pelo índice de solubilidade proteica em KOH. O mesmo pode ter ocorrido com o grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C, que apresentaram valores de inibidores de tripsina de 2,24 e 1,48 mg/g de PB, respectivamente. No entanto, o valor obtido para o grão de soja *in natura* extrudado a 82°C (4,92 mg/g de PB) sustenta o índice de solubilidade proteica em KOH, indicando a ocorrência de subprocessamento térmico do grão de soja, em que a temperatura de extrusão empregada foi insuficiente para a desativação dos fatores antinutricionais do grão de soja *in natura*, o que pode ser confirmado pelos resultados de digestibilidade encontrados neste ingrediente.

Os resultados obtidos neste estudo para a atividade de inibidores de tripsina no grão de soja desativado, e para os grãos de soja *in natura* extrudados nas temperaturas de 122°C e 137°C são semelhantes aos obtidos em estudos em que foram avaliadas as extrusões do grão de soja *in natura* a 163°C (Kim et al., 2000) e a 143 °C (Kim et al., 1999), em que obtiverem-se concentrações de inibidores de tripsina entre 1,10 e 2,60 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína. Clarke e Wiseman (2007) observaram substanciais reduções nas concentrações dos inibidores de tripsina conforme o incremento da temperatura de extrusão no grão de soja *in natura*, obtendo-se os valores de 14,8; 9,6; 4,5 e 1,9 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína para as temperaturas de 90°C, 110°C, 130°C e 160°C, respectivamente.

3.4.1.2. Digestibilidade total aparente dos nutrientes e da energia bruta dos ingredientes

A extrusão, quando processada termicamente de maneira adequada, além de ser um método efetivo para reduzir a concentração dos inibidores de tripsina e de outros fatores antinutricionais, tais como a hemaglutinina e a lipoxigenase, pode ocasionar alterações químicas na estrutura dos nutrientes do ingrediente processado (Marty e Chavez, 1993). Em geral, os efeitos desejados do processo de extrusão sobre os nutrientes são cisalhamento e gelatinização do amido, a desnaturação e alterações na estrutura das proteínas (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Maurya e Said, 2014), a solubilização de parte da fibra insolúvel (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al., 2007) e a ruptura de vacúolos lipídicos (Noland et al., 1976; Lin et al., 1997), o que pode promover melhorias na digestibilidade do amido, de proteínas, dos aminoácidos, da fibra e da energia do ingrediente por suínos (Anguita et al., 2006; Lundblad et al., 2011).

A digestibilidade total aparente da matéria seca do grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C, foram superiores as digestibilidades apresentadas pelo grão extrudado a 82°C e pelo grão de soja desativado. De acordo com Qin et al. (1996), a resposta da digestibilidade da matéria seca à extrusão é paralela a resposta da digestibilidade da proteína bruta, uma vez que grande parte da matéria seca digestível do grão de soja consiste em proteína digestível, o que também foi observado neste estudo, com exceção para o grão de soja desativado que não diferiu do grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C em relação ao digestibilidade total aparente da proteína bruta.

O grão de soja *in natura* extrudado a 82°C apresentou a menor digestibilidade total aparente e o menor valor digestível da proteína bruta em comparação ao grão de soja desativado

e aos grãos de soja *in natura* extrudados a 122°C e 137°C. Os resultados obtidos indicam que as condições de extrusão empregadas nas temperaturas de 122°C e 137°C foram benéficas na valoração nutricional da proteína e dos aminoácidos do grão de soja. Estes efeitos se devem à exposição do ingrediente a alta temperatura, sob pressão mecânica, por um curto período de tempo, que ocasiona alterações conformacionais da estrutura das proteínas, levando a desnaturação de proteínas, o que propicia a inativação dos inibidores de tripsina e também facilita a hidrólise enzimática das proteínas da soja, resultando em melhorias na digestibilidade e valor biológico das proteínas (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Steel et al., 2012; Maurya e Said, 2014; Vagadia et al., 2017). Ademais, estudos indicam que os teores de inibidores de tripsina estão negativamente relacionados com a digestibilidade da proteína e dos aminoácidos do grão de soja (Marsman et al., 1995; Clarke e Wiseman, 2007).

Esta inferência pode ser confirmada pelo maior valor observado para a atividade de inibidores de tripsina no grão de soja *in natura* extrudado a 82°C, sendo 4,92 mg/g de PB, em contraste aos valores obtidos de 1,39; 2,24 e 1,48 mg/g de PB no grão de soja desativado, no grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C, respectivamente, e sustenta os resultados obtidos em estudos que determinaram que produtos oriundos da soja adequadamente processados, com efetiva desativação dos seus fatores antinutricionais, devem possuir valores máximos de atividade de inibidores de tripsina de 4 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína na matéria natural (Kim et al., 1999; Kim et al., 2000; Clarke e Wiseman, 2007).

Toledo et al. (2011) obtiveram coeficiente de digestibilidade total aparente da proteína bruta do grão de soja desativado de 91,75% para leitões com peso médio de 7,36kg, sendo este coeficiente superior ao obtido neste estudo de 76,06%. Este resultado pode estar relacionado ao menor valor obtido para o índice de solubilidade proteica em KOH obtido por estes autores que foi de 78,96% versus o valor de 92,52% obtido neste estudo, embora os valores de atividade de inibidores de tripsina do grão de soja desativado utilizados no presente estudo sejam considerados adequados. Fan et al. (1995) observaram coeficientes de digestibilidade total aparente da proteína bruta de 74,5% para leitões com em média 10,35kg de peso vivo, quando o grão de soja *in natura* foi extrudado em temperaturas variando de 137,8°C a 162,8°C, sendo estes valores superiores ao obtido neste estudo para a extrusão na temperatura de 82°C de 68,46%, porém inferiores aos obtidos nas temperaturas de 122°C e 137°C, de 77,48% e 78,50%, respectivamente, o que pode estar relacionado aos maiores valores residuais dos inibidores de tripsina obtidos no estudo de Fan et al. (1995).

Outros trabalhos relatam valores médios de digestibilidade total aparente da proteína bruta do grão de *in natura* extrudado em temperaturas entre 120°C a 130°C de 87,30% (Adams

e Jensen, 1985; Marty e Chavez, 1993), sendo superiores aos observados no presente estudo, o que pode estar relacionado ao peso médio dos animais utilizados nestes estudos que foi de $17,4 \pm 0,14$ kg em comparação ao peso médio de $7,67 \pm 0,90$ kg dos leitões utilizados no presente estudo. Ao desmame a secreção e a atividade das enzimas pancreáticas necessárias para a digestão dos alimentos das dietas do pós-desmame são baixas o que leva a reduzida digestão e absorção dos nutrientes. A medida que a idade avança, há uma adaptação as dietas com o desenvolvimento do sistema enzimático o que eleva a capacidade de secreção de enzimas e ao aumento da digestibilidade dos nutrientes, estando o sistema enzimático estabelecido na sexta semana após o desmame, com a completa adaptação do trato digestório aos novos substratos (Ball e Aherne, 1987; Jensen et al., 1997). Desta forma, a idade e o peso dos leitões pode ser a explicação para estas diferenças. Em relação a atividade das enzimas proteolíticas pancreáticas tripsina e quimotripsina, há um aumento na sua atividade com o aumento da idade e do peso corporal após o desmame, com um incremento de 16 vezes na atividade dos 21 aos 56 dias de idade (Jensen et al., 1997).

Os ingredientes extrudados a 82°C e 122°C apresentaram superior digestibilidade total aparente e valor digestível do extrato etéreo em comparação ao grão de soja desativado. Este efeito se deve a ruptura dos vacúolos lipídicos presentes no grão de soja decorrente das ações mecânicas e térmicas que levam a danos físicos na estrutura celular, o que pode levar ao aumento da digestibilidade da gordura do ingrediente, e conseqüentemente da dieta, pela maior área de exposição das gotículas de gordura a ação enzimas lipolíticas (Noland et al., 1976; Adams e Jensen, 1985; Qin et al., 1996; Lin et al., 1997). Por outro lado, no processo de desativação do grão de soja este comportamento não ocorre, uma vez que a desativação é realizada pelo cozimento do grão inteiro por vapor no vácuo não ocorrendo rupturas na estrutura celular dos vacúolos lipídicos, o que deixa a gordura menos exposta a ação das enzimas digestivas, levando a menor digestibilidade do extrato etéreo do ingrediente (Freitas et al., 2005).

Cabe ressaltar que o grão de soja *in natura* extrudado a 137°C foi similar tanto ao extrudado a 82°C e a 122°C , como ao grão de soja desativado quanto ao coeficiente de digestibilidade e valor digestível do extrato etéreo, apresentando então valores intermediários, o que pode ser um indicativo de que o efeito da temperatura de extrusão na digestibilidade do extrato etéreo apresenta um ponto de inflexão atingindo valores máximos de digestibilidade e valores digestíveis, e a partir deste ponto podem ser observadas reduções nos valores destes parâmetros.

Os valores do coeficiente de digestibilidade total aparente do extrato etéreo dos grãos de soja extrudados obtidos neste estudo são inferiores aos resultados obtidos no estudo de Adams e Jensen (1985) e de Marty e Chavez (1993) em que a extrusão do grão de soja *in natura* nas temperaturas de 120°C a 130°C resultou em coeficientes médios de digestibilidade total aparente do extrato etéreo de 82,90%, possivelmente devido a diferença no peso dos animais entre os estudos. Da mesma forma que ocorre com as enzimas proteolíticas pancreáticas há um incremento na atividade das enzimas lipolíticas com o aumento da idade e peso corporal dos leitões após o desmame (Jensen et al., 1997). Em relação ao coeficiente de digestibilidade total aparente do extrato etéreo para o grão de soja desativado, o valor obtido é superior ao valor relatado por Toledo et al. (2011), sendo 71,18% versus 67,27%. As razões para esta diferença não são claras, mas podem estar relacionadas as condições físicas empregadas durante o método de desativação do grão de soja *in natura*, que podem ter resultado em diferenças no acesso das enzimas as moléculas lipídicas do ingrediente.

Comportamento semelhante ao que ocorreu ao extrato etéreo foi observado para a energia bruta, em que se observou menor digestibilidade total aparente para o grão de soja desativado e para o grão de soja *in natura* extrudado a 82°C, seguido pelo grão de soja *in natura* extrudado a 137°C, com valores intermediários semelhantes aos demais ingredientes, e valores superiores para o grão de soja *in natura* extrudado a 122°C.

A extrusão, independente da temperatura empregada, resultou em maiores valores de energia digestível em comparação ao valor obtido para o grão de soja desativado. Este efeito pode estar associado ao maior teor de energia bruta presente no grão de soja *in natura* em comparação ao teor apresentado pelo grão de soja desativado, sendo 5207,71 kcal/kg versus 5473,37 kcal/kg, respectivamente. Adicionalmente, a melhoria na utilização da energia nos ingredientes extrudados em comparação ao grão de soja desativado, corrobora a melhoria na utilização do óleo nestes ingredientes, devido aos danos aos vacúolos lipídicos (Noland et al., 1976; Adams e Jensen, 1985; Rodhouse et al., 1992).

No processo de extrusão também ocorre a gelatinização do amido por ação do calor e umidade nas pontes de hidrogênio que ficam entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura do grânulo de amido. A gelatinização causa a quebra das pontes de hidrogênio que estabilizam a estrutura helicóide dos grânulos de amido, o que promove o maior acesso das enzimas a amilose e a amilopectina, o que também pode resultar no aumento da digestibilidade da energia deste ingrediente (Bjorck et al., 1985; Cheftel, 1986; Brown, 1996; Li et al., 2010; Liu et al., 2014).

O comportamento dos coeficientes de digestibilidades e valores digestíveis da energia bruta, assim como o do extrato etéreo, nos ingredientes extrudados pode indicar que o efeito da temperatura apresenta um ponto de inflexão, no qual são observados valores máximos de digestibilidade e valores digestíveis, e a partir deste ponto podem ser observadas reduções nos valores destes parâmetros, o que pode ser visualizado pelas menores digestibilidades da energia e dos lipídios obtidas para o grão de soja extrudado a 137°C em relação ao extrudado a 122°C. Este efeito pode ser explicado por que na extrusão, durante o processo de gelatinização do amido, podem ser formados complexos amilose-lipídios devido a capacidade do núcleo hidrofóbico da molécula de amilose se ligar a cadeia hidrocarboneto dos monoglicerídeos e ácidos graxos livres (Seneviratne e Biliaderis, 1991; Björck e Asp, 1983; Singh et al., 2010). Ensaio *in vitro* e *in vivo* relatam maior resistência da fração carboidrato complexado a digestão, devido ao menor acesso das enzimas pancreáticas a amilose (Seneviratne e Biliaderis, 1991; Murray et al., 1998; Singh et al., 2010). Também podem ser observadas reduções na digestibilidade da gordura da dieta em função da formação dos complexos amilose-lipídios durante a extrusão. Estes fatores podem influenciar o valor digestível do alimento (Murray et al., 1998).

Os valores de digestibilidade total aparente da energia bruta do grão de soja extrudado obtidos neste estudo são superiores aos resultados obtidos por Kim et al. (2000), em que a extrusão do grão de soja *in natura* na temperatura de 163°C resultou em coeficientes de digestibilidade total aparente da energia bruta médios de 83,25% para leitões com 4,70kg de peso vivo, e coeficientes de digestibilidade total aparente da energia bruta médios de 84,70% para leitões com 9,30 kg de peso vivo. Maior digestibilidade total aparente da energia bruta foi obtido também para o grão de soja desativado em comparação ao obtido por Toledo et al. (2011), sendo 87,42% versus 75,17%, respectivamente. Estas diferenças podem estar relacionadas as variações obtidas para os parâmetros de extrusão e de desativação, que provavelmente foram diferentes entre os estudos, e na maioria das vezes não são descritas nos estudos em detalhes. Também podem estar relacionadas as ligeiras diferenças na composição química dos grãos.

Não foram observadas diferenças entre as digestibilidades totais aparentes do FDN e do FDA do grão de soja *in natura* extrudado em qualquer uma das temperaturas de processamento e o grão de soja desativado, bem como para os valores digestíveis do FDA. Entretanto, quando avaliou-se o valor digestível do FDN, os grãos de soja *in natura* extrudados nas temperaturas de 82°C e 122°C apresentaram menores valores digestíveis do FDN em comparação ao valor apresentado pelo grão de soja desativado, enquanto que não houve diferença do grão de soja *in*

natura extrudado a 137°C para os demais ingredientes. Este resultado se deve possivelmente ao menor conteúdo de FDN presente no grão de soja em comparação ao grão de soja desativado, sendo 11,81% versus 13,00%, respectivamente. O fato da extrusão do grão de soja *in natura* a 137°C ter resultado em valor digestível do FDN semelhante ao valor digestível apresentado pelo grão de soja desativado, mesmo com o conteúdo original de FDN do grão de soja sendo ligeiramente inferior ao conteúdo de FDN do grão de soja desativado, pode ser indicativo do efeito da extrusão sobre a solubilização de parte da fibra insolúvel do ingrediente, uma vez que para as temperaturas de extrusão de 82° e 122°C, foram obtidos menores valores digestíveis do FDN em relação ao grão de soja desativado. De acordo com Karr-Lilienthal et al. (2005) e Singh et al. (2007), os efeitos mecânicos e térmicos exercidos sobre o ingrediente durante a extrusão podem promover uma reestruturação da fibra insolúvel das leguminosas e mesmo a quebra das ligações glicosídicas, solubilizando parte de seu conteúdo, o que pode deixá-las mais disponíveis para fermentação no intestino grosso, o que pode contribuir para um incremento na disponibilidade de energia pelo ingrediente.

Os valores do coeficiente de digestibilidade total aparente do FDN do grão de soja extrudado obtidos neste estudo foram inferiores ao resultado obtido no estudo de Marty e Chavez (1993), que avaliou a digestibilidade do grão de soja extrudado na temperatura de 130°C obtendo coeficiente de digestibilidade total aparente de 76,2%. A idade dos animais utilizados no estudo de Marty e Chavez (1993) pode em parte explicar estas diferenças, uma vez que o estudo de digestibilidade realizado por estes autores utilizou leitões com peso médio de $17,1 \pm 0,23$ kg, em contraste a utilização de animais com em média $7,67 \pm 0,90$ kg de peso vivo no presente estudo. Relata-se que a digestibilidade da fibra aumenta com o aumento da idade e peso dos suínos devido ao desenvolvimento do sistema enzimático dos animais e a população dos microrganismos que degradam carboidratos no intestino grosso que aumenta (Fernandez e Jorgensen, 1986; Niu et al., 2015).

3.4.1.3. Digestibilidade ileal aparente e estandardizada da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

A extrusão do grão de soja *in natura* extrudado na temperatura de 82°C resultou em menores coeficiente de digestibilidade e valor digestível ileal aparente da proteína bruta em comparação ao observado para o grão de soja desativado, e o grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C. Com relação aos valores ileais estandardizados da proteína bruta, a extrusão do grão de soja *in natura* a 82°C e 122°C resultou em digestibilidades e valores digestíveis

inferiores aos apresentados pelo grão de soja *in natura* extrudado a 137°C, enquanto que o grão de soja desativado não diferiu dos demais ingredientes.

Para a lisina, a extrusão do grão de soja *in natura* a 82°C resultou nas menores digestibilidades e valores digestíveis ileais aparente e estandardizados dentre os ingredientes avaliados. Os grãos de soja *in natura* extrudados nas temperaturas de 137°C e 122°C também foram superiores ao grão de soja desativado quanto aos seus coeficientes de digestibilidade ileais aparente e estandardizada e ao seu valor digestível ileal aparente, no entanto para o valor digestível ileal estandardizado, o grão de soja *in natura* extrudado a 122°C foi semelhante tanto ao grão de soja desativado, como ao grão de soja *in natura* extrudado a 137°C.

Outro comportamento claro foi observado para os aminoácidos essenciais arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina e valina, e os aminoácidos não essenciais alanina, asparagina, cistina, glutamina, serina e tirosina, em que tanto as digestibilidades ileais aparente como as estandardizadas, e os seus respectivos valores digestíveis, foram inferiores no grão de soja *in natura* extrudado a 82°C em contraste ao observado para os demais ingredientes que foram semelhantes entre si. Apenas para a metionina, o valor obtido para o grão de soja desativado foi inferior ao conteúdo de metionina digestível ileal estandardizada do grão de soja extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C, o que se deve ao maior teor de metionina no grão de soja *in natura* em relação ao grão de soja desativado, sendo, 0,66% versus 0,59%, respectivamente.

Para o triptofano também foi observado menor coeficiente de digestibilidade ileal aparente e estandardizado e seus valores digestíveis para o grão de soja *in natura* extrudado a 82°C em comparação aos demais ingredientes. No entanto, enquanto que para os coeficientes de digestibilidade foi observado maior valor para o grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C em comparação ao grão de soja desativado, para os valores digestíveis este efeito se inverteu, apresentando o grão de soja desativado maiores valores quando comparado ao grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C. Este resultado pode ser explicado pelo menor conteúdo de triptofano presente no grão de soja *in natura* em contraste ao apresentado pelo grão de soja desativado, sendo 0,26% versus 0,39%, respectivamente.

Os resultados obtidos no presente estudo para a digestibilidade ileal da proteína e bruta e dos aminoácidos, e seus respectivos valores digestíveis, demonstram que a temperatura de extrusão de 82°C do grão de soja *in natura* parece ser inferior a necessária, indicando a ocorrência de subprocessamento térmico, que fez com que os inibidores de tripsina não fossem inativados adequadamente e se mantivessem estáveis, o que reduziu a digestibilidade das

proteínas e dos aminoácidos do ingrediente para os suínos (Fan et al., 1995; Căpriță et al., 2010; Veum et al., 2017), enquanto que nas temperaturas de 122°C e 137°C parece ter ocorrido processamento de extrusão adequado para otimizar a qualidade nutricional dos ingredientes.

O tratamento térmico afeta diretamente o valor nutricional das proteínas e dos aminoácidos dos ingredientes e, geralmente, se observa aumento na qualidade conforme o aumento da temperatura empregada, devido a inativação dos fatores antinutricionais presentes no ingrediente termicamente tratado, e, após atingir um ponto máximo, esta qualidade reduz devido degradação térmica da proteína e dos aminoácidos devido a superprocessamento térmico (De Valle, 1981).

Os inibidores de tripsina são proteínas naturalmente presentes no grão de soja. No lúmen intestinal os inibidores de tripsina interagem de forma específica e irreversível com as enzimas proteolíticas pancreáticas tripsina e quimotripsina, inibindo as atividades destas enzimas por meio da competição pelo sítio ativo das enzimas com as proteínas a serem digeridas, sendo resistentes ao ambiente químico, térmico e a desnaturação ao longo do trato gastrointestinal dos suínos (Yen et al., 1977; Broadway e Duffey, 1986; Clemente et al., 2008; Losso, 2008; Goebel e Stein, 2011a,b).

Por reduzirem a concentração das enzimas tripsina e quimotripsina livres para se ligarem aos seus substratos, os inibidores de tripsina reduzem a digestão dos peptídeos e o aporte de aminoácidos livres para a corrente sanguínea, reduzindo assim, o aproveitamento dos aminoácidos oriundos da soja por leitões (Yen et al., 1977; Broadway e Duffey, 1986; Goebel e Stein, 2011b). Ademais, a redução no conteúdo de enzima tripsina e quimotripsina livre e a presença de peptídeos não digeridos no lúmen do duodeno gera um mecanismo de regulação por *feedback* negativo, em que o pâncreas é estimulado a secretar maiores quantidades destas enzimas o que leva a maiores perdas endógenas e exógenas de aminoácidos via maior secreção enzimática e proteínas não digeridas. Outro fator importante é que os complexos inibidor-enzima são ricos em aminoácidos sulfurados que são excretados, o que também é prejudicial tendo em vista que os produtos oriundos da soja apresentam baixos teores destes aminoácidos (Broadway e Duffey, 1986; Sauer e Ozimek, 1986; Hara et al., 2000; Morisset, 2008; Silva e Silva, 2010). Estudos relatam reduções de 5 a 28% na digestibilidade dos aminoácidos essenciais decorrente da ação dos inibidores de tripsina estáveis presentes nos ingredientes que compõe as dietas de leitões (Marty e Chavez, 1993; White et al., 2000; Zarkadas e Wiseman, 2005; Goebel e Stein, 2011a).

O processamento térmico pode reduzir os efeitos dos fatores antinutricionais presentes no grão de soja e melhorar o aproveitamento dos seus nutrientes pelos suínos. Durante a

extrusão ocorre a clivagem, degradação térmica e alteração na estrutura das proteínas, incluindo a fração antinutricional. O efeito da temperatura e da pressão empregados no processo é a desnaturação proteica pelo rompimento do arranjo tridimensional da cadeia polipeptídica dos inibidores de tripsina, fazendo com que estas proteínas percam a sua atividade biológica, deixando assim, as enzimas livres disponíveis para digestão, o que resulta na melhoria da digestibilidade dos aminoácidos presentes na soja. Ademais, as alterações na conformação da estrutura das proteínas por si só facilitam o acesso das enzimas proteolíticas a seus substratos, o que também pode resultar no aumento da digestibilidade da proteína e dos aminoácidos do ingrediente (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Maurya e Said, 2014).

Temperaturas de 100°C podem reduzir em até 75% do conteúdo dos inibidores de tripsina do grão de soja, enquanto que sob 150°C pode ocorrer a redução de até 95% da concentração (Araba e Dale, 1990; Kim et al., 1999; Opapeju et al., 2006; Căpriță et al., 2010; Veum et al., 2017). Trabalhos realizados com leitões após o desmame demonstram em média, reduções de 80 a 90% na concentração do teor dos inibidores de tripsina dos grãos de soja submetidos ao processamento de extrusão (Rudolph et al., 1983; Marty e Chavez, 1993; Marty et al., 1994; Fan et al., 1995; Kim et al., 1999; Kim et al., 2000).

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que as temperaturas de extrusão de 122°C e 137°C foram efetivas na redução dos fatores antinutricionais presentes no grão de soja que prejudicam a digestão da proteína bruta e dos aminoácidos do ingrediente, sem, no entanto, ocasionar danos a qualidade da proteína e dos aminoácidos deste ingrediente. Este efeito benéfico da extrusão resultou em coeficientes de digestibilidades da proteína bruta e dos aminoácidos semelhantes aos observados para o grão de soja desativado, uma fonte proteica nutricionalmente segura na alimentação de suínos, adicionalmente, para a lisina, o grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C proporcionou digestibilidades e valores digestíveis também superior ao observado para o grão de soja desativado, mesmo a lisina estando em menores concentrações no grão de soja *in natura*, 2,44% versus 2,56% no grão de soja desativado, indicando que a extrusão nestas temperaturas foi benéfica na valorização do grão de soja para leitões.

Os valores de digestibilidade ileal aparente da proteína e dos aminoácidos do grão de soja *in natura* extrudado, independentemente da temperatura de extrusão, obtidos neste estudo são ligeiramente inferiores aos obtidos por Baker et al. (2010) em um experimento com leitões com $10,1 \pm 1,82$ kg de peso vivo médio, em que a temperatura de extrusão do grão de soja variou de 149°C a 157°C, obtendo digestibilidades ileais aparente médias de 85,00% para a proteína bruta, 90,90% para a lisina e em média 88,90% para os aminoácidos, e digestibilidades ileais

estandardizadas médias de 92,00% para a proteína bruta, 94,30% para a lisina, e em média 92,50% para os aminoácidos. Também foram inferiores aos valores de digestibilidade obtidos por Goebel e Stein (2011b) que ao avaliar o grão de soja *in natura* extrudado a 153°C para leitões com $11,1 \pm 1,3$ kg de peso vivo médio, obtiveram digestibilidades ileais aparente médias de 81,10% para a proteína bruta, 85,10% para a lisina, e em média 84,40% para os aminoácidos, e digestibilidades ileais estandardizadas de 90,50% para a proteína bruta, 90,70% para a lisina, e em média 89,90% para os aminoácidos, valores semelhantes aos obtidos no estudo de Baker et al. (2010), diferenças estas que também podem estar relacionadas as condições de processamento do grão de soja, uma vez que o grão de soja utilizado apresentou composição nutricional semelhante entre os estudos.

Os valores de digestibilidade ileal aparente da proteína e dos aminoácidos do grão de soja *in natura* extrudado na temperatura de 82°C foram inferiores aos valores obtidos por Fan et al. (1995) também com leitões, enquanto que os valores obtidos nas temperaturas de extrusão de 122°C e 137°C foram superiores aos obtidos por estes autores em um estudo em que temperaturas de extrusão variando entre 137,8°C e 162,8°C foram empregadas, resultando em coeficientes de digestibilidades de 55,80% para a proteína bruta, 68,50% para a lisina, e em média 60,30% para os aminoácidos.

3.4.2. Farelo de soja tostado e farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas

3.4.2.1. Composição dos ingredientes

A composição nutricional do farelo de soja tostado está de acordo com os valores nutricionais descritos na literatura, com valores médios de MS de $88,67 \pm 0,49\%$; MM de $6,21 \pm 0,53\%$; EB de $4151,43 \pm 66,76$ kcal/kg; PB de $44,63 \pm 3,11\%$; EE de $1,36 \pm 0,24\%$; FDN de $8,53 \pm 1,88\%$; de FDA de $5,00 \pm 1,41\%$, de lisina de $2,82 \pm 0,19\%$; de metionina de $0,60 \pm 0,04\%$; de treonina de $1,67 \pm 0,13\%$; e de triptofano de $0,63 \pm 0,04\%$ (NRC, 2012; Lagos e Stein, 2017; Rostagno, 2017), com pequenas variações que podem estar ligadas a fatores como variações genéticas das cultivares de soja utilizadas, solo e clima onde estes grãos foram cultivados e diferenças nos métodos de extração do óleo de soja.

Assim como o farelo de soja tostado, o farelo de soja não tostado, também chamado de farelo de soja desengordurado não tostado ou *Soy White Flakes*, é produto resultante da extração do óleo de soja. Enquanto que a remoção do hexano residual proveniente da extração do óleo

no farelo de soja tostado, farelo de soja tradicionalmente utilizado na nutrição animal, ocorre por tostagem, no farelo de soja não tostado este processo se dá através de sistemas de dessolventização rápida, o que, apesar de resultar em menor desnaturação proteica, resulta em um farelo de soja com elevados índices de dispersibilidade e solubilidade da proteína, com valores acima de 95%, o que exige tratamento térmico adicional para utilização (Lusas e Riaz, 1995; Hettiarachchy e Kalapathy, 1997; Cereto, 2004; Deak et al., 2008; Riaz, 2011). Seu uso como ingrediente na nutrição animal não é recorrente, justamente devido ao seu alto conteúdo residual de fatores antinutricionais.

O processamento adicional do farelo de soja não tostado resulta na produção de ingredientes que comumente são utilizados na indústria alimentícia humana e animal, tais como a farinha de soja, o isolado proteico de soja e o concentrado proteico de soja (Deak et al., 2008). Estudos demonstram que a extrusão do farelo de soja não tostado pode constituir uma boa fonte alternativa de proteína na nutrição animal, devido à redução no seu conteúdo de fatores antinutricionais e a melhoria na qualidade nutricional das proteínas e dos aminoácidos do ingrediente (Lee et al., 2007; Romarheim et al., 2008).

Da mesma forma como ocorreu com os valores obtidos na análise química do farelo de soja tostado, a composição nutricional do farelo de soja não tostado utilizado neste estudo está de acordo com os valores nutricionais descritos na literatura, com valores médios de MS de $91,85 \pm 1,20\%$; MM de $6,16 \pm 0,86\%$; PB de $52,35 \pm 0,35\%$ (Grala et al., 1998; Romarheim et al., 2008); EE de 2,50%; FDN de 5,70 (Grala et al., 1998); de lisina de $4,12 \pm 1,07\%$; de metionina de $0,91 \pm 0,17\%$; de treonina de $2,79 \pm 0,82\%$; e de triptofano de $0,92 \pm 0,34\%$ (Grala et al., 1998; Romarheim et al., 2008).

Avaliando-se os resultados do índice de atividade ureática para o farelo de soja tostado e para o farelo de soja não tostado extrudado, independentemente da temperatura, os valores obtidos indicam que as condições empregadas nos processos de desativação dos fatores antinutricionais foram efetivas, uma vez que os valores observados encontram-se dentro dos valores de referência para o índice de atividade ureática e corroboram os valores encontrados na literatura. De acordo com Stein et al. (2008), normalmente encontram-se valores de atividade ureática menores que 0,05 no farelo de soja tostado comercial, enquanto que estudos avaliando a digestibilidade do farelo de soja tostado por suínos relatam valores médios de atividade ureática de 0,03 (Kim et al., 2000; Woodworth et al., 2001; Guzmán et al., 2016; Park et al., 2017; Veum et al., 2017).

A extrusão promoveu substancial redução no valor do índice de atividade ureática no farelo de soja não tostado, que antes da extrusão era de 1,27 passando para 0,10 no farelo de

soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C, e 0,03 nas temperaturas de extrusão de 120°C e 149°C. Estes valores também encontram-se dentro dos valores de referência para o índice de atividade ureática que situam-se entre 0,05 e 0,30, mesmo estando abaixo do limite de 0,05 (Araba e Dale, 1990; Stein et al., 2008; Căpriță et al., 2010) no caso das extrusões nas temperaturas de 120°C e 149°C.

Os resultados obtidos para o índice de solubilidade proteica em KOH no farelo de soja tostado encontram-se dentro dos valores de referência que indicam um processamento térmico de qualidade, enquanto que os obtidos para o farelo de soja não tostado extrudado, independentemente da temperatura de processamento empregada, situam-se acima dos valores de referência, entre 70% e 85%, e indicam a ocorrência de subprocessamento. No entanto, para a extrusão nas temperaturas de 120°C e 149°C esta faixa de valores de referência não parece ser um bom indicativo para determinar que os valores acima de 85% indicam subprocessamento, pois a avaliação da atividade dos inibidores de tripsina e da digestibilidade e dos valores digestíveis da proteína bruta e dos aminoácidos indicam que o tratamento térmico foi eficiente na melhoria do valor nutricional deste ingrediente, o que está de acordo com Căpriță et al. (2010) que relatam que este índice não é um bom indicador da ocorrência de subprocessamento térmico das fontes proteicas de soja.

O valor obtido de 2,37 mg/g de PB para a atividade de inibidores de tripsina no farelo de soja tostado é similar ao valor médio de 2,69 mg/g de PB encontrado na literatura, com variações de 0,90 mg/g de PB a 4,10 mg/g de PB (Kim et al., 2000; Woodworth et al., 2001; Baker et al., 2010; Guzmán et al., 2016; Park et al., 2017; Veum et al., 2017).

O farelo de soja não tostado utilizado neste estudo possui menor atividade de inibidores de tripsina em comparação a farelos utilizados em outros estudos, sendo sua atividade de inibidores de tripsina de 28,24 mg/g de PB em contraste com valores médios de 36,30 mg/g de PB obtidos nos trabalhos de Grala et al. (1998) e Romarheim et al. (2008). Ademais, a extrusão promoveu substanciais reduções na atividade de inibidores de tripsina, passando de 28,24 mg/g de PB no farelo de soja não tostado, para 3,51 mg/g de PB no farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C, 1,37 mg/g de PB na temperatura de extrusão de 120°C, e 1,12 no farelo de soja não tostado extrudado a 149°C.

Embora a extrusão do farelo de soja não tostado nas temperaturas de 120°C e 149°C tenha sido eficiente para valorizar a qualidade nutricional da proteína e dos aminoácidos do ingrediente, de acordo com a avaliação integrada do índice de atividade ureática, índice de solubilidade proteica e valor de atividade de inibidores de tripsina, a análise integrada destes indicadores para o farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C indica a

ocorrência de subprocessamento térmico em que a temperatura de extrusão empregada foi insuficiente para a desativação dos fatores antinutricionais, o que pode ser confirmado pelos resultados de digestibilidade apresentados para este ingrediente.

Devido a escassez de informação na literatura a respeito da extrusão do farelo de soja não tostado, é difícil a comparação dos resultados obtidos neste estudo.

3.4.2.2. Digestibilidade total aparente dos nutrientes e da energia bruta dos ingredientes

O farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C apresentou menor digestibilidade total aparente da matéria seca e da proteína bruta em comparação as digestibilidades obtidas para o farelo de soja tostado, e pelo farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 120°C e 149°C, que não diferiram entre si. O valor digestível da proteína no farelo de soja não tostado extrudado a 86°C, por sua vez, não diferiu do farelo de soja tostado, e ambos foram inferiores aos valores apresentados pelo farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 120° e 149°C. Estes resultados se devem, assim como ocorreu para o grão de soja *in natura* extrudado, a desnaturação proteica em função da magnitude do processamento térmico empregado, que leva a alterações na conformação da estrutura das proteínas, com a inativação dos inibidores de tripsina e a melhoria na digestibilidade das proteínas devido o maior acesso das enzimas pancreáticas as proteínas da soja (Rudolph et al., 1983; Marty et al., 1994; Fan et al., 1995; Qin et al., 1996), e pode indicar que as condições de extrusão empregadas foram benéficas na valoração nutricional da proteína do farelo de soja não tostado (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Steel et al., 2012; Maurya e Said, 2014; Vagadia et al., 2017). Entretanto, no caso do farelo de soja tostado, este efeito adicionalmente se deve ao menor teor de proteína bruta do farelo de soja em contraste ao apresentado pelo farelo de soja não tostado, com valores de 43,99 e 48,93% na matéria natural, respectivamente.

O farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 120° e 149°C apresentaram digestibilidades totais aparentes da energia bruta e conteúdos de energia digestível semelhantes entre si e superiores ao farelo de soja não tostado extrudado a 86°C. No entanto, diferentemente do observado para o grão de soja *in natura* extrudado, a melhoria na utilização da energia dos ingredientes pelos leitões parece não estar relacionada com a melhoria da utilização dos lipídios, uma vez que o farelo de soja não tostado extrudado a 149°C apresentou a menor digestibilidade total aparente e o menor valor digestível do extrato etéreo dentre os ingredientes avaliados, seguido pelos farelos de soja não tostados extrudados

nas temperaturas de 120°C e 86°C, com valores intermediários, e o farelo de soja tostado com os maiores valores observados.

Os efeitos observados para a digestibilidade da energia bruta e o conteúdo de energia digestível podem estar relacionados ao efeito da extrusão na gelatinização do amido. Diversos estudos relatam que o grau de gelatinização do amido está ligado a temperatura de processamento do ingrediente. O aumento da temperatura de processamento resulta no aumento do grau de gelatinização do amido (Chiang e Johnson, 1977; Bhattacharya e Hanna, 1987; Lin et al., 1997; Rolfe et al., 2000; Iwe et al., 2001), e o aumento no grau de gelatinização do amido está ligado a um aumento na digestibilidade da energia bruta por suínos (Hongtrakul et al., 1998).

Como relatado anteriormente, a maior temperatura de extrusão resultou em menor digestibilidade total aparente e menor valor digestível do extrato etéreo do farelo de soja não tostado. Além do menor conteúdo deste nutriente no farelo de soja não tostado, 1,30% vs. o 2,47% apresentado pelo farelo de soja tostado, na matéria natural, a menor digestibilidade total aparente contribuiu para o menor valor digestível observado.

Normalmente a extrusão está associada a melhoria no valor nutricional dos lipídios devido a desnaturação da enzima lipoxigenase que causa a rancidez oxidativa dos ácidos graxos (Cheftel, 1986; Crowe et al., 2001; Žilić et al., 2012). No entanto o valor nutricional dos lipídios pode ser afetado negativamente pela extrusão. Durante a extrusão, se a concentração de lipídio no ingrediente for elevada pode ocorrer a perda de lipídio como óleo livre, reduzindo o conteúdo de lipídio do ingrediente (Singh et al., 2007) e também podem ser formados complexos amilose-lipídios que podem afetar a disponibilidade dos lipídios (Murray et al., 1998), porém estes fatores parecerem não ter ocorrido neste estudo. Condições extremas de processamento, como a exposição do ingrediente a altas temperaturas durante a extrusão, podem ocasionar alterações nos lipídios do ingrediente, como a ocorrência de oxidação lipídica, alteração na estrutura lipídica, ou a destruição do óleo do ingrediente que podem levar a alterações no seu valor nutricional (Rao e Artz, 1989; Sjøvall et al., 1997; Žilić et al., 2010; Ying et al., 2015).

Uma possível melhoria na utilização da fibra que poderia contribuir para a melhoria na utilização da energia também parece não ter ocorrido, uma vez não foram observados efeitos para a digestibilidade total aparente do FDN, e o valor digestível do FDN dos ingredientes extrudados, independentemente da temperatura de extrusão, foi inferior ao observado para o farelo de soja tostado, o que se deve a própria composição de FDN destes ingredientes, de 11,01% de FDN para o farelo de soja tostado e 6,93% para o farelo de soja não tostado. Também o farelo de soja tostado apresentou valores digestíveis do FDA superiores ao farelo de soja não

tostado extrudado independente da temperatura de extrusão, também relacionado a composição dos ingredientes avaliados, com valores de FDA de 6,94% para o farelo de soja tostado e 3,30% para o farelo de soja não tostado. Estes resultados são contrários ao observado na literatura em que normalmente tratamentos térmicos que incluem injeção de vapor d'água, tal como a extrusão utilizada neste estudo, estão associados a melhorias de em torno de 18 a 24% na digestibilidade da fibra por suínos, e reduções na digestibilidade em função do processamento térmico não são comuns (de Vries et al., 2012).

Para o farelo de soja extrudado na temperatura de 149°C se observou menor coeficiente de digestibilidade total aparente do FDA, e menor conteúdo digestível do FDA quando comparado aos demais ingredientes extrudados e ao farelo de soja tostado.

A extrusão dos produtos oriundos da soja pode ter efeitos deletérios sobre a digestibilidade do FDN e do FDA em função do efeito dos ácidos graxos liberados sobre a população de bactérias celulolíticas no ceco e no cólon. A ruptura da estrutura celular dos vacúolos lipídicos durante a extrusão expõe os lipídios extracelularmente aumentando sua disponibilidade para digestão e absorção, no entanto esta maior fração lipídica pode ser adsorvida na superfície celular bacteriana impedindo o aporte de nutrientes para o metabolismo bacteriano, o que especificamente reduz a atividade da microflora celulolítica, e reduz a digestibilidade da fração fibrosa do alimento (Jansen et al., 2007). Este efeito parece não ter sido o motivo do efeito observado para a o farelo de soja extrudado a 149°C, uma vez que, para este ingrediente se observou a menor digestibilidade e valor digestível do extrato etéreo. Sendo assim, a razão para a obtenção deste resultado ainda não é clara.

Quando comparados os valores dos coeficientes de digestibilidade total aparente dos nutrientes e da energia do farelo de soja tostado avaliado neste estudo com os valores obtidos em estudos na literatura, a digestibilidade total aparente da matéria seca obtido neste estudo de 89,99% é ligeiramente superior às obtidas por Kim et al. (2000) e Hossain et al. (2016), com leitões com $7,79 \pm 2,70$ kg de peso vivo médio, em que obteve-se 83,78% de digestibilidade da MS. O mesmo ocorreu para a digestibilidade da energia bruta, em que neste estudo obteve-se o coeficiente de 90,63% versus em média 84,34% obtido nos estudos de Kim et al. (2000), Rojas e Stein (2013) e Hossain et al. (2016) com leitões com $8,45 \pm 2,56$ kg de peso vivo médio, e para o extrato etéreo, em que neste estudo obteve-se o coeficiente de 81,16% vs. em média 51,75% obtidos nos estudos de Marty e Chavez (1993) e Rojas e Stein (2013), com leitões com $16,50 \pm 5,82$ kg de peso vivo médio. O valor do coeficiente de digestibilidade total aparente do FDN obtido neste estudo foi superior ao obtido no estudo de Marty e Chavez (1993), que avaliou a digestibilidade do farelo de soja tostado para leitões com peso vivo médio de $17,10 \pm$

0,20kg, sendo 63,34% versus 53,8%, respectivamente. Para a proteína bruta, o coeficiente de digestibilidade total aparente obtido foi ligeiramente inferior aos coeficientes médios descritos na literatura em experimentos também com leitões, sendo 82,19% versus 84,63%, respectivamente, em estudos com leitões com peso médio de $8,83 \pm 2,38$ kg (Fan et al., 1995; Kim et al., 2000; Rojas e Stein, 2013; Hossain et al., 2016), estas diferenças podem estar relacionadas as ligeiras diferenças na composição química dos farelos de soja tostados utilizados.

3.4.2.3. Digestibilidade ileal aparente e estandardizada da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes

O farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C apresentou menor digestibilidade e valor digestível ileal aparente da proteína bruta em comparação ao farelo de soja tostado e ao farelo de soja extrudado a 120°C e 149°C, que não diferiram entre si. Quanto a digestibilidade e valor digestível ileal estandardizado, o farelo de soja não tostado extrudado a 86°C foi inferior ao extrudado a 149°C e ao farelo de soja tostado, e semelhante ao farelo de soja não tostado extrudado a 120°C. O farelo de soja não tostado na temperatura de 120°C, por sua vez, apresentou valores intermediários ao demais ingredientes, sendo também semelhante ao farelo de soja não tostado extrudado a 149°C quanto a digestibilidade e valor ileal estandardizado da proteína bruta, não diferindo também do farelo de soja tostado quanto ao seu valor digestível ileal estandardizado.

O farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C obteve coeficientes de digestibilidade e valor digestível ileal aparente e estandardizado dos aminoácidos essenciais histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina, e os aminoácidos não essenciais alanina, asparagina, serina e tirosina inferiores aos observados para o farelo de soja tostado e para o farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 120°C e 149°C. Este efeito também foi observado para os aminoácidos arginina e glutamina quanto a sua digestibilidade e valor digestível ileal aparente, e para a cistina quanto a sua digestibilidade e valor digestível ileal estandardizado.

Não foram observadas diferenças entre o farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 120°C e 149°C quanto a digestibilidade e o valor digestível ileal aparente e estandardizado dos aminoácidos leucina, lisina, valina, asparagina e serina. Também não foram observadas diferenças entre a digestibilidade e o valor digestível ileal aparente dos aminoácidos isoleucina, treonina, e glutamina, e a digestibilidade e o valor

digestível ileal estandardizado da histidina e metionina, bem como para a digestibilidade ileal aparente e estandardizada da fenilalanina, cistina e tirosina, para a digestibilidade ileal aparente da arginina a digestibilidade ileal estandardizada da isoleucina, treonina e glutamina destes ingredientes. Para a histidina e a metionina, o farelo de soja tostado apresentou maior digestibilidade ileal aparente em relação ao farelo de soja não tostado extrudado a 120°C, sendo ambos similares ao farelo de soja não tostado extrudado a 149°C, com o valor digestível destes ingredientes não diferindo entre si.

Com relação ao valor digestível ileal aparente dos aminoácidos arginina, fenilalanina, cistina e tirosina, e a digestibilidade e valor digestível ileal estandardizado da fenilalanina e cistina, o farelo de soja não tostado extrudado a 149°C foi superior ao farelo de soja tostado, e ambos não diferiram do farelo de soja não tostado extrudado a 120°C, que obteve valores intermediários. Para a alanina, o farelo de soja não tostado extrudado a 149°C foi superior ao extrudado a 120°C quanto a digestibilidade e o valor digestível ileal aparente e estandardizado, e semelhante ao farelo de soja tostado quanto a digestibilidade, mas superior quanto ao seu valor digestível ileal.

O farelo de soja não tostado extrudado a 86°C foi inferior ao farelo de soja tostado e ao farelo de soja não tostado extrudado a 149°C, semelhantes entre si, quanto a digestibilidade e valor digestível ileal aparente e estandardizado do triptofano, sendo o farelo de soja não tostado extrudado a 86°C inferior também ao farelo de soja não tostado extrudado a 120°C quanto a digestibilidade e valor digestível ileal estandardizado. O farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 120°C apresentou valores intermediários, sendo semelhante ao farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 86°C e 149°C quanto a digestibilidade ileal aparente, semelhante ao todos os ingredientes avaliados quanto ao seu valor digestível ileal aparente, e semelhante ao farelo de soja tostado e ao farelo de soja extrudado a 149°C quanto a digestibilidade e valor digestível estandardizado.

Os resultados obtidos no presente estudo para a digestibilidade ileal da proteína bruta e dos aminoácidos, e seus respectivos valores digestíveis, demonstram que a temperatura de extrusão do farelo de soja não tostado de 86°C parece ser inferior a necessária, indicando subprocessamento, enquanto que as temperaturas de 120°C e 149°C parecem indicar processamento de extrusão adequado em relação a sua qualidade nutricional. Esta constatação confirma os valores obtidos para os parâmetros indicativos de qualidade de processamento, principalmente no que diz respeito a redução na concentração do teor dos inibidores de tripsina.

O farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C apresentou maior valor de atividade de inibidores de tripsina e maior valor do índice de solubilidade proteica em

comparação aos demais ingredientes, sendo 3,51 mg/g de PB e 94,85%, versus 2,37 mg/g de PB e 84,05% para o farelo de soja tostado; 1,37 mg/g de PB e 88,59 para o farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; e 1,12 mg/g de PB e 86,47% para o farelo de soja não tostado extrudado a 149°C, o que explica a obtenção dos menores coeficientes de digestibilidade e menores valores digestíveis da proteína bruta e dos aminoácidos obtidos, indicando que os fatores antinutricionais da soja se mantiveram estáveis após o processamento.

Embora o valor de atividade dos inibidores de tripsina tenha sido inferior no farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 120°C e de 149°C em comparação ao farelo de soja tostado, em geral, não foram observadas diferenças entre a digestibilidade e o valor digestível ileal aparente e estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos destes ingredientes o que pode indicar que outros fatores para além do conteúdo de inibidores de tripsina, podem estar relacionados aos valores observados. No entanto maiores afirmações são difíceis de serem realizadas, uma vez que há escassez de informação na literatura a respeito do valor nutricional do farelo de soja não tostado extrudado para suínos, o que torna difícil a comparação dos resultados obtidos neste estudo.

Os valores de digestibilidade ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos do farelo de soja tostado obtidos neste estudo estão de acordo com resultados descritos na literatura em experimentos também com leitões, sendo obtidos coeficientes de digestibilidade ileal aparente da proteína bruta de 72,45%, 83,67% para a lisina e de em média 81,44% para os demais aminoácidos do farelo de soja tostado avaliado neste estudo em contraste aos coeficientes de digestibilidade de 72,02% para a proteína bruta, 81,46% para a lisina e em média 80,39% para os demais aminoácidos do farelo de soja tostado avaliado nos estudos da literatura com leitões com 10,53 ± 0,99kg de peso vivo médio (Fan et al., 1995; Baker et al., 2010; Cervantes-Pahm e Stein, 2010; Goebel e Stein, 2011b; Rojas e Stein, 2013).

Com relação aos valores de digestibilidade ileais estandardizados do farelo de soja tostado, os valores obtidos neste estudo para os coeficientes de digestibilidade da proteína e da lisina foram superiores aos observados na literatura, com coeficientes de digestibilidade de 88,32% para a proteína bruta, 89,34% para a lisina em comparação aos coeficientes de digestibilidade de 85,48% para a proteína bruta e 87,72% para a lisina obtidos em estudos na literatura com leitões com peso vivo médio de 10,63 ± 0,46kg. Os valores médios obtidos neste estudo para os coeficientes de digestibilidade ileal estandardizado dos aminoácidos foram semelhantes aos observados na literatura, sendo 87,65% vs. 88,13%, respectivamente (Baker et al., 2010; Cervantes-Pahm e Stein, 2010; Goebel e Stein, 2011b; Rojas e Stein, 2013).

Cabe ressaltar que nem todas as condições de processamento durante a extrusão estão descritas nos estudos da literatura que se utilizaram desta técnica com o objetivo da melhoria dos produtos da soja para leitões, o que dificulta a comparação destes resultados e limita o estabelecimento de ingredientes padronizados. Ademais, estas variações são as principais razões para as diferenças obtidas no valor nutricional e no aproveitamento dos nutrientes dos ingredientes avaliados. Por fim, embora sejam pequenas as variações nutricionais entre os ingredientes avaliados, a combinação destas variações com as diferentes condições de processamento empregadas também pode contribuir para as diferenças obtidas entre os estudos (Clarke e Wiseman, 2007).

3.5. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram a efetividade do processamento térmico na melhoria do valor nutricional do grão de soja e do farelo de soja não tostado para leitões no pós-desmame. O aumento da temperatura de extrusão do grão de soja *in natura* e do farelo de soja não tostado resultou na redução dos valores da atividade dos inibidores de tripsina destes ingredientes e nas maiores digestibilidade ileal aparente e estandardizada da proteína bruta e dos aminoácidos dos ingredientes. No grão de soja *in natura* a temperatura de extrusão de 82°C foi insuficiente para inativar corretamente os inibidores de tripsina e resultou em digestibilidades ileais e valores digestíveis da proteína bruta e dos aminoácidos inferiores ao grão de soja desativado, e ao grão de soja *in natura* extrudado nas temperaturas de 122°C e 137°C, sendo em sua maioria semelhantes entre si. Este comportamento também foi observado para o farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 86°C que obteve menor digestibilidade ileal e valor digestível dos aminoácidos em comparação ao farelo de soja tostado e ao farelo de soja não tostado extrudado nas temperaturas de 120°C e 149°C, que em sua maioria não diferiram entre si.

Referências

- Adams, K.L., Jensen, A.H., 1985. Effect of Processing on the Utilization by Young Pigs of the Fat in Soya Beans and Sunflower Seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12, 267-274.
- Anguita, M., Gasa, J., Martín-Orúe, S.M., Pérez, J.F., 2006. Study of the effect of technological processes on starch hydrolysis, non-starch polysaccharides solubilization and

- physicochemical properties of different ingredients using a two-step in vitro system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 129, 99-115.
- AOAC. 2006. Official methods of analysis. 18th ed. Association of official analytical chemists, Washington.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Association of official analytical chemists, Gaithersburg.
- AOCS. Association oil chemists society. 2009. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society. 6. ed. AOCS, Illinois.
- Araba, M., Dale, N.M., 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of over processing soybean meal. *Poult. Sci.* 69, 76-83.
- Baker, K.M., Kim, B.G., Stein, H.H., 2010. Amino acid digestibility in conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of full-fat soybeans and in soybean meal by weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162, 66–73.
- Ball, R.O., Aherne, F.X., 1987. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. II Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 1105-1115.
- Bellaver, C., Snizek Junior, P.N., 1999. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: Congresso Brasileiro de Soja, 1999. Londrina. pp. 183-199.
- Bhattacharya, M., Hanna, M.A., 1987. Kinetics of Starch Gelatinization During Extrusion Cooking. *J. Food Sci.* 52, 764-766.
- Björck, I., Asp, N.G., 1983. The effects of extrusion cooking on nutritional value - a literature review. *J. Food Eng.* 2, 281-308.
- Björck, I., Matoba, T., Nair, B.M., 1985. In vitro enzymatic determination of the protein nutritional value and the amount of available lysine in extruded cereal-based products. *Agric. Biol. Chem.* 49, 945-951.
- Broadway, R.M, Duffey, S.S., 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of action and effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exiqua*. *J. Insect Physiol.* 32, 827-833.
- Brown, I., 1996. Complex Carbohydrates and Resistant Starch. *Nutr. Rev.*, 54, S115-S119.
- Brum, P.A.R., Lima, G.J.M.M., Ávila, V.S., Lanznaster, M., Ardigó, R., 2006. Características Nutricionais da Soja Desativada por Diferentes Processos Térmicos para Alimentação de Frangos de Corte. Comunicado Técnico 451, EMBRAPA, Concórdia. 5p.

- Căpriță, R., Căpriță, A., Crețescu, I., 2010. Laboratory Procedures for Assessing Quality of Soybean Meal. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. 2, 375-378.
- Carvalho, A.A., Lovatto, P.A., Hauschild, L., Andretta, I., Lehnen, C.R., Zanella, I., 2007. Processamento da soja integral e uso em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. Braz. J. Anim. Sci. 36, 2023-2028.
- Carvalho, A.D'á., Zanella, I., Lehnen, C.R., Andretta, I., Lanferdini, E., Hauschild, L., Lovatto, P.A., 2008. Digestibilidade aparente de dietas e metabolismo de frangos de corte alimentados com dietas contendo soja integral processada. Cienc. Rural. 38, 477-483.
- Cereto, A.C., 2004. Integração energética de rede de trocadores de calor em extração por solvente para a produção de farelo branco de soja. Master thesis, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.
- Cervantes-Pahm, S.K., Stein, H.H., 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs. J. Anim. Sci. 88, 2674–2683.
- Cheftel, J.C., 1986. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking. Food Chem. 20, 263-283.
- Chiang, B.-Y., Johnson, A., 1977. Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chem. 54, 436-443.
- Clarke, E.J., Wiseman, J. 2007. Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. Br. Poult. Sci. 48, 703-712.
- Clemente, A., Jimenez, E., Marin-Manzano, M.C., Rubio, L.A., 2008. Active Bowman–Birk inhibitors survive gastrointestinal digestion at the terminal ileum of pigs fed chickpea-based diets. J. Sci. Food Agric. 88, 513-521.
- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. 2013. Guia dos métodos analíticos: solubilidade proteica em hidróxido de potássio. Sindirações, São Paulo, p.p. 219-222.
- Crowe, T.W., Johnson, L.A., Wang, T., 2001. Characterization of Extruded-Expelled Soybean Flours. JAOCS. 78, 775–779.
- De Valle, F.R., 1981. Nutritional qualities of soy as affected by processing. J. Am. Oil Chem. Soc. 58, 419-429.
- De Vries, S., Pustjens, A.M., Schols, H.A., Hendriks, W.H., Gerrits, W.J.J., 2012. Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzyme technologies: A review. Anim. Feed Sci. Technol. 178, 123-138.

- Deak, N.A., Johnson, L.A., Lusas, E.W., Rhee, K. C., 2008. Soy Protein Products, Processing, and Utilization. In: Johnson, L.A., White, P.J., Galloway, R. (Eds.), Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization. AOCS Press, Urbana, pp. 661-724.
- Donkoh, A., P. J. Moughan, and W. C. Smith. 1994. Comparison of the slaughter method and simple T-piece cannulation of the terminal ileum for determining ileal amino acid digestibility in meat and bone meal for the growing pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49, 43–56.
- Fan, M.Z., Sauer, W.C., Lange, C.F.M., 1995. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52, 189-203.
- Fernandez, J.A., Jorgensen, J.N., 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Sci.* 15, 53-71.
- Freitas, E.R., Sakomura, N.K., Neme, R., Santos, A.L., Fernandes, J.B.K., 2005. Efeito do Processamento da Soja Integral sobre a Energia Metabolizável e a Digestibilidade dos Aminoácidos para Aves. *Braz. J. Anim. Sci.* 34, 1938-1949.
- Friesen, K.G., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Behnke, K.C., Kats, L.J., 1993. The Effect of Moist Extrusion of Soy Products on Growth Performance and Nutrient Utilization in the Early-Weaned Pig. *J. Anim. Sci.* 71, 2099-2109.
- Gallardo, C., Dadalt, J.C., Trindade Neto, M.A., 2018. Nitrogen retention, energy, and amino acid digestibility of wheat bran, without or with multicarbohydase and phytase supplementation, fed to broiler chickens. *J. Anim. Sci.* 96, 2371–2379.
- Goebel, K.P., Stein. H.H., 2011a. Phosphorus digestibility and energy concentration of enzyme-treated and conventional soybean meal fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 764-772.
- Goebel, K.P., Stein. H.H., 2011b. Ileal Digestibility of Amino Acids in Conventional and Low-Kunitz Soybean Products Fed to Weanling Pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24, 88-95.
- Gonçalves, L.C., Andrade, A.P.C., Ribeiro, G.P., Seibel, N.F., 2014. Chemical composition and technological properties of two soybean cultivars. *Biochemistry and Biotechnology Reports.* 3, 33-40.
- Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J., van Leeusen, P., 1998. Ileal Apparent Protein and Amino Acid Digestibilities and Endogenous Nitrogen Losses in Pigs Fed Soybean and Rapeseed Products. *J. Anim. Sci.* 76, 557–568.
- Grieshop, C.M., Fahey Jr., G.C., 2001. Comparison of Quality Characteristics of Soybeans from Brazil, China, and the United States. *J. Agric. Food Chem.* 49, 2669–2673.

- Guzmán, P., Saldaña, B., Cámara, L., Mateos, G.G., 2016. Influence of soybean protein source on growth performance and nutrient digestibility of piglets from 21 to 57 days of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 222, 75–86.
- Hara, H., Hashimoto, N., Akatsuka, N., Kasai, T., 2000. Induction of pancreatic trypsin by dietary amino acids in rats: Four trypsinogen isozymes and cholecystokinin messenger RNA. *J. Nutr. Biochem.* 11, 52–59.
- Hettiarachchy, N., Kalapathy, U., 1997. Soybean Protein Products. In: Liu, K (Ed.). *Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization*. Springer, Singapore, pp. 379-411.
- Hongtrakul, K., Goodband, R.D., Behnke, K.C., Nelssen, J.L., Tokach, M.D., Bergstrom, J.R., Nessmith, W.B., Kim, I.H., 1998. The Effects of Extrusion Processing of Carbohydrate Sources on Weanling Pig Performance. *J. Anim. Sci.* 76, 3034–3042.
- Hossain, M.M., Begum, M., Park, J.H., Lee, S.J., Jang, K.H., Hong, Y.H., Cho, S.J., Kim, I.H., 2016. Apparent total tract digestibility and ileal digestibility of dry matter, nitrogen, energy and amino acids in conventional, *Bacillus subtilis*-fermented and enzyme-treated soybean meal fed to weanling pigs. *Vet. Med.* 61, 669–680.
- Iwe, M.O., Van Zuilichem, D.J., Ngoddy, P.O., 2001. Extrusion Cooking of Blends of Soy Flour and Sweet Potato Flour on Specific Mechanical Energy (Sme), Extrudate Temperature and Torque. *J. Food Process. Preserv.* 25, 251-266.
- Jansen, W.L., Cone, J.W., Geelen, S.N.J., van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M.S., Van Gelder, A.H., Elferink, S.J.W.H.O., Beynen, A.C., 2007. High fat intake by ponies reduces both apparent digestibility of dietary cellulose and cellulose fermentation by faeces and isolated caecal and colonic contents. *Anim. Feed Sci. Technol.* 133, 298–308.
- Jensen, M.S., Jensen, S.K., Jakobsen, K., 1997. Development of Digestive Enzymes in Pigs with Emphasis on Lipolytic Activity in the Stomach and Pancreas. *J. Anim. Sci.* 75, 437-445.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Bauer, E., 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157, 111–128.
- Karr-Lilienthal, L.K., Kadzere, C.T., Grieshop, C.M., Fahey, G.C. 2005. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. *Livest. Sci.* 97, 1-12.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Jones, D.B., Reddy, P.G., 1999. Extrusion Processing of Low-Inhibitor Soybeans Improves Growth Performance of Early-Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 12, 1251-1257.

- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hines, R.H., Gugle, T.L., 2000. Roasting and Extruding Affect Nutrient Utilization from Soybeans in 5 and 10 kg Nursery Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 13, 200-206.
- Kong, C., Adeola, O., 2014. Evaluation of Amino Acid and Energy Utilization in Feedstuff for Swine and Poultry Diets. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27, 917-925.
- Lagos, L.V., Stein, H.H., 2017. Chemical composition and amino acid digestibility of soybean meal produced in the United States, China, Argentina, Brazil, or India. *J. Anim. Sci.* 95, 1626-1636.
- Lee, H.S., Kim, J.G., Shin, Y.W., Park, Y.H., You, S.K., Kim, S.H., Whang, K.Y., 2007. Comparison of laboratory analytical values and in vivo soybean meal quality on pigs by employing soyflakes heat-treated under different conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134, 337-346.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., Klemm, R., 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68, 1790-1799.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Giesting, D.W., Hancock, J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., 1991a. Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69, 3299-3307.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Goodband, R.D., 1991b. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 69, 4062-4069.
- Li, Y., Fang, z., Dai, J., Partridge, G., Ru, Y., Peng, J., 2010. Corn extrusion and enzyme addition improves digestibility of corn/soy based diets by pigs: In vitro and in vivo studies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 158, 146-154.
- Lin, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 30, 754-761.
- Liu, D.W., Zang, J.J., Liu, L., Jaworski, N.W., Fan, Z.J., Wang, T.T., Li, D.F., Wang, F.L., 2014. Energy content and amino acid digestibility of extruded and dehulled-extruded corn by pigs and its effect on the performance of weaned pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 59, 69-83.
- Losso, J.N., 2008. The Biochemical and Functional Food Properties of the Bowman-Birk Inhibitor. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 94-118.
- Lundblad, K.K., Issa, S., Hancock, J.D., Behnke, K.C., Mckinney, L.J., Alavi, S., Prestløkken, E., Fledderus, J., Sørensen. M., 2011. Effects of steam conditioning at low and high temperature, expander conditioning and extruder processing prior to pelleting on growth

- performance and nutrient digestibility in nursery pigs and broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 169, 208-217.
- Lusas, E.W., Riaz, M.N., 1995. Soy protein products: processing and use. *J. Nutr.* 125, 573-580.
- Marsman, G.J.P., Gruppen, H., Van der Poel, A.F.B., Resink, J.W. Verstegen, M.W.A., Voragen, A.G.J., 1995. The effect of shear forces and addition of a mixture of a protease and a hemicellulase on chemical, physical and physiological parameters during extrusion of soybean meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 56, 21-35.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., 1993. Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 411-419.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., de Lange, C.F.M., 1994. Recovery of Amino Acids at the Distal Ileum for Determining Apparent and True Ileal Amino Acid Digestibilities in Growing Pigs Fed Various Heat-Processed Full-Fat Soybean Products. *J. Anim. Sci.* 72, 2029-2037.
- Maurya, K., Said, P.P., 2014. Extrusion Processing on Physical and Chemical Properties of Protein Rich Products-An Overview. *J. Bioresour. Eng. Tech.* 1, 67-73.
- Mendes, W.S., Silva, I.J., Fontes, D.O., Rodriguez, N.M., Marinho, P.C., Silva, F.O., Arouca, C.L.C., Silva, F.C.O., 2004. Composição química e valor nutritivo da soja crua e submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 56, 207-213.
- Morisset, J., 2008. Negative Control of Human Pancreatic Secretion - Physiological Mechanisms and Factors. *Pancreas.* 37, 1-12.
- Murray, S.M., Patil, A.R., Fahey, G.C., Merchen, N.R., Wolf, B.W., Lai, C.-S., Garleb, K.A., 1998. Apparent Digestibility of a Debranched Amylopectin-Lipid Complex and Resistant Starch Incorporated into Enteral Formulas Fed to Ileal-Cannulated Dogs. *J. Nutr.* 128, 2032-2035.
- Myers, W.D., Ludden, P.A., Nayigihugu, V., Hess, B.W., 2004. Technical Note: a procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide *J. Anim. Sci.* 82, 179-183.
- National Research Council (NRC), 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., U.S.A.
- Niu, Q., Li, P., Hao, S., Zhang, Y., Kim, S.W., Li, H., Ma, X., Gao, S., He, L., Wu, W., Huang, X., Hua, J., Zhou, B., Huang, R., 2015. Dynamic Distribution of the Gut Microbiota and the

- Relationship with Apparent Crude Fiber Digestibility and Growth Stages in Pigs. *Sci. Rep.* 5, 9938-9945.
- Noland, P.R., Campbell, D.R., Gage, R.K., Sharp, R.N., Johnson, Z.B., 1976. Evaluation of Processed Soybeans and Grains in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 43, 763-769.
- Nunes, R.V., Broch, J., Polese, C., Eyng, C., Pozza, P.C., 2015. Avaliação Nutricional e Energética da Soja Integral Desativada para Aves. *Revista Caatinga.* 28, 143-151.
- Opapeju, F.O., Golian, A., Nyachoti, C.M., Campbell, L.D., 2006. Amino acid digestibility in dry extruded-expelled soybean meal fed to pigs and poultry. *J. Anim. Sci.* 84, 1130-1137.
- Palacios, M.F., Easter, R.A., Soltwedel, K.T., Parsons, C.M., Douglas, M.W., Hymowitz, T., Pettigrew, J.E., 2004. Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 82, 1108-1114.
- Park, C.S., Helmbrecht, A., Htoo, J.K., Adeola, O., 2017. Comparison of amino acid digestibility in full-fat soybean, two soybean meals, and peanut flour between broiler chickens and growing pigs. *J. Anim. Sci.* 95, 3110–3119.
- Parsons, C.M., Hashimoto, K., Wedekind, K.J., Baker, D.H., 1991. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. *J. Anim. Sci.* 69, 2918-2924.
- Pierce, J.L., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Russell, L.E., Weaver, E.M., 2005. Effects of spray-dried animal plasma and immunoglobulins on performance of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2876-2885.
- Prudêncio-Ferreira, S.H., Arêas, J.A.G., 1993. Protein-Protein Interactions in the Extrusion of Soya at Various Temperatures and Moisture Contents. *J. Food Sci.* 58, 378-381.
- Qiao, S., Li, D., Jiang, J., Zhou, H., Li, J., Thacker, P.A., 2003. Effects of Moist Extruded Full-fat Soybeans on Gut Morphology and Mucosal Cell Turnover Time of Weanling Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 16, 63-69.
- Qin, G., ter Elst, E.R., Bosch, M.W., van der Poel, A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 313-324.
- Raizer, F. A desativação da soja (grão) e o custo de energia: tendências. *Avicultura Industrial.* 2016. <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/a-desativacao-da-soja-grao-e-o-custo-de-energia-tendencias-por-fernando-raizer/20150525-122641-j520>. Acesso em 16 de fevereiro 2019.
- Rao, S.K., Artz, W.E., 1989. Effect of Extrusion on Lipid Oxidation. *J. Food Sci.* 54, 1580-1583.

- Riaz, M.N., 2011. Texturized vegetable proteins. In: Phillips, G.O., Williams, P.A. (Ed.). *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publishing Limited, Nova Deli, pp. 395-418.
- Rodhouse, S.L., Herkelman, K.L., Veum, T.L., 1992. Effect of Extrusion on the Ileal and Fecal Digestibilities of Lysine, Nitrogen, and Energy in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 70, 827-835.
- Rojas, O.J., Stein, H.H., 2013. Concentration of digestible, metabolizable, and net energy and digestibility of energy and nutrients in fermented soybean meal, conventional soybean meal, and fish meal fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 91, 4397-4405.
- Rolfe, L.A., Huff, H.E., Hsieh, F., 2000. The Effect of Processing Conditions on the Quality of Extruded Catfish Feed. *Transactions of the ASAE.* 43, 1737-1743.
- Romarheim, O.H., Zhang, C., Penn, M., Liu, Y.-J., Tian, L.-X., Skrede, A., Krogdahl, A., Storebakken, T., 2008. Growth and intestinal morphology in cobia (*Rachycentron canadum*) fed extruded diets with two types of soybean meal partly replacing fish meal. *Aquac. Nutr.* 14, 174-180.
- Rostagno, H.S. (Eds.). 2017. *Tabelas Brasileiras para aves e suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. 4th ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rudolph, B.C., Boggs, L.S., Knabe, D.A., Tanksley, T.D., Anderson, S.A., 1983. Digestibility of Nitrogen and Amino Acids in Soybean Products for Pigs. *J. Anim. Sci.* 57, 373-386.
- Sauer, W., Ozimek, L., 1986. Digestibility of Amino Acids in Swine: Results and their Practical Applications. A Review. *Livest. Sci.* 15, 367-388.
- Seneviratne, H.D., Biliaderis, C.G., 1991. Action of α -amylase on amylose-lipid complex superstructures. *J. Cereal Sci.* 13, 129-143.
- Silva, M.R., Silva, M.A.A.P., 2000. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. *Rev. Nutr.* 13, 3-9.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L., 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 916-929.
- Singh, J., Dartois, A., Kaur, L., 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 168-180.
- Sjovall, O., Lapvetelainen, A., Johansson, A., Kallio, H., 1997. Analysis of Volatiles Formed during Oxidation of Extruded Oats. *J. Agric. Food Chem.* 45, 4452-4455.
- Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Buchanan, D.S., Southern, L.L., 1994a. Improved Soybean Protein Sources for Early-Weaned Pigs: I. Effects on Performance and Total Tract Amino Acid Digestibility. *J. Anim. Sci.* 72, 622-630.

- Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Southern, L.L., Buchanan, D.S., 1994b. Improved Soybean Protein Sources for Early-Weaned Pigs: II. Effects on Ileal Amino Acid Digestibility. *J. Anim. Sci.* 72, 630-637.
- Steel, C.J., Leoro, M.G.V., Schmiele, M., Ferreira, R.E., Chang, Y.K., 2012. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: El-Sonbati, A. (Ed.). *Thermoplastic Elastomers*. 1st ed. InTech, Rijeka, pp. 265-290.

- Stein, H.H., Berger, L.L., Drackley, J.K., Fahey, G.C., Hernot, D.C., Parsons, C.M., 2008. Nutritional properties and feeding values of soybeans and their co-products. In: Johnson, L.A., White, P.J., Galloway, R. (Eds.), *Soybeans, Chemistry, Productions, Processing, and Utilization*. AOCS Press, Urbana, pp. 613-660.
- Stein, H. H., Sève, B., Fuller, M.F., Moughan, P.J., de Lange, C.F.M., 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85, 172–180.
- Toledo, J.B., Furlan, A.C., Moreira, I., Piano, L.M., Carvalho, P.L.O., Oliveira, G.C., 2011. Avaliação nutricional de soja integral desativada e desempenho de leitões na fase de creche. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 63, 1191-1199.
- Vagadia, B.H., Vanga, S.K., Raghavan, V., 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor - A review. *Trends Food Sci. Technol.* 64, 115-125.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991. Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implication in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Veum, T.L., Serrano, X., Hsieh, F.H., 2017. Twin- or single-screw extrusion of raw soybeans and preconditioned soybean meal and corn as individual ingredients or as corn-soybean product blends in diets for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 95, 1288-1300.
- White, C.E., Campbell, D.R., McDowell, L.R., 2000. Effects of dry matter content on trypsin inhibitors and urease activity in heat treated soya beans fed to weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87, 105-115.
- Woodworth, J.C., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., O'Quinn, P.R., Knabe, D.A., Said, N.W., 2001. Apparent ileal digestibility of amino acids and the digestible and metabolizable energy content of dry extruded-expelled soybean meal and its effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 79, 1280–1287.
- Yen, J.T., Jensen, A.H., Simon, J., 1977. Effect of Dietary Raw Soybean and Soybean Trypsin Inhibitor on Trypsin and Chymotrypsin Activities in the Pancreas and in Small Intestinal Juice of Growing Swine. *J Nutr.* 170, 156-165.
- Ying, D.Y., Edin, L., Cheng, L., Sanguansri, L. Augustin, M.A., 2015. Enhanced oxidative stability of extruded product containing polyunsaturated oils. *J. Food Sci. Technol.* 62, 1105-1111.
- Zarkadas, L.N., Wiseman, J., 2005. Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets: II. Digestibility and intestinal morphology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 121-137.

- Zhang, F., Adeola, O., 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim. Nutr.* 3, 344-352.
- Žilić, S.M., Božović, I.N., Savić, S., Šobajić, S., 2006. Heat processing of soybean kernel and its effect on lysine availability and protein solubility. *Cent. Eur. J. Biol.* 1, 572-583.
- Žilić, S.M., Šobajić, S.S., Drinić, S.D.M., Kresović, B.J., Vasić, M.G., 2010. Effects of Heat Processing on Soya Bean Fatty Acids Content and the Lipoxygenase Activity. *J. Agric. Sci.* 55, 55-64.
- Žilić, S., Bozović, I., Šukalović, V.H.-T., 2012. Thermal Inactivation of Soybean Bioactive Proteins. *Int. J. Food Eng.* 8, 1-18.

Tabela 1. Condições de operação da extrusão dos ingredientes avaliados

Parâmetros	Ingredientes					
	GD82	GE122	GE137	FSE86	FSE120	FSE149
Condicionador						
Temperatura (°C)	61,3	67,5	62,7	62,0	65,0	73,5
Adição água condicionador (L/h)	16	10	8	16	10	8
Adição água canhão (L/h)	10	0	0	10	0	0
Água do vapor (estimada)	3,6	4,2	3,8	3,7	4,0	4,8
Velocidade das pás (Hz)	22	22	22	22	22	22
Umidade real (%)	38,5	28,3	27,2	37,9	24,8	25,4
Extrusora						
Alimentação (Hz)	10,4	14,9	15,3	9,8	15,9	15,1
Velocidade da rosca (RPM)	521	604	643	521	591	643
Velocidade da rosca (Hz)	1460	1690,5	1800	1458,5	1654	1800
Amperagem (A)	35,4	38,9	35,7	33,9	41,6	45,2
Produtividade estimada (kg/h)	123,9	172,0	177,0	118,2	183,7	174,8
Produtividade real (kg/h)	130,0	130,0	130,0	130,0	130,0	130,0
Temperatura do canhão extrusora (°C)						
(1)	40,7	74,3	117,0	39,8	48,3	69,5
(2)	40,0	71,7	132,5	39,2	46,3	77,2
(3)	40,0	74,2	142,5	42,2	50,3	112,2
(4)	64,7	91,7	144,2	69,7	100,0	141,2
(saída)	82,0	122,0	137,2	86,5	120,7	149,0
Velocidade corte faca (Hz)	9,7	21,1	26,9	15,8	11,9	26,9
Trafila e Matriz						
Diâmetro do anel de retenção (mm)	15	15	6	15	15	6
Trafila, n° de furos abertos	1	1	1	1	1	1
Diâmetro dos furos (mm)	10	10	4,5	10	10	4,5
Área aberta (mm ²)	78,5	78,5	15,9	78,5	78,5	15,9
Extrudado						
Umidade (%)	40,7	27,9	24,9	41,7	23,4	23,9
Área aberta (mm ² /ton/h)	604,2	604,2	121,9	604,2	604,2	122,9

GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C.

Tabela 2. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)

Item	Ingredientes			
	GSOJA	GDES	FSTOS	FSNT
Matéria seca, %	89,72	89,92	87,70	89,18
Matéria mineral, %	5,09	5,21	6,16	6,51
Energia bruta, kcal/kg	5473,37	5207,71	4209,16	4252,54
Proteína bruta, %	35,50	35,49	43,99	48,93
Extrato etéreo, %	21,84	21,97	2,47	1,30
Fibra em detergente neutro, %	11,81	13,00	11,01	6,93
Fibra em detergente ácido, %	7,37	7,33	6,94	3,30
Aminoácidos essenciais				
Arginina, %	2,67	2,72	3,33	3,65
Histidina, %	1,04	1,06	1,31	1,44
Isoleucina, %	1,56	1,68	2,04	2,23
Leucina, %	2,57	2,73	3,37	3,73
Lisina, %	2,44	2,56	3,22	3,51
Metionina, %	0,66	0,59	0,72	0,83
Fenilalanina, %	1,93	2,08	2,58	2,85
Treonina, %	1,31	1,43	1,73	1,96
Triptofano, %	0,26	0,39	0,48	0,56
Valina, %	1,41	1,53	1,83	1,97
Aminoácidos não essenciais				
Alanina, %	1,27	1,33	1,64	1,82
Asparagina, %	3,89	4,09	5,20	5,75
Cistina, %	0,47	0,52	0,65	0,76
Glicina, %	1,33	1,42	1,75	1,89
Glutamina, %	4,89	5,14	6,40	7,03
Prolina, %	1,66	1,76	2,15	2,34
Serina, %	1,72	1,80	2,27	2,49
Tirosina, %	1,41	1,51	1,82	2,05
Atividade de inibidor de tripsina, (mg/g de PB)	29,47	1,39	2,37	28,24
Atividade ureática	1,48	0,01	0,02	1,27
Proteína solúvel em KOH, %	98,56	92,52	84,05	99,29

GDES = Grão de soja desativado; GSOJA = Grão de soja *in natura*; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; FSTOS = Farelo de soja tostado; FSNT = Farelo de soja não tostado; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C.

Tabela 3. Composição da dieta do período de adaptação (matéria natural)

Item	Pré-Inicial I
Ingredientes, %	
Concentrado Pré-Inicial 1 ¹	40,000
Milho	39,417
Farelo de soja, 46%	18,666
Óleo de soja	1,667
Adsorvente de micotoxinas (Aflatoxina, Fumonisina, Zearalenona)	0,200
Suplemento mineral, vitamínico, aminoácido	0,050
Total, %	100,00
Composição calculada	
Energia metabolizável, kcal/kg	3488,92
Proteína bruta, %	19,87
Extrato etéreo, %	6,44
Fibra bruta, %	1,96
Cálcio, %	0,80
Fósforo disponível, %	0,40
Sódio, %	0,23
Lactose, %	12,00
Lisina digestível, %	1,36

¹Fornecendo por kg da dieta: lactose, 120 g; cálcio, 7,20 g; fósforo, 2,84 g; flúor, 28,4 mg; lisina, 8,4 g; metionina, 3 g; treonina, 5,60 g; triptofano, 1,64 g; valina, 4,80 g; cobre, 148 mg; ferro, 116 mg; iodo, 1,16 mg; manganês, 58 mg; zinco, 2,80 g; selênio, 0,54 mg; vitamina A, 10.800 UI; vitamina D3, 2.160 UI; vitamina E, 64,80 UI; vitamina K3, 4,80 mg; vitamina B1, 2,4 mg; vitamina B2, 6,40 mg; vitamina B3, 54 mg; vitamina B5, 26,80 mg; vitamina B6, 3,60 mg; vitamina B12, 40,4 mcg; ácido fólico, 0,53 mg; biotina, 0,21 mg; colina, 360 mg; sódio, 2,16 g; fitase, 520 U; xilanase, 1000 U; *Bacillus lincheniformis*, 3x10⁹ UFC; *Bacillus subtilis*, 3x10⁹ UFC; halquinol, 120 mg.

Tabela 4. Composição das dietas experimentais (matéria natural)

Ingredientes, g/kg	Dieta								
	DLN	GDES	GE82	GE122	GE137	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149
Amido de milho	674,30	464,51	7,89	7,89	7,89	464,51	7,89	7,89	7,89
Farelo de soja tostado	-	-	-	-	-	300,00	-	-	-
Grão de soja desativado	-	300,00	-	-	-	-	-	-	-
Mistura amido/Ingrediente teste	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amido	-	-	456,62	456,62	456,62	-	456,62	456,62	45,662
FSE86°C	-	-	-	-	-	-	300,00	-	-
FSE120°C	-	-	-	-	-	-	-	300,00	-
FSE149°C	-	-	-	-	-	-	-	-	300,00
GE82°C	-	-	300,000	-	-	-	-	-	-
GE122°C	-	-	-	300,00	-	-	-	-	-
GE137°C	-	-	-	-	300,00	-	-	-	-
Açúcar	200,00	137,78	137,78	137,78	137,78	137,78	137,78	137,78	137,78
Lignocelulose	40,00	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56
Óleo de soja	40,00	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56	27,56
Fosfato bicálcico	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50
Calcário calcítico	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Sal	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Carbonato de potássio, 98%	2,60	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloreto de colina, 60%	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Óxido de magnésio, 58%	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
Suplemento Mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento Vitaminico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dióxido de titânio	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

DLN = Dieta livre de nitrogênio (dieta referência); GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; FSTOS = Farelo de soja tostado; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

Tabela 5. Composição nutricional das dietas experimentais (matéria natural)

Item, %	Dieta								
	DLN	GDES	GE82	GE122	GE137	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149
Matéria seca	91,69	91,10	89,75	93,59	91,30	90,79	87,71	92,67	89,18
Matéria mineral	3,97	5,21	5,02	4,98	5,34	5,63	5,68	5,94	5,91
Energia bruta, kcal/kg	3734,22	4155,66	4141,76	4307,42	4173,51	3922,66	3827,95	3998,92	3888,14
Proteína bruta	-	9,86	10,36	10,95	10,10	11,27	14,52	15,56	14,50
Cálcio ¹	0,70	0,79	0,79	0,79	0,79	0,83	0,83	0,83	0,83
Fósforo disponível ¹	0,33	0,40	0,40	0,40	0,40	0,42	0,42	0,42	0,42
Fibra em detergente neutro	3,65	6,48	5,73	5,25	5,32	6,06	4,77	5,07	5,10
Fibra em detergente ácido	2,90	4,47	3,88	3,58	3,58	4,69	3,40	3,51	3,10
Extrato etéreo	4,47	9,39	7,83	6,72	6,02	3,78	3,77	3,54	3,42
Aminoácidos essenciais									
Arginina	-	0,76	0,81	0,86	0,82	0,99	1,02	1,21	1,13
Histidina	-	0,30	0,34	0,35	0,32	0,40	0,42	0,48	0,45
Isoleucina	-	0,57	0,58	0,60	0,57	0,71	0,70	0,83	0,81
Leucina	-	0,86	0,89	0,92	0,90	1,10	1,14	1,35	1,27
Lisina	-	0,66	0,77	0,79	0,72	0,94	1,02	1,14	1,02
Metionina	-	0,26	0,25	0,27	0,26	0,29	0,28	0,33	0,33
Fenilalanina	-	0,70	0,69	0,71	0,69	0,88	0,88	1,06	1,00
Treonina	-	0,43	0,44	0,44	0,43	0,55	0,59	0,70	0,65
Triptofano	-	0,12	0,08	0,13	0,14	0,12	0,17	0,17	0,17
Valina	-	0,48	0,50	0,50	0,49	0,62	0,64	0,73	0,71
Aminoácidos não essenciais									
Alanina	-	0,39	0,41	0,42	0,41	0,50	0,53	0,63	0,59
Asparagina	-	1,13	1,17	1,22	1,17	1,45	1,58	1,85	1,69
Cistina	-	0,21	0,16	0,16	0,14	0,20	0,21	0,26	0,21
Glutamina	-	1,52	1,56	1,63	1,58	1,99	2,07	2,45	2,29
Serina	-	0,53	0,56	0,57	0,55	0,69	0,73	0,86	0,80
Tirosina	-	0,45	0,47	0,47	0,46	0,58	0,57	0,69	0,66

DLN = Dieta livre de nitrogênio (dieta referência); GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; FSTOS = Farelo de soja tostado; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C.

¹Valores calculados

Tabela 6. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca, DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca), e parâmetros qualidade do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	GDES	GE82	GE122	GE137		
Digestibilidade total aparente						
Matéria seca	84,69 ^b	82,79 ^b	89,31 ^a	90,51 ^a	1,13	0,0001
Energia bruta	87,42 ^b	88,02 ^b	90,90 ^a	89,10 ^{ab}	0,72	0,0188
Proteína bruta	76,11 ^a	68,46 ^b	77,48 ^a	78,50 ^a	1,16	<0,0001
Fibra em detergente neutro	74,20	66,72	69,32	73,59	3,12	0,2831
Fibra em detergente ácido	62,34	61,64	64,39	66,82	4,13	0,7992
Extrato etéreo	71,18 ^b	80,01 ^a	82,75 ^a	78,02 ^{ab}	1,92	0,0008
Valores digestíveis						
Energia digestível, kcal/kg	5063,29 ^c	5370,20 ^b	5545,78 ^a	5435,92 ^{ab}	43,57	<0,0001
Proteína bruta	30,04 ^a	27,06 ^b	30,63 ^a	31,04 ^a	0,45	<0,0001
Fibra em detergente neutro	10,73 ^a	8,77 ^b	9,12 ^b	9,68 ^{ab}	0,41	0,0220
Fibra em detergente ácido	5,08	5,06	5,28	5,48	0,33	0,7825
Extrato etéreo	17,39 ^b	19,46 ^a	20,12 ^a	18,68 ^{ab}	0,45	0,0011
Parâmetros de qualidade						
Atividade de inibidor de tripsina, (mg/g)	1,39	4,92	2,24	1,48	-	-
Atividade ureática	0,01	0,20	0,04	0,02	-	-
Proteína solúvel em KOH, %	92,52	99,30	86,33	88,07	-	-

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 7. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	GDES	GE82	GE122	GE137		
Proteína bruta	68,59 ^a	53,31 ^b	69,69 ^a	71,46 ^a	2,02	0,0002
Aminoácidos essenciais						
Arginina	81,95 ^a	52,68 ^b	87,42 ^a	88,43 ^a	2,66	<0,0001
Histidina	67,19 ^a	41,81 ^b	70,84 ^a	71,09 ^a	2,62	<0,0001
Isoleucina	70,85 ^a	46,97 ^b	71,83 ^a	72,60 ^a	2,10	<0,0001
Leucina	70,29 ^a	44,58 ^b	71,44 ^a	73,36 ^a	2,26	<0,0001
Lisina	59,07 ^b	26,69 ^c	70,51 ^a	73,05 ^a	2,16	<0,0001
Metionina	78,09 ^a	47,51 ^b	73,77 ^a	75,19 ^a	1,65	<0,0001
Fenilalanina	69,26 ^a	53,67 ^b	74,11 ^a	76,21 ^a	2,16	<0,0001
Treonina	64,13 ^a	34,97 ^b	65,37 ^a	63,60 ^a	2,78	<0,0001
Triptofano	66,35 ^b	10,12 ^c	68,57 ^a	72,82 ^a	1,46	<0,0001
Valina	65,21 ^a	38,10 ^b	64,96 ^a	66,23 ^a	2,85	<0,0001
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	63,25 ^a	33,86 ^b	62,54 ^a	66,77 ^a	3,04	<0,0001
Asparagina	69,33 ^a	55,92 ^b	72,19 ^a	75,13 ^a	2,51	0,0011
Cistina	69,28 ^a	41,49 ^b	71,74 ^a	66,65 ^a	3,13	<0,0001
Glutamina	74,34 ^a	47,50 ^b	77,81 ^a	78,73 ^a	2,14	<0,0001
Serina	67,06 ^a	44,23 ^b	67,72 ^a	70,88 ^a	2,30	<0,0001
Tirosina	76,56 ^a	47,64 ^b	74,86 ^a	79,88 ^a	3,46	<0,0001

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 8. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	GDES	GE82	GE122	GE137		
Proteína bruta	27,07 ^a	21,07 ^b	27,55 ^a	28,25 ^a	0,79	0,0002
Aminoácidos essenciais						
Arginina	2,28 ^a	1,35 ^b	2,40 ^a	2,41 ^a	0,07	<0,0001
Histidina	0,81 ^a	0,46 ^b	0,83 ^a	0,81 ^a	0,04	<0,0001
Isoleucina	1,31 ^a	0,81 ^b	1,24 ^a	1,25 ^a	0,05	<0,0001
Leucina	2,09 ^a	1,35 ^b	2,04 ^a	2,12 ^a	0,06	<0,0001
Lisina	1,68 ^b	0,72 ^c	1,91 ^a	1,98 ^a	0,06	<0,0001
Metionina	0,54 ^a	0,38 ^b	0,57 ^a	0,58 ^a	0,01	<0,0001
Fenilalanina	1,60 ^a	1,15 ^b	1,59 ^a	1,63 ^a	0,04	<0,0001
Treonina	1,00 ^a	0,50 ^b	0,95 ^a	0,92 ^a	0,03	<0,0001
Triptofano	0,29 ^a	0,03 ^c	0,20 ^b	0,21 ^b	0,01	<0,0001
Valina	1,12 ^a	0,59 ^b	1,01 ^a	1,03 ^a	0,05	<0,0001
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	0,93 ^a	0,48 ^b	0,88 ^a	0,94 ^a	0,04	<0,0001
Asparagina	3,15 ^a	2,42 ^b	3,12 ^a	3,25 ^a	0,10	0,0022
Cistina	0,39 ^a	0,21 ^b	0,37 ^a	0,34 ^a	0,01	<0,0001
Glutamina	4,08 ^a	2,58 ^b	4,23 ^a	4,28 ^a	0,11	<0,0001
Serina	1,33 ^a	0,84 ^b	1,29 ^a	1,35 ^a	0,04	<0,0001
Tirosina	1,28 ^a	0,74 ^b	1,17 ^a	1,25 ^a	0,05	<0,0001

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 9. Digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	GDES	GE82	GE122	GE137		
Proteína bruta	83,39 ^{ab}	72,10 ^b	75,90 ^b	88,72 ^a	3,16	0,0028
Aminoácidos essenciais						
Arginina	84,11 ^a	53,16 ^b	88,77 ^a	89,07 ^a	2,87	<0,0001
Histidina	78,77 ^a	51,50 ^b	80,97 ^a	81,69 ^a	2,56	<0,0001
Isoleucina	79,74 ^a	58,17 ^b	81,69 ^a	83,44 ^a	2,02	<0,0001
Leucina	77,81 ^a	56,29 ^b	80,16 ^a	82,92 ^a	2,31	<0,0001
Lisina	70,24 ^b	35,66 ^c	79,67 ^a	82,82 ^a	2,17	<0,0001
Metionina	85,37 ^a	56,18 ^b	80,97 ^a	84,24 ^a	1,60	<0,0001
Fenilalanina	80,19 ^a	63,46 ^b	84,51 ^a	86,64 ^a	2,13	<0,0001
Treonina	75,63 ^a	46,22 ^b	77,21 ^a	73,41 ^a	2,81	<0,0001
Triptofano	78,66 ^a	26,92 ^b	83,25 ^a	84,27 ^a	2,17	<0,0001
Valina	77,62 ^a	55,23 ^b	78,62 ^a	81,50 ^a	2,90	<0,0001
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	78,22 ^a	49,56 ^b	76,89 ^a	81,74 ^a	3,26	<0,0001
Asparagina	77,29 ^a	63,27 ^b	79,62 ^a	82,65 ^a	2,48	0,0009
Cistina	78,16 ^a	48,19 ^b	82,14 ^a	77,75 ^a	2,66	<0,0001
Glutamina	77,11 ^a	53,36 ^b	83,41 ^a	84,35 ^a	2,17	<0,0001
Serina	82,79 ^a	58,90 ^b	82,59 ^a	85,86 ^a	2,31	<0,0001
Tirosina	80,28 ^a	53,28 ^b	79,46 ^a	84,71 ^a	2,81	<0,0001

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 10. Conteúdo digestível ileal standardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do grão de soja desativado e do grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	GDES	GE82	GE122	GE137		
Proteína bruta	32,91 ^{ab}	28,51 ^b	30,01 ^b	35,08 ^a	1,24	0,0028
Aminoácidos essenciais						
Arginina	2,79 ^a	1,88 ^b	2,89 ^a	2,93 ^a	0,08	<0,0001
Histidina	0,92 ^a	0,59 ^b	0,94 ^a	0,94 ^a	0,03	<0,0001
Isoleucina	1,48 ^a	1,00 ^b	1,41 ^a	1,44 ^a	0,03	<0,0001
Leucina	2,36 ^a	1,61 ^b	2,29 ^a	2,37 ^a	0,06	<0,0001
Lisina	1,99 ^b	0,97 ^c	2,16 ^{ab}	2,25 ^a	0,06	<0,0001
Metionina	0,58 ^b	0,43 ^c	0,62 ^a	0,63 ^a	0,01	<0,0001
Fenilalanina	1,86 ^a	1,36 ^b	1,81 ^a	1,86 ^a	0,04	<0,0001
Treonina	1,30 ^a	0,77 ^b	1,22 ^a	1,20 ^a	0,04	<0,0001
Triptofano	0,34 ^a	0,10 ^c	0,24 ^b	0,24 ^b	0,01	<0,0001
Valina	1,32 ^a	0,86 ^b	1,23 ^a	1,27 ^a	0,04	<0,0001
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	1,15 ^a	0,70 ^b	1,09 ^a	1,15 ^a	0,04	<0,0001
Asparagina	3,51 ^a	2,74 ^b	3,45 ^a	3,58 ^a	0,10	0,0010
Cistina	0,44 ^a	0,25 ^b	0,42 ^a	0,40 ^a	0,01	<0,0001
Glutamina	4,41 ^a	2,90 ^b	4,54 ^a	4,59 ^a	0,11	<0,0001
Serina	1,65 ^a	1,12 ^b	1,58 ^a	1,64 ^a	0,04	<0,0001
Tirosina	1,35 ^a	0,83 ^b	1,24 ^a	1,32 ^a	0,04	<0,0001

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 11. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca, DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca), e parâmetros de qualidade do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149		
Digestibilidade total aparente						
Matéria seca	89,99 ^a	78,71 ^b	87,31 ^a	86,07 ^a	1,21	<0,0001
Energia bruta	90,63 ^a	87,10 ^b	89,65 ^a	89,73 ^a	0,45	0,0001
Proteína bruta	82,19 ^a	71,24 ^b	81,56 ^a	84,48 ^a	1,16	<0,0001
Fibra em detergente neutro	63,34	61,22	63,24	52,66	3,13	0,1230
Fibra em detergente ácido	60,46 ^a	55,38 ^a	53,18 ^a	35,37 ^b	3,39	0,0008
Extrato etéreo	81,16 ^a	68,11 ^b	69,19 ^b	57,95 ^c	2,16	<0,0001
Valores digestíveis						
Energia digestível, kcal/kg	4349,87 ^a	4153,77 ^b	4275,38 ^a	4278,91 ^a	21,78	<0,0001
Proteína bruta	41,23 ^b	39,08 ^b	44,74 ^a	46,34 ^a	0,61	<0,0001
Fibra em detergente neutro	7,95 ^a	4,76 ^b	4,91 ^b	4,09 ^b	0,29	<0,0001
Fibra em detergente ácido	4,78 ^a	2,05 ^b	1,96 ^b	1,30 ^c	0,17	<0,0001
Extrato etéreo	2,28 ^a	0,99 ^b	1,00 ^b	0,85 ^c	0,03	<0,0001
Parâmetros de qualidade						
Atividade de inibidor de tripsina, (mg/g)	2,37	3,51	1,37	1,12	-	-
Atividade ureática	0,02	0,10	0,03	0,03	-	-
Proteína solúvel em KOH, %	84,05	94,85	88,59	86,47	-	-

FSTOS = Farelo de soja tostado; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 12. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149		
Proteína bruta	72,45 ^a	54,79 ^b	68,95 ^a	70,68 ^a	2,58	0,0014
Aminoácidos essenciais						
Arginina	86,50 ^a	72,01 ^b	81,77 ^a	87,78 ^a	1,79	0,0003
Histidina	83,79 ^a	61,07 ^c	74,47 ^b	80,16 ^{ab}	2,50	0,0001
Isoleucina	83,82 ^a	61,06 ^b	77,18 ^a	82,97 ^a	2,10	<0,0001
Leucina	83,86 ^a	61,53 ^b	77,11 ^a	82,49 ^a	2,03	<0,0001
Lisina	83,67 ^a	63,85 ^b	79,43 ^a	82,71 ^a	2,58	0,0014
Metionina	85,31 ^a	63,42 ^c	75,09 ^b	80,68 ^{ab}	2,82	0,0003
Fenilalanina	83,61 ^a	62,44 ^b	80,42 ^a	83,66 ^a	1,83	<0,0001
Treonina	74,68 ^a	47,74 ^b	71,42 ^a	73,08 ^a	2,42	<0,0001
Triptofano	79,99 ^a	52,62 ^c	62,15 ^{bc}	72,97 ^{ab}	3,43	0,0002
Valina	78,39 ^a	57,59 ^b	71,89 ^a	78,71 ^a	2,50	0,0003
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	76,67 ^{ab}	57,37 ^c	70,25 ^b	80,53 ^a	2,37	0,0001
Asparagina	82,62 ^a	63,40 ^b	82,62 ^a	81,71 ^a	2,74	0,0006
Cistina	77,15 ^a	62,87 ^b	72,72 ^a	80,28 ^a	2,91	0,0069
Glutamina	85,86 ^a	67,52 ^b	79,02 ^a	82,96 ^a	2,52	0,0012
Serina	75,31 ^a	54,65 ^b	71,28 ^a	75,80 ^a	2,76	0,0011
Tirosina	81,86 ^a	61,52 ^b	80,16 ^a	81,82 ^a	2,22	0,0002

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C;

FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 13. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149		
Proteína bruta	36,34 ^a	30,06 ^b	37,82 ^a	38,77 ^a	1,40	0,0045
Aminoácidos essenciais						
Arginina	3,28 ^b	2,94 ^c	3,34 ^{ab}	3,59 ^a	0,07	0,0006
Histidina	1,25 ^a	0,98 ^b	1,20 ^a	1,29 ^a	0,03	0,0007
Isoleucina	1,95 ^a	1,52 ^b	1,92 ^a	2,07 ^a	0,05	<0,0001
Leucina	3,21 ^a	2,54 ^b	3,21 ^a	3,44 ^a	0,08	0,0001
Lisina	3,07 ^a	2,51 ^b	3,12 ^a	3,25 ^a	0,09	0,0034
Metionina	0,70 ^a	0,59 ^b	0,70 ^a	0,75 ^a	0,02	0,0042
Fenilalanina	2,45 ^b	1,98 ^c	2,56 ^{ab}	2,67 ^a	0,05	<0,0001
Treonina	1,47 ^a	1,05 ^b	1,57 ^a	1,60 ^a	0,05	<0,0001
Triptofano	0,43 ^a	0,33 ^b	0,39 ^{ab}	0,46 ^a	0,01	0,0035
Valina	1,63 ^a	1,27 ^b	1,58 ^a	1,73 ^a	0,04	0,0008
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	1,47 ^b	1,17 ^c	1,43 ^b	1,64 ^a	0,04	0,0003
Asparagina	4,90 ^a	4,08 ^b	5,32 ^a	5,26 ^a	0,17	0,0010
Cistina	0,57 ^b	0,53 ^b	0,62 ^{ab}	0,68 ^a	0,02	0,0070
Glutamina	6,26 ^a	5,32 ^b	6,23 ^a	6,54 ^a	0,19	0,0065
Serina	1,94 ^a	1,53 ^b	1,99 ^a	2,12 ^a	0,07	0,0017
Tirosina	1,69 ^b	1,41 ^c	1,84 ^{ab}	1,87 ^a	0,04	0,0002

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 14. Digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149		
Proteína bruta	88,32 ^a	66,53 ^c	75,66 ^{bc}	85,59 ^{ab}	3,27	0,0004
Aminoácidos essenciais						
Arginina	93,21 ^a	79,32 ^b	85,71 ^b	93,36 ^a	2,22	0,0022
Histidina	88,63 ^a	68,44 ^b	81,45 ^a	87,46 ^a	2,40	0,0001
Isoleucina	88,66 ^a	68,23 ^b	83,81 ^a	89,68 ^a	2,05	<0,0001
Leucina	88,41 ^a	65,59 ^b	83,10 ^a	88,51 ^a	2,03	<0,0001
Lisina	89,34 ^a	70,64 ^b	85,59 ^a	89,13 ^a	2,66	0,0027
Metionina	90,48 ^a	67,33 ^b	80,82 ^a	86,05 ^a	2,75	<0,0001
Fenilalanina	89,71 ^a	70,00 ^b	87,09 ^a	90,59 ^a	1,90	<0,0001
Treonina	84,29 ^a	60,85 ^b	82,90 ^a	84,90 ^a	2,45	<0,0001
Tryptofano	89,88 ^a	63,71 ^c	73,46 ^b	81,57 ^{ab}	2,39	<0,0001
Valina	86,76 ^a	67,50 ^b	81,34 ^a	87,94 ^a	2,58	0,0009
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	87,29 ^{ab}	63,51 ^c	80,39 ^b	90,86 ^a	2,76	<0,0001
Asparagina	86,48 ^a	68,71 ^b	85,14 ^a	86,77 ^a	2,60	0,0008
Cistina	84,64 ^a	68,02 ^b	78,19 ^a	84,71 ^a	2,63	0,0013
Glutamina	88,20 ^a	71,79 ^b	82,85 ^a	86,77 ^a	2,50	0,0021
Serina	85,28 ^a	65,76 ^b	81,20 ^a	86,10 ^a	2,61	0,0010
Tirosina	88,79 ^a	69,85 ^b	87,65 ^a	89,59 ^a	2,12	0,0001

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C;

FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 15. Conteúdo digestível ileal estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM	P
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149		
Proteína bruta	44,30 ^a	36,50 ^b	41,51 ^{ab}	46,95 ^a	1,68	0,0068
Aminoácidos essenciais						
Arginina	3,54 ^{ab}	3,24 ^b	3,50 ^{ab}	3,82 ^a	0,09	0,0094
Histidina	1,32 ^a	1,10 ^b	1,31 ^a	1,41 ^a	0,03	0,0007
Isoleucina	2,06 ^b	1,70 ^c	2,09 ^{ab}	2,24 ^a	0,05	<0,0001
Leucina	3,40 ^a	2,74 ^b	3,47 ^a	3,70 ^a	0,08	<0,0001
Lisina	3,27 ^a	2,78 ^b	3,37 ^a	3,51 ^a	0,10	0,0047
Metionina	0,74 ^a	0,62 ^b	0,75 ^a	0,80 ^a	0,02	0,0007
Fenilalanina	2,63 ^b	2,23 ^c	2,78 ^{ab}	2,89 ^a	0,05	<0,0001
Treonina	1,65 ^b	1,33 ^c	1,82 ^{ab}	1,86 ^a	0,04	<0,0001
Triptofano	0,49 ^a	0,40 ^b	0,46 ^a	0,51 ^a	0,01	0,0003
Valina	1,81 ^a	1,49 ^b	1,79 ^a	1,94 ^a	0,06	0,0018
Aminoácidos não essenciais						
Alanina	1,63 ^b	1,30 ^c	1,64 ^b	1,86 ^a	0,05	<0,0001
Asparagina	5,13 ^a	4,43 ^b	5,48 ^a	5,59 ^a	0,16	0,0012
Cistina	0,62 ^b	0,57 ^c	0,66 ^{ab}	0,72 ^a	0,02	0,0065
Glutamina	6,43 ^{ab}	5,66 ^b	6,53 ^a	6,84 ^a	0,18	0,0096
Serina	2,20 ^a	1,84 ^b	2,27 ^a	2,40 ^a	0,07	0,0014
Tirosina	1,83 ^b	1,60 ^c	2,01 ^a	2,05 ^a	0,04	<0,0001

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

4. EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DO FARELO DE SOJA TOSTADO POR FARELO DE SOJA NÃO TOSTADO EXTRUDADO ASSOCIADO A REDUÇÕES NOS TEORES DE PLASMA SANGUÍNEO SECO EM DIETAS PARA LEITÕES RECÉM-DESMAMADOS

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram avaliar os farelos de soja tostados e extrudados e diferentes concentrações de plasma sanguíneo em dietas para leitões recém-desmamados sobre o desempenho zootécnico, resposta imune e os indicadores de saúde intestinal de leitões, e viabilidade econômica desta substituição. Foram utilizados 192 leitões com 25 dias de idade ($6,48 \pm 0,82$ kg), distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados, em esquema fatorial 2×3 (farelos de soja tostado ou extrudado e teores de plasma sanguíneo), com 6 tratamentos, 8 repetições por tratamento, e 4 animais por unidade experimental (baia). Os animais foram alimentados do dia 1 ao dia 28 do período experimental com uma de seis dietas compostas por milho, concentrado proteico de soja, farelo de trigo, óleo de soja, minerais, vitaminas e aminoácidos industriais, que diferiram quanto às inclusões de plasma sanguíneo seco (0, 2,5 e 5,0% de 1 a 14 dias e 0, 1,25 e 2,5% dos 15 aos 28 dias) e ao tipo de farelo de soja utilizado, tostado ou não tostado extrudado ($119,8^{\circ}\text{C}$). Do dia 29 ao dia 42, o plasma sanguíneo seco foi removido das dietas e os leitões foram alimentados com uma de duas dietas, que contiveram como principal fonte proteica o farelo de soja tostado ou o não tostado e extrudado. Foram avaliados o desempenho zootécnico, a ocorrência de diarreia, a digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta, hemograma completo, a histologia do epitélio intestinal, a integridade da barreira epitelial intestinal, imunoglobulina A na mucosa intestinal e a viabilidade econômica. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey quando $P < 0,05$. No período total de experimentação, a substituição do farelo de soja tostado pelo farelo de soja não tostado extrudado não influenciou ($P > 0,05$) os parâmetros de desempenho, sanguíneos e de saúde intestinal, no entanto foi economicamente inviável, uma vez que o consumo das dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado resultou nos maiores custos médios em ração por quilograma de peso vivo ganho. Em relação a substituição gradativa do plasma sanguíneo da dieta pelo farelo de soja, tostado ou não tostado extrudado, o consumo das dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja, dietas FSTP100 e FSEP100, resultou em um melhor ($P < 0,05$) desempenho nas primeiras duas semanas de experimento, no entanto, não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) de desempenho entre estas combinações no período total de experimentação. Também para estas dietas foram observadas maiores ($P < 0,05$) alturas de vilosidade do duodeno em comparação as dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0). O consumo de farelo de soja tostado pelos leitões resultou nas maiores ($P < 0,05$) concentrações de IgA no jejuno comparado ao farelo de soja não tostado extrudado. A redução dos teores de plasma nas dietas, e consequentemente o aumento do farelo de soja, independentemente da fonte, foi

acompanhada por uma redução nos custos médios de ração por quilograma de peso vivo ganho do período total de experimentação sem afetar os parâmetros de desempenho, sanguíneos e de saúde intestinal dos leitões.

Palavras-chaves: Extrusão; Desempenho; Digestibilidade; Suínos

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effects of gradual replacement of spray-dried plasma by toasted or extruded soybean meal on weanling pigs' growth performance, nutrient and energy digestibility, diarrhea occurrence, blood parameters, organ weights, the immune response and gut health parameters of piglets fed these ingredients and economic viability of this substitution. One hundred and ninety-two 25d piglets (6.48 ± 0.82 kg BW), were used in a randomized complete block design experiment, arranged in a 2×3 factorial design, with 6 treatments, 8 replications per treatment, and 4 animals per experimental unit (pen). Pigs were fed from 1 to 28 d feeding period with one of six diets consisting of corn, soybean meal or extruded untoasted soybean meal, spray-dried blood plasma (starting from 5.0% from 1 to 14 d, and starting from 2.5% from 15 to 28 d), soy protein concentrate, wheat bran, soybean oil, minerals, vitamins and industrial amino acids. In these diets Spray-Dried plasma was replaced by increasing levels of soybean meal or untoasted soybean meal extruded at 119.8°C , in replacements of 50.0% or 100.0%. From 29 to 42 d spray-dried plasma was removed from diets and pigs were fed by a common diet with soybean meal or extruded untoasted soybean meal according to previous feeding periods. Weanling pigs' growth performance, nutrient and energy digestibility, diarrhea occurrence, blood parameters, organ weights, histology of gut epithelium, gut epithelial barrier integrity, immunoglobulin A in gut mucosa and economic viability were evaluated. Data was submitted to ANOVA and means were separated using Tukey test (5%). Soybean meal replacement by extruded untoasted soybean meal had no ($P < 0.05$) effects on pigs' growth performance, blood count and intestinal health from 1 to 21 d of experimental period, however it was economically unviable due to higher ($P < 0.05$) cost per kilogram weight, resulting from extruded untoasted soybean meal consumption. Regarding the spray-dried plasma replacement with toasted or extruded untoasted soybean meal, higher spray-dried plasma and lower soybean meal levels, FSTP100 and FSEP100 diets, showed higher ($P < 0.05$) growth performance at two first week experimental period. On the other hand, no effects ($P < 0.05$) were observed on subsequent periods. Pigs fed FSTP100 and FSEP100 had higher ($P < 0.05$) duodenum villus height compared to lower spray-dried plasma and higher soybean meal levels diets (FSTP0 e FSEP0). Toasted soybean meal consumption resulted in higher ($P < 0.05$) IgA concentrations in the jejunum compared to extruded untoasted soybean meal consumption. Spray-dried plasma reduction and increased soybean meal levels, regardless of soybean meal source, was accompanied by a reduction in cost per kilogram weight for the entire experimental period, without affecting pigs' growth performance, blood count and pigs' intestinal health.

Keywords: Extrusion; Performance; Digestibility; Pigs

4.1. Introdução

A elaboração de dietas para leitões no período pós-desmame exige atenção por parte dos nutricionistas, devido ao desafio fisiológico que o desmame representa para os animais. Os nutrientes ingeridos a partir de dietas formuladas com proteínas e carboidratos de origem vegetal não são bem aproveitadas pelos animais em função da imaturidade do trato digestório neste período, principalmente a insuficiente produção de ácido clorídrico e enzimas digestivas adaptadas a estes substratos. Estas situações acarretam redução na digestão e absorção dos nutrientes, o que pode limitar o desempenho dos leitões nos períodos subsequentes (Pluske et al., 1997; Campbell et al., 2013). Desta forma, a dieta fornecida aos leitões imediatamente após o desmame desempenha papel crucial para atenuar e contornar o impacto do desmame sobre a fisiologia gastrointestinal, e conseqüentemente garantir a máxima eficiência do aproveitamento dos nutrientes e o desempenho animal.

O farelo de soja tostado é a principal fonte de proteínas e aminoácidos utilizada na alimentação de suínos, contudo sua inclusão na dieta de leitões após o desmame é limitada devido à presença de alguns fatores antinutricionais e de proteínas alergênicas que podem desencadear reações de hipersensibilidade que podem levar a redução no desempenho e a distúrbios no trato gastrointestinal (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Zhao et al., 2008; Song et al., 2010).

A associação de fontes proteicas de origem vegetal e animal, como a do farelo de soja tostado com o plasma sanguíneo seco, é uma estratégia para superar os desafios advindos da inclusão de derivados da soja na alimentação de leitões (Gaines et al., 2003; Wolter et al., 2003). As altas palatabilidade e digestibilidade dos aminoácidos do plasma sanguíneo seco, associado ao seu conteúdo em imunoglobulinas que pode atuar como um agente imunomodulador, influenciam a regulação dos processos inflamatórios no organismo, pontos que auxiliam na manutenção da estrutura, função e saúde intestinal (Pierce et al., 2005), e melhora o desempenho dos leitões no pós-desmame (Kats et al., 1994; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Wolter et al., 2003; Torrallardona e Polo, 2016).

Apesar das vantagens da suplementação do plasma sanguíneo seco em dietas para leitões recém-desmamados, o alto custo do ingrediente limita a sua utilização (Kummer et al., 2009; Jeong et al., 2016), uma vez sua inclusão pode representar em torno de 35,0% dos custos

das dietas deste período. Frente a isto, é importante a busca por fontes alternativas de menor custo e também livres de fatores antinutricionais e alergênicos, com vistas a garantir a maximização do aproveitamento nutricional e do desempenho animal. Desta forma, considerando o alto custo do plasma sanguíneo e as limitações no uso de farelo de soja para leitões, uma possível alternativa é o processamento do farelo de soja por meio da extrusão, que pode otimizar a inclusão deste ingrediente na dieta de leitões recém-desmamados, reduzindo os efeitos de seus fatores antinutricionais e alergênicos (Friesen et al., 1993; Kim et al., 2000; Qiao et al., 2003). Durante a extrusão o alimento é submetido a aquecimento em alta temperatura, sob alta pressão por um período curto de tempo (Steel et al., 2012), o que faz com que a estrutura de componentes tais como as proteínas (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Maurya e Said, 2014), amido (Cheftel, 1986; Brown, 1996; Lin et al., 1997; Liu et al., 2014), lipídios (Adams e Jensen, 1985; Qin et al., 1996), e a fibra insolúvel (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al., 2007) dos alimentos sejam transformados.

Os estudos que avaliam a extrusão do farelo de soja na dieta de leitões após o desmame se concentram na avaliação da inclusão deste ingrediente como complemento ao plasma sanguíneo seco e não a sua substituição total (Qiao et al., 2003; Veum et al., 2017), o que retorna na questão limitante dos altos custos destas dietas. Desta forma, estudos são necessários para verificar o potencial aumento da inclusão do farelo de soja, tostado ou extrudado, em substituição ao plasma sanguíneo na dieta de leitões recém-desmamados.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da substituição gradativa do plasma sanguíneo da dieta pelos farelos de soja tostado ou extrudado sobre o desempenho zootécnico, a digestibilidade dos nutrientes e da energia da dieta, a ocorrência de diarreia, os parâmetros sanguíneos, o peso de órgãos, a histologia do epitélio intestinal, e ainda a viabilidade econômica desta substituição.

4.2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na creche experimental do Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), localizada no município de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) desta mesma instituição (Protocolo n°2019-02). A extrusão do farelo de soja não tostado foi realizada na fábrica de ração do Departamento de Zootecnia da Faculdade

de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal.

4.2.1. Ingredientes avaliados e processamento de extrusão

Neste estudo foram utilizados farelos de soja tostado e não tostado oriundos de fornecedores comerciais.

O farelo de soja não tostado, também denominado farelo de soja branco ou *Soy White Flakes*, é obtido após extração do óleo do grão de soja, pelo emprego do solvente hexano. Logo após a remoção do óleo tem-se uma massa proteica, chamada torta, com cerca de 20 a 30% de hexano, que passa por um processo de pré-dessolventização rápida realizada em um tubo “*flash desolventizing*” com evaporação de 90% do solvente líquido da massa inicial. Na sequência, ocorre a remoção final do solvente em um equipamento “*stripper*” a vácuo, onde a injeção de vapor d’água superaquecido remove o hexano residual da massa. Apesar da alta temperatura do vapor de hexano utilizada no equipamento *flash*, a baixa umidade da massa do farelo neste equipamento e o curto tempo de residência limitam a desnaturação das proteínas deste farelo, e a inativação térmica dos fatores antinutricionais presentes na soja não é completa (Hettiarachchy e Kalapathy, 1997; Cereto, 2004; Riaz, 2011).

O farelo de soja não tostado foi extrudado em extrusora de rosca simples (MEX 250, Manzoni, Campinas, Brasil), com capacidade de produção de 250 kg/h. A rosca extrusora empregada possuía 80 mm de diâmetro, com cinco seções: inicial – passo simples sem anel de retenção; segunda – passo simples com anel de retenção pequeno; terceira – passo duplo não cortada com anel de retenção pequeno; quarta – passo duplo não cortada com anel de retenção médio; quinta – cônica, de passo duplo e não cortada. Foi empregada matriz com um furo redondo de 10 milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 78,5 mm². A velocidade de rotação da rosca foi mantida em 643 rpm. Os parâmetros de operação do condicionador consistiram nas adições de água em aproximadamente 10 L/h, e de vapor direto de modo que a temperatura da massa à saída do condicionador ficasse próxima a 89,6°C e umidade de 34,4%. A temperatura da massa na saída do canhão da extrusora foi de 119,8°C. O produto extrudado foi seco a 120°C por 40 minutos, até aproximadamente 90% de umidade e remoído em moinho martelo (MSB SN507, Lucato, Limeira, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 3 milímetros de diâmetro para ser incluído nas dietas experimentais. Mais informações sobre o processo de extrusão do farelo de soja não tostado estão descritas na Tabela

16 e os valores analisados do perfil nutricional dos ingredientes avaliados estão descritos na Tabela 17.

Nos ingredientes determinaram-se as concentrações dos inibidores de tripsina por espectrofotometria-UV [método Ba 12-75 (AOCS, 2009)], o índice de atividade ureática [método Ba 9-58 (AOCS, 2009)], e o índice de solubilidade proteica em Hidróxido de Potássio (KOH) a 0,2% [método 55 (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2013)].

4.2.2. Unidade de creche experimental

A sala de creche utilizada para condução do experimento é construída em alvenaria e possui 102,50 m² de área construída com pé direito de 2,85 m, com piso em concreto e cobertura de telhas de barro. As paredes possuem aberturas laterais para renovação do ar na instalação. A sala é provida de 48 baias metálicas suspensas, dispostas em cinco fileiras contendo cinco baias cada. Cada baia apresenta área útil de 1,80 m² (1,20 x 1,50 m), com piso parcialmente ripado, bebedouro do tipo chupeta e comedouro semiautomático para ração seca, com espaço para alimentação simultânea de até 5 leitões. O controle de temperatura foi realizado por um sistema manual de abertura e fechamento de cortinas e por um sistema de aquecimento composto por lâmpadas infravermelhas de 250 W, sendo a temperatura da sala registrada por meio de termômetros de temperatura máxima e mínima.

4.2.3. Animais e delineamento experimental

Foram utilizados 192 leitões mestiços, de linhagem genética comercial, desmamados aos 21 dias, com $5,77 \pm 0,67$ kg de peso vivo, sendo 50% machos castrados e 50% fêmeas. Os animais eram provenientes de uma granja comercial de suínos em sistema de ciclo completo localizada no município de Mogi Mirim, estado de São Paulo. Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados em esquema fatorial 2×3 , sendo 2 tipos de farelos de soja (tostado ou extrudado) e 3 combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, totalizando seis tratamentos, com oito repetições por tratamento, e quatro animais por unidade experimental (baia). Cada unidade experimental foi composta por dois machos castrados e duas fêmeas. Os blocos foram formados de acordo com o peso inicial dos animais.

Os animais passaram por período de adaptação de três dias (dias 1 a 3) logo após sua chegada, para que se restabelecessem do estresse induzido pelo desmame e pelo transporte até ao Setor de Suinocultura. Neste período os leitões foram alimentados *ad libitum* com a dieta que eles vinham consumindo na granja de origem (Tabela 18), realizando-se a adaptação gradativa dos leitões as dietas experimentais, com a substituição da dieta da granja de origem pela respectiva dieta experimental alocada no delineamento em um esquema de 100%:0%; 50%:50% e 0%:100% com consumo *ad libitum*.

No dia 4 os leitões foram novamente pesados ($6,48 \pm 0,82$ kg de peso vivo) e o experimento efetivamente teve início, respeitando-se os blocos e as dietas previamente alocadas.

4.2.4. Dietas experimentais

As dietas foram isonutritivas e formuladas com redução de 1,25% na quantidade de lisina digestível estandardizada por unidade de energia líquida, em relação as recomendações nutricionais para leitões nas fases pré-inicial e inicial (NRC, 2012) (Tabelas 19, 20 e 21), visando-se permitir a observação de possíveis efeitos positivos da extrusão sobre o valor nutricional do farelo de soja. Foi utilizado um programa nutricional de três fases: pré-inicial I (1 a 14 dias de experimento), pré-inicial II (15 a 28 dias de experimento) e inicial (29 a 42 dias de experimento), sendo ração e água fornecidas à vontade durante todo o período experimental. Todas as dietas foram compostas por milho, concentrado proteico de soja, farelo de trigo, óleo de soja, minerais, vitaminas, e aminoácidos industriais, diferindo quanto ao tipo de farelo de soja empregado (tostado - FST ou extrudado - FSE) e aos teores de plasma (P) sanguíneo seco (máximo – 100%, intermediário – 50%, e ausente – 0%), constituindo os tratamentos FSTP100, FSTP50, FSTP0, FSEP100, FSEP50 e FSEP0. Os teores dietéticos máximos de plasma foram 5 e 2,5% e os intermediários 2,5 e 1,25% nas fases pré-inicial I e II, respectivamente. Nas dietas da fase inicial não foi incluído plasma sanguíneo e os animais passaram a ser alimentados com uma de duas dietas, contendo farelos de soja tostado ou não tostado extrudado, respeitando-se os tratamentos previamente alocados aos animais.

4.2.5. Desempenho

Os animais, as rações fornecidas e as porções não consumidas (sobras nos comedouros ou desperdiçadas para fora dos comedouros) foram pesados no 1º, 14º, 21º, 28º, 35º e 42º dias do período experimental para determinações do ganho diário de peso (GDP), do consumo diário de ração (CDR) e para o cálculo da conversão alimentar (CA – CDR/GDP), expressos por fase do programa nutricional e no período total.

4.2.6. Frequência da ocorrência de diarreia

A presença de diarreia (fezes líquidas) ou sua ausência (fezes normais) foi avaliada por meio de observação visual de sinais de diarreia em cada animal. Diariamente, quantificou-se o número de animais com presença e ausência de diarreia em cada baia. Para cada baia, fez-se a média do número de observações indicando a presença de diarreia em relação ao número de animais na baia. A partir deste número, calculou-se a percentagem de dias com diarreia no período experimental de acordo com Milani et al. (2017):

$$DO (\%) = \{[(P1 \times D) + (P2 \times D) + (Pn \times D)] / n / TD\} \times 100,$$

Em que: DO (%) é a percentagem média de dias que os leitões apresentaram diarreia em cada baia; P(1, 2...n) representa cada leitão dentro da baia (n), D é o número de dias em que cada leitão apresentou diarreia dentro da baia, TD é o número de dias de cada fase do programa nutricional utilizado.

4.2.7. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta

Foi utilizado o método de coleta parcial de fezes (Adeola, 2001), utilizando-se cinza insolúvel em ácido (Celite®281) como indicador nas dietas, durante toda a fase pré-inicial II (Tabela 20). Após o início do oferecimento das rações com indicador, foi fornecido um período de sete dias para manutenção do fluxo do indicador pelo trato digestório e, após, realizou-se a coleta de fezes por quatro dias. As coletas de fezes foram realizadas duas vezes ao dia (manhã e tarde) diretamente dos pisos das baias e as amostras foram congeladas.

Ao final do período experimental, as amostras de fezes de cada baia foram descongeladas em temperatura ambiente e homogeneizadas separadamente, secas a 55°C por

72 h (MA035, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil). As amostras de fezes secas, ingredientes e das dietas foram moídas em um moinho de faca (MA680, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 1 milímetro de diâmetro e, sequencialmente, submetidos às determinações de matéria seca (MS) [método 934.01 (AOAC, 2006)]; matéria mineral (MM) após queima em forno mufla por 3 horas a 550°C; energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática (C200, Ika®, Guangzhou, China); nitrogênio, pelo método de combustão [método 990.03 (AOAC, 2006)], para estimação do conteúdo de proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE) [método 2003.06 (AOAC, 2006)]; extrato etéreo com hidrólise ácida [método 954.02 (AOAC, 2006)] nos ingredientes extrudados; fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Van Soest et al., 1991); e cinzas insolúveis em ácido (CIA) (Van Keulen e Young, 1977).

Os cálculos das digestibilidades totais aparentes (DTA) da MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA das dietas foram realizados pelo método do indicador, de acordo com Kong e Adeola (2014):

$$DTA (\%) = 100 - [100 \times ((CI_{dieta} \times CC_{excreta}) / (CI_{excreta} \times CC_{dieta}))]$$

Em que: CI_{dieta} é a concentração do indicador na dieta (%), $CC_{excreta}$ é a concentração do componente (MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA) nas fezes (%), $CI_{excreta}$ é a concentração do indicador nas fezes (%), e CC_{dieta} é a concentração do componente na dieta (MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA) (%).

4.2.8. Hemograma

Para a realização das análises sanguíneas foi selecionado o macho castrado com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais da baia, nos dias 7 e 21 do experimento. A coleta de sangue foi realizada por punção na veia cava anterior. O animal selecionado foi disposto em posição de decúbito dorsal sobre um suporte para coleta e teve a região de coleta limpa e desinfetada com algodão embebido em álcool 70%. A coleta foi realizada a vácuo utilizando agulha múltipla 25 X 0,8MM em frasco de tampa roxa contendo o anticoagulante K3EDTA (VACUETTE®, Greiner Bio-One, Americana, SP, Brasil).

O hemograma foi realizado pelo método automático (Cell dyn 3500, ABBOTT, Chicago, IL, Estados Unidos da América) e constou da avaliação de parâmetros da série

vermelha (eritrócitos), da série branca (leucócitos) e da série plaquetária (plaquetas). A análise da série vermelha foi constituída pelas seguintes determinações: contagem de eritrócitos, dosagem de hemoglobina, hematócrito, volume corpuscular médio (V.c.m.), concentração da hemoglobina corpuscular média (C.h.c.m.), metarrubríctos e proteína total. A série branca foi analisada para os seguintes índices: contagem total de leucócitos e contagem diferencial de leucócitos (eosinófilos, basófilos, heterófilos, linfócitos típicos, células atípicas, mielócitos, metamielócitos, monócitos, neutrófilos bastonetes e segmentados). A série plaquetária correspondeu à contagem de plaquetas.

4.2.9. Morfometria e peso de órgãos

No 7º dia do experimento, os animais utilizados para a coleta das amostras de sangue, foram insensibilizados por eletronarcolese (0,5 A e 110 V de tensão) e abatidos. No momento do abate foram pesados o baço, estômago, fígado, intestino delgado e pâncreas e foram calculados os pesos absoluto e relativo dos órgãos em relação ao peso vivo dos animais. Para pesagem, separou-se a vesícula biliar do fígado e procedeu-se o esvaziamento do estômago. Também mediu-se o comprimento do intestino delgado para o cálculo da densidade do intestino, utilizando uma fita métrica afixada em uma mesa.

4.2.10. Histologia do epitélio intestinal

No animal abatido foi coletada uma amostra de 3 cm do duodeno (15 cm a partir da válvula pilórica) e uma amostra de 3 cm do jejuno, coletada a 150 cm da junção ileocecal. As amostras foram lavadas em solução salina (0,85% de NaCl), fixadas em solução de formol tamponado neutro a 10% e, a partir destas, foram confeccionadas lâminas histológicas coradas pelo método PAS - Alcian Blue (Kleessen et al., 2003).

Nas lâminas foram realizados registros de imagens dos tecidos utilizando um microscópio óptico (BEL Micro 2000, BEL Engineering, Monza, Itália) com um sistema de análise de imagens acoplado. Foram realizadas as mensurações de altura de vilosidade e profundidade de cripta, com o aumento de 10X, e contagem de células caliciformes, com aumento de 40X. Todas as avaliações foram efetuadas em 15 vilosidades e 15 criptas por lâmina.

4.2.11. Integridade da barreira epitelial intestinal

Para avaliação da integridade da barreira epitelial intestinal foram coletadas quatro amostras de 1,5g da mucosa do jejuno de cada tratamento, correspondendo aos machos castrados abatidos com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais abatidos de cada tratamento. Estas amostras foram mantidas em freezer a -80°C até o momento da realização das análises pretendidas. A quantificação das proteínas da junção de oclusão claudinas-1, claudinas-2, ocludina e *zonula occludens* 1 foi realizada pelo método de *Dot Blot* (Naeim et al., 2018).

Os fragmentos de tecido receberam 5 volumes de tampão RIPA acrescido de inibidores de protease (Harlow e Lane, 1988). Em seguida foram dissociados utilizando uma *bead* metálica no equipamento TissueLyser II (Qiagen, Hilden, Alemanha) em 1 ciclo de 2 minutos a 30Hz, seguido por incubação em gelo. As amostras foram centrifugadas a $10.000\times g$ por 5 minutos e o sobrenadante teve a sua concentração proteica quantificada pelo reagente de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América) e foi reservado para a análise. Um microlitro dos extratos proteicos teciduais foi adsorvido em membranas de nitrocelulose (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América). As membranas foram bloqueadas por uma hora a temperatura ambiente com 0,05% PBST (Tampão fosfato-salino, 0.1% Tween® 20) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América) contendo 3% de leite desnatado, e em seguida foram incubadas à temperatura ambiente por 2 horas com anticorpo primário específico (Tabela 22) diluído em 3% de leite desnatado. Após lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada, as membranas foram incubadas por 2 horas em temperatura ambiente com o anticorpo secundário específico conjugado com a enzima Horseradish Peroxidase (HRP) (Tabela 22) diluído em 3% de leite desnatado. Novamente foram realizadas lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada. A detecção do complexo antígeno-anticorpo foi realizada utilizando-se o kit de quimioluminescência SuperSignal (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) e a intensidade do sinal foi quantificada com o *software* ImageJ® (National Institute of Health, Bethesda, Estados Unidos da América). A intensidade de sinal na reação foi normalizada pela quantidade de proteína total da amostra, avaliada pelo método de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América).

4.2.12. Imunoglobulina A na mucosa intestinal

Para a quantificação da concentração da imunoglobulina IgA na mucosa intestinal foram coletadas quatro amostras de 1,5g da mucosa do duodeno e do jejuno de cada tratamento, correspondendo aos machos castrados abatidos com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais abatidos de cada tratamento. Estas amostras foram mantidas em freezer a -80°C até o momento da realização das análises pretendidas. A quantificação da concentração da imunoglobulina IgA na mucosa do duodeno e do jejuno foi realizada pelo método de *Western Blot* (Harlow e Lane, 1988).

Os fragmentos de tecido receberam 5 volumes de tampão RIPA acrescido de inibidores de protease (Harlow e Lane, 1988). Em seguida foram dissociados utilizando uma *bead* metálica no equipamento TissueLyser II (Qiagen, Hilden, Alemanha) em 1 ciclo de 2 minutos, a 30Hz seguido por incubação em gelo. As amostras foram centrifugadas a $10.000\times g$ por 5 minutos e o sobrenadante teve a sua concentração proteica quantificada pelo reagente de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América) e foi reservado para a análise. Amostras de $10\mu\text{g}$ foram incubadas à 95°C durante 5 minutos com de tampão de amostra (Laemmli, 1970) não redutor 1x concentrado, e, posteriormente, aplicadas em gel de eletroforese (Sodium Dodecyl Sulphate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis - SDS-PAGE) contendo 12% de acrilamida. Após separação por eletroforese, as bandas foram transferidas para uma membrana de nitrocelulose (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América), posteriormente corada com solução Ponceau (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América) para assegurar a eficiência da transferência. Para a detecção da proteína, as membranas foram bloqueadas por uma hora a temperatura ambiente com 3% de leite desnatado, e em seguida foram incubadas à temperatura ambiente por uma hora com anticorpo secundário específico (Tabela 22) diluído em leite desnatado 3%. Após realizadas lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada, as membranas foram incubadas com substrato quimioluminescente West Pico (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) apropriado para detecção por *Western blot*. A detecção do complexo antígeno-anticorpo foi realizada utilizando-se o kit de quimioluminescência SuperSignal (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) e a intensidade do sinal foi quantificada com o *software* ImageJ® (National Institute of Health, Bethesda, Estados Unidos da América). A intensidade de sinal na reação foi normalizada pela quantidade de proteína total da amostra, avaliada pelo método de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América).

4.2.13. Análise econômica

A eficiência econômica de cada tratamento foi analisada através da estimativa do Custo Médio da alimentação por kg de suíno produzido durante o período experimental, conforme Bellaver et al. (1985):

$$Y_i \text{ (R\$/kg)} = [(Q_i \times P_i) / G_i]$$

Em que: Y_i (R\$/kg) é o custo médio em ração por quilograma ganho no i -ésimo tratamento, Q_i é a quantidade média de ração consumida no i -ésimo tratamento, P_i é o preço médio por quilograma da ração utilizada no i -ésimo tratamento, e G_i é o ganho médio de peso do i -ésimo tratamento.

Também foi calculado o Índice de Eficiência Econômica e o Índice de Custo Médio, propostos por Barbosa et al. (1992):

$$\text{IEE (\%)} = [(M_{Ce} / C_{Tei}) \times 100] \text{ e } \text{IC (\%)} = [(C_{Tei} / M_{Ce}) \times 100]$$

Em que: IEE (%) é o índice de eficiência econômica, M_{Ce} é o menor custo médio observado em ração por quilograma de peso vivo ganho entre os tratamentos, C_{Tei} é o custo médio do tratamento i considerado, e IC (%) é o índice de custo médio.

Os custos dos ingredientes corresponderam aos valores pagos pelos produtos que compuseram as dietas, no estado de São Paulo, Brasil, no momento de sua aquisição exclusiva para a realização do experimento (março de 2019).

4.2.14. Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes para verificação da adequação ao modelo linear e da não violação das pressuposições da análise de variância (aditividade do modelo, normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias, ausência de *outliers*) utilizando-se o procedimento

UNIVARIATE do SAS® (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) e foram submetidos a análise da variância utilizando-se o procedimento MIXED do SAS®.

Os dados de desempenho, frequência da ocorrência de diarreia, digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta, e da análise econômica foram analisados como um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2×3 , usando a baia como unidade experimental. Para a análise do desempenho, o peso vivo do dia 14 foi utilizado como co-variável para o período de 15 a 28 dias de experimentação e do dia 28 para o período de 29 a 42 dias de experimentação. O modelo matemático incluiu como efeitos fixos do fator tipos de farelo de soja, do fator combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, e a interação destes fatores. O modelo ainda incluiu os efeitos aleatórios dos blocos e o erro experimental, conforme segue:

$$Y(ijk) = \mu + a(i) + b(j) + ab(ij) + t(k) + \varepsilon(ijk)$$

Em que: $Y(ijk)$ é a variável resposta, μ é a média geral, $a(i)$ é o efeito fixo do i -ésimo tratamento do fator tipo de farelo ($i = 1, 2$), $b(j)$ é o efeito fixo do j -ésimo tratamento do fator combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja ($j = 1, \dots, 3$), $ab(ij)$ é a interação entre os fatores, $t(k)$ é o efeito aleatório do j -ésimo bloco ($j = 1, \dots, 8$), e $\varepsilon(ij)$ é o erro experimental, NID $(0, \sigma^2)$.

Os dados do hemograma, morfometria e peso de órgãos, histologia do epitélio intestinal, integridade da barreira epitelial intestinal e imunoglobulina A na mucosa intestinal foram analisados como um delineamento inteiramente casualizado, usando o peso vivo aos 7 ou 21 dias como co-variável. O modelo matemático incluiu os efeitos fixos dos tratamentos e erro experimental, conforme segue:

$$Y(ijk) = \mu + a(i) + b(j) + ab(ij) + \varepsilon(ijk)$$

Em que: $Y(ijk)$ é a variável resposta, μ é a média geral, $a(i)$ é o efeito fixo do i -ésimo tratamento do fator tipo de farelo ($i = 1, 2$), $b(j)$ é o efeito fixo do j -ésimo tratamento do fator combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja ($j = 1, \dots, 3$), $ab(ij)$ é a interação entre os fatores, e $\varepsilon(ij)$ é o erro experimental, NID $(0, \sigma^2)$.

Valores de probabilidade foram considerados significativos quando $P < 0,05$ e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

4.3. Resultados

4.3.1. Desempenho, frequência da ocorrência de diarreia e digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta

As variáveis de desempenho dos leitões foram afetadas pelo consumo dos ingredientes avaliados (Tabela 23). Não houve interação ($P > 0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para as variáveis peso vivo, GDP, CDR e CA dos animais ao longo de todo o período experimental.

Durante o período de 1 a 14 dias de experimentação, a combinação de nível de plasma sanguíneo e farelo de soja influenciou ($P < 0,05$) o peso vivo, o GDP e o CDR, porém não teve efeito ($P > 0,05$) sobre a CA dos leitões. Os animais alimentados com as dietas formuladas com o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (dietas FSTP100 e FSEP100) apresentaram maior ($P < 0,05$) peso vivo, GDP e CDR quando comparados aos leitões que consumiram as dietas formuladas com o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja independentemente da fonte (dietas FSTP0 e FSEP0), sendo 12,39 kg; 420,05 g/dia e 599,95 g/dia versus 11,76 kg; 378,25 g/dia e 538,20 g/dia, respectivamente. O consumo das dietas contendo níveis intermediários de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50), resultou em peso vivo (12,03 kg) e GDP (395,50 g/dia) intermediários, sendo semelhantes ($P > 0,05$) as demais dietas, e menor ($P < 0,05$) CDR (559,60 g/dia) em comparação as dietas FSTP100 e FSEP100. Nesta fase não foram observados efeitos ($P > 0,05$) do tipo de farelo sobre as variáveis de desempenho dos leitões.

No período de 15 a 28 dias, o tipo de farelo ingerido influenciou o GDP dos animais. Os leitões que consumiram o farelo de soja tostado apresentaram maior ($P < 0,05$) GDP em relação aos leitões alimentados com farelo de soja não tostado extrudado, 617,73 g/dia versus 592,63 g/dia respectivamente. No entanto, este fator não influenciou ($P > 0,05$) o peso vivo, o CDR e CA dos animais. Também não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) quando se avaliou o efeito das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre as variáveis de desempenho dos leitões neste período.

Não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo ou das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre o peso vivo, o GDP, o CDR e a CA dos leitões nos períodos de 29 a 42 dias, bem como no período total de experimentação, 1 a 42 dias.

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para a frequência de diarreia nos leitões ao longo dos 42 dias de experimentação (Tabela 24). Também não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo ou das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre a frequência da ocorrência de diarreia dos leitões.

A digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta foi influenciada pelos fatores avaliados (Tabela 25). Verificou-se interação ($P<0,05$) entre o tipo de farelo e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para a digestibilidade da MM. A combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja teve efeito sobre a digestibilidade da MM quando os leitões consumiram farelo de soja tostado, sendo maior ($P<0,05$) para a combinação FSTP0, intermediária para a dieta FSTP50 e menor para a dieta FSTP100, porém não influenciou a digestibilidade da MM quando os leitões consumiram farelo de soja não tostado extrudado.

A combinação de nível de plasma sanguíneo e farelo de soja influenciou a digestibilidade do FDA da dieta. As dietas contendo os menores níveis de plasma sanguíneo e maiores níveis de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0) e as dietas contendo os maiores níveis de plasma sanguíneo e menores níveis de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100) tiveram maiores ($P<0,05$) digestibilidades do FDA quando comparadas às dietas contendo níveis intermediários de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50), sendo 26,74%; 26,11% e 19,14%, respectivamente.

As digestibilidades do EE e da PB foram afetadas pelo tipo de farelo de soja consumido pelos leitões. Foram observadas maiores ($P<0,05$) digestibilidades do EE e da PB nas dietas contendo farelo de soja tostado em contraste às dietas com farelo de soja não tostado extrudado, sendo os valores de 70,85% e 72,60% versus 66,31% e 71,25%, respectivamente.

As digestibilidades da MS, EB e do FDN não foram afetadas ($P>0,05$) pelo tipo de farelo ou pelas combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, bem como pela interação entre estes dois fatores.

4.3.2. Análises sanguíneas

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para os valores médios de hemácias, hemoglobina, hematócrito, V.c.m., C.h.c.m., e proteína total (Tabela 26), bem como para os valores de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas (Tabela 27) de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta, aos 7 e aos 21 dias de experimentação. Também não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo ou das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre estas variáveis.

4.3.3. Morfometria e peso de órgãos

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para a morfometria e peso de órgãos dos leitões (Tabela 28). Apenas o peso absoluto do estômago foi afetado pelas combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja consumidas, em que o consumo da dieta FSTP100 e FSEP100 resultou em maior ($P<0,05$) peso absoluto do estômago em comparação ao consumo das dietas FSTP50 e FSEP50, e FSTP0 e FSEP50.

4.3.4. Histologia do epitélio intestinal

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para as variáveis altura de vilosidade, profundidade de cripta, relação altura de vilosidade e profundidade de cripta, e número de células caliciformes do duodeno e jejuno dos leitões (Tabela 29).

Os leitões alimentados com as dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100), e com as dietas contendo níveis intermediários de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50), independente da fonte de farelo de soja, apresentaram maiores ($P<0,05$) alturas de vilosidade no duodeno em comparação aos leitões que consumiram as dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0), sendo 423,66 μm ; 436,95 μm e 367,90 μm , respectivamente. Não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo consumido ou da combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre a profundidade de cripta, relação altura de vilosidade e profundidade de cripta, e número de células caliciformes do

duodeno. Os fatores estudados também não influenciaram ($P>0,05$) as variáveis de histologia do epitélio do jejuno dos animais.

4.3.5. Integridade da barreira epitelial intestinal

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para o conteúdo das proteínas claudina-1, claudina-2, *zonula occludens* 1 e ocludina no jejuno dos leitões (Tabela 30). Também não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo ou das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre o conteúdo das proteínas claudina-1, claudina-2, *zonula occludens* 1 e ocludina no jejuno dos leitões.

4.3.6. Imunoglobulina A na mucosa intestinal

Não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para a concentração de imunoglobulina A no duodeno e no jejuno dos leitões (Tabela 31). Também não foram observados efeitos ($P>0,05$) do tipo de farelo ou das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre o conteúdo de imunoglobulina A no duodeno dos animais. Foram observadas maiores ($P<0,05$) concentrações de imunoglobulina A no jejuno dos leitões que consumiram as dietas contendo farelo de soja tostado em contraste às dietas com farelo de soja não tostado extrudado, sendo os valores de 1,007 unidade relativa de intensidade versus 0,631 unidade relativa de intensidade, respectivamente.

4.3.7. Análise econômica

Com relação à análise econômica (Tabela 32), não houve interação ($P>0,05$) entre o tipo de farelo (tostado ou não tostado extrudado) e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja para o CMRPV.

Em todas as fases do programa nutricional, bem como no período total de experimentação, as dietas contendo farelo de soja tostado proporcionaram menores ($P<0,05$) CMRPV em relação às dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado.

No período de 1 a 14 dias de experimentação correspondente a fase pré-inicial I do programa nutricional, as dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0) apresentaram os menores ($P < 0,05$) CMRPV, seguidos pelas dietas contendo o nível intermediário de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50), e pelas dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100) que apresentaram os maiores CMRPV entre as três combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja avaliadas, independente da fonte de farelo de soja utilizada.

No período de 15 a 28 dias de experimentação, o consumo das dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0) resultou nos menores ($P < 0,05$) CMRPV, enquanto que o consumo das dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100) resultou nos maiores CMRPV. O consumo das dietas contendo o nível intermediário de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50) resultou em CMRPV intermediários, sendo semelhantes as demais dietas.

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) da combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja no CMRPV das dietas no período de 29 a 42 dias de experimentação, fase inicial do programa nutricional.

No período total de experimentação, o consumo das dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100) resultou nos maiores ($P < 0,05$) CMRPV em comparação ao consumo das dietas contendo o nível intermediário de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50) e das dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0) que apresentaram os menores ($P < 0,05$) CMRPV.

As dietas contendo farelo de soja tostado apresentaram melhores índices de eficiência econômica e melhores índices médio de custo quando comparado as dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado nos períodos de 1 a 14 dias, 15 a 28 dias, 29 a 42 dias, e no período total de experimentação, 1 a 42 dias. Em relação a combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, nos períodos de 1 a 14 dias, 15 a 28 dias, e no período total de experimentação, as dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0) apresentaram melhores índices de eficiência econômica e melhores índices médio de custo, seguidos pelas dietas contendo o nível intermediário de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50) e as dietas contendo o maior nível de plasma

sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100). No período de 29 a 42 dias, as dietas contendo o maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja (FSTP100 e FSEP100) apresentaram melhores índices de eficiência econômica e melhores índices médio de custo, seguidos pelas dietas contendo o nível intermediário de plasma sanguíneo e farelo de soja (FSTP50 e FSEP50) e as dietas contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja (FSTP0 e FSEP0).

4.4. Discussão

Os desafios nutricionais e fisiológicos enfrentados pelos leitões na fase do pós-desmame podem ser contornados com o uso de estratégias nutricionais. Uma das estratégias para superar estes desafios e garantir o máximo aproveitamento nutricional e a maximização do desempenho animal é o fornecimento de dietas complexas formuladas com ingredientes de elevada palatabilidade e digestibilidade, composta, sobretudo pela associação de fontes proteicas de origem vegetal e animal (Ferreira et al., 2001; Gaines et al., 2003; Wolter et al., 2003; Barbosa et al., 2007).

A suplementação do plasma sanguíneo em dietas a base de milho e farelo de soja pode trazer benefícios a saúde e ao desempenho animal, sobretudo nos primeiros 14 dias após o desmame (Kats et al., 1994; van Dijk et al., 2001; Nofrarías et al., 2007; Zhao et al., 2007; Tran et al., 2014) período no qual os animais são mais susceptíveis à ocorrência de distúrbios do trato gastrointestinal e ao estabelecimento de infecções e desenvolvimento de doenças como a diarreia pós-desmame que comprometem a saúde e o desempenho animal (Morés e Amaral, 2001; Lallès, 2008; Campbell et al., 2013).

Neste estudo, no período de 1 a 14 dias, o consumo das dietas FSTP100 e FSEP100, formuladas com o maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja, independente da fonte de farelo de soja, resultou no maior peso vivo, ganho diário de peso e consumo diário de ração, em comparação as dietas FSTP0 e FSEP0, que foram formuladas com o menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja, não sendo observados efeitos sobre a conversão alimentar dos animais. As dietas FSTP50 e FSEP50 apresentaram parâmetros de desempenho intermediários. Nos períodos subsequentes de 15 a 28 dias, 29 a 42 dias e no período total de experimentação, 1 a 42 dias, não foram observados efeitos das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre as variáveis de desempenho dos leitões.

Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com estudos na literatura em que relatam-se a ocorrência de melhorias no peso vivo, ganho diário de peso e consumo médio diário, quando os leitões consumiram dietas contendo até 6% de plasma sanguíneo em complementação ou substituição de parte do farelo de soja da dieta nas primeiras duas semanas após o desmame (Kats et al., 1994; Coffey e Cromwell, 1995; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Kim et al., 2002; Hartke et al., 2003; Wolter et al., 2003; Zhao et al., 2007; Tran et al., 2014; Torrallardona e Polo, 2016).

A suplementação do plasma sanguíneo, em complementação ou substituição de parte do farelo de soja da dieta de leitões nas primeiras duas semanas após o desmame, pode proporcionar melhorias de em média 31,35% no ganho diário de peso, 19,84% no consumo médio diário e 5,18% na conversão alimentar (Kats et al., 1994; Coffey e Cromwell, 1995; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Kim et al., 2002; Hartke et al., 2003; Wolter et al., 2003; Tran et al., 2014; Torrallardona e Polo, 2016).

O efeito mais relevante do plasma sanguíneo no ganho de peso dos leitões está associado ao estímulo a ingestão de alimento, desta forma, as melhorias obtidas na conversão alimentar são geralmente modestas ou inexistentes (Van Dijk et al., 2001; Tran et al., 2014). A principal justificativa para estes resultados é a alta palatabilidade e digestibilidade dos nutrientes deste ingrediente, o que converge para um aumento no consumo de alimento e em um maior ganho de peso quando comparado às fontes proteicas da soja (Grinstead et al., 2000; Bosi et al., 2004). Adicionalmente, embora após o nascimento a mucosa intestinal perca a capacidade de absorver imunoglobulinas intactas, o plasma sanguíneo, devido ao seu conteúdo de componentes bioativos, tais como imunoglobulinas e glicoproteínas, atua na melhoria da saúde intestinal ao nível de lúmen intestinal (Thomson et al., 1994; Bosi et al., 2004; Pierce et al., 2005; Torrallardona, 2010).

O plasma sanguíneo atua como um agente imunomodulador, atuando na regulação dos processos inflamatórios no organismo ao reduzir a estimulação do sistema imune, além de estimular a produção de citocinas anti-inflamatórias na mucosa intestinal e bloquear a adesão de patógenos na parede intestinal, sendo este efeito principalmente contra as estirpes patogênicas de *Escherichia coli*, o que auxilia na manutenção da estrutura, função e saúde intestinal pela redução no acréscimo da permeabilidade intestinal e o aumento na proliferação de enterócitos com o aumento na altura das vilosidades intestinais (de Rodas et al., 1995; Bosi et al., 2004; Pierce et al., 2005; Torrallardona e Polo, 2016).

Os aumentos na ingestão de alimento também podem ser explicados pelo efeito imunomodulador do plasma sanguíneo ao promover a redução na produção de citocinas pró-inflamatórias, tais como, TNF- α , IL-8, e IFN- γ (Peace et al., 2011; Tran et al., 2014; Torrallardona e Polo, 2016), que possuem efeitos anorexigênicos e estimuladores da proteólise muscular e da inflamação da mucosa intestinal. Desta forma, menos nutrientes são desviados para a síntese das proteínas do sistema imune, menos proteína muscular é degradada e os nutrientes ingeridos são utilizados para o crescimento animal com maior eficiência (Johnson, 1997; Colditz, 2002; Floc'h et al., 2004).

Os resultados obtidos neste estudo sustentam os resultados obtidos em estudos que determinaram que, em geral, não são observados efeitos da suplementação do plasma sanguíneo da dieta dos leitões após as duas primeiras semanas após o desmame (Kats et al., 1994; de Rodas et al., 1995; Liu et al., 2001; Hartke et al., 2003; Tran et al., 2014; Torrallardona e Polo, 2016), bem como não são observados efeitos residuais da suplementação do plasma sanguíneo nas duas primeiras semanas sobre o desempenho animal nos períodos subsequentes da criação (Van Dijk et al., 2001; Tran et al., 2014).

Os benefícios dos componentes bioativos do plasma sanguíneo sobre o sistema imune podem ser importantes no contexto da ocorrência das reações de hipersensibilidade as proteínas da soja no pós-desmame dos leitões. De acordo com Jiang et al. (2000) e Hartke et al. (2003), o uso do plasma sanguíneo poderia prevenir ou reduzir a magnitude destas reações quando os leitões são alimentados com dietas contendo farelo de soja, o que poderia permitir o uso de maiores quantidades do farelo de soja nas dietas pós-desmame. Os autores hipotetizaram que a presença de imunoglobulinas específicas para as globulinas da soja no plasma sanguíneo poderia ajudar os leitões a se adaptarem as dietas contendo fontes proteicas oriundas da soja, no entanto esta informação precisa ser melhor investigada.

Em relação a fonte do farelo de soja utilizada, no período de 15 a 28 dias, os leitões que consumiram o farelo de soja tostado na dieta, dietas FSTP100, FSTP50 e FSTP0, apresentaram maior ganho diário de peso em comparação aos leitões alimentados com farelo de soja não tostado extrudado, dietas FSEP100, FSEP50 e FSEP0. Estes resultados estão coerentes e relacionados aos resultados obtidos na avaliação da digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta da fase pré-inicial II do experimento. Nos demais períodos de experimentação, bem como no período total de experimentação, o tipo de farelo de soja, tostado ou não tostado extrudado, não influenciou os parâmetros de desempenho avaliados.

Poucos trabalhos avaliaram a utilização da estratégia de extrusão para a melhoria da qualidade nutricional do farelo de soja suplementado na dieta de leitões após o desmame.

Friesen et al. (1993) avaliaram a utilização da extrusão para a melhoria da qualidade nutricional do farelo de soja tostado suplementado na dieta de leitões ao longo de 28 dias após o desmame. Neste estudo foram observadas melhorias de 45,72% no ganho médio diário de peso, 21,09% do consumo médio diário de ração e 28,57% na conversão alimentar quando leitões foram alimentados com farelo de soja tostado extrudado nas temperaturas de 120°C e 160°C em substituição ao farelo de soja tostado da dieta.

De forma contrária, Veum et al. (2017) não observaram efeitos da substituição do farelo de soja tostado pelo farelo de soja tostado extrudado na temperatura de 132°C sobre os parâmetros de desempenho avaliados. Os autores relatam que, embora tenha sido verificado a redução na concentração dos fatores antinutricionais residuais presentes no farelo de soja tostado, a não observância de benefícios do processamento adicional para o desempenho animal, muito possivelmente tenha sido em função da ocorrência de superprocessamento deste ingrediente com a ocorrência da reação de *Maillard*, que consiste na complexação do grupo carbonila de um açúcar redutor com o grupo amina de aminoácidos livres, sobretudo a lisina. O complexo formado na reação de *Maillard* pode ser parcialmente absorvido no intestino, entretanto não pode ser utilizado para a síntese proteica, sendo excretado na urina sem valor nutricional para o animal (Fernandez e Parsons, 1996; Žilić et al., 2006).

Lee et al. (2007) ao avaliarem o efeito do cozimento sob pressão do farelo de soja não tostado em temperaturas de 0°C, 95°C e 110°C, observaram melhorias de até 18,66% na digestibilidade da proteína bruta e 6,02% na digestibilidade da energia bruta das dietas quando os leitões foram alimentados com o farelo de soja não tostado cozido em comparação ao farelo de soja não tostado sem tratamento térmico adicional. Também foram observadas melhorias de até 93,40% no ganho diário de peso, 33,05% no consumo médio diário de ração e 47,89% na conversão alimentar dos leitões consumindo o farelo de soja não tostado cozido, com o melhor desempenho observado para os leitões que consumiram o farelo de soja não tostado cozido na temperatura de 110°C por 15 minutos. Nesta temperatura foram obtidos valores de 0,03 para o índice de atividade urética e 77% para o índice de solubilidade proteica em KOH, sendo estes valores semelhantes aos observados para o farelo de soja não tostado extrudado utilizado no presente estudo.

A digestibilidade da matéria mineral da dieta pré-inicial II foi afetada pelos tratamentos avaliados. A combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja teve efeito sobre a digestibilidade da MM quando os leitões consumiram farelo de soja tostado, sendo maior a digestibilidade para a combinação FSTP0, intermediária para a dieta FSTP50 e menor para a

dieta FSTP100, porém não influenciou a digestibilidade da MM quando os leitões consumiram farelo de soja não tostado extrudado. Da mesma forma, quando avaliou-se o efeito da combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, o comportamento foi semelhante, com as dietas FSTP0 e FSEP0 apresentando maior digestibilidade da matéria mineral, quando comparado as dietas FSTP100 e FSEP100.

A digestibilidade do FDA também foi afetada pela combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, com as dietas FSTP0 e FSEP0, e FSTP100 e FSEP100 apresentando maiores digestibilidades do FDA em contraste as dietas FSTP50 e FSEP50. A explicação para este resultado no entanto não é clara, uma vez que o teor de FDA das dietas foi semelhante e não foi observado efeito do tipo de farelo para esta variável, e assim, o efeito do processamento de extrusão que poderia afetar a digestibilidade da fibra contida no farelo de soja não foi observado.

O tipo de farelo de soja influenciou a digestibilidade do EE e da PB das dietas. Foram observados coeficientes de digestibilidades do EE 6,93% maiores nas dietas contendo farelo de soja tostado, dietas FSTP100, FSTP50 e FSTP0, em comparação aos coeficientes das dietas contendo farelo de soja não tostado extrudado, dietas FSEP100, FSEP50 e FSEP0. Normalmente a extrusão está associada a melhoria no valor nutricional dos lipídios devido a desnaturação da enzima lipoxigenase que causa a rancidez oxidativa dos ácidos graxos (Cheftel, 1986; Crowe et al., 2001; Žilić et al., 2012), no entanto o valor nutricional dos lipídios pode ser afetado negativamente pela extrusão. Durante a extrusão podem ser formados complexos amilose-lipídios que podem afetar a disponibilidade dos lipídios para digestão (Murray et al., 1998). Ademais, condições extremas de processamento, como a exposição do ingrediente a altas temperaturas durante a extrusão, podem ocasionar alterações nos lipídios do ingrediente, como a ocorrência de oxidação lipídica e a alteração na estrutura lipídica que pode levar a alterações no seu valor nutricional (Rao e Artz, 1989; Sjovall et al., 1997; Žilić et al., 2010; Ying et al., 2015).

Foram observados menores coeficientes de digestibilidade da PB nas dietas contendo farelo de soja não tostado extrudado em relação as dietas contendo farelo de soja tostado. Este resultado pode ser explicado pelo maior valor obtido para a atividade de inibidores de tripsina no farelo de soja não tostado extrudado em comparação ao farelo de soja tostado, mesmo os parâmetros de qualidade índice de atividade ureática e índice de solubilidade proteica em KOH indicando valores considerados adequados para a obtenção de um processamento térmico de qualidade.

Neste estudo foram obtidos valores de índice de atividade ureática de 0,05 e 0,02, e valores de 82,16% e 77,68% para o índice de solubilidade proteica em KOH para o farelo de soja tostado e para o farelo de soja não tostado extrudado, respectivamente. Os valores obtidos para ambos os índices encontram-se dentro dos valores de referência considerados como indicativo de qualidade, sendo valores de atividade ureática entre 0,05 e 0,30, e de solubilidade proteica em KOH entre 70% e 85% (Araba e Dale, 1990; Parsons et al., 1991; Mendes et al., 2004; Căpriță et al., 2010). Cabe ressaltar que apesar do valor de 0,02 obtido para o índice de atividade ureática do farelo de soja não tostado extrudado estar abaixo dos valores de referência, este valores não indicam a ocorrência de superprocessamento térmico (Araba e Dale, 1990; Căpriță et al., 2010), haja visto que foram obtidos valores elevados para a atividade de inibidores de tripsina no farelo de soja não tostado extrudado em contraste ao valor do farelo de soja tostado, sendo valores de 4,28 mg/g de PB versus 2,82 mg/g de PB, respectivamente.

Os inibidores de tripsina são proteínas naturalmente presentes no grão de soja que, no lúmen intestinal, ao se ligarem de forma específica e irreversível com as enzimas proteolíticas pancreáticas tripsina e quimotripsina, inibem suas atividades por meio da competição pelo sítio ativo das enzimas com as proteínas a serem digeridas (Yen et al., 1977; Broadway e Duffey, 1986; Clemente et al., 2008; Losso, 2008; Goebel e Stein, 2011a; Goebel e Stein, 2011b). Tais fatos reduzem as quantidades de enzimas livres para se ligarem aos seus substratos, reduzindo assim a digestibilidade das proteínas e conseqüentemente o aproveitamento dos aminoácidos oriundos da soja por leitões (Yen et al., 1977; Clemente et al., 2008; Losso, 2008; Goebel e Stein, 2011b).

Devido à escassez de informação a respeito do farelo de soja não tostado na literatura, bem como da sua extrusão e uso na nutrição de suínos, é difícil a comparação dos resultados obtidos neste estudo. Em um estudo com leitões na fase inicial de crescimento, Grala et al. (1998) ao avaliarem a substituição de 25% do farelo de soja tostado da dieta pelo farelo de soja não tostado não submetido a processamentos térmicos adicionais, observaram redução de 17,75% na digestibilidade aparente ileal da proteína da dieta contendo o farelo de soja não tostado, sendo este resultado creditado ao maior valor de atividade dos inibidores de tripsina nestas dietas, sendo 3,53 mg/g de PB versus 1,47 mg/g de PB na dieta contendo apenas o farelo de soja tostado.

O processamento de extrusão não influenciou a digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta da dieta quando leitões foram alimentados com farelo de soja tostado extrudado em substituição ao farelo de soja tostado na dieta de leitões no estudo de Friesen et al. (1993),

sendo obtidos coeficientes de digestibilidade médios de 90,40% para a matéria seca e 88,20% para a proteína bruta, valores superiores aos obtidos no presente estudo.

No presente estudo, o consumo das dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado resultou em coeficiente de digestibilidade da proteína bruta das dietas 1,85% menor em comparação ao consumo das dietas contendo o farelo de soja tostado, efeito possivelmente devido ao maior valor de atividade dos inibidores de tripsina. Este menor aproveitamento da proteína bruta pode ser a explicação do menor desempenho observado no período de 15 a 28 dias de experimentação para os leitões que consumiram as dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado. Entretanto, no período total de experimentação, não foram observadas diferenças para os parâmetros de desempenho dos leitões consumindo dietas contendo o farelo de soja tostado ou o farelo de soja não tostado extrudado, indicando que os animais recuperaram o déficit no desempenho observado no período de 15 a 28 dias de experimentação, e, em termos de desempenho animal geral, o processamento de extrusão empregado foi eficiente na melhoria do valor nutricional do farelo de soja não tostado para os leitões.

O peso de abate dos leitões aos sete dias de experimentação não foi afetado pelo tipo de farelo ou pelas combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja consumidas, o mesmo ocorreu para os parâmetros de morfometria e peso de órgãos dos leitões avaliados, com exceção do peso absoluto do estômago que foi maior nos animais que consumiram as dietas formuladas com o maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja, dietas FSTP100 e FSEP100, independentemente do tipo de farelo de soja, quando comparado ao consumo das dietas FSTP50 e FSEP50, e FSTP0 e FSEP0. Resultados semelhantes foram descritos por Owusu-Asiedu et al. (2002) e King et al. (2008), em que a suplementação de plasma sanguíneo nas dietas não influenciou a morfometria e peso de órgãos dos leitões até a segunda semana após o desmame. A morfometria e peso dos órgãos está normalmente relacionada ao teor de fibra e a digestibilidade das dietas (Qin et al., 1996), no entanto, neste experimento, as dietas apresentaram teores de fibra semelhantes e o consumo das dietas por sete dias pode não ter sido suficiente para evidenciar o efeito da fibra da dieta sobre a morfometria e peso de órgãos.

O consumo de dietas contendo o farelo de soja como fonte proteica principal durante o período pós-desmame, tem sido associado a ocorrência de reações de hipersensibilidade na mucosa intestinal devido a ação deletéria das proteínas glicinina e a β -conglucina que apresentam alto potencial alergênico (Thanh e Shibasaki, 1977; Li et al., 1990; Kim et al., 1999; Hao et al., 2010; Song et al., 2010; Wu et al., 2016a,b). Devido ao fato de que estas proteínas podem ser absorvidas na forma de moléculas intactas, resistindo aos processos digestivos no

trato gastrointestinal, as proteínas glicinina e β -conglucina apresentam uma forte capacidade de desencadear resposta imune estimulando a produção de imunoglobulinas, sobretudo IgE, sendo este o mecanismo mais estabelecido para explicar o potencial de alergenicidade da soja (Bittencourt et al., 2007; Fu et al., 2007; Sun et al., 2008a).

Neste estudo, o consumo das dietas contendo farelo de soja tostado resultou nas maiores concentrações de imunoglobulina A no jejuno dos leitões em contraste ao consumo das dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado, sendo os valores de 1,007 unidade relativa de intensidade versus 0,631 unidade relativa de intensidade, respectivamente. Apesar da concentração das proteínas glicinina e β -conglucina não ter sido mensurada neste estudo, é possível que as alterações na conformação da estrutura das proteínas ocasionadas pela exposição do ingrediente a alta temperatura, sob pressão mecânica, por um curto período de tempo, durante a extrusão (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Steel et al., 2012; Maurya e Said, 2014; Vagadia et al., 2017), pode ter contribuído para uma redução na quantidade das proteínas alergênicas glicinina e β -conglucina no farelo de soja não tostado extrudado, em contraste ao processo de tostagem do farelo de soja tostado que não traz os benefícios adicionais das ações mecânicas da extrusão sobre as proteínas do ingrediente, muito embora os parâmetros de qualidade índice de atividade ureática e índice de solubilidade proteica em KOH tenham valores considerados adequados para a obtenção de um processamento térmico de qualidade para ambos os ingredientes.

A mucosa intestinal representa uma barreira eficiente contra a ação deletéria de patógenos, fatores alergênicos e macromoléculas diversas, desempenhando um papel importante na indução e controle das respostas imunes. Tal função está associada a presença de aglomerados de Tecido Linfoide Associado ao Trato Gastrointestinal (GALT), localizados na lâmina própria e submucosa intestinal. Os anticorpos representam a primeira barreira protetiva na superfície da mucosa, com a IgA sendo o anticorpo mais abundante nas secreções mucosas. Na lâmina própria da mucosa, cerca de 95% das células plasmáticas secretam IgA. Quando liberada no lúmen intestinal mediante estímulo, a IgA se liga aos antígenos e impede sua adesão ao epitélio ou promove aglutinação e subsequente remoção do antígeno na camada de muco que recobre o epitélio (Agarwal e Mayer, 2014).

Resultados obtidos por Sun et al. (2008b) e Wu et al. (2016a) demonstraram aumentos na concentração de IgA na mucosa do duodeno e do jejuno de leitões alimentados com dietas contendo níveis crescentes das proteínas glicinina e β -conglucina purificadas, abatidos aos 32 dias após o desmame. De forma similar, Peng et al. (2019) relataram aumentos na concentração

de IgA no jejuno de leitões após o desmame em função do consumo de dietas contendo os fatores alergênicos glicinina e β -conglucina ativos.

Condições que favoreçam alterações na integridade da barreira intestinal (Perrier e Corthésy, 2010), tais como os eventos estressantes ao desmame, associados a imaturidade fisiológica e imunológica dos leitões neste período, contribuem para a internalização de proteínas glicinina e β -conglucina ativas, que escapam da digestão gástrica e intestinal e chegam intactas a mucosa intestinal onde desencadeiam processos inflamatórios locais (Bittencourt et al., 2007; Sun et al., 2008a,b; Hao et al., 2009; Hao et al., 2010; Song et al., 2010; Wu et al., 2016a,b).

Na mucosa intestinal o complexo anticorpo-antígeno IgE-proteína alergênica forma complexos nas vênulas o que ativa a síntese de proteínas do sistema complemento pelos mastócitos, um composto multiproteico composto por mais de 30 componentes na maioria proteínas plasmáticas enzimas convertases que possuem como função a lise celular para eliminação dos complexos anticorpo-antígeno (Abbas et al., 2008). Como ações nocivas destas reações de hipersensibilidade na mucosa intestinal há o aumento da fagocitose e lise celular das células do organismo animal causando a descamação do enterócito com atrofia das vilosidades intestinais e o aumento na proliferação celular nas criptas com o aprofundamento das criptas intestinais, visando compensar a redução das vilosidades como uma tentativa de regeneração do epitélio (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Liu et al., 2007; Zhao et al., 2010).

Hemaglutininas também estão associadas a ocorrência de danos nas vilosidades intestinais. Estas proteínas se ligam a receptores presentes na borda em escova do intestino delgado sendo resistentes a degradação enzimática, o que leva a um quadro de inflamação local com estímulo a proliferação e migração de leucócitos e a degranulação dos mastócitos com liberação dos mediadores ativos histamina e citocinas pró-inflamatórias (Benjamin et al., 2007).

A imunoresposta mediada pela IgE também desencadeia a liberação dos mediadores de inflamação histamina e das citocinas pró-inflamatórias IL-4, IL-6, IL-13 e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Liu et al., 2007; Abbas et al., 2008; Zhao et al., 2010) que promovem o rearranjo dos filamentos de actina do citoesqueleto dos enterócitos, o que altera a morfologia da barreira intestinal com encurtamento das vilosidades intestinais e desregulação das proteínas que compõe as junções oclusivas. Este efeito compromete a adesão e a vedação entre as células resultando no aumento da permeabilidade paracelular que contribui para a secreção de Cl⁻ para o lúmen intestinal e pode

ocasionar a internalização de bactérias potencialmente patogênicas presentes na mucosa e no lúmen intestinal (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010).

Embora no presente estudo não tenham sido observados efeitos das dietas sobre o conteúdo das proteínas que compõe as junções oclusivas, estudos na literatura demonstram que as proteínas glicinina e β -conglucina ocasionam a redução no conteúdo das proteínas claudinas, ocludinas e *zonula occludens 1* no jejuno de leitões, estando esta redução correlacionada a um aumento na permeabilidade da barreira intestinal (Zhao et al., 2014; Zhao et al., 2015; Wu et al., 2016b). Os resultados deste estudo podem estar relacionados a qualidade do processamento térmico empregado nas fontes de farelo de soja que podem ter sido eficientes em reduzir as concentrações das proteínas glicinina e β -conglucina a níveis incapazes de sobrepor as defesas primárias do sistema imune intestinal e desencadear reações imunes exacerbadas, o que pode ser confirmado pelos resultados obtidos para a frequência da ocorrência de diarreia dos leitões, parâmetros sanguíneos e histologia do epitélio intestinal.

O TNF- α promove ainda a redução na ingestão de alimento. Este efeito pode ocorrer através da redução das secreções gástricas, motilidade e esvaziamento do estômago e também pelo estímulo da liberação de neurotransmissores anorexigênicos (como por exemplo o CRH) em terminais nervosos do hipotálamo (Johnson, 1997).

As alterações no epitélio intestinal levam a redução na secreção das enzimas da borda em escova, reduzindo a digestão dos nutrientes e também a redução na área superficial para absorção luminal que leva a um quadro de má absorção, ocasionando a redução no desempenho animal pelo menor aporte de nutrientes ao metabolismo animal. A este quadro se soma as consequências da redução dos processos digestivos em que ocorre um aumento da fração não digerida do alimento que serve de substrato para fermentação bacteriana, levando a produção de ácido lático e ácidos graxos voláteis que promovem um aumento da osmolaridade no lúmen intestinal. Desta forma, aumenta o fluxo de água para o lúmen intestinal e a redução na sua absorção o que leva a ocorrência de diarreia e desidratação do animal agravando ainda mais a redução no desempenho animal (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Vannucci e Guedes, 2009; Zhao et al., 2010; Wen et al., 2018).

A frequência da ocorrência de diarreia dos leitões não foi influenciada pelos tratamentos avaliados, alguns fatores podem ter contribuído para este resultado. Nos primeiros três dias após o desmame, os leitões passaram por um período de descanso e transição gradual do consumo da dieta fornecida na granja de origem para as dietas experimentais, o que pode ter reduzido o impacto fisiológico que a transição brusca na alimentação promoveria. Ademais, as dietas pré-

inicial I e pré-inicial II foram suplementadas com óxido de zinco em doses farmacológicas, conhecidamente um agente antimicrobiano redutor da frequência e severidade da diarreia em leitões após o desmame (Milani et al., 2017). Entretanto, a não observância de efeitos de tratamento sobre a frequência da ocorrência de diarreia nos leitões e as baixas frequências observadas podem ser um indicativo da correta inativação a níveis não deletérios dos fatores antinutricionais e alergênicos, sobretudo das proteínas glicinina e β -conglucina, que estão associadas a ocorrência de reações inflamatórias na mucosa intestinal que levam a danos no epitélio intestinal com redução nos processos de digestão e absorção dos nutrientes e ocorrência de diarreia nos animais (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010).

Embora o efeito do plasma sanguíneo sobre a histologia do epitélio intestinal seja mais pronunciado no contexto de condições de desafio sanitário e infecções bacterianas (Torrallardona, 2010), um benefício extra protetivo poderia ser esperado no caso de danos morfológicos associados as reações de hipersensibilidade em virtude dos fatores alergênicos presentes nos produtos oriundos na soja (Jiang et al., 2000; Hartke et al., 2003).

Neste estudo, os resultados demonstram que os leitões que consumiram as dietas contendo as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja FSP100, FSEP100, FSTP50 e FSEP50 apresentaram maiores alturas de vilosidade do duodeno em comparação aos leitões que consumiram as dietas FSTP0 e FSEP0, independentemente do tipo de farelo de soja consumido. No entanto, os tratamentos avaliados não influenciaram os demais parâmetros da histologia no duodeno, bem como a histologia do jejuno.

De forma similar ao observado neste estudo, estudos demonstram que o consumo de dietas contendo plasma sanguíneo pelos leitões nos primeiros 14 dias após o desmame proporciona um efeito positivo na integridade do epitélio intestinal com o aumento na altura das vilosidades intestinais, na área de superfície das vilosidades, e na relação vilosidade:cripta, sem efeitos claros sobre a profundidade de cripta (Zhao et al., 2007; Torrallardona, 2010; Che et al., 2012; Tran et al., 2014). Estes efeitos se devem a ação imunomoduladora do plasma sanguíneo ao reduzir a produção de citocinas pró-inflamatórias e estimular a produção de citocinas anti-inflamatórias na mucosa intestinal, o que reduz os danos nas vilosidades intestinais (Bosi et al., 2004; Peace et al., 2011; Tran et al., 2014). Ademais, este efeito positivo na integridade da mucosa intestinal auxilia na manutenção da integridade da barreira protetora no interior do trato gastrointestinal ao prevenir a adesão e colonização de antígenos no epitélio intestinal (Carroll et al., 2002).

Entretanto, resultados contraditórios também são observados na literatura em que, de forma similar ao ocorreu para os parâmetros de histologia do jejuno, a suplementação do plasma sanguíneo nas dietas após o desmame não trouxe benefícios a histologia do epitélio intestinal (Nofrarías et al., 2006; Nofrarías et al., 2007; King et al., 2008).

Os parâmetros da série vermelha e da série branca quantificados por meio do hemograma aos sete e aos 21 dias de experimentação, não foram afetados pelas dietas avaliadas e situaram-se dentro dos valores de referência citados por Thorn (2010), com exceção da concentração de proteína total cujos valores situaram-se abaixo dos valores de referência.

As concentrações séricas de proteína total obtidas neste estudo, entre 4,87 e 4,98 g/dL aos sete dias, e entre 5,42 e 5,67 g/dL aos 21 dias de experimento, embora estejam abaixo dos valores de referência de entre 6,00 a 8,00 g/dL (Thorn, 2010), estão próximas as concentrações séricas obtidas em estudos que avaliaram o fornecimento de farelo de soja tostado e farelo de soja fermentado na dieta de leitões no pós-desmame, entre 5,10 e 5,58 g/dL (Cho et al., 2007).

Os resultados obtidos neste estudo para a análise do hemograma corroboram os resultados obtidos por Rochell et al. (2015) que não observaram efeitos para os parâmetros quantificados da série vermelha hemácias, hemoglobina e hematócrito, bem como os parâmetros da série branca leucócitos, linfócitos, monócitos e neutrófilos, quando leitões foram alimentados com dietas contendo altos ou baixos níveis de inclusão de farelo de soja tostado após o desmame.

Um aumento na contagem de leucócitos poderia ser um indicativo de que os fatores alergênicos da soja não foram corretamente inativados, ocorrendo assim a necessidade do recrutamento destas células frente ao desafio oral para a ocorrência da resposta imune (Rumsey et al., 1994). No entanto os resultados obtidos neste estudo não demonstram sinais de alterações nos parâmetros da série branca avaliados, e estes resultados sustentam os resultados obtidos para as demais variáveis avaliadas, tais como os parâmetros de desempenho, frequência da ocorrência de diarreia e histologia do epitélio intestinal que não foram afetados pela fonte de farelo de soja utilizada.

Embora estudos indiquem que a suplementação de plasma sanguíneo nas dietas pós-desmame pode reduzir a ativação do sistema imune, com redução na produção das células de defesa (Demas et al., 1997; Pérez-Bosque et al., 2004; Nofrarías et al., 2006), neste estudo não foram observados efeitos da combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja nos parâmetros da série branca avaliados, e, da mesma forma que ocorreu para a fonte de farelo de soja utilizado, esta resposta imune sorológica e inespecífica corrobora os resultados obtidos

para as demais variáveis avaliadas, e pode estar relacionada a qualidade do processamento térmico empregado nas fontes de farelo de soja e ao desafio sanitário empregado neste estudo.

Os resultados obtidos neste estudo são similares aos de Nofrarias et al. (2006) que não observaram efeitos da suplementação de 6% de plasma sanguíneo em complementação ao farelo de soja tostado da dieta sobre os parâmetros da série branca avaliados, sendo os leucócitos, linfócitos, monócitos, neutrófilos e eosinófilos, aos 7, 14 e 21 dias após o desmame.

É importante ressaltar que, de acordo com Friesen et al. (1993), quanto antes ocorrer a suplementação e o consumo de fontes proteicas oriundas da soja pelos leitões, mais rápido irá ocorrer a adaptação do sistema imune dos animais aos fatores alergênicos da soja, o que irá atenuar os efeitos deletérios decorrentes das reações de hipersensibilidade e resultar em um melhor aproveitamento dos nutrientes das dietas com melhoria no desempenho animal. Desta forma, o fornecimento da dieta pré-desmame e o período de transição gradual do consumo da dieta fornecida na granja de origem para as dietas experimentais pode ter atenuado o impacto fisiológico que as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, bem como a fonte de farelo de soja fornecida na dieta, promoveriam neste estudo.

Em todas as fases do programa nutricional, bem como no período total de experimentação, o consumo das dietas contendo farelo de soja tostado, dietas FSTP100, FSTP50 e FSTP0, resultaram em menores custos médios em ração por quilograma de peso vivo ganho, melhores índices de eficiência econômica e melhores índices médios de custo em comparação ao consumo das dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado, dietas FSEP100, FSEP50 e FSEP0. Este resultado se deve ao maior custo do farelo de soja não tostado extrudado, este associado ao custo do processamento de extrusão, e também ao desempenho obtido pelos leitões que consumiram este ingrediente que não permitiu a compensação do investimento gasto no processamento do farelo de soja não tostado em relação ao farelo de soja tostado.

Neste estudo, nos períodos de 1 a 14 e 15 a 28 dias de experimentação, correspondente as dietas pré-inicial I e pré-inicial II do programa nutricional, as dietas contendo a combinação do maior nível de plasma sanguíneo e menor nível de farelo de soja, dietas FSTP100 e FSEP100, apresentaram os maiores custos médios em ração por quilograma de peso vivo, seguidas pelas dietas contendo os níveis intermediários de plasma sanguíneo e farelo de soja, dietas FSTP50 e FSEP50, e pelas dietas suplementadas com a combinação do menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja, dietas FSTP0 e FSEP0, o que resultou nos piores índices de eficiência econômica e piores índices médios de custo. Este resultado refletiu no período total de experimentação, em que este comportamento se repetiu, com as dietas

FSTP100 e FSEP100 apresentando os maiores custos médios em ração por quilograma de peso vivo, seguidas pelas dietas FSTP50, FSEP50, FSTP0 e FSEP0 que apresentaram os menores custos médios em ração por quilograma de peso vivo. No período de 29 a 42 dias de experimentação, fase inicial do programa nutricional, em que as dietas não foram suplementadas com plasma sanguíneo, não foram observados efeitos da combinação de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja sobre o custo médio em ração por quilograma de peso vivo.

A alimentação é o maior componente no custo de produção de suínos, representando cerca de 70% dos custos totais de produção da atividade (Miele et al., 2011). Durante o período de creche a suplementação de fontes proteicas de origem animal, sobretudo o plasma sanguíneo, pode representar em torno de 35% dos custos das dietas, isto porque o plasma sanguíneo pode apresentar um custo por quilograma de 8 a 12 vezes maior que o farelo de soja tostado, desta forma, se faz necessário à busca por fontes proteicas alternativas de menor custo com vistas a garantir a maximização do desempenho animal e eficiência econômica da atividade.

No presente estudo, o fornecimento da dieta contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja tostado, dieta FSTP0, resultou no menor custo médio em ração por quilograma de peso vivo, no melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo no período total de experimentação, o que indica que neste cenário foi possível reduzir a inclusão do plasma sanguíneo da dieta e aumentar a inclusão do farelo de soja tostado sem prejuízos ao desempenho e a saúde dos leitões.

4.5. Conclusão

A substituição do farelo de soja tostado pelo farelo de soja não tostado extrudado nas dietas dos leitões não influenciou os parâmetros de desempenho e saúde intestinal, no entanto foi economicamente inviável uma vez que o consumo das dietas contendo o farelo de soja não tostado extrudado resultou nos maiores custos médios de ração por quilograma de peso vivo ganho. Em relação a substituição gradativa do plasma sanguíneo da dieta pelo farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado, o maior nível da combinação plasma sanguíneo e farelo de soja, independente da fonte do farelo de soja, resultou em melhor desempenho dos animais nas primeiras duas semanas de experimento, no entanto, estatisticamente, não foram observadas diferenças de desempenho entre estas combinações no período total de

experimentação. Cabe ressaltar que, a redução dos níveis de plasma nas dietas, e consequentemente o aumento do farelo de soja, independentemente da fonte, foi acompanhada por uma redução nos custos médios de ração por quilograma de peso vivo ganho do período total de experimentação.

Referências

- Abbas, A.K., Lichtman, A.H., Pillai, S., 2008. *Imunologia Celular e Molecular*, 8 th ed. Elsevier Inc, Philadelphia. 1262p.
- Adams, K.L., Jensen, A.H., 1985. Effect of Processing on the Utilization by Young Pigs of the Fat in Soya Beans and Sunflower Seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12, 267-274.
- Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, J., Southern, L.L. (Eds.), *Swine Nutrition*, 2 nd ed. CRC Press, Washington, pp. 903-916.
- Agarwal, S., Mayer, L., 2014. The Mucosal Immune System. In: Metcalfe, D.D., Sampson, H.A., Simon, R.A., Lack, G. (Eds.), *Food Allergy: Adverse Reactions to Foods and Food Additives*, 5th ed. Wiley-Blackwell, Hoboken, pp. 3-15.
- AOAC. Association of official analytical chemists. 2006. *Official methods of analysis*. 18. ed. AOAC, Washington.
- AOCS. Association oil chemists society. 2009. *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society*. 6. ed. AOCS, Illinois.
- Araba, M., Dale, N.M., 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of over processing soybean meal. *Poult. Sci.* 69, 76-83.
- Barbosa, F.F., Ferreira, A.S., Gattás, G., Silva, F.C.O., Donzele, J.L., Brustolini, P.C., Lopes, D.C, 2007. Níveis de plasma sanguíneo em pó em dietas para leitões desmamados aos 21 dias de idade. *Braz. J. Anim. Sci.* 36, 1052-1060.
- Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Ferreira, A.S., Lima, G.J.M., Gomes, M.F.M., 1992. Triguilho para suínos nas fases inicial de crescimento, crescimento e terminação. *Braz. J. Anim. Sci.* 21, 827-37.
- Bellaver, C., Fialho, E.T., Protas, J.F.S., Gomes, P.C. 1985. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 20, 969-74.
- Benjamin, C.F., Figueiredo, R.C., Henriques, M.G.M.O., Barja-Fidalgo, C., 1997. Inflammatory and anti-inflammatory effects of soybean agglutinin. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 30, 873-881.
- Bittencourt, A.L., Soares, M.F.M., Pires, R.R., Honmoto, C.S., Tanaka, M.K., Jacob, C.M.A, Abdall, D.S.P., 2007. Immunogenicity and allergenicity of 2S, 7S and 11S soy protein fractions. *RBCF.* 43, 597-606.

- Bosi, P., Casini, L., Finamore, A., Cremokolini, C., Merialdi, G., Trevisi, P., Nobili, F., Mengheri, E., 2004. Spray-dried plasma improves growth performance and reduces inflammatory status of weaned pigs challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli* K88J. *Anim. Sci.* 82, 1764-1772.
- Broadway, R.M., Duffey, S.S., 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of action and effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exiqua*. *J Insect Physiol.* 32, 827-833.
- Brown, I., 1996. Complex Carbohydrates and Resistant Starch. *Nutr. Rev.*, 54, S115-S119.
- Campbell, J.M.; Crenshaw, J.D.; Polo, J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4, 1-4.
- Căpriță, R., Căpriță, A., Crețescu, I., 2010. Laboratory Procedures for Assessing Quality of Soybean Meal. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.* 2, 375-378.
- Carroll, J.A., Touchette, K.J., Matteri, R.L., Dyer, C.J., Allee, G.L., 2002. Effect of spray-dried plasma and lipopolysaccharide exposure on weaned pigs: II. Effects on the hypothalamic-pituitary-adrenal axis of weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 502-509.
- Cereto, A.C., 2004. Integração energética de rede de trocadores de calor em extração por solvente para a produção de farelo branco de soja. Master thesis, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.
- Che, L., Zhan, L., Fang, Z., Lin, Y., Yan, T., Wu, D., 2012. Effects of dietary protein sources on growth performance and immune response of weanling pigs. *Livest. Sci.* 148, 1-9.
- Cheftel, J.C., 1986. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking. *Food. Chem.* 20, 263-283.
- Cho, J.H., Min, B.J., Chen, Y.J., Yoo, J.S., Wang, Q., Kim, J.D., Kim, I.H., 2007. Evaluation of FSP (Fermented Soy Protein) to Replace Soybean Meal in Weaned Pigs: Growth Performance, Blood Urea Nitrogen and Total Protein Concentrations in Serum and Nutrient Digestibility. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 20, 1874-1879.
- Clemente, A., Jimenez, E., Marin-Manzano, M.C., Rubio, L.A., 2008. Active Bowman-Birk inhibitors survive gastrointestinal digestion at the terminal ileum of pigs fed chickpea-based diets. *J. Sci. Food Agric.* 88, 513-521.
- Coffey, R.D., Cromwell, G.L., 1995. The impact of environment and antimicrobial agents on the growth response of early-weaned pigs to spray-dried porcine plasma. *J. Anim. Sci.* 73, 2532-2539.
- Colditz, I.G., 2002. Effects of the immune system on metabolism: implications for production and disease resistance in livestock. *Livest. Sci.* 75, 257-268.

- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. 2013. Guia dos métodos analíticos: solubilidade proteica em hidróxido de potássio. Sindirações, São Paulo, pp. 219-222.
- Crowe, T.W., Johnson, L.A., Wang, T., 2001. Characterization of Extruded-Expelled Soybean Flours. *JAOCs*. 78, 775-779.
- de Rodas, B.Z., Sohn, K.S., Maxwell, C.V., Spicer, L.J., 1995. Plasma Protein for Pigs Weaned at 19 to 24 Days of Age: Effect on Performance and Plasma Insulin-Like Growth Factor I, Growth Hormone, Insulin, and Glucose Concentrations. *J. Anim. Sci.* 73, 3657–3665.
- Demas, G.E., Chefer, V., Talan, M.I., Nelson, R.J., 1997. Metabolic costs of mounting an antigen-stimulated immune response in adult and aged C57BL/6J mice. *Am. J. Physiol.* 273, 1631-1637.
- Dréau, D., Lallès, J.P., 1999. Contribution to the study of gut hypersensitivity reactions to soybean proteins in preruminant calves and early-weaned Piglets. *Livest. Sci.* 60, 209-218.
- Fernandez, S.R., Parsons, C. M., 1996. Bioavailability of Digestible Lysine in Heat-Damaged Soybean Meal for Chick Growth. *Poult. Sci.* 75, 224-231.
- Ferreira, V.P.A.; Ferreira, A.S.; Donzele, J.L.; Albino, L.F.T.; Gomes, P.C.; Cecon, P.R.; Teixeira, A.O., 2001. Dietas para Leitões em Aleitamento e Pós-Desmame. *Braz. J. Anim. Sci.* 30, 753-760.
- Floc'h, N.L., Melchior, D., Obled, C., 2004. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation. *Livest. Sci.* 87, 37-45.
- Friesen, K.G., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Behnke, K.C., Kats, L.J., 1993. The Effect of Moist Extrusion of Soy Products on Growth Performance and Nutrient Utilization in the Early-Weaned Pig. *J. Anim. Sci.* 71, 2099-2109.
- Fu, C.J., Jez, J.M., Kerley, M.S., Allee, G.L., Krishnan, A.H.B., 2007. Identification, Characterization, Epitope Mapping, and Three-Dimensional Modeling of the r-Subunit of α -Conglycinin of Soybean, a Potential Allergen for Young Pigs. *J. Agric. Food Chem.* 55, 4014–4020.
- Gaines, A.M., Carroll, J.A., Yi, G.F., Allee, G.L., Zannelli, M.E., 2003. Effect of menhaden fish oil supplementation and lipopolysaccharide exposure on nursery pigs II. Effects on the immune axis when fed simple or complex diets containing no spray-dried plasma. *Domest. Anim. Endocrinol.* 24, 353-365.
- Goebel, K.P., Stein, H.H., 2011a. Phosphorus digestibility and energy concentration of enzyme-treated and conventional soybean meal fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 764-772.

- Goebel, K.P., Stein, H.H., 2011b. Ileal Digestibility of Amino Acids in Conventional and Low-Kunitz Soybean Products Fed to Weanling Pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24, 88-95.
- Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J., van Leeusen, P., 1998. Ileal Apparent Protein and Amino Acid Digestibilities and Endogenous Nitrogen Losses in Pigs Fed Soybean and Rapeseed Products. *J. Anim. Sci.* 76, 557–568.
- Grinstead, G.S., Goodband, R.D., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Nelssen, J.L., Woodworth, J.C., Molitor, M., 2000. Effects of a whey protein product and spray-dried animal plasma on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 78, 647–665.
- Hao, Y., Zhan, Z., Guo, P., Piao, X., Li, D., 2009. Soybean β -conglycinin-induced gut hypersensitivity reaction in a piglet model. *Arch. Anim. Nutr.* 63, 188-202.
- Hao, Y., Li, D., Piao, X., Piao, X., 2010. Forsythia suspensa extract alleviates hypersensitivity induced by soybean conglycinin in weaned piglets. *J. Ethnopharmacol.* 128, 412–418.
- Harlow, E., Lane, D., (Eds.), 1988. *Antibodies: A Laboratory Manual*. Cold Spring Harbor Press, New York. 726p.
- Hartke, J.L., Apgar, G.A., Griswold, K.E., Jacobson, B.N., Rosenthal, T.L., Guthrie, T.A., 2003. Responses of weanling pigs to spray-dried animal plasma added to simple diets containing varying levels of soya-bean meal. *Anim. Sci.* 77, 73-78.
- Hettiarachchy, N., Kalapathy, U., 1997. Soybean Protein Products. In: Liu, K (Ed.). *Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization*. Springer, Singapura, pp. 379-411.
- Jeong, J.S., Park, J.W., Lee, S.I., Kim, I.H., 2016. Apparent ileal digestibility of nutrients and amino acids in soybean meal, fish meal, spray-dried plasma protein and fermented soybean meal to weaned pigs. *Anim. Sci. J.* 87, 697-702.
- Jiang, R., Chang, X., Stoll, B., Ellis, K.J., Shypailo, R.J., Weaver, E., Campbell, J., Burrin, D.G., 2000. Dietary Plasma Protein Is Used More Efficiently than Extruded Soy Protein for Lean Tissue Growth in Early-Weaned Pigs. *J. Nutr.* 130, 2016-2019.
- Johnson, R. 1997. Inhibition of growth by pro-inflammatory cytokines: An integrated view. *J. Anim. Sci.* 75, 1244-1255.
- Karr-Lilienthal, L.K., Kadzere, C.T., Grieshop, C.M., Fahey, G.C. 2005. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. *Livest. Sci.* 97, 1-12.
- Kats, L.J., Nelssen, J.L., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Hansen, J.A., Laurin, J.L., 1994. The Effect of Spray-Dried Porcine Plasma on Growth Performance in the Early-Weaned Pig'. *J. Anim. Sci.* 72, 2075-2081.

- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hines, R.H., Gugle, T.L., 2000. Roasting and Extruding Affect Nutrient Utilization from Soybeans in 5 and 10 kg Nursery Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 13, 200-206.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hong, J.W., Cabrera, M.R., Hines, R.H., Behnke, K.C., 2002. Corn Particle Size Affects Nutritional Value of Simple and Complex Diets for Nursery Pigs and Broiler Chicks. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 15, 872-877.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Jones, D.B., Reddy, P.G., 1999. Extrusion Processing of Low-Inhibitor Soybeans Improves Growth Performance of Early-Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 12, 1251-1257.
- King, M.R., Morel, P.C.H., Pluske, J.R., Hendriks, W.H., 2008. A comparison of the effects of dietary spray-dried bovine colostrum and animal plasma on growth and intestinal histology in weaner pigs. *Livest. Sci.* 119, 167-173.
- Kleessen, B., Hartmann, L., Blaut, M., 2003. Fructans in the diet cause alterations of intestinal mucosal architecture, released mucins and mucosa-associated bifidobacteria in gnotobiotic rats. *Br. J. Nutr.* 89, 597-606.
- Kong, C., Adeola, O., 2014. Evaluation of Amino Acid and Energy Utilization in Feedstuff for Swine and Poultry Diets. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27, 917-925.
- Kummer, R., Gonçalves, M.A.D., Lippke, R.T., Marques, B.M.F.P.P., Mores, T.J., 2009. Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche. *Acta Sci. Vet.* 37, 195-209.
- Laemmli, U.K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.* 227, 680-685.
- Lallès, J.-P., 2008. Nutrition and gut health of the young pig around weaning: what news? *Archiva Zootechnica.* 11, 5-15.
- Lee, H.S., Kim, J.G., Shin, Y.W., Park, Y.H., You, S.K., Kim, S.H., Whang, K.Y., 2007. Comparison of laboratory analytical values and in vivo soybean meal quality on pigs by employing soyflakes heat-treated under different conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134, 337-346.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F.J.D.; Allee, G.L., Goodband, R.D., Klemm, R., 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68, 1790-1799.

- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Giesting, D.W., Hancock, J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., 1991a. Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69, 3299-3307.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Goodband, R.D., 1991b. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 69, 4062-4069.
- Lin, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 30, 754-761.
- Liu, X., Feng, J., Xu, Z.R., Wang, Y.Z., Liu, J.X., 2007. Oral allergy syndrome and anaphylactic reactions in BALB/c mice caused by soybean glycinin and b-conglycinin. *Clin. Exp. Allergy.* 38, 350-35.
- Liu, H., Kim, I.B., Touchette, K.J., Newcomb, M.D., Allee, G.L., 2001. The effect of Spray Dried Plasma, Lactose and Soybean Protein Sources on the Performance of Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 14, 1290-1298.
- Liu, D.W., Zang, J.J., Liu, L., Jaworski, N.W., Fan, Z.J., Wang, T.T., Li, D.F., Wang, F.L., 2014. Energy content and amino acid digestibility of extruded and dehulled-extruded corn by pigs and its effect on the performance of weaned pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 59, 69-83.
- Losso, J.N., 2008. The Biochemical and Functional Food Properties of the Bowman-Birk Inhibitor. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 94-118.
- Maurya, K., Said, P.P., 2014. Extrusion Processing on Physical and Chemical Properties of Protein Rich Products-An Overview. *J. Bioresour. Eng. Tech.* 1, 67-73.
- Mendes, W.S., Silva, I.J., Fontes, D.O., Rodriguez, N.M., Marinho, P.C., Silva, F.O., Arouca, C.L.C., Silva, F.C.O., 2004. Composição química e valor nutritivo da soja crua e submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 56, 207-213.
- Miele, M., Santos Filho, J.I., Martins, F.M., Sandi, A.J., Sulenta, M., 2011. Custos de Produção de Suínos em Países Selecionados, 2010. Comunicado Técnico 499, EMBRAPA, Concórdia. 21p.
- Milani, N.C., Sbardella, M., Ikeda, N.Y., Arno, A., Mascarenhas, B.C., Miyada, V.S., 2017. Dietary zinc oxide nanoparticles as growth promoter for weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 227, 13-23.
- Morés, N., Amaral, A.L., 2001. Patologias associadas ao desmame. In: 10º Congresso Da Abraves, 2001, Porto Alegre. 11p.

- Murray, S.M., Patil, A.R., Fahey, G.C., Merchen, N.R., Wolf, B.W., Lai, C.-S., Garleb, K.A., 1998. Apparent Digestibility of a Debranched Amylopectin-Lipid Complex and Resistant Starch Incorporated into Enteral Formulas Fed to Ileal-Cannulated Dogs. *J. Nutr.* 128, 2032–2035.
- Naeim, F., Rao, O.N., Song, S.X., Phan, R.T., 2018. Chapter 4 - Principles of Molecular Techniques. In: Naeim, F., Rao, O.N., Song, S.X., Phan, R.T. (Eds.) *Atlas of Hematopathology: Morphology, Immunophenotype, Cytogenetics, and Molecular Approaches*, 2nd ed. Academic Press, Waltham, pp.69-88.
- National Research Council (NRC), 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., U.S.A. 400p.
- Nofrarías, M., Manzanilla, E.G., Pujols, J., Gibert, X., Majó, N., Segalés, J., Gasa, J., 2006. Effects of spray-dried porcine plasma and plant extracts on intestinal morphology and on leukocyte cell subsets of weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 2735-2742.
- Nofrarías, M., Manzanilla, E.G., Pujols, J., Gibert, X., Majó, N., Segalés, J., Gasa, J., 2007. Spray-dried porcine plasma affects intestinal morphology and immune cell subsets of weaned pigs. *Livest. Sci.* 108, 299–302.
- Owusu-Asiedu, A., Baidoo, S.K., Nyachoti, C.M., 2002. Effect of heat processing on nutrient digestibility in pea and supplementing amylase and xylanase to raw, extruded or micronized pea-based diets on performance of early-weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 82, 367–374.
- Parsons, C.M., Hashimoto, K., Wedekind, K.J., Baker, D.H., 1991. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. *J. Anim. Sci.* 69, 2918-2924.
- Peace, R.M., Campbell, J., Polo, J., Crenshaw, J., Russell, L., Moeser, A., 2011. Spray-Dried Porcine Plasma Influences Intestinal Barrier Function, Inflammation, and Diarrhea in Weaned Pigs. *J. Nutr.* 141, 1312-1317.
- Peng, C., Tang, X., Shu, Y., He, M., Xia, X., Zhang, Y., Cao, C., Li, Y., Feng, S., Wang, X., Wu, J., 2019. Effects of 7S and 11S on the intestine of weaned piglets after injection and oral administration of soybean antigen protein. *Anim. Sci. J.* 90, 393-400.
- Pérez-Bosque, A., Pelegri, C., Vicario, M., Castell, M., Russell, L., Campbell, J.M., Quigley, J.D., Polo, J., Amat, C., Moreto, M., 2004. Dietary plasma protein affects the immune response of weaned rats challenged with *S. aureus* superantigen B. *J. Nutr.* 134, 2667-2672.
- Perrier, C., Corthesy, B., 2010. Gut permeability and food allergies. *Clin Exp Allergy.* 41, 20–28.

- Pierce, J.L., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Russell, L.E., Weaver, E.M., 2005. Effects of spray-dried animal plasma and immunoglobulins on performance of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2876-2885.
- Pluske, J.R., Hampson, D.J., Williams, I.H., 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest. Sci.* 51, 215-236.
- Qiao, S., Li, D., Jiang, J., Zhou, H., Li, J., Thacker, P.A., 2003. Effects of Moist Extruded Full-fat Soybeans on Gut Morphology and Mucosal Cell Turnover Time of Weanling Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 16, 63-69.
- Qin, G., ter Elst, E.R., Bosch, M.W., van der Poel, A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 313-324.
- Rao, S.K., Artz, W.E., 1989. Effect of Extrusion on Lipid Oxidation. *J. Food Sci.* 54, 1580-1583.
- Riaz, M.N., 2011. Texturized vegetable proteins. In: Phillips, G.O., Williams, P.A. (Ed.). *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publishing Limited, Nova Deli, pp. 395-418.
- Rochell, S.J., Alexander, L.S., Rocha, G.C., Van Alstine, W.G., Boyd, R.D., Pettigrew, J.E., Dilger, R.N., 2015. Effects of dietary soybean meal concentration on growth and immune response of pigs infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *J. Anim. Sci.* 93, 2987-2997.
- Rumsey, G.L., Siwicki, A.K., Anderson, D.P., Bowser, P.R., 1994. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanisms, growth, and protein utilization in rainbow trout. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 41, 323-339.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L., 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 916-929.
- Sjovall, O., Lapvetelainen, A., Johansson, A., Kallio, H., 1997. Analysis of Volatiles Formed during Oxidation of Extruded Oats. *J. Agric. Food Chem.* 45, 4452-4455.
- Song, Y.S., Pérez, V.G., Pettigrew, J.E., Martinez-Villaluenga, C., Gonzalez De Mejia, E., 2010. Fermentation of soybean meal and its inclusion in diets for newly weaned pigs reduced diarrhea and measures of immunoreactivity in the plasma. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159, 41-49.
- Steel, C.J., Leoro, M.G.V., Schmiele, M., Ferreira, R.E., Chang, Y.K., 2012. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: El-Sonbati, A. (Ed.). *Thermoplastic Elastomers*. 1st ed. InTech, Rijeka, pp. 265-290.

- Sun, P., Li, D., Li, Z., Dong, B., Wang, F. 2008a. Effects of glycinin on IgE-mediated increase of mast cell numbers and histamine release in the small intestine. *J. Nutr. Biochem.* 19, 627-633.
- Sun, P., Li, D., Dong, B., Qiao, S., Ma, X. 2008b. Effects of soybean glycinin on performance and immune function in early weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 313-321.
- Thanh, V.H., Shibasaki, K. 1977. Beta-Conglycinin from Soybean Proteins: Isolation and Immunological and Physicochemical Properties of the Monomeric Forms. *Biochim. Biophys. Acta.* 490, 370-384.
- Thomson, J.E., Jones, E.E., Eisen, E.J., 1994. Effect of spray-dried porcine plasma protein on feed intake, growth rate, and efficiency of gain in mice. *J. Anim. Sci.* 72, 2690–2695.
- Thorn, C.E., 2010. Hematology of the pig. In: Weiss, D.J., Wardrop, K.J. (Eds.), *Schalm's Veterinary Hematology*, 6th ed. Blackwell Publishing Ltd., Ames, pp. 843–851.
- Torrallardona, D., 2010. Spray Dried Animal Plasma as an Alternative to Antibiotics in Weanling Pigs - A Review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23, 131-148.
- Torrallardona, D., Polo, J., 2016. Effect of spray-dried porcine plasma protein and egg antibodies in diets for weaned pigs under environmental challenge conditions. *J Swine Health Prod.* 24, 21–28.
- Tran, H., Bundy, J.W., Li, Y.S., Carney-Hinkle, E.E., Miller, P.S., Burkey, T.E., 2014. Effects of spray-dried porcine plasma on growth performance, immune response, total antioxidant capacity, and gut morphology of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 92, 4494-4504.
- Vagadia, B.H., Vanga, S.K., Raghavan, V., 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor - A review. *Trends Food Sci. Technol.* 64, 115-125.
- van Dijk, A.J., Everts, H., Nabuurs, M.J.A., Margry, R.J.C.F., Beynen, A.C., 2001. Growth performance of weanling pigs fed spray-dried animal plasma: a review. *Livest. Sci.* 68, 263–274.
- Van Keulen, J., Young, B.A., 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 47, 282-287.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implication in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Vannucci, F.A., Guedes, R.M.C., 2009. Fisiopatologia das diarreias em suínos. *Cienc. Rural.* 39, 2233-2242.

- Veum, T.L., Serrano, X., Hsieh, F.H., 2017. Twin- or single-screw extrusion of raw soybeans and preconditioned soybean meal and corn as individual ingredients or as corn-soybean product blends in diets for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 95, 1288-1300.
- Wen, X., Wang, L., Zheng, C., Yang, X., Ma, X., Wu, Y., Chen, Z., Jianet, Z., 2018. Fecal scores and microbial metabolites in weaned piglets fed different protein sources and levels. *Anim. Nutr.* 4, 31-36.
- Wolter, B.F., Ellis, M., Corrigan, B.P., Dedecker, J.M., Curtis, S.E., Parr, E.N., Webel, D.M., 2003. Impact of early postweaning growth rate as affected by diet complexity and space allocation on subsequent growth performance of pigs in a wean-to-finish production system. *J. Anim. Sci.* 81, 353-359.
- Wu, J.J., Cao, C.M., Ren, D.D., Zhang, Y., Kou, Y.N., Ma, L.Y., Feng, S.B., Li, Y., Wang, X.C., 2016a. Effects of soybean antigen proteins on intestinal permeability, 5-hydroxytryptamine levels and secretory IgA distribution in the intestine of weaned piglets. *Ital. J. Anim. Sci.* 15, 174-180.
- Wu, J.J., Zhang, Y., Dong, J.H., Cao, C.M., Li, B., Feng, S.B., Ding, H.Y., Ma, L.Y., Wang, X.C., Li, Y., 2016b. Allergens and intestinal damage induced by soybean antigen proteins in weaned piglets. *Ital. J. Anim. Sci.* 15, 437-445.
- Yen, J.T., Jensen, A.H., Simon, J., 1977. Effect of Dietary Raw Soybean and Soybean Trypsin Inhibitor on Trypsin and Chymotrypsin Activities in the Pancreas and in Small Intestinal Juice of Growing Swine. *J. Nutr.* 170, 156-165.
- Ying, D.Y., Edin, L., Cheng, L., Sanguansri, L. Augustin, M.A., 2015. Enhanced oxidative stability of extruded product containing polyunsaturated oils. *J. Food Sci. Technol.* 62, 1105-1111.
- Zhao, J., Harper, A.F., Estienne, M.J., Webb Jr., K.E., McElroy, A.P., Denbow, D.M., 2007. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments. *J. Anim. Sci.* 85, 1302-1310.
- Zhao, Y., Qin, G., Sun, Z., Zhang, X., Bao, N., Wang, T., Zhang, B., Zhang, B., Zhu, D., Sun, D., 2008. Disappearance of immunoreactive glycinin and b-conglycinin in the digestive tract of piglets. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 322-330.
- Zhao, Y., Qin, G.X., Sun, Z.W., Zhang, B., Wang, T. 2010. Effects of glycinin and β -conglycinin on enterocyte apoptosis, proliferation and migration of piglets. *Food Agric. Immunol.* 21, 209-218.

- Zhao, Y., Qin, G., Han, R., Wang, J. Zhang, X., Liu, D., 2014. β -Conglycinin Reduces the Tight Junction Occludin and ZO-1 Expression in IPEC-J2. *Int. J. Mol. Sci.* 15, 1915-1926.
- Zhao, Y., Liu, D., Han, R., Zhang, X., Zhang, S., Qin, G., 2015. Soybean allergen glycinin induced the destruction of the mechanical barrier function in IPEC-J2. *Food Agric. Immunol.* 26, 601-609.
- Žilić, S.M., Božović, I.N., Savić, S., Šobajić, S., 2006. Heat processing of soybean kernel and its effect on lysine availability and protein solubility. *Cent. Eur. J. Biol.* 1, 572-583.
- Žilić, S., Bozović, I., Šukalović, V.H.-T., 2012. Thermal Inactivation of Soybean Bioactive Proteins. *Int. J. Food Eng.* 8, 1-18.
- Žilić, S.M., Šobajić, S.S., Drinić, S.D.M., Kresović, B.J., Vasić, M.G., 2010. Effects of Heat Processing on Soya Bean Fatty Acids Content and the Lipoxygenase Activity. *J. Agric. Sci.* 55, 55-64.

Tabela 16. Condições de operação da extrusão do ingrediente avaliado

Parâmetros	Ingrediente
	Farelo de soja não tostado
Condicionador	
Temperatura (°C)	89,6
Adição água condicionador (L/h)	10
Adição água canhão (L/h)	0
Água do vapor (estimada)	6,5
Velocidade das pás (Hz)	21,8
Umidade real (%)	34,4
Extrusora	
Alimentação (Hz)	12,2
Velocidade da rosca (RPM)	642,9
Velocidade da rosca (Hz)	1800
Amperagem (A)	39,7
Produtividade estimada (kg/h)	143,6
Produtividade real (kg/h)	120,00
Temperatura do canhão extrusora (°C)	
(1)	44,2
(2)	69,4
(3)	57,6
(4)	131,2
(saída)	119,8
Velocidade corte faca (Hz)	20,8
Trafila e Matriz	
Diâmetro do anel de retenção (mm)	15
Trafila, n° de furos abertos	1
Diâmetro dos furos (mm)	10
Área aberta (mm ²)	78,5
Extrudado	
Umidade real (%)	29,4
Área aberta (mm ² /ton/h)	604,2

Tabela 17. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)

Item	Ingredientes		
	FSTOS	FSNT	FSE
MS, %	89,63	89,39	89,25
PB, %	47,05	49,04	46,17
MM, %	6,71	6,64	6,75
EB, kcal/kg	4236,11	4188,19	4181,46
EE, %	1,49	1,30	0,96
FDN, %	9,14	7,35	7,57
FDA, %	5,35	3,80	4,27
Atividade de inibidor de tripsina, (mg/g de PB)	2,82	28,24	4,28
Atividade ureática	0,05	1,27	0,02
Proteína solúvel em KOH, %	82,16	99,29	77,68

FSTOS = Farelo de soja tostado; FSNT = Farelo de soja não tostado; FSE = Farelo de soja não tostado extrudado.

Tabela 18. Composição da dieta do período de adaptação (matéria natural)

Item	Pré-Inicial I
Ingredientes, %	
Concentrado Pré-Inicial 1 ¹	40,000
Milho	39,417
Farelo de soja, 46%	18,666
Óleo de soja	1,667
Adsorvente de micotoxinas (Aflatoxina, Fumonisina, Zearalenona)	0,200
Suplemento mineral, vitamínico, aminoácidico	0,050
Total, %	100,00
Composição calculada	
Energia metabolizável, kcal/kg	3488,92
Proteína bruta, %	19,87
Extrato etéreo, %	6,44
Fibra bruta, %	1,96
Cálcio, %	0,80
Fósforo disponível, %	0,40
Sódio, %	0,23
Lactose, %	12,00
Lisina digestível, %	1,36

¹Fornecendo por kg da dieta: lactose, 120 g; cálcio, 7,20 g; fósforo, 2,84 g; flúor, 28,4 mg; lisina, 8,4 g; metionina, 3 g; treonina, 5,60 g; triptofano, 1,64 g; valina, 4,80 g; cobre, 148 mg; ferro, 116 mg; iodo, 1,16 mg; manganês, 58 mg; zinco, 2,80 g; selênio, 0,54 mg; vitamina A, 10.800 UI; vitamina D3, 2.160 UI; vitamina E, 64,80 UI; vitamina K3, 4,80 mg; vitamina B1, 2,4 mg; vitamina B2, 6,40 mg; vitamina B3, 54 mg; vitamina B5, 26,80 mg; vitamina B6, 3,60 mg; vitamina B12, 40,4 mcg; ácido fólico, 0,53 mg; biotina, 0,21 mg; colina, 360 mg; sódio, 2,16 g; fitase, 520 U; xilanase, 1000 U; *Bacillus licheniformis*, 3x10⁹ UFC; *Bacillus subtilis*, 3x10⁹ UFC; halquinol, 120 mg.

Tabela 19. Composição das dietas experimentais (matéria natural)

Item	Pré-inicial I					
	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0
Ingredientes, g/kg						
Milho	527,00	527,00	527,00	527,00	527,00	527,00
Farelo de soja, 48% PB	225,00	255,00	285,00	-	-	-
Farelo de soja não tostado extrudado	-	-	-	225,00	255,00	285,00
Soro de leite desidratado	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
Concentrado proteico de soja	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Plasma sanguíneo desidratado	50,00	25,00	-	50,00	25,00	-
Farelo de trigo	21,05	11,00	0,60	21,05	11,00	0,60
Óleo de soja	28,80	28,95	29,52	28,80	28,95	29,52
Fosfato bicálcico	19,80	20,20	20,60	19,80	20,20	20,60
Calcário calcítico	10,20	9,70	9,20	10,20	9,70	9,20
Sal	3,40	5,70	7,80	3,40	5,70	7,80
L-Lisina, 78%	3,40	4,40	5,43	3,40	4,40	5,43
DL-Metionina, 99%	1,40	1,70	2,10	1,40	1,70	2,10
L-Treonina, 98,5%	1,50	2,10	2,70	1,50	2,10	2,70
L-Valina, 98,5%	0,10	0,80	1,40	0,10	0,80	1,40
Triptofano, 98,5%	0,20	0,30	0,50	0,20	0,30	0,50
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Celite®	-	-	-	-	-	-
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg						
Matéria seca ³	895,47	895,49	896,50	886,55	883,66	884,10
Matéria mineral ³	61,54	62,64	66,26	64,21	64,42	62,61
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3380,69	3374,50	3371,72	3380,69	3374,50	3371,72
Proteína bruta ³	205,02	206,03	205,66	206,38	203,88	202,81
Cálcio ⁴	10,69	10,67	10,65	10,69	10,67	10,65
Fósforo disponível ⁴	4,48	4,49	4,50	4,48	4,49	4,50
Lactose ⁴	62,88	62,88	62,88	62,88	62,88	62,88
Fibra em detergente neutro ³	77,81	77,70	75,36	70,69	68,21	65,74
Fibra em detergente ácido ³	26,41	26,61	29,00	24,38	24,31	22,84
Extrato etéreo ³	48,63	51,61	51,69	48,31	48,92	47,06
Lisina digestível ⁴	14,19	14,18	14,19	14,19	14,18	14,19
Metionina + cistina digestível ⁴	7,98	7,91	7,95	7,98	7,91	7,95
Treonina digestível ⁴	9,50	9,51	9,52	9,50	9,51	9,52
Triptofano digestível ⁴	2,71	2,68	2,75	2,71	2,68	2,75
Valina digestível ⁴	9,76	9,85	9,83	9,76	9,85	9,83
Isoleucina digestível ⁴	7,82	7,88	7,94	7,82	7,88	7,94

FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de

plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 20. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação

Item	Pré-inicial II					
	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0
Ingredientes, g/kg						
Milho	578,00	578,00	578,00	578,00	578,00	578,00
Farelo de soja, 48% PB	255,00	275,00	295,00	-	-	-
Farelo de soja não tostado extrudado	-	-	-	255,00	275,00	295,00
Soro de leite desidratado	42,50	42,50	42,50	42,50	42,50	42,50
Concentrado proteico de soja	-	-	-	-	-	-
Plasma sanguíneo desidratado	25,00	12,50	-	25,00	12,50	-
Farelo de trigo	19,46	10,00	-	19,46	10,00	-
Óleo de soja	23,34	23,24	23,30	23,34	23,24	23,30
Fosfato bicálcico	18,90	19,20	19,58	18,90	19,20	19,58
Calcário calcítico	8,90	8,60	8,40	8,90	8,60	8,40
Sal	5,20	6,30	7,50	5,20	6,30	7,50
L-Lisina, 78%	4,25	4,61	4,97	4,25	4,61	4,97
DL-Metionina, 99%	1,50	1,70	1,80	1,50	1,70	1,80
L-Treonina, 98,5%	1,90	2,10	2,40	1,90	2,10	2,40
L-Valina, 98,5%	0,60	0,80	1,00	0,60	0,80	1,00
Triptofano, 98,5%	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,40
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Celite®	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg						
Matéria seca ³	889,10	889,75	888,00	880,73	886,10	879,32
Matéria mineral ³	68,68	70,30	71,64	73,83	72,88	75,31
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3288,54	3287,88	3287,72	3288,54	3287,88	3287,72
Proteína bruta ³	192,31	190,57	191,86	192,03	193,03	191,22
Cálcio ⁴	9,69	9,70	9,76	9,69	9,70	9,76
Fósforo disponível ⁴	4,01	4,04	4,08	4,01	4,04	4,08
Lactose ⁴	31,44	31,44	31,44	31,44	31,44	31,44
Fibra em detergente neutro ³	81,95	76,87	85,44	77,20	80,47	69,59
Fibra em detergente ácido ³	29,47	26,42	31,13	26,88	27,54	28,34
Extrato etéreo ³	47,65	48,49	46,73	46,05	42,45	44,41
Lisina digestível ⁴	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17
Metionina + cistina digestível ⁴	7,35	7,41	7,38	7,35	7,41	7,38
Treonina digestível ⁴	8,81	8,78	8,85	8,81	8,78	8,85
Triptofano digestível ⁴	2,52	2,48	2,54	2,52	2,48	2,54
Valina digestível ⁴	9,10	9,08	9,06	9,10	9,08	9,06
Isoleucina digestível ⁴	7,28	7,39	7,51	7,28	7,39	7,51

FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de

plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 21. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação

Item	Inicial					
	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0
Ingredientes, g/kg						
Milho	620,00	620,00	620,00	620,00	620,00	620,00
Farelo de soja, 48% PB	300,00	300,00	300,00	-	-	-
Farelo de soja não tostado extrudado	-	-	-	300,00	300,00	300,00
Soro de leite desidratado	-	-	-	-	-	-
Concentrado proteico de soja	-	-	-	-	-	-
Plasma sanguíneo desidratado	-	-	-	-	-	-
Farelo de trigo	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
Óleo de soja	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12
Fosfato bicálcico	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67
Calcário calcítico	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50
Sal	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
L-Lisina, 78%	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
DL-Metionina, 99%	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
L-Treonina, 98,5%	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
L-Valina, 98,5%	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Triptofano, 98,5%	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	-	-	-	-	-	-
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Celite®	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg						
Matéria seca ³	888,45	888,45	888,45	883,94	883,94	883,94
Matéria mineral ³	64,42	64,42	64,42	67,81	67,81	67,81
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3287,44	3287,44	3287,44	3287,44	3287,44	3287,44
Proteína bruta ³	190,98	190,98	190,98	191,64	191,64	191,64
Cálcio ⁴	8,85	8,85	8,85	8,85	8,85	8,85
Fósforo disponível ⁴	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
Lactose ⁴	-	-	-	-	-	-
Fibra em detergente neutro ³	81,37	81,37	81,37	78,34	78,34	78,34
Fibra em detergente ácido ³	28,89	28,89	28,89	27,89	27,89	27,89
Extrato etéreo ³	42,28	42,28	42,28	38,30	38,30	38,30
Lisina digestível ⁴	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24
Metionina + cistina digestível ⁴	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Treonina digestível ⁴	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92
Triptofano digestível ⁴	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
Valina digestível ⁴	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Isoleucina digestível ⁴	7,47	7,47	7,47	7,47	7,47	7,47

FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de

plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 22. Anticorpos e diluições utilizadas nas análises de *Dot Blot e Western Blot*

Anticorpo primário	Marca*	Diluição	Anticorpo secundário	Marca*	Diluição
Anti claudin 1	Abcam	1:1000	Anti mouse HRP	Sigma	1:10000
Anti claudin 2	LSBio	1:500	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
ZO1 polyclonal antibody	Invitrogen	1:1000	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
Anti OCLN	LSBio	1:1000	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
Goat anti-pig IgA HRP	Invitrogen	1:10000	-	-	-

*Abcam, Cambridge, Inglaterra; LSBio, Seattle, Estados Unidos da América; Invitrogen, Waltham, Estados Unidos da América; Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América.

Tabela 23. Desempenho zootécnico dos leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Peso vivo inicial, kg		6.51	6.46	6.52	6.50	6.48	6.40	0.30	0.3396	0,3404	0,6945
Período de 1 a 14 dias de experimentação											
Peso vivo, kg		12,39 ^a	12,06 ^{ab}	11,88 ^b	12,38 ^a	12,00 ^{ab}	11,64 ^b	0,62	0,8505	0,5456	0,0176
GDP, g/dia		420,1 ^a	396,9 ^{ab}	382,4 ^b	420,0 ^a	394,1 ^a	374,1 ^b	25,59	0,9568	0,6843	0,0180
CDR, g/dia		586,5 ^a	550,3 ^b	559,0 ^b	613,4 ^a	568,9 ^b	517,4 ^b	35,42	0,9167	0,0602	0,0008
CA		1,39	1,37	1,46	1,45	1,46	1,44	0,04	0,4044	0,1798	0,7047
Período de 15 a 28 dias de experimentação*											
Peso vivo, kg		21,36	20,41	20,55	20,63	20,32	20,15	0,92	0,7062	0,2024	0,1649
GDP, g/dia		630,7 ^a	596,6 ^a	626,2 ^a	600,7 ^b	597,0 ^b	580,2 ^b	14,14	0,2041	0,0358	0,5100
CDR, g/dia		983,1	970,1	1021,5	933,1	965,5	996,8	30,40	0,7491	0,2835	0,2054
CA		1,55	1,60	1,62	1,60	1,61	1,65	0,03	0,8982	0,2520	0,1371
Período de 29 a 42 dias de experimentação*											
Peso vivo, kg		30,68	29,49	29,33	29,59	28,82	28,87	1,06	0,8598	0,1252	0,1448
GDP, g/dia		656,1	649,9	626,6	638,1	609,1	626,7	26,08	0,6149	0,2592	0,5825
CDR, g/dia		1287,8	1301,8	1270,5	1227,4	1220,2	1296,3	38,72	0,2589	0,1754	0,7182
CA		1,96	2,01	1,99	1,92	2,01	2,00	0,04	0,8203	0,7587	0,2304
Período de 1 a 42 dias de experimentação											
Peso vivo, kg		30,68	29,49	29,33	29,59	28,82	28,87	1,06	0,8598	0,1252	0,1448
GDP, g/dia		575,5	548,4	543,2	549,9	531,7	520,5	19,57	0,9508	0,0750	0,1022
CDR, g/dia		972,5	934,7	946,7	933,7	913,7	921,2	42,15	0,9462	0,2178	0,5756
CA		1,68	1,70	1,73	1,69	1,72	1,71	0,03	0,7575	0,9894	0,3619

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; CA = Conversão alimentar; CDR = Consumo diário de ração; EPM = Erro padrão da média; GDP = Ganho diário de peso.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento e 4 leitões por baia dos 1 aos 7 dias e 3 leitões por baia dos 8 aos 42 dias.

*Peso vivo do dia 14 utilizado como co-variável para o período de 15 a 28 dias de experimentação e do dia 28 para o período de 29 a 42 dias de experimentação.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 24. Frequência da ocorrência de diarreia dos leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
1 a 14 dias		8,20	6,85	6,30	7,45	9,24	7,45	2,02	0,6152	0,4066	0,8562
15 a 28 dias		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-
29 a 42 dias		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-
1 a 42 dias		2,56	2,98	2,29	2,71	3,23	2,87	0,74	0,9497	0,5746	0,7193

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento e 4 leitões por baía dos 1 aos 7 dias e 3 leitões por baía dos 8 aos 42 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 25. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
MS, %		78,46	79,82	80,89	79,16	78,13	79,10	0,69	0,1091	0,0899	0,1546
MM, %		45,85 ^{bc}	49,61 ^{abBC}	53,22 ^{aA}	49,69 ^{bb}	49,23 ^{abBC}	48,29 ^{aBC}	1,05	<0,0001	0,4927	0,0060
EE, %		70,05 ^a	71,22 ^a	71,28 ^a	67,03 ^b	65,92 ^b	65,98 ^b	1,14	0,5303	<0,0001	0,9968
PB, %		71,51 ^a	72,11 ^a	74,20 ^a	72,01 ^b	70,43 ^b	71,31 ^b	0,80	0,1086	0,0412	0,1607
FDN, %		39,60	37,11	42,09	38,97	38,34	38,68	2,09	0,5666	0,5914	0,4801
FDA, %		26,90 ^a	17,71 ^b	28,99 ^a	25,31 ^a	20,57 ^b	24,49 ^a	2,55	0,3405	0,5653	0,0132
EB, %		79,09	80,17	81,23	79,92	78,44	79,25	0,69	0,0853	0,0909	0,3540

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; EE = Extrato etéreo; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; EB = Energia bruta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para a interação tipo de farelo e as combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 26. Valores de C.h.c.m., hemácias, hemoglobina, hematócrito, proteína total e V.c.m. de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
7 dias											
C.h.c.m., %		30,93	30,44	30,59	30,82	30,42	30,28	0,23	0,8367	0,4685	0,1087
Hemácias, milhões/ μ L		5,95	5,69	5,65	5,60	5,88	5,73	0,17	0,2953	0,8633	0,8486
Hemoglobina, g/dL		10,95	10,91	10,21	10,55	10,91	11,10	0,29	0,1015	0,4988	0,6902
Hematócrito, %		35,36	35,62	33,38	34,22	35,87	36,27	0,92	0,1005	0,3820	0,5103
Proteína total, g/dL		4,98	4,98	4,91	4,90	4,87	4,96	0,11	0,7924	0,6200	0,9910
V.c.m., fL		59,76	62,69	59,36	61,17	61,06	63,30	1,48	0,1843	0,3118	0,6367
21 dias											
C.h.c.m., %		30,12	30,58	31,11	30,99	30,65	31,01	0,39	0,4378	0,3935	0,3962
Hemácias, milhões/ μ L		6,37	6,37	6,37	6,24	6,22	6,27	0,17	0,9880	0,3785	0,9881
Hemoglobina, g/dL		11,05	11,42	11,22	11,01	11,35	11,51	0,28	0,7814	0,8060	0,4226
Hematócrito, %		36,59	37,39	36,05	36,06	37,00	37,14	0,91	0,6204	0,9404	0,6252
Proteína total, g/dL		5,42	5,58	5,48	5,55	5,47	5,67	0,17	0,6626	0,5919	0,8677
V.c.m., fL		57,67	59,00	57,47	57,35	59,46	59,11	1,46	0,8027	0,6263	0,5036

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; C.h.c.m = concentração da hemoglobina corpuscular média; V.c.m. = volume corpuscular médio; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável para a análise aos 7 dias, e peso vivo do dia 21 utilizado como co-variável para a análise aos 21 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 27. Valores de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
7 dias*											
Leucócitos, mil/ μ L		16,83	18,75	17,67	18,69	18,32	17,08	1,21	0,5272	0,7828	0,6269
Eosinófilos, %		1,63	1,14	1,14	1,26	1,37	1,60	0,46	0,6504	0,7804	0,9222
Linfócitos típicos, %		52,83	50,12	48,84	59,49	48,58	50,35	4,86	0,7069	0,5816	0,3163
Monócitos, %		2,72	2,62	2,14	2,16	2,49	2,03	0,56	0,9068	0,5674	0,6802
Neutrófilos segmentados, %		42,34	45,93	47,77	40,43	47,26	45,41	5,20	0,9232	0,8190	0,5579
Plaquetas, mil/ μ L		570,92	594,75	660,99	620,60	582,03	645,84	47,23	0,7400	0,8511	0,3342
21 dias*											
Leucócitos, mil/ μ L		18,90	17,50	16,03	21,75	15,94	17,51	1,67	0,4151	0,5052	0,0822
Eosinófilos, %		1,00	0,74	1,00	0,75	0,74	1,11	0,36	0,8825	0,8776	0,7202
Linfócitos típicos, %		60,15	65,37	65,85	65,88	65,45	68,74	3,30	0,6891	0,2883	0,4457
Monócitos, %		2,02	2,00	1,11	2,15	2,13	2,35	0,61	0,5854	0,3369	0,8152
Neutrófilos segmentados, %		33,88	31,88	28,78	31,26	31,30	27,41	3,08	0,9466	0,5532	0,3408
Plaquetas, mil/ μ L		625,58	557,42	577,94	544,75	553,33	512,04	51,35	0,7688	0,2387	0,7585

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável para a análise aos 7 dias, e peso vivo do dia 21 utilizado como co-variável para a análise aos 21 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 28. Morfometria e peso de órgãos de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Peso ao abate, kg		8,84	8,66	8,55	8,91	8,71	8,40	0,46	0,9642	0,9719	0,6811
Peso absoluto, g*											
Baço		22,01	16,14	20,03	16,74	18,66	15,55	3,33	0,4554	0,3829	0,8263
Coração		51,09	49,49	47,96	48,48	46,77	45,40	2,13	0,9993	0,1310	0,3396
Estômago		83,29 ^a	69,08 ^b	77,93 ^b	82,40 ^a	73,99 ^b	69,80 ^b	3,53	0,2027	0,6373	0,0065
Fígado		271,8	238,1	254,4	246,9	267,2	254,4	10,51	0,0980	0,8726	0,4448
Intestino delgado		520,3	498,9	528,7	493,0	491,7	503,3	24,67	0,9127	0,3322	0,7231
Intestino grosso		189,3	185,8	185,9	181,6	174,2	178,1	9,60	0,9731	0,2578	0,8582
Pulmão		137,8	109,2	113,7	119,6	110,8	111,0	9,33	0,5409	0,4020	0,1047
Rins		58,93	53,71	57,31	53,52	54,30	50,94	2,70	0,3936	0,0985	0,6558
Peso relativo, %											
Baço		0,25	0,17	0,22	0,19	0,21	0,17	0,03	0,2955	0,5429	0,5928
Coração		0,59	0,57	0,55	0,56	0,54	0,52	0,02	0,9975	0,1238	0,2768
Estômago		0,92	0,79	0,91	0,84	0,85	0,82	0,03	0,0840	0,1822	0,2876
Fígado		2,95	2,72	2,90	2,83	2,96	2,80	0,09	0,1169	0,9119	0,8782
Intestino delgado		5,96	5,73	5,99	5,60	5,32	5,93	0,29	0,8250	0,2694	0,3654
Intestino grosso		2,18	2,34	2,20	2,09	2,02	2,07	0,12	0,6097	0,0865	0,9108
Pulmão		1,46	1,25	1,26	1,36	1,27	1,25	0,09	0,8101	0,6793	0,1785
Rins		0,68	0,61	0,65	0,62	0,62	0,58	0,03	0,3971	0,1495	0,5363
Comprimento do ID, m*		11,50	11,64	12,02	11,75	11,73	12,47	0,39	0,9033	0,4186	0,2318
Densidade do ID, g/m*		42,81	42,70	42,49	41,78	40,25	40,11	1,64	0,8867	0,1612	0,8076
Comprimento do IG, m*		2,30	2,33	2,37	2,16	2,18	2,28	0,10	0,8591	0,2771	0,8098
Densidade do IG, g/m*		81,50	81,23	76,61	75,86	81,66	77,96	4,85	0,7415	0,6873	0,7477

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não

tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 29. Histologia do epitélio intestinal (duodeno e jejuno) de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Duodeno*											
Altura de vilosidade, μm		436,39 ^a	431,27 ^a	340,54 ^b	410,93 ^a	442,62 ^a	395,25 ^b	23,87	0,2656	0,4927	0,0133
Profundidade de cripta, μm		323,27	302,72	306,74	316,32	327,24	305,58	20,12	0,7090	0,7404	0,7953
Relação vilo/cripta		1,38	1,42	1,22	1,41	1,50	1,39	0,10	0,7782	0,3090	0,3476
Células caliciformes, n°		16,88	16,55	14,27	17,77	17,64	14,91	1,48	0,9885	0,4796	0,1364
Jejuno*											
Altura de vilosidade, μm		406,43	409,92	382,39	364,82	401,17	364,82	15,13	0,9589	0,3037	0,0966
Profundidade de cripta, μm		249,80	288,51	289,79	276,29	262,49	283,89	12,26	0,1158	0,8571	0,1673
Relação vilo/cripta		1,65	1,55	1,39	1,55	1,65	1,41	0,10	0,6465	0,9349	0,0844
Células caliciformes, n°		10,40	11,10	10,88	12,59	12,18	11,38	0,99	0,6885	0,1352	0,8775

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja branco extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 30. Proteínas das junções oclusivas do jejuno de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item ²	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Claudina 1*		1,212	0,739	0,663	0,757	0,677	1,031	0,25	0,3326	0,8193	0,5974
Claudina 2*		1,182	0,839	0,916	1,060	1,097	1,084	0,16	0,5004	0,4639	0,6376
<i>Zonula occludens</i> 1*		1,051	1,093	1,088	1,142	1,137	0,987	0,15	0,8181	0,9301	0,8865
Ocludina*		0,309	0,428	0,526	0,0,587	0,362	0,888	0,11	0,3651	0,1940	0,3214

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja branco extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 4 repetições por tratamento.

²Unidade relativa de intensidade (% do controle) normalizado pelo teor de proteína total da amostra.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 31. Imunoglobulina A no duodeno e no jejuno de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item ²	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Duodeno*		0,991	0,999	1,250	0,802	0,701	1,257	0,18	0,7028	0,2987	0,1189
Jejuno*		0,959 ^a	0,992 ^a	1,069 ^a	0,484 ^b	0,659 ^b	0,750 ^b	0,13	0,8255	0,0047	0,4464

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja branco extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 4 repetições por tratamento.

²Unidade relativa de intensidade (% do controle) normalizado pelo teor de proteína total da amostra.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 32. Custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho, índice médio de custo e índice de eficiência econômica de leitões alimentados com farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado em substituição ao plasma sanguíneo da dieta¹

Item	Tratamentos							EPM	P		
	FS	Farelo de soja tostado			Farelo de soja extrudado				FS*COMB	FS	COMB
	COMB	FSTP100	FSTP50	FSTP0	FSEP100	FSEP50	FSEP0				
Período de 1 a 14 dias de experimentação											
CMRPV, R\$/kg		4,06 ^{cA}	3,52 ^{bA}	3,23 ^{aA}	4,64 ^{cB}	4,20 ^{bB}	3,70 ^{aB}	0,11	0,6408	<0,0001	<0,0001
IEE, %		79,66	91,86	100,00	69,66	77,07	87,49				
IC, %		125,53	108,86	100,00	143,56	129,75	114,30				
Período de 15 a 28 dias de experimentação											
CMRPV, R\$/kg		3,86 ^{bA}	3,35 ^{abA}	3,11 ^{aA}	4,15 ^{bB}	3,91 ^{abB}	3,86 ^{aB}	0,09	0,5700	<0,0001	0,0013
IEE, %		87,68	92,93	100,00	75,00	79,45	80,55				
IC, %		114,05	107,61	100,00	133,33	125,87	124,15				
Período de 29 a 42 dias de experimentação											
CMRPV, R\$/kg		2,99 ^A	3,00 ^A	3,06 ^A	3,59 ^B	3,73 ^B	3,84 ^B	0,12	0,7673	<0,0001	0,4752
IEE, %		100,00	99,83	97,81	83,41	80,33	78,01				
IC, %		100,00	100,17	102,24	119,89	124,49	128,19				
Período de 1 a 42 dias de experimentação											
CMRPV, R\$/kg		3,53 ^{bA}	3,29 ^{aA}	3,13 ^{aA}	4,13 ^{bB}	3,95 ^{aB}	3,80 ^{aB}	0,08	0,9020	<0,0001	0,0006
IEE, %		88,72	95,32	100,00	75,98	79,45	82,53				
IC, %		112,71	104,91	100,00	131,62	125,87	121,17				

FS = Tipo de farelo; COMB = combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja; FSTP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja tostado; FSTP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja tostado; FSTP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja tostado; FSEP100 = Dieta com a inclusão do maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP50 = Dieta com a inclusão do nível intermediário de plasma sanguíneo e de farelo de soja não tostado extrudado; FSEP0 = Dieta com a inclusão do menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja não tostado extrudado; CMRPV = Custo médio de ração por quilograma de peso vivo; IC = índice de custo médio; IEE = Índice de eficiência econômica; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas para o fator combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja ou maiúsculas para o fator tipo de farelo na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

5. EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DO FARELO DE SOJA TOSTADO POR *BLEND* DE MILHO E GRÃO DE SOJA EXTRUDADOS OU GRÃO DE SOJA DESATIVADO NA DIETA DE LEITÕES RECÉM-DESMAMADOS

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da utilização de *blends* de milho e grão de soja extrudados em substituição ao farelo de soja da dieta sobre o desempenho zootécnico, a resposta imune e os indicadores de saúde intestinal dos leitões alimentados com estes ingredientes, e ainda a viabilidade econômica desta substituição. Foram utilizados 160 leitões com 21 dias de idade ($6,02 \pm 0,63$ kg), distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados com 5 tratamentos, 8 repetições por tratamento, e 4 animais por unidade experimental (baia). Os animais foram submetidos a uma dieta basal, composta por milho extrudado, farelo de soja tostado, plasma sanguíneo seco, concentrado proteico de soja, farelo de trigo, óleo de soja, minerais, vitaminas, e aminoácidos industriais, ou uma de quatro dietas em que o farelo de soja tostado foi substituído por grão de soja desativado ou substituído pelo *blend* de milho e grão de soja extrudado, em proporções de 50 ou 100% de substituição. Foram avaliados o desempenho zootécnico, a ocorrência de diarreia, a digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta, hemograma completo, a histologia do epitélio intestinal, a integridade da barreira epitelial intestinal, imunoglobulina A na mucosa intestinal e a viabilidade econômica. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey quando $P < 0,05$. A temperatura de extrusão *blend* de milho e grão de soja foi insuficiente para inativar os fatores antinutricionais presentes no grão de soja, e provavelmente este foi o motivo da menor ($P < 0,05$) digestibilidade da proteína bruta apresentada pelas dietas contendo o *blend* extrudado, e também do menor desempenho dos animais que consumiram estas dietas. O consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado, dietas GEX50 e GEX100, resultou em maior ($P < 0,05$) contagem de leucócitos no sangue dos leitões aos 21 dias de experimento. Os leitões alimentados com a dieta GD100 apresentaram maior ($P < 0,05$) conteúdo da proteína *zonula occludens 1* no jejuno em relação aos leitões que consumiram FS, GD50, GEX50 e GEX100, que não diferiram entre si ($P > 0,05$). Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) das dietas sobre a concentração de imunoglobulina A no duodeno e no jejuno dos leitões. O consumo da dieta GEX100 resultou no maior ($P < 0,05$) custo médio em ração por quilograma de peso vivo, seguidos pela dieta GEX50 e GD100, enquanto que o consumo das dietas FS e GD50 resultaram em um menor ($P < 0,05$) custo médio em ração por quilograma de peso vivo. A inclusão do *blend* de milho e grão de soja em substituição ao farelo de soja da dieta reduziu o desempenho dos leitões possivelmente devido a insuficiente inativação dos fatores antinutricionais presentes no grão de soja *in natura*.

Palavras-chaves: Extrusão; Desempenho; Digestibilidade; Suínos

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effects extruded corn-soybean blends, replacing soybean meal in weanling pig diets, on pigs' growth performance, nutrient and energy digestibility, diarrhea occurrence, blood parameters, organ weights, the immune response and gut health parameters of piglets fed these ingredients and economic viability of this substitution. One hundred and sixty 21d-weaned pigs (6.02 ± 0.63 kg BW), were used in a randomized complete block design experiment, with 5 treatments, 8 replications per treatment, and 4 animals per experimental unit (pen). Pigs were fed a basal diet consisting of corn, spray-dried blood plasma soy protein concentrate, wheat bran, soybean oil, minerals, vitamins and industrial amino acids, or one of four diets in which soybean meal was replaced for deactivated or extruded corn-soybean blend, in 50 or 100%. Weanling pigs' growth performance, nutrient and energy digestibility, diarrhea occurrence, blood parameters, organ weights, histology of gut epithelium, gut epithelial barrier integrity, immunoglobulin A in gut mucosa and economic viability were evaluated. Data was submitted to ANOVA and means were separated using Tukey test (5%). The extrusion temperature may have been insufficient to inactivate the anti-nutritional factors of soybean that probably reduced protein diet digestibility and pigs' growth performance of diets with extruded corn-soybean blend. Pigs fed GEX50 and GEX100 diets showed higher ($P < 0.05$) 21 d leukocytes count. Pigs fed GD100 diet showed higher ($P < 0.05$) zonula occludens 1 protein content in the jejunum than pigs that consumed FS, GD50, GEX50 and GEX100, which did not differ between themselves ($P > 0.05$). There were no effects ($P > 0.05$) of the diets on the IgA concentration in the pigs duodenum and jejunum. GEX100 had higher ($P < 0.05$) cost per kilogram weight, followed by GEX50 and GD100 diets, while FS and GD50 had lower ($P < 0.05$) cost per kilogram weight. The inclusion of extruded corn-soybean blend in replacement of soybean meal reduced growth performance of pigs due to insufficient soybean anti-nutritional factors inactivation.

Keywords: Extrusion; Performance; Digestibility; Pigs

5.1. Introdução

O milho é o cereal mais importante na alimentação animal, sendo o principal ingrediente energético nas dietas para suínos. O farelo de soja, por sua vez, constitui a fonte básica de proteína e aminoácidos para estes animais (Bellaver e Snizek Junior, 1999; Kummer et al., 2009; Woyengo et al., 2014). Estes ingredientes, em razão de sua disponibilidade comercial, qualidade nutricional e preço podem compor até 90% das rações de leitões no período de creche. Desta forma é importante maximizar o aproveitamento nutricional destes ingredientes nas dietas deste período, passando sobretudo pelo desenvolvimento de métodos de processamento que visem a melhoria da sua qualidade nutricional.

Embora o grão de soja possa ser considerado uma boa fonte proteica e energética para os suínos, devido ao seu bom equilíbrio em aminoácidos essenciais, e alto teor lipídico (NRC, 2012), seu conteúdo em fatores antinutricionais, tais como os inibidores de tripsina, e as proteínas alergênicas, limitam sua inclusão em dietas para leitões após o desmame (Fan et al., 1995; Qin et al., 1996; Kim et al., 1999; Qiao et al., 2003).

A extrusão, tanto do milho como do grão de soja, pode otimizar a utilização destes ingredientes na nutrição de leitões após o desmame, tanto pela melhoria na digestibilidade dos seus nutrientes (Fan et al., 1995; Anguita et al., 2006; Lundblad et al., 2011), como pela redução dos efeitos de seus fatores antinutricionais e alergênicos (Kaankuka et al., 1996; Qin et al., 1996). No processo de extrusão o alimento é submetido a aquecimento em alta temperatura, sob alta pressão por um período curto de tempo (Steel et al., 2012), o que pode ocasionar a gelatinização do amido (Cheftel, 1986; Brown, 1996; Lin et al., 1997; Liu et al., 2014), a desnaturação proteica (Cheftel, 1986; Žilić et al., 2006; Maurya e Said, 2014), a ruptura das células lipídicas (Adams e Jensen, 1985; Qin et al., 1996), e a solubilização de parte da fibra insolúvel (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al., 2007). Além disto, as alterações na conformação da estrutura das proteínas fazem com que os inibidores de tripsina e as proteínas alergênicas da soja percam a sua atividade biológica deixando assim, mais enzimas livres disponíveis para digestão, o que aumenta a digestibilidade das proteínas da soja (Cheftel, 1986; Marty et al., 1994; Fan et al., 1995; Qin et al., 1996; Maurya e Said, 2014), e ajuda a manter a função e a saúde intestinal (Pierce et al., 2005).

Estudos demonstram benefícios pela extrusão da combinação do milho com o grão de soja devido a complementação e incremento dos seus valores nutricionais, incluindo a melhoria do balanço de aminoácidos e o aumento da digestibilidade da energia (Jansen et al., 1978; Guzman et al., 1989; Konstance et al., 1998; Fernandes et al., 2003; Amornthewaphat e Attamangkune, 2008; Koch et al., 2015). Pesquisas avaliando a inclusão de *blends* de milho e grão de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados são escassas. Veum et al. (2017) observaram reduções no desempenho dos leitões recém-desmamados alimentados com *blends* de milho e grão de soja extrudados na temperatura de 102°C, possivelmente devido a ocorrência de subprocessamento, que pode não ter eliminado adequadamente os fatores antinutricionais e alergênicos presentes na mistura. Desta forma, novos estudos são necessários a fim de se avaliar se os benefícios advindos dos efeitos de complementariedade e melhoria nutricional dos *blends* de milho e grão de soja extrudados se traduzem efetivamente no desempenho e saúde de leitões na fase de creche.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da utilização de *blends* de milho e grão de soja extrudados ou do grão de soja desativado em substituição ao farelo de soja da dieta de leitões recém-desmamados sobre o desempenho zootécnico, a digestibilidade dos nutrientes e da energia da dieta, a frequência da ocorrência de diarreia, os parâmetros sanguíneos, o peso de órgãos, a histologia do epitélio intestinal, e ainda a viabilidade econômica desta substituição.

5.2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na creche experimental do Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), localizada no município de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) desta mesma instituição (Protocolo n°2019-02). A extrusão do milho e do *blend* de milho e grão de soja foi realizada na fábrica de ração do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal.

5.2.1. Ingredientes avaliados e processamento de extrusão

Neste estudo foram utilizados milho, grão de soja cru *in natura*, grão de soja desativado e farelo de soja tostado oriundos de fornecedores comerciais.

O grão de soja desativado foi obtido a partir do grão inteiro de soja *in natura*, submetido a cozimento em reatores herméticos com condições de temperatura e pressão controladas, para inativação dos fatores antinutricionais deste ingrediente (Freitas, 2005; Carvalho et al., 2008). Completada a desativação, o produto passa por um processo de liofilização em condição de vácuo elevado e em temperatura reduzida, removendo a umidade que foi agregada ao produto durante a desativação pelo aquecimento (Raizer, 2016).

Para o preparo do *blend* de milho e grão de soja extrudado, a soja crua e o milho foram moídos separadamente em moinho martelo (MSB SN507, Lucato, Limeira, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 3 milímetros de diâmetro, na sequência, os dois ingredientes foram misturados em um misturador vertical (Lucato, Limeira, SP, Brasil) na proporção de 75,27 kg de milho para 24,73 kg de grão de soja, e então a mistura foi extrudada.

Efetuiu-se, também, a extrusão de milho isoladamente pra integrar as dietas em que o *blend* de milho e grão de soja extrudado não foi incluído.

Os ingredientes foram extrudados em extrusora de rosca simples (MEX 250, Manzoni, Campinas, SP, Brasil), com capacidade de produção de 250 kg/h. A rosca extrusora empregada possuía 80mm de diâmetro, com cinco seções: inicial – passo simples sem anel de retenção; segunda – passo simples com anel de retenção pequeno; terceira – passo duplo não cortada com anel de retenção pequeno; quarta – passo duplo não cortada com anel de retenção médio; quinta – cônica, de passo duplo e não cortada. Foi empregada matriz com um furo redondo de 10 milímetros de diâmetro, resultando em área aberta média de 78,5 mm². A velocidade de rotação da rosca foi mantida em 643 rpm. Os parâmetros de operação do condicionador consistiram nas adições de água em aproximadamente 10 L/h, e de vapor direto de modo que a temperatura da massa à saída do condicionador ficasse próxima a 80°C e umidade de 22% para o *blend* de milho e grão de soja e 26% para o milho. A temperatura da massa na saída do canhão da extrusora foi de 120°C. Os produtos extrudados foram secos a 120°C por 40 minutos, até aproximadamente 90% de umidade e remoídos em moinho martelo equipado com peneira com furos de 3 milímetros de diâmetro para ser incluído nas dietas experimentais. Mais informações sobre o processo de extrusão para cada ingrediente estão descritas na Tabela 33 e os valores analisados do perfil nutricional dos ingredientes avaliados estão descritos na Tabela 34.

Nos ingredientes determinaram-se as concentrações dos inibidores de tripsina por espectrofotometria-UV [método Ba 12-75 (AOCS, 2009)], o índice de atividade ureática [método Ba 9-58 (AOCS, 2009)], e o índice de solubilidade proteica em Hidróxido de Potássio (KOH) a 0,2% [método 55 (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2013)].

5.2.2. Unidade de creche experimental

A sala de creche utilizada para condução do experimento é construída em alvenaria e possui 102,50 m² de área construída com pé direito de 2,85 m, com piso em concreto e cobertura de telhas de barro. As paredes possuem aberturas laterais para renovação do ar na instalação. A sala é provida de 40 baias metálicas suspensas, dispostas em cinco fileiras contendo cinco baias cada. Cada baia apresenta área útil de 1,80 m² (1,20 x 1,50 m), com piso parcialmente ripado, bebedouro do tipo chupeta e comedouro semiautomático para ração seca, com espaço para alimentação simultânea de até 5 leitões. O controle de temperatura foi realizado por um sistema manual de abertura e fechamento de cortinas e por um sistema de aquecimento composto por

lâmpadas infravermelhas de 250 W, sendo a temperatura da sala registrada por meio de termômetros de temperatura máxima e mínima.

5.2.3. Animais e delineamento experimental

Foram utilizados 160 leitões mestiços, de linhagem genética comercial, desmamados aos 21 dias, com $6,02 \pm 0,63$ kg de peso vivo, sendo 50% machos castrados e 50% fêmeas. Os animais eram provenientes de uma granja comercial de suínos em sistema de ciclo completo localizada no município de Mogi Mirim, estado de São Paulo.

Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos completos casualizados com cinco tratamentos, oito repetições (blocos) por tratamento, e quatro animais por unidade experimental (baia). Cada unidade experimental foi composta por dois machos castrados e duas fêmeas. Os blocos foram formados de acordo com o peso inicial dos animais.

5.2.4. Dietas experimentais

As dietas foram isonutritivas e formuladas com redução de 6% na quantidade de lisina digestível estandardizada por unidade de energia líquida em relação as recomendações nutricionais para leitões nas fases pré-inicial e inicial (NRC, 2012) (Tabelas 35, 36 e 37), visando-se permitir a observação de possíveis efeitos positivos da extrusão sobre o valor nutricional do *blend* de milho e grão de soja. Foi utilizado um programa nutricional de três fases: pré-inicial I (1 a 14 dias de experimento), pré-inicial II (15 a 28 dias de experimento) e inicial (29 a 42 dias de experimento), sendo ração e água fornecidas à vontade durante todo o período experimental.

Os animais foram submetidos a uma dieta composta por milho, farelo de soja (FS) tostado, plasma sanguíneo seco, concentrado proteico de soja, farelo de trigo, óleo de soja, minerais, vitaminas, e aminoácidos industriais, ou por dietas nas quais o farelo de soja tostado foi substituído por grão de soja desativado (GD) ou pelo grão de soja extrudado (GEX), em proporções de 50 ou 100% de substituição, compondo os tratamentos FS, GD50, GD100, GEX50 e GEX100.

5.2.5. Desempenho

Os animais, as rações fornecidas e as porções não consumidas (sobras nos comedouros ou desperdiçadas para fora dos comedouros) foram pesadas no 1º, 7º, 14º, 21º, 28º, 35º e 42º dias do período experimental para determinações do ganho diário de peso (GDP), do consumo diário de ração (CDR) e para o cálculo da conversão alimentar (CA – CDR/GDP), expressos por semana e no período total.

5.2.6. Frequência da ocorrência de diarreia

A presença de diarreia (fezes líquidas) ou sua ausência (fezes normais) foi avaliada por meio de observação visual de sinais de diarreia em cada animal. Diariamente, quantificou-se o número de animais com presença e ausência de diarreia em cada baia. Para cada baia, fez-se a média do número de observações indicando a presença de diarreia em relação ao número de animais na baia. A partir deste número, calculou-se a percentagem de dias com diarreia no período experimental de acordo com Milani et al. (2017):

$$DO (\%) = \{[(P1 \times D) + (P2 \times D) + (Pn \times D)] / n / TD\} \times 100$$

Em que: DO (%) é a percentagem média de dias que os leitões apresentaram diarreia em cada baia; P(1, 2...n) representa cada leitão dentro da baia (n), D é o número de dias em que cada leitão apresentou diarreia dentro da baia, TD é o número de dias de cada fase do programa nutricional utilizado.

5.2.7. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta

Foi utilizado o método de coleta parcial de fezes (Adeola, 2001), utilizando-se cinza insolúvel em ácido (Celite®281) como indicador nas dietas, durante toda a fase pré-inicial II (Tabela 36). Após o início do oferecimento das rações com indicador, foi fornecido um período de sete dias para manutenção do fluxo do indicador pelo trato digestório e, após, realizou-se a coleta de fezes por quatro dias. As coletas de fezes foram realizadas duas vezes ao dia (manhã e tarde) diretamente dos pisos das baias e as amostras foram congeladas.

Ao final do período experimental, as amostras de fezes de cada baia foram descongeladas em temperatura ambiente e homogeneizadas separadamente, secas a 55°C por

72 h (MA035, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil). As amostras de fezes secas, ingredientes e das dietas foram moídas em um moinho de faca (MA680, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) equipado com peneira com furos de 1 milímetro de diâmetro e, sequencialmente, submetidos às determinações de matéria seca (MS) [método 934.01 (AOAC, 2006)]; matéria mineral (MM) após queima em forno mufla por 3 horas a 550°C; energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática (C200, Ika®, Guangzhou, China); nitrogênio, pelo método de combustão [método 990.03 (AOAC, 2006)], para estimação do conteúdo de proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE) [método 2003.06 (AOAC, 2006)]; extrato etéreo com hidrólise ácida [método 954.02 (AOAC, 2006)] nos ingredientes extrudados; fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Van Soest et al., 1991); e cinzas insolúveis em ácido (CIA) (Van Keulen e Young, 1977).

Os cálculos das digestibilidades totais aparentes (DTA) da MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA das dietas foram realizados pelo método do indicador, de acordo com Kong e Adeola (2014):

$$DTA (\%) = 100 - [100 \times ((CI_{dieta} \times CC_{excreta}) / (CI_{excreta} \times CC_{dieta}))]$$

Em que: CI_{dieta} é a concentração do indicador na dieta (%), $CC_{excreta}$ é a concentração do componente (MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA) nas fezes (%), $CI_{excreta}$ é a concentração do indicador nas fezes (%), e CC_{dieta} é a concentração do componente na dieta (MS, MM, EB, EE, PB, FDN e FDA) (%).

5.2.8. Hemograma

Para a realização das análises sanguíneas foi selecionado o macho castrado com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais da baia, nos dias 7 e 21 do experimento. A coleta de sangue foi realizada por punção na veia cava anterior. O animal selecionado foi disposto em posição de decúbito dorsal sobre um suporte para coleta e teve a região de coleta limpa e desinfetada com algodão embebido em álcool 70%. A coleta foi realizada a vácuo utilizando agulha múltipla 25 X 0,8MM em frasco de tampa roxa contendo o anticoagulante K3EDTA (VACUETTE®, Greiner Bio-One, Americana, SP, Brasil).

O hemograma foi realizado pelo método automático (Cell dyn 3500, ABBOTT, Chicago, Estados Unidos da América) e constou da avaliação de parâmetros da série vermelha (eritrócitos), da série branca (leucócitos) e da série plaquetária (plaquetas). A análise da série

vermelha foi constituída pelas seguintes determinações: contagem de eritrócitos, dosagem de hemoglobina, hematócrito, volume corpuscular médio (V.c.m.), concentração da hemoglobina corpuscular média (C.h.c.m.), metarrubricitos e proteína total. A série branca foi analisada para os seguintes índices: contagem total de leucócitos e contagem diferencial de leucócitos (eosinófilos, basófilos, heterófilos, linfócitos típicos, células atípicas, mielócitos, metamielócitos, monócitos, neutrófilos bastonetes e segmentados). A série plaquetária correspondeu à contagem de plaquetas.

5.2.9. Morfometria e peso de órgãos

No 7º dia do experimento, os animais utilizados para a coleta das amostras de sangue, foram insensibilizados por eletronarcose (0,5 A e 110 V de tensão) e abatidos. No momento do abate foram pesados o baço, estômago, fígado, intestino delgado e pâncreas e foram calculados os pesos absoluto e relativo dos órgãos em relação ao peso vivo dos animais. Para pesagem, separou-se a vesícula biliar do fígado e procedeu-se o esvaziamento do estômago. Também mediu-se o comprimento do intestino delgado para o cálculo da densidade do intestino, utilizando uma fita métrica afixada em uma mesa.

5.2.10. Histologia do epitélio intestinal

No animal abatido foi coletada uma amostra de 3 cm do duodeno (15 cm a partir da válvula pilórica) e uma amostra de 3 cm do jejuno, coletada a 150 cm da junção ileocecal. As amostras foram lavadas em solução salina (0,85% de NaCl), fixadas em solução de formol tamponado neutro a 10% e, a partir destas, foram confeccionadas lâminas histológicas coradas pelo método PAS - Alcian Blue (Kleessen et al., 2003).

Nas lâminas foram realizados registros de imagens dos tecidos utilizando um microscópio óptico (BEL Micro 2000, BEL Engineering, Monza, Itália) com um sistema de análise de imagens acoplado. Foram realizadas as mensurações de altura de vilosidade e profundidade de cripta, com o aumento de 10X, e contagem de células caliciformes, com aumento de 40X. Todas as avaliações foram efetuadas em 15 vilosidades e 15 criptas por lâmina.

5.2.11. Integridade da barreira epitelial intestinal

Para avaliação da integridade da barreira epitelial intestinal foram coletadas quatro amostras de 1,5g da mucosa do jejuno de cada tratamento, correspondendo aos machos castrados abatidos com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais abatidos de cada tratamento. Estas amostras foram mantidas em freezer a -80°C até o momento da realização das análises pretendidas. A quantificação das proteínas da junção de oclusão claudinas-1, claudinas-2, ocludinas e *zonula occludens* 1 foi realizada pelo método de *Dot Blot* (Naeim et al., 2018).

Os fragmentos de tecido receberam 5 volumes de tampão RIPA acrescido de inibidores de protease (Harlow e Lane, 1988). Em seguida foram dissociados utilizando uma *bead* metálica no equipamento TissueLyser II (Qiagen, Hilden, Alemanha) em 1 ciclo de 2 minutos a 30Hz, seguido por incubação em gelo. As amostras foram centrifugadas a $10.000\times g$ por 5 minutos e o sobrenadante teve a sua concentração proteica quantificada pelo reagente de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América) e foi reservado para a análise. $1\mu\text{l}$ dos extratos proteicos teciduais foram adsorvidos em membranas de nitrocelulose (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América). As membranas foram bloqueadas por uma hora a temperatura ambiente com 0,05% PBST (Tampão fosfato-salino, 0,1% Tween® 20) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América) contendo 3% de leite desnatado, e em seguida foram incubadas à temperatura ambiente por 2 horas com anticorpo primário específico (Tabela 38) diluído em 3% de leite desnatado. Após lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada, as membranas foram incubadas por 2 horas em temperatura ambiente com o anticorpo secundário específico conjugado com a enzima Horseradish Peroxidase (HRP) (Tabela 38) diluído em 3% de leite desnatado. Novamente foram realizadas lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada. A detecção do complexo antígeno-anticorpo foi realizada utilizando-se o kit de quimioluminescência SuperSignal (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) e a intensidade do sinal foi quantificada com o *software* ImageJ® (National Institute of Health, Bethesda, Estados Unidos da América). A intensidade de sinal na reação foi normalizada pela quantidade de proteína total da amostra, avaliada pelo método de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América).

5.2.12. Imunoglobulina A na mucosa intestinal

Para a quantificação da concentração da imunoglobulina IgA na mucosa intestinal foram coletadas quatro amostras de 1,5g da mucosa do duodeno e do jejuno de cada tratamento, correspondendo aos machos castrados abatidos com peso vivo mais próximo a média de peso dos animais abatidos de cada tratamento. Estas amostras foram mantidas em freezer a -80°C até o momento da realização das análises pretendidas. A quantificação da concentração da imunoglobulina IgA na mucosa do duodeno e do jejuno foi realizada pelo método de *Western Blot* (Harlow e Lane, 1988).

Os fragmentos de tecido receberam 5 volumes de tampão RIPA acrescido de inibidores de protease (Harlow e Lane, 1988). Em seguida foram dissociados utilizando uma *bead* metálica no equipamento TissueLyser II (Qiagen, Hilden, Alemanha) em 1 ciclo de 2 minutos, a 30Hz seguido por incubação em gelo. As amostras foram centrifugadas a $10.000\times g$ por 5 minutos e o sobrenadante teve a sua concentração proteica quantificada pelo reagente de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América) e foi reservado para a análise. Amostras de $10\mu\text{g}$ foram incubadas à 95°C durante 5 minutos com de tampão de amostra (Laemmli, 1970) não redutor 1x concentrado, e, posteriormente, aplicadas em gel de eletroforese (Sodium Dodecyl Sulphate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis - SDS-PAGE) contendo 12% de acrilamida. Após separação por eletroforese, as bandas foram transferidas para uma membrana de nitrocelulose (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América), posteriormente corada com solução Ponceau (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América) para assegurar a eficiência da transferência. Para a detecção da proteína, as membranas foram bloqueadas por uma hora a temperatura ambiente com 3% de leite desnatado, e em seguida foram incubadas à temperatura ambiente por uma hora com anticorpo secundário específico (Tabela 38) diluído em leite desnatado 3%. Após realizadas lavagens com 0,05% PBST, por 3 vezes de 5 minutos cada, as membranas foram incubadas com substrato quimioluminescente West Pico (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) apropriado para detecção por *Western blot*. A detecção do complexo antígeno-anticorpo foi realizada utilizando-se o kit de quimioluminescência SuperSignal (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, Estados Unidos da América) e a intensidade do sinal foi quantificada com o *software* ImageJ® (National Institute of Health, Bethesda, Estados Unidos da América). A intensidade de sinal na reação foi normalizada pela quantidade de proteína total da amostra, avaliada pelo método de Bradford (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos da América).

5.2.13. Análise econômica

A eficiência econômica de cada tratamento foi analisada através da estimativa do Custo Médio da alimentação por kg de suíno produzido durante o período experimental, conforme Bellaver et al. (1985):

$$Y_i \text{ (R\$/kg)} = [(Q_i \times P_i) / G_i]$$

Em que: Y_i (R\$/kg) é o custo médio em ração por quilograma ganho no i -ésimo tratamento, Q_i é a quantidade média de ração consumida no i -ésimo tratamento, P_i é o preço médio por quilograma da ração utilizada no i -ésimo tratamento, e G_i é o ganho médio de peso do i -ésimo tratamento.

Também foi calculado o Índice de Eficiência Econômica e o Índice de Custo Médio, propostos por Barbosa et al. (1992):

$$\text{IEE (\%)} = [(M_{Ce} / C_{Tei}) \times 100] \text{ e } \text{IC (\%)} = [(C_{Tei} / M_{Ce}) \times 100]$$

Em que: IEE (%) é o índice de eficiência econômica, M_{Ce} é o menor custo médio observado em ração por quilograma de peso vivo ganho entre os tratamentos, C_{Tei} é o custo médio do tratamento i considerado, e IC (%) é o índice de custo médio.

Os custos dos ingredientes corresponderam aos valores pagos pelos produtos que compuseram as dietas, no estado de São Paulo, Brasil, no momento de sua aquisição exclusiva para a realização do experimento (março de 2019).

5.2.14. Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes para verificação da adequação ao modelo linear e da não violação das pressuposições da análise de variância (aditividade do modelo, normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias, ausência de outliers) utilizando-se o procedimento

UNIVARIATE do SAS® (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) e foram submetidos a análise da variância utilizando-se o procedimento MIXED do SAS®.

Os dados de desempenho, frequência da ocorrência de diarreia, digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta, e da análise econômica foram analisados como um delineamento em blocos casualizados usando a baía como unidade experimental. Para a análise do desempenho, o peso vivo do dia 14 foi utilizado como co-variável para o período de 15 a 28 dias de experimentação e do dia 28 para o período de 29 a 42 dias de experimentação. O modelo matemático incluiu os efeitos fixos dos tratamentos, os efeitos aleatórios dos blocos e erro experimental, conforme segue:

$$Y(ij) = \mu + t(i) + b(j) + \varepsilon(ij)$$

Em que: $Y(ij)$ é a variável resposta, μ é a média geral, $t(i)$ é o efeito fixo da i -ésima dieta ($i = 1, \dots, 5$), $b(j)$ é o efeito aleatório do j -ésimo bloco ($j = 1, \dots, 8$), e $\varepsilon(ij)$ é o erro experimental, NID $(0, \sigma^2)$.

Os dados do hemograma, morfometria e peso de órgãos, histologia do epitélio intestinal, integridade da barreira epitelial intestinal e imunoglobulina A na mucosa intestinal foram analisados como um delineamento inteiramente casualizado, usando o peso vivo aos 7 ou 21 dias como co-variável. O modelo matemático incluiu os efeitos fixos dos tratamentos e erro experimental, conforme segue:

$$Y(ij) = \mu + t(i) + \varepsilon(ij)$$

Em que: $Y(ij)$ é a variável resposta, μ é a média geral, $t(i)$ é o efeito fixo da i -ésima dieta ($i = 1, \dots, 5$), e $\varepsilon(ij)$ é o erro experimental, NID $(0, \sigma^2)$.

Valores de probabilidade foram considerados significativos quando $P < 0,05$ e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

5.3. Resultados

5.3.1. Desempenho, frequência da ocorrência de diarreia e digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta

Nos períodos de 1 a 14 dias e de 15 a 28 dias, os leitões alimentados com GEX100 apresentaram menores ($P < 0,05$) pesos e GDP, enquanto que os leitões alimentados com GEX50 apresentaram pesos e GDP intermediários, e os tratamentos FS, GD50 e GD100 apresentaram os maiores pesos e GDP (Tabela 39). Os leitões alimentados com os tratamentos GEX50 e GEX100 apresentaram menores ($P < 0,05$) CDR e piores ($P < 0,05$) CA quando comparados aos leitões alimentados com FS, GD50 e GD100.

No período de 29 a 42 dias, as variáveis GDP, CDR e CA não foram afetadas pelos tratamentos ($P > 0,05$), no entanto, se observou menor ($P < 0,05$) peso aos 42 dias para os animais do tratamento GEX100, peso intermediário para os do tratamento GEX50, e maiores pesos para os leitões alimentados com FS, GD50 e GD100.

Para o período total do experimento, 1 a 42 dias, o consumo do tratamento GEX100 resultou no menor ($P < 0,05$) peso aos 42 dias, e nos menores ($P < 0,05$) GDP e CR, enquanto que para o tratamento GEX50 foram observados peso aos 42 dias, GDP e CR intermediários. Foi observado menor ($P < 0,05$) peso aos 42 dias para o tratamento GEX100, peso intermediário ($P < 0,05$) para o tratamento GEX50, e maiores ($P < 0,05$) pesos para os leitões alimentados com as dietas FS, GD50 e GD100. Por sua vez, os leitões consumindo GEX100 apresentaram maiores ($P < 0,05$) CA em comparação aos leitões alimentados com os tratamentos FS, GD50 e GD100, enquanto que os leitões alimentados com GEX50 apresentaram CA intermediárias, não diferindo dos demais tratamentos.

A frequência da ocorrência de diarreia nos leitões ao longo dos 42 dias de experimentação não diferiu ($P > 0,05$) entre os tratamentos estudados (Tabela 40).

As digestibilidades da MS e da MM não foram influenciadas ($P > 0,05$) pelas dietas avaliadas (Tabela 41). As dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado, GEX50 e GEX100, apresentaram as maiores ($P < 0,05$) digestibilidades do EE, seguidas pelas digestibilidades da dieta FS e GD50, e pela dieta GD100 que apresentou a menor digestibilidade do EE entre as cinco dietas avaliadas. Já para a PB, se observou menor ($P < 0,05$) digestibilidade da PB para a dieta GEX100, digestibilidade intermediária para a dieta GEX50, e maiores ($P < 0,05$) digestibilidades da PB para as dietas FS, GD50, GD100 que foram similares entre si.

As dietas contendo os maiores teores do grão de soja, GD100 e GEX100, e a dieta FS apresentaram menor ($P < 0,05$) digestibilidades do FDN quando comparado a dieta GEX50, enquanto que a digestibilidade do FDN da dieta GD50 não diferiu das demais dietas. Para a

digestibilidade do FDA, foi observado menor ($P < 0,05$) digestibilidade para a dieta FS, e maiores digestibilidades do FDA nas dietas GD50, GD100, GEX50 e GEX100 que foram semelhantes entre si.

As dietas FS, GD50 e GEX100 apresentaram as maiores ($P < 0,05$) digestibilidades da EB em relação a dieta GD100 que apresentou digestibilidade intermediária e a dieta GEX50 que apresentou a menor digestibilidade da EB.

5.3.2. Análises sanguíneas

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) para os valores médios de proteína total aos sete dias de experimento, no entanto aos 21 dias, os leitões consumindo as dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja, GEX50 e GEX100, apresentaram as menores ($P < 0,05$) concentrações de proteína total no sangue em comparação aos leitões consumindo FS e GD100, enquanto que a concentração de proteína total dos leitões do tratamento GD50 não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 42).

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) para os valores médios de hemácias, hemoglobina, hematócrito, V.c.m. e C.h.c.m aos sete ou aos 21 dias de experimento.

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) para os valores médios de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado aos sete dias de experimento (Tabela 43). Aos 21 dias, foram observados maiores ($P < 0,05$) valores médios de leucócitos no sangue dos leitões alimentados com a dieta GEX50 e GEX100, valores intermediários para as dietas GD50 e GD100, e menores valores para a dieta FS que não diferiu das dietas GD50 e GD100, mas foi inferior as dietas GEX50 e GEX100. Não foram observados efeitos ($P < 0,05$) para os valores médios de eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas aos 21 dias de experimento.

5.3.3. Morfometria e peso de órgãos

Os pesos de abate dos animais alimentados com GEX100 foram inferiores ($P < 0,05$) aos dos leitões alimentados com FS, GD50 e GD100, enquanto que o peso de abate dos animais alimentados com GEX50 foi semelhante aos demais tratamentos (Tabela 44). Maiores ($P < 0,05$) pesos absolutos dos estômagos foram obtidos para os leitões dos tratamentos GD50, GD100,

GEX50 e GEX100 em comparação aos dos leitões alimentados com a dieta FS. Os pesos relativos dos estômagos dos leitões submetidos a FS foram menores ($P < 0,05$) do que os dos animais que consumiram a GD50, enquanto que os pesos relativos dos estômagos dos animais alimentados com GD100, GEX50 e GEX100 foram intermediários as demais dietas.

5.3.4. Histologia do epitélio intestinal

A profundidade de cripta e a contagem de células caliciformes foram afetadas pela dieta consumida (Tabela 45). Os leitões alimentados com a dieta GD50 apresentaram a maior ($P < 0,05$) profundidade de cripta do duodeno em relação aos leitões que consumiram FS, GD100 e GEX100 que apresentaram as menores profundidades de cripta, enquanto que o consumo da dieta GEX50 resultou em valores de profundidade de cripta intermediários, sendo semelhantes as demais dietas. Foi observado maior ($P < 0,05$) número de células caliciformes no duodeno dos leitões alimentados com a dieta GD50, menor contagem para os animais dos tratamentos FS, GEX50 e GEX100, enquanto a dieta GD100 não diferiu das demais dietas.

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) das dietas sobre a altura de vilosidade e a relação altura de vilosidade e profundidade de cripta do duodeno dos leitões. Da mesma forma, a altura de vilosidade, profundidade de cripta, a relação altura de vilosidade e profundidade de cripta, bem como o número de células caliciformes do jejuno dos leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado da dieta não foi afetada ($P > 0,05$) pelos tratamentos avaliados.

5.3.5. Integridade da barreira epitelial intestinal

Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) para o conteúdo proteico das proteínas claudina-1, claudina-2 e ocludina de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado aos sete dias de experimento (Tabela 46). Os leitões alimentados com a dieta GD100 apresentaram maior ($P < 0,05$) conteúdo da proteína *zonula occludens 1* no jejuno em relação aos leitões que consumiram FS, GD50, GEX50 e GEX100, que não diferiram entre si ($P > 0,05$).

5.3.6. Imunoglobulina A na mucosa intestinal

Não foram observados efeitos ($P>0,05$) das dietas sobre a concentração de imunoglobulina A no duodeno e no jejuno dos leitões (Tabela 47).

5.3.7. Análise econômica

No período de 1 a 14 dias de experimentação, as dietas FS, GD50 e GD100 resultaram em um menor ($P<0,05$) CMRPV em contraste às dietas contendo *blend* de milho e grão de soja extrudado, GEX50 e GEX100 (Tabela 48). A dieta FS alcançou melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo, seguida pelas dietas GD50, GD100, GEX50 e GEX100.

No período de 15 a 28 dias de experimentação, as dietas FS e GD50 resultaram em um menor ($P<0,05$) CMRPV, não diferindo da dieta GD100 que também foi semelhante a dieta GEX50. O consumo da dieta GEX100 por sua vez, resultou no maior custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho. De forma semelhante ao período de 1 a 14 dias de experimentação, a dieta FS alcançou melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo, seguida pelas dietas GD50, GD100, GEX50 e GEX100.

Não foram observadas diferenças ($P>0,05$) no CMRPV das dietas no período de 29 a 42 dias de experimentação. A dieta GEX50 apresentou o melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo, seguido pela dieta FS, GD50, GEX100 e GD100.

No período total de experimentação, as dietas FS e GD50 resultaram em um menor ($P<0,05$) CMRPV, não diferindo da dieta GD100 que também foi semelhante a dieta GEX50. O consumo da dieta GEX100 por sua vez, resultou no maior custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho. A dieta FS alcançou melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo, seguida pelas dietas GD50, GD100, GEX50 e GEX100.

5.4. Discussão

A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado nas dietas dos leitões após o desmame não se mostrou efetiva em manter ou promover melhorias de desempenho em comparação as dietas contendo farelo de soja como a principal fonte proteica da dieta. No período de 1 a 14 dias de experimentação, a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado em que o grão substituiu 50% do farelo de soja tostado, resultou em um peso vivo 0,88 kg

inferior a dieta FS. Para a dieta GEX100, em que o grão no *blend* extrudado substituiu 100% do farelo de soja tostado, este efeito foi mais marcante, sendo o peso vivo médio dos animais 1,9 kg inferior. De forma semelhante, este comportamento seguiu ocorrendo no período de 15 a 28 dias de experimentação, com a dieta GEX50 resultando em peso vivo 3,43 kg inferior, e para a dieta GEX100 observou-se peso 5,49 kg inferior aos dos animais alimentados com a dieta FS. Estes resultados se devem ao menor consumo médio diário e ao menor ganho diário de peso dos animais nestes períodos, o que se traduziu em piores conversões alimentares.

Durante a última fase de alimentação, período de 29 a 42 dias, não foram observados efeitos das dietas sobre o ganho diário de peso, o consumo médio diário, e a conversão alimentar. Estes resultados podem estar relacionados ao desenvolvimento de tolerância imunológica à proteína de soja (Friesen et al., 1993; Li et al., 1990). A partir da segunda semana após o desmame a resposta alérgica as proteínas alergênicas da soja diminui (Friesen et al., 1993) e a tolerância é completamente estabelecida por volta da décima segunda semana de vida (Miller et al., 1994). Adicionalmente este efeito também pode estar relacionado ao desenvolvimento do sistema enzimático do leitão com o avanço da idade e a adaptação as dietas no pós-desmame, o que eleva a capacidade de secreção de enzimas e aumenta a digestibilidade dos nutrientes, incluindo as proteínas alergênicas (Ball e Aherne, 1987; Jensen et al., 1997).

O comprometimento no desempenho dos animais nas fases pré-inicial I e pré-inicial II de crescimento acompanhou todo o período subsequente de crescimento dos animais e resultou em pesos vivos finais, aos 42 dias de experimentação, 4,38 kg inferior para os leitões alimentados com a dieta GEX50 e 8,13 kg inferior para os animais alimentados com a dieta GEX100 em relação a FS. É importante destacar que o aumento da proporção de substituição do farelo de soja pelo *blend* de milho e grão de soja extrudado, passando de 50% para 100%, também promoveu efeitos deletérios no desempenho geral dos animais, resultando em peso vivo, ganho diário de peso e consumo diário de ração inferiores nos leitões que consumiram GEX100. A conversão alimentar não diferiu entre estes dois tratamentos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Veum et al. (2017), que verificaram reduções no desempenho de leitões alimentados com *blends* de milho e grão de soja extrudados em temperaturas de 102°C em comparação ao desempenho de leitões alimentados com farelo de soja tostado. Os autores creditam estes resultados a ocorrência de subprocessamento da mistura extrudada que levou a inadequada inativação dos inibidores de tripsina. De fato, de acordo com Guzman et al. (1989), a presença do milho exerce um efeito protetivo contra a inativação térmica dos inibidores de tripsina, isto pode ser confirmado pelos parâmetros de qualidade do processamento do *blend* de milho e grão de soja extrudado, que foram inferiores aos

apresentados pelo farelo de soja e pelo grão de soja desativado, o que indica menor qualidade deste ingrediente como fonte de proteína para os leitões.

Comparando-se os resultados do índice de atividade ureática com parâmetros da literatura, tanto o farelo de soja como o grão de soja desativado e o *blend* de milho e grão de soja extrudado encontram-se dentro dos valores de referência considerados como indicativo de qualidade, sendo valores de 0,02; 0,01 e 0,11 neste estudo, respectivamente. Apenas o farelo de soja apresentou valores para o índice de solubilidade proteica em KOH dentro dos parâmetros de referência com valor de 80,96%. Os valores obtidos para o grão de soja desativado (92,52%) e para o *blend* de milho e grão de soja extrudado (90,08%) encontram-se acima dos parâmetros considerados adequados para a obtenção de um processamento térmico de qualidade e indicam a ocorrência de subprocessamento, sendo um indicativo de que os fatores antinutricionais da soja ainda se mantêm ativos (Araba e Dale, 1990; Parsons et al., 1991; Mendes et al., 2004).

O índice de atividade ureática é um indicador indireto da presença de fatores antinutricionais e indica a ocorrência de subprocessamento dos grãos e do farelo de soja (Parsons et al., 1991; Veum et al., 2017). O método se baseia na liberação de amônia da ureia pela ação da enzima urease presente na soja. É um método prático e barato, embora não apresente boa exatidão sobre a presença de inibidores de proteases (Félix et al., 2010). Uma mudança de pH da solução da atividade ureática em relação a solução branco padrão para valores acima de 0,3 unidades de pH é o indicativo da ocorrência de subprocessamento. Valores de atividade ureática entre 0,05 e 0,30 indicam processamento ideal. Valores abaixo de 0,05 não refletem mudança de pH da solução, mas não necessariamente indicam superprocessamento (Araba e Dale, 1990; Căpriță et al., 2010), uma vez não necessariamente são observadas reduções na qualidade da proteína a ponto de prejudicar o desempenho animal (Parsons et al., 1991).

O índice de solubilidade proteica em KOH é o melhor indicador de superprocessamento dos grãos e do farelo de soja. Este método indica o percentual de proteína disponível para absorção pelo animal. Valores ideais para a solubilidade proteica encontram-se entre 70% e 85%, valores abaixo de 70% indicam superprocessamento com a diminuição da solubilidade e da digestibilidade das proteínas pela ocorrência de reação de *Maillard*, enquanto que valores acima de 85% indicam subprocessamento em que os fatores antinutricionais ainda se mantêm ativos (Araba e Dale, 1990; Parsons et al., 1991; Mendes et al., 2004). Embora este método seja um bom indicador de superprocessamento, ele não é tão sensível para monitoramento de subprocessamento térmico das fontes proteicas de soja (Căpriță et al., 2010), o que pode ser

confirmado pelo valor inferior da atividade de inibidores de tripsina obtido para o grão de soja desativado em contraste ao farelo de soja e ao *blend* de milho e grão de soja extrudado.

Desta forma, combinando então os parâmetros apresentados na literatura, o adequado processamento de extrusão deve apresentar atividade ureática entre 0,05 e 0,30, solubilidade proteica entre 70% e 85%.

Os valores obtidos para a atividade de inibidores de tripsina dos ingredientes foram de 2,39 mg/g de PB para o farelo de soja, 1,39 mg/g de PB para o grão de soja desativado, e 3,70 mg/g de PB para o *blend* de milho e grão de soja extrudado. Estudos indicam que produtos oriundos da soja adequadamente processados, com efetiva desativação dos seus fatores antinutricionais, devem possuir valores máximos de atividade de inibidores de tripsina de 4 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína na matéria natural (Kim et al., 1999; Kim et al., 2000; Clarke e Wiseman, 2007). Entretanto, Kim et al. (1999) e Kim et al. (2000) observaram reduções no desempenho e na digestibilidade da proteína da dieta na ordem de 8% em leitões que consumiram dietas com a inclusão de grão de soja contendo níveis de inibidores de tripsina entre 2,2 e 3,2 miligramas de tripsina inibida por grama de proteína em contraste a dietas contendo o grão de soja contendo teores inferiores a 2 miligramas (Kim et al., 1999; Kim et al., 2000). No presente estudo, o consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado, ingrediente que apresentou o maior valor de atividade de inibidores de tripsina, resultou no desempenho animal e digestibilidade da PB da dieta inferiores as demais dietas, o que pode ser um indicativo que o valor de atividade de inibidor de tripsina de 3,70 mg/g de PB foi prejudicial aos leitões, o que sustenta os resultados obtidos por Kim et al. (1999) e Kim et al. (2000).

Ao longo de todo o período experimental, a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% ou 100% do farelo de soja tostado da dieta resultou em pesos vivo, ganhos diários de peso, consumos diários de ração e conversões alimentares semelhantes aos resultados obtidos para a dieta contendo farelo de soja como a principal fonte proteica da dieta. Estes resultados corroboram os resultados de outros trabalhos na literatura que substituíram o farelo de soja tostado pelo grão de soja desativado na nutrição de leitões no período de creche (Bisewski, 2009; Toledo et al., 2011).

Toledo et al. (2011) demonstraram que inclusões de 4,5 a 13,5% de grão de soja desativado em complementação ao farelo de soja da dieta, podem ser incluídas sem efeitos prejudiciais ao desempenho de leitões dos 6,0 aos 15 kg de peso vivo. Destaca-se que neste trabalho foram obtidos índices de solubilidade proteica em KOH de 78,85%, inferiores aos obtidos neste estudo. Bisewski (2009) não obteve diferenças de desempenho quando comparou

dietas contendo farelo de soja tostado ou sua substituição parcial pelo grão de soja desativado dos 21 aos 63 dias de idade dos leitões.

Cabe destacar que neste estudo avaliaram-se tanto a substituição parcial como a substituição total do farelo de soja tostado da dieta pelo grão de soja desativado, em contraste aos estudos de Bisewski (2009) e Toledo et al. (2011) que incluíram o grão de soja desativado como complemento ao farelo de soja tostado. Também os teores incluídos de grão de soja desativado nas dietas contendo apenas o grão de soja desativado em detrimento do farelo de soja tostado foram superiores aos teores incluídos nos estudos de Bisewski (2009) e Toledo et al. (2011), sendo teores de 16,25% na dieta pré-inicial I; 17,50% na dieta pré-inicial II e 18,75% na dieta inicial versus os níveis 13,50% fornecidos no estudo de Toledo et al. (2011) e teores médios de 11,45% nas dietas pré-iniciais I; 8,17% nas dietas pré-iniciais II e 15,93% nas dietas iniciais fornecidos no estudo de Bisewski (2009). Desta forma os resultados obtidos neste estudo são interessantes pensando na aplicabilidade da utilização do grão de soja desativado como um ingrediente a ser utilizado nas rações para leitões, sobretudo pois não houve prejuízo ao desempenho dos animais quando da sua inclusão em detrimento do fornecimento do farelo de soja tostado.

Avaliando a substituição do farelo de soja tostado da dieta pelo grão de soja extrudado como ingrediente único, quando temperaturas de extrusão de 143°C foram empregadas, Kim et al. (1999) observaram a melhoria no valor nutricional do grão de soja, com redução nas concentrações de inibidores de tripsina na ordem de 18,18%. Nestas condições ocorreram incrementos no desempenho de leitões após o desmame de, em média, 21% no ganho de peso, 13% no consumo de alimento e 22% na eficiência alimentar, em relação a leitões alimentados com o grão de soja *in natura* ou tostado, ou ainda o farelo de soja convencional, substituídos na sua totalidade.

Resultados apresentados por Bertol et al. (2001) indicam que o grão de soja extrudado pode ser incluído na dieta de leitões após o desmame em até 40% de substituição ao farelo de soja, com máximo desempenho propiciado ao nível de substituição de 26,82%, quando processado termicamente de maneira adequada.

A frequência da ocorrência de diarreia nos leitões ao longo dos 42 dias de experimentação foi semelhante entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por Bertol et al. (2001) que não observaram efeitos da substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta pela soja integral extrudada. A associação do farelo de soja tostado da dieta com o grão de soja desativado também não afetou a ocorrência de diarreia dos leitões no estudo de Bisewski (2009).

Não foram observadas diferenças significativas entre as digestibilidades da MS das dietas avaliadas. Piao et al. (2000) observaram reduções lineares na digestibilidade da matéria seca da dieta conforme substituiu-se o farelo de soja tostado por níveis crescentes de 25% de grão de soja extrudado em temperaturas de 130 a 150°C.

A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado da dieta, dietas GEX50 e GEX100, reduziu a digestibilidade da proteína bruta da dieta, sendo este efeito mais marcante para a dieta GEX100. Estes resultados se devem a incompleta inativação dos inibidores de tripsina na mistura extrudada.

Os inibidores de tripsina são proteínas que interagem de forma específica e irreversível com as enzimas proteolíticas pancreáticas tripsina e quimotripsina no lúmen intestinal, inibindo as atividades destas enzimas por meio da competição pelo sítio ativo das enzimas com as proteínas a serem digeridas. Uma molécula de inibidor de tripsina se liga e inibe uma molécula de enzima, é uma inibição competitiva, em que o inibidor se liga no sítio ativo da enzima formando um complexo estável irreversível enzima-inibidor, reduzindo a quantidade de enzima livre disponível para digestão. Estas enzimas são resistentes ao ambiente químico, térmico e a desnaturação enzimática ao longo do trato gastrointestinal dos suínos (Yen et al., 1977; Clemente et al., 2008; Losso, 2008; Goebel e Stein, 2011).

Como efeito secundário o pâncreas é estimulado a secretar maiores quantidades destas enzimas o que leva a hipertrofia e hiperplasia pancreática devido a hipersecreção crônica de enzimas. O mecanismo pelo qual o pâncreas é estimulado a secretar mais enzima ocorre por uma regulação de *feedback* negativo em que a redução no conteúdo de enzima tripsina e quimotripsina livre e a presença de peptídeos não digeridos servindo de substrato para estas enzimas no lúmen do duodeno estimulam a secreção continuada de enzimas pelo pâncreas (Broadway e Duffey, 1986).

O efeito deletério dos inibidores de tripsina sobre o desempenho animal, não se deve apenas pela redução na digestão e absorção das proteínas da dieta, mas também pela excessiva perda fecal das enzimas secretadas pelo pâncreas, que não é compensada pela absorção de aminoácidos no intestino (Yen et al., 1977; Silva e Silva, 2000).

Na extrusão, quando temperaturas insuficientes para inativar os inibidores de tripsina são empregadas no grão de soja como ingrediente isolado, a redução no ganho de peso decorrente da redução na digestibilidade dos aminoácidos é de em média 20%, podendo chegar a 55% quando se compara o fornecimento destes ingredientes com o grão de soja adequadamente extrudado, ou ainda a sua inclusão em substituição ao farelo de soja da dieta (Barbosa et al., 1999; Zarkadas e Wiseman, 2005a). Altos valores residuais de inibidores de

tripsina estão diretamente associados a digestibilidades ileal da proteína bruta e dos aminoácidos essenciais em média 12% menores em contraste as digestibilidades apresentadas pelo farelo de soja tostado (Marty et al., 1994; Fan et al., 1995).

Valores semelhantes de digestibilidade da proteína bruta foram obtidos para a dieta FS e as dietas contendo o grão de soja desativado, indicando que o processo empregado de desativação do grão de soja foi eficiente na redução dos teores de fatores antinutricionais presentes no grão de soja *in natura*. Carvalho et al. (2007) também demonstraram que a substituição do farelo de soja pelo grão de soja desativado não afetou a digestão nem o metabolismo de nitrogênio em suínos.

Outro fator importante é que as dietas com a inclusão do farelo de soja tostado como fonte proteica principal, e as dietas contendo o grão substituindo 50% do farelo de soja tostado foram suplementadas com óleo de soja, o que equalizou os efeitos do teor de extrato etéreo da dieta sobre a taxa de passagem do alimento no intestino delgado. No trato digestivo, a gordura tem efeito de reduzir a taxa de esvaziamento gástrico e a taxa de passagem do alimento no intestino delgado, o que aumenta o tempo em que as proteínas são expostas a ação das enzimas proteolíticas, aumentando também o tempo para absorção de aminoácidos e peptídeos (Valaja e Siljander-Rasi, 2001; Gentilcore et al., 2006). Desta forma a digestibilidade da proteína da dieta FS se elevou a um nível similar a digestibilidade da proteína bruta das dietas contendo grão de soja desativado. Resultados semelhantes foram obtidos por Cervantes-Pahm e Stein (2008), que observaram digestibilidades dos aminoácidos semelhantes quando óleo de soja foi adicionado a dietas contendo farelo de soja tostado, quando comparada a suplementação de grão de soja extrudado a 150°C com completa inativação dos fatores antinutricionais.

A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado nas dietas, resultou nas maiores digestibilidades do EE, em comparação a dieta contendo farelo de soja tostado como fonte proteica principal ou as dietas contendo grão de soja desativado. O processo de extrusão promove a ruptura dos vacúolos lipídicos presentes no grão de soja o que pode levar ao aumento da digestibilidade da gordura do ingrediente, e conseqüentemente da dieta, pela maior área de exposição da gordura as enzimas lipolíticas (Noland et al.; 1976; Lin et al., 1997). Por conseqüência, são observadas melhorias na digestibilidade da energia bruta do grão de soja extrudado (Noland et al.; 1976; Rodhouse et al., 1992).

A menor digestibilidade do extrato etéreo observado para as dietas contendo grão de soja desativado em relação as dietas contendo farelo de soja como fonte principal de proteína ou o *blend* de milho e grão de soja extrudado, pode ser decorrente de uma menor exposição da gordura do grão de soja desativado a ação das enzimas lipolíticas no intestino. Como relatado

anteriormente, no processo de extrusão, devido a ruptura da estrutura celular dos vacúolos lipídicos, a gordura é exposta extracelularmente facilitando sua digestão e absorção (Noland et al.; 1976; Lin et al., 1997). Por outro lado, no processo de desativação do grão de soja este comportamento não ocorre, uma vez que a desativação é realizada pelo cozimento do grão inteiro por vapor no vácuo não ocorrendo rupturas na estrutura celular dos vacúolos lipídicos, deixando a gordura menos exposta a ação das enzimas digestivas, o que leva a redução na digestibilidade do extrato etéreo do ingrediente (Freitas et al., 2005).

Embora a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado tenha refletido em maior digestibilidade do extrato etéreo, este comportamento não se repetiu na digestibilidade da EB da dieta que foi variável entre as dietas. Neste estudo as dietas FS, GD50 e GEX100 apresentaram as maiores digestibilidades da EB, quando comparadas a dieta GD100 que apresentou digestibilidade intermediária e a dieta GEX50 que apresentou a menor digestibilidade da EB.

A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção do grão substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta resultou na maior digestibilidade do FDN da dieta. A dieta FS, por sua vez, apresentou a menor digestibilidade do FDA em comparação as demais dietas avaliadas. A celulose e a hemicelulose são polissacarídeos componentes da fibra insolúvel dos carboidratos e são parcialmente resistentes a fermentação microbiana no intestino grosso dos suínos. O processamento mecânico e térmico ocorrido durante a extrusão pode promover uma reestruturação da fibra insolúvel das leguminosas, solubilizando parte de seu conteúdo, o que pode deixá-la mais disponível para fermentação (Karr-Lilienthal et al., 2005; Singh et al., 2007). Esta possível melhoria na digestibilidade do FDN e FDA não foi observada neste estudo. Da mesma forma, não foram encontradas explicações a respeito da obtenção da menor digestibilidade para o FDA na dieta em que o farelo de soja tostado foi incluído como a fonte principal de proteína. Cabe ressaltar também que as dietas avaliadas apresentaram teores semelhante de FDN e FDA em sua composição.

Resultados diversos na literatura demonstram que as condições de extrusão afetam diretamente a digestibilidade dos nutrientes do grão de soja pelos suínos. Zarkadas e Wiseman (2005b) observaram melhores digestibilidades do extrato etéreo e da energia bruta da dieta de leitões alimentados com grão de soja extrudado em temperaturas de 90°C em relação a extrusões em temperaturas de 70° e 150°C, possivelmente devido a ocorrência de subprocessamento na temperatura de 70°C e superprocessamento na temperatura de 150°C. Kim et al. (2000) observaram menor digestibilidade aparente da matéria seca e da energia bruta do farelo de soja tostado em contraste ao grão de soja extrudado a 143°C, sendo semelhante a

digestibilidade da proteína bruta entre estes dois ingredientes. Neste mesmo estudo foram observadas melhorias na digestibilidade ileal na proteína bruta e dos aminoácidos essenciais, com maior retenção de nitrogênio no organismo animal. Fan et al. (1995) observaram menores digestibilidades ileais da proteína (em média 16,7% menor) e dos aminoácidos essenciais (em média 19,59% menor) do grão de soja extrudado em temperaturas entre 137° e 163°C em comparação ao farelo de soja tostado. Da mesma forma, Piao et al. (2000) observaram reduções lineares na digestibilidade ileal dos aminoácidos essenciais da dieta conforme substituiu-se o farelo de soja tostado em proporções de 0; 25; 50; 75 e 100% de substituição pelo grão de soja extrudado em temperaturas de 130 a 150°C, traduzindo-se em reduções lineares no desempenho dos leitões aos 37 dias de idade. Por outro lado, Marty e Chavez (1993) observaram maiores digestibilidades aparente da proteína bruta e do FDN do grão de soja extrudado a 130°C em comparação ao grão e ao farelo de soja tostados para leitões.

Neste experimento, os parâmetros da série vermelha quantificados por meio do hemograma situaram-se dentro dos valores de referência citados por Thorn (2010) e não foram afetados pelas dietas avaliadas. As concentrações de hemaglutininas (Silva e Silva, 2000) e os teores de ácido fítico na soja poderiam ter influenciado nos parâmetros avaliados da série vermelha, no entanto, como estes parâmetros apresentaram dentro dos valores de referência, pode-se inferir que o processamento de desativação do grão de soja *in natura* e a extrusão do *blend* de milho e grão de soja foram adequados para inativar as hemaglutininas, e da mesma forma, a suplementação de ferro via suplemento mineral evitou o possível efeito de uma redução da biodisponibilidade de ferro em virtude do ferro quelatado via fitato fonte de proteína de soja consumida.

Os valores médios de proteína total aos sete dias de experimento não foram afetados pelas dietas avaliadas. No entanto, o consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja, GEX50 e GEX100, resultou nas menores concentrações de proteína total no sangue aos 21 dias. Estes resultados podem indicar que os leitões que consumiram as dietas GEX50 e GEX100, em função da menor ingestão de alimento observada nas fases pré-inicial I e pré-inicial II de crescimento, apresentaram ingestão insuficiente de aminoácidos e proteínas o que se refletiu na menor concentração de proteína total no sangue e também na redução na deposição de proteína muscular com redução no ganho de peso animal.

Estudos na literatura demonstram que a concentração de proteína total no sangue é afetada pelo tipo de proteína na dieta, nível de ingestão e qualidade da proteína ingerida (Wykes et al., 1996; Cho et al., 2007). O consumo de dietas deficientes em proteína e aminoácidos ou ainda a redução no consumo de alimento, resulta em reduções nas concentrações sanguíneas de

proteína total (Bergsjö et al., 1993; Wykes et al., 1996; Obatolu et al., 2003; Cho et al., 2007; Zeng et al., 2013). Nestas condições ocorre a redução da síntese proteica e do *turnover* celular da proteína total no sangue e da proteína nos tecidos musculares, uma adaptação metabólica necessária a fim de se garantir a excreção mínima de nitrogênio e máxima eficiência de utilização das proteínas vindas da dieta (Wykes et al., 1996). Em leitões consumindo dietas deficientes de proteína ao longo de oito semanas após o desmame, a redução na síntese de proteínas plasmáticas pode chegar a 40% em comparação a leitões que consomem dietas que atendem as exigências nutricionais (Wykes et al., 1996).

As concentrações séricas de proteína total obtidas neste estudo, entre 4,53 e 4,92 g/dL aos sete dias, e entre 4,57 e 5,18 g/dL aos 21 dias de experimento, embora estejam abaixo dos valores de referência de entre 6,00 a 8,00 g/dL (Thorn, 2010), estão próximas as concentrações séricas obtidas em estudos que avaliaram fontes proteicas de soja para leitões no pós-desmame, entre 5,10 e 5,58 g/dL (Cho et al., 2007).

Os parâmetros quantificados da série branca aos sete dias de experimento não foram afetados pelas dietas avaliadas, bem como os valores de eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas aos 21 dias, estando estes valores dentro dos valores de referência citados por Thorn (2010). No entanto, o consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado, GEX50 e GEX100, aos 21 dias de experimento, resultou nas maiores concentrações de leucócitos no sangue quando comparado as demais dietas, sendo 23,39 mil/ μ L para os leitões que consumiram GEX50 e 27,11 mil/ μ L, para os leitões que consumiram GEX100, estando estes valores acima dos valores de referência estabelecidos por Thorn (2010) que situa-se entre 11,00 e 22,00 mil/ μ L. O aumento na contagem dos leucócitos pode ser um indicativo do recrutamento destas células frente a um desafio oral com desencadeamento de resposta imune (Helm et al., 2002). O significado desta resposta imune sorológica e inespecífica corrobora os resultados dos parâmetros de desempenho obtidos neste estudo. Os suínos alimentados com as dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado apresentaram menores ganho diário de peso e consumo diário de ração e piores conversões alimentares, associados também a menores digestibilidades aparente da proteína bruta da dieta, o que significa que o processamento térmico do *blend* pode indicar que os fatores alergênicos da soja não foram corretamente inativados, e a reação imune desencadeada por eles contribuiu para o pior desempenho destes animais. Em geral, desafios imunes contribuem para a redução no crescimento animal, uma vez que os nutrientes que seriam utilizados para o crescimento são redistribuídos para dar suporte a função do sistema imune. Aminoácidos livres provenientes da mobilização das proteínas musculares são utilizados para

a síntese de proteínas da fase aguda ou são desaminados na mitocôndria produzindo intermediários do ciclo de Krebs que serão utilizados para a síntese de glicose, um aporte de energia utilizado pelas células do sistema imune (Floc'h et al., 2004; Ganeshan e Chawla, 2014). Em adição, ocorre o desvio dos aminoácidos da síntese proteica muscular para a síntese de proteínas do sistema imune, o que também contribui para a redução no crescimento proteico animal (Colditz, 2002; Floc'h et al., 2004).

De forma semelhante aos demais parâmetros de desempenho avaliados, o consumo do *blend* de milho e grão de soja extrudado resultou no menor peso de abate dos leitões. Apenas os pesos absoluto e relativo do estômago foram afetados pelas dietas avaliadas. O consumo das dietas contendo o grão de soja, seja desativado ou como *blend* extrudado, resultou nos maiores pesos absolutos do estômago dos leitões, enquanto que o peso relativo do estômago dos leitões que consumiram GD50 foram superiores ao dos animais que consumiram a dieta FS. A morfometria e peso dos órgãos está relacionada ao teor de fibra e a digestibilidade das dietas (Qin et al., 1996), no entanto, neste experimento, as dietas apresentaram teores de fibra semelhantes e o consumo das dietas por sete dias não foi suficiente para evidenciar este efeito.

Neste estudo a profundidade de cripta do duodeno foi afetada pelas dietas avaliadas, em que o consumo de FS, GD100 e GEX100 resultou nas menores profundidades de cripta e o consumo de GD50 resultou nas maiores profundidades de cripta. Também foi observado menor número de células caliciformes nas vilosidades do duodeno dos leitões que consumiram as dietas FS, GEX50 e GEX100, em contraste aos animais que consumiram GD50 que apresentaram maior número de células caliciformes no duodeno. Os demais parâmetros da histologia do epitélio intestinal do duodeno e jejuno dos leitões não foram afetados pelas dietas avaliadas.

Bertol et al. (2001), Kim et al. (1994) e Qiao et al. (2003) não observaram efeitos da substituição do farelo de soja tostado pela soja integral extrudada na dieta de leitões recém-desmamados sobre a altura de vilosidade e profundidade de cripta do duodeno e jejuno. Os autores creditam estes efeitos a correta inativação dos fatores antinutricionais e alergênicos presentes no grão de soja.

A proporção das proteínas glicinina e β -conglucina que escapa da digestão gástrica e intestinal e chegam intactas a mucosa intestinal é capaz de estimular a produção de anticorpos, reações antígenos-anticorpo e a ocorrência de reações de hipersensibilidade em leitões após o desmame (Thanh e Shibasaki, 1977; Li et al., 1990; Hao et al., 2010; Song et al., 2010). Estudos demonstram que o consumo de dietas contendo níveis crescentes das proteínas glicinina e β -conglucina purificadas promovem aumentos na concentração de imunoglobulina A no

duodeno e no jejuno de leitões após o desmame (Sun et al., 2008a; Wu et al., 2016a; Peng et al., 2019). No presente estudo, não foram observadas diferenças entre a concentração de imunoglobulina A no duodeno e jejuno dos leitões alimentados com as dietas contendo o farelo de soja, o grão de soja desativado ou o *blend* de milho e grão de soja extrudado.

Ademais, como ações nocivas das reações de hipersensibilidade as proteínas alergênicas da soja na mucosa intestinal, a ocorrência de processos inflamatórios locais devido a liberação de mediadores da inflamação e a proliferação de linfócitos e mastócitos na lâmina própria do intestino delgado (Bittencourt et al., 2007; Sun et al., 2008b; Hao et al., 2009; Hao et al., 2010; Song et al., 2010) resulta no aumento da fagocitose e lise celular das células do organismo animal causando a descamação do enterócito com atrofia das vilosidades intestinais, que leva a redução na secreção das enzimas da borda em escova, reduzindo a digestão dos nutrientes e também a redução na área superficial para absorção luminal que leva a um quadro de má absorção. Observa-se também a proliferação celular nas criptas com aprofundamento das criptas intestinais visando compensar a redução das vilosidades como uma tentativa de regeneração do epitélio. A altura das vilosidades é 20% menor e das criptas 18% maior em leitões alimentados com dietas a base de produtos da soja processados inadequadamente (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010).

Outro efeito é a desregulação das proteínas que compõe as junções oclusivas, o que compromete a adesão e a vedação entre as células resultando no aumento da permeabilidade paracelular, e contribui para a secreção de Cl⁻ para o lúmen intestinal e pode ocasionar a internalização de bactérias potencialmente patogênicas presentes na mucosa e no lúmen intestinal (Li et al., 1990; Li et al. 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010). Estudos na literatura demonstram que as proteínas glicinina e β -conglucina ocasionam a redução no conteúdo das proteínas claudinas, ocludinas e *zonula occludens* 1 no jejuno de leitões, estando esta redução correlacionada a um aumento na permeabilidade da barreira intestinal (Zhao et al., 2014; Zhao et al., 2015; Wu et al., 2016b). De forma contrária, neste estudo a substituição do farelo de soja tostado da dieta pelo *blend* de milho e grão de soja extrudado ou pelo grão de soja desativado não influenciou o conteúdo das proteínas claudina-1, claudina-2 e ocludina nas junções oclusivas do jejuno dos leitões, a concentração da proteína *zonula occludens* 1 no entanto, foi superior nos leitões que consumiram as dietas GD100 relação aos leitões que consumiram FS, GD50, GEX50 e GEX100, que foram similares entre si. Aos efeitos nocivos das reações de hipersensibilidade na mucosa intestinal soma-se o aumento da vasodilatação e da permeabilidade vascular dos vasos locais que agrava o quadro de má digestão e absorção instalado (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010). Por

consequência de todos estes efeitos se tem a redução no desempenho animal (Li et al., 1990; Li et al., 1991a,b; Dréau e Lallès, 1999; Zhao et al., 2010).

Neste estudo os efeitos deletérios sobre o desempenho animal possivelmente se devem mais a inativação incompleta dos inibidores de tripsina do que pela presença de proteínas glicínica e β -conglícinina ativas, uma vez que não foram observados efeitos claros das dietas sobre a diarreia, os parâmetros da série branca, a histologia e integridade do epitélio intestinal, e a concentração de IgA no jejuno. Além disto, embora a concentração das proteínas glicínica e β -conglícinina não tenha sido mensurada, é possível que os tratamentos térmicos empregados na desativação dos fatores antinutricionais das fontes proteicas da soja utilizadas neste estudo tenha sido eficiente em promover a inativação destas proteínas alergênicas, atenuando uma possível resposta imune exacerbada na mucosa intestinal, destacando-se que a desnaturação destas proteínas ocorre a temperaturas de 92 a 149 °C para a glicínica e de 77 a 118,7°C para a β -conglícinina, (German et al., 1982; Kitabatake et al., 1990), enquanto que para os inibidores de tripsina estudos na literatura são controversos quanto a temperatura ideal para inativação.

No período de 1 a 14 dias, 15 a 28 dias, bem como no período total de 1 a 42 dias de experimentação, as dietas FS e GD50 apresentaram o menor custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho, enquanto que as dietas com o fornecimento do *blend* de milho e grão de soja extrudado resultaram no maior custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho. Da mesma forma, a dieta contendo o farelo de soja como a principal fonte proteica da dieta apresentou o melhor IEE e o melhor IC de leitões, enquanto que o consumo das dietas com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado resultou nos piores IEE e o piores IC de leitões.

Em um estudo desenvolvido por Galiardi et al. (2019), a substituição total do farelo de soja tostado pela soja integral extrudada na dieta de leitões no período inicial do período pós-desmame resultou nos maiores custos médios em ração por quilograma de peso vivo. Os autores creditam este efeito a pior conversão alimentar dos animais que consumiram a dieta contendo a soja integral extrudada.

No presente estudo, o maior custo médio em ração por quilograma de peso vivo, e os piores IEE e IC obtidos para as dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado se devem a pior conversão alimentar como consequência do menor ganho diário de peso e menor consumo de alimento.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a substituição do farelo de soja tostado pelo grão de soja na forma de *blend* de milho e grão de soja extrudado na dieta de leitões após o desmame não foi economicamente viável, uma vez que o menor desempenho dos leitões que

consumiram as dietas com o ingrediente extrudado não permitiu a compensação do investimento gasto no processamento do *blend*.

5.5. Conclusão

A temperatura de extrusão do *blend* de milho e grão de soja foi insuficiente para inativar os fatores antinutricionais presentes no grão de soja *in natura*, e provavelmente este foi o motivo da menor digestibilidade da proteína bruta apresentada pelas dietas e também do menor desempenho dos animais que consumiram estas dietas. A inclusão do *blend* de milho e grão de soja em substituição do farelo de soja da dieta reduziu o desempenho dos leitões após o desmame.

Referências

- Adams, K.L., Jensen, A.H., 1985. Effect of Processing on the Utilization by Young Pigs of the Fat in Soya Beans and Sunflower Seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 12, 267-274.
- Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, J., Southern, L.L. (Eds.), *Swine Nutrition*, 2 nd ed. CRC Press, Washington, pp. 903-916.
- Amornthewaphat, N., Attamangkun, S., 2008. Extrusion and animal performance effects of extruded maize quality on digestibility and growth performance in rats and nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 144, 292-305.
- Anguita, M., Gasa, J., Martín-Orúe, S.M., Pérez, J.F., 2006. Study of the effect of technological processes on starch hydrolysis, non-starch polysaccharides solubilization and physicochemical properties of different ingredients using a two-step in vitro system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 129, 99-115.
- AOAC. Association of official analytical chemists. 2006. *Official methods of analysis*. 18. ed. AOAC, Washington.
- AOCS. Association oil chemists society. 2009. *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society*. 6. ed. AOCS, Illinois.
- Araba, M., Dale, N.M., 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of over processing soybean meal. *Poult. Sci.* 69, 76-83.

- Ball, R.O., Aherne, F.X., 1995. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. II Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 1105-1115.
- Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Ferreira, A.S., Lima, G.J.M., Gomes, M.F.M., 1992. Triguilho para suínos nas fases inicial de crescimento, crescimento e terminação. *Braz. J. Anim. Sci.* 21, 827-37.
- Barbosa, H.P., Trindade Neto, M.A., Sordi, I.M.P., Schammass, E.A., 1999. Efeitos dos processamentos do milho comum e soja integral no desempenho de leitões desmamados aos 28 dias de idade. *Boletim da Indústria Animal.* 56, 67-73.
- Bellaver, C., Fialho, E.T., Protas, J.F.S., Gomes, P.C. 1985. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 20, 969-74.
- Bellaver, C., Snizek Junior, P.N., 1999. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: Congresso Brasileiro de Soja, 1999. Londrina. pp. 183-199.
- Bergsjø, B., Langseth, W., Nafstad, I., Jansen, J.H., Larsen, H.J.S., 1993. The Effects of Naturally Deoxynivalenol contaminated Oats on the Clinical Condition, Blood Parameters, Performance and Carcass Composition of Growing Pigs. *Vet. Res. Commun.* 27, 283-294.
- Bertol, T.M., Mores, N., Ludke, J.V., Franke, M.R., 2001. Proteínas da Soja Processadas de Diferentes Modos em Dietas para Desmame de Leitões. *Braz. J. Anim. Sci.* 30, 150-157.
- Bisewski, L. 2009. Milho Pré-Cozido e Soja Integral Desativada na Alimentação de Leitões Recém-Desmamados. Master thesis, Federal **University of Paraná, Curitiba, Brazil.**
- Bittencourt, A.L., Soares, M.F.M., Pires, R.R., Honmoto, C.S., Tanaka, M.K., Jacob, C.M.A, Abdall, D.S.P., 2007. Immunogenicity and allergenicity of 2S, 7S and 11S soy protein fractions. *RBCF.* 43, 597-606.
- Broadway, R.M., Duffey, S.S., 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of action and effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exigua*. *J. Insect Physiol.* 32, 827-833.
- Brown, I., 1996. Complex Carbohydrates and Resistant Starch. *Nutr. Rev.*, 54, S115-S119.
- Căpriță, R., Căpriță, A., Crețescu, I., 2010. Laboratory Procedures for Assessing Quality of Soybean Meal. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.* 2, 375-378.
- Carvalho, A.A., Lovatto, P.A., Hauschild, L., Andretta, I., Lehnen, C.R., Zanella, I., 2007. Processamento da soja integral e uso em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. *Braz. J. Anim. Sci.* 36, 2023-2028.

- Carvalho, A.D'á., Zanella, I., Lehnen, C.R., Andretta, I., Lanferdini, E., Hauschild, L., Lovatto, P.A., 2008. Digestibilidade aparente de dietas e metabolismo de frangos de corte alimentados com dietas contendo soja integral processada. *Cienc. Rural.* 38, 477-483.
- Cervantes-Pahm, S.K., Stein, H.H., 2008. Effect of dietary soybean oil and soybean protein concentration on the concentration of digestible amino acids in soybean products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86, 1841–1849.
- Cheftel, J.C., 1986. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking. *Food Chem.* 20, 263-283.
- Cho, J.H., Min, B.J., Chen, Y.J., Yoo, J.S., Wang, Q., Kim, J.D., Kim, I.H., 2007. Evaluation of FSP (Fermented Soy Protein) to Replace Soybean Meal in Weaned Pigs: Growth Performance, Blood Urea Nitrogen and Total Protein Concentrations in Serum and Nutrient Digestibility. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 20, 1874-1879.
- Clarke, E.J., Wiseman, J. 2000. Developments in plant breeding for improved nutritional quality of soya beans I. Protein and amino acid content. *J. Agric. Sci.* 134, 1111-1124.
- Clemente, A., Jimenez, E., Marin-Manzano, M.C., Rubio, L.A., 2008. Active Bowman–Birk inhibitors survive gastrointestinal digestion at the terminal ileum of pigs fed chickpea-based diets. *J. Sci. Food Agric.* 88, 513-521.
- Colditz, I.G., 2002. Effects of the immune system on metabolism: implications for production and disease resistance in livestock. *Livest. Sci.* 75, 257-268.
- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. 2013. Guia dos métodos analíticos: solubilidade proteica em hidróxido de potássio. *Sindirações*, São Paulo, pp. 219-222.
- Dréau, D., Lallès, J.P., 1999. Contribution to the study of gut hypersensitivity reactions to soybean proteins in preruminant calves and early-weaned Piglets. *Livest. Sci.* 60, 209-218.
- Fan, M.Z., Sauer, W.C., Lange, C.F.M., 1995. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52, 189-203.
- Félix, A.P., Brito, C.B.M., Ferrarini, H., Rodriguez, M.I.G., Oliveira, S.G., Maiorka, A., 2010. Características físico-químicas de derivados proteicos de soja em dietas extrusadas para cães. *Cienc. Rural.* 40, 2568-2573.
- Fernandes, M.S., Wang, S.H., Ascheri, J.L.R., Oliveira, M.F., Costa, S.A.J., 2003. Efeito da Temperatura de Extrusão na Absorção de Água, Solubilidade e Dispersibilidade da Farinha Pré-Cozida de Milho-Soja (70:30). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 23, 234-239.
- Floc'h, N.L., Melchior, D., Obled, C., 2004. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation. *Livest. Sci.* 87, 37-45.

- Freitas, E.R., Sakomura, N.K., Neme, R., Santos, A.L., Fernandes, J.B.K., 2005. Efeito do Processamento da Soja Integral sobre a Energia Metabolizável e a Digestibilidade dos Aminoácidos para Aves. *Braz. J. Anim. Sci.* 34, 1938-1949.
- Friesen, K.G., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., Blecha, F., Reddy, D.N., Reddy, P.G., Kats, L.J., 1993. The Effect of Pre- and Postweaning Exposure to Soybean Meal on Growth Performance and on the Immune Response in the Early-Weaned Pig. *J. Anim. Sci.* 71, 2089-2098
- Galiardi, M.E.B., Genova, J.L., Carvalho, P.L.O., Leal, I.F., Porto, P.P., Santos, L.B.A., Paiano, D., Silva, M.A.A., 2019. Total replacement of the soybean meal with extruded semi-whole soybean in the piglets feeding during the nursery phase. *Semin. Cienc. Agrar.* 40, 2759-2770.
- Ganeshan, K., Chawla, A., 2014. Metabolic Regulation of Immune Responses. *Annu. Rev. Immunol.* 32, 609-34.
- Gentilcore, D., Chaikomin, R., Jones, K.L., Russo, A., Feinle-Bisset, C., Wishart, J.M., Rayner, C.K., Horowitz, M., 2006. Effects of fat on gastric emptying of and the glycemic, insulin, and incretin responses to a carbohydrate meal in type 2 diabetes. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 91, 2062–2067.
- German, B., Damodaran, S., Kinsella, J.E., 1982. Thermal dissociation and association behavior of soy proteins. *J. Agric. Food Chem.* 30, 807-811.
- Goebel, K.P., Stein, H.H., 2011. Phosphorus digestibility and energy concentration of enzyme-treated and conventional soybean meal fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 764-772.
- Guzman, G.J., Murphy, P.A., Johnson, L.A., 1989. Properties of Soybean-Corn Mixtures Processed by Low-Cost Extrusion. *J. Food Sci.* 54, 1590-1593.
- Helm, R.M., 2002. Food Allergy Animal Models An Overview. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 964, 139-150.
- Hao, Y., Zhan, Z., Guo, P., Piao, X., Li, D., 2009. Soybean β -conglycinin-induced gut hypersensitivity reaction in a piglet model. *Arch. Anim. Nutr.* 63, 188-202.
- Hao, Y., Li, D., Piao, X., Piao, X., 2010. *Forsythia suspensa* extract alleviates hypersensitivity induced by soybean conglycinin in weaned piglets. *J. Ethnopharmacol.* 128, 412–418.
- Harlow, E., Lane, D., (Eds.), 1988. *Antibodies: A Laboratory Manual*. Cold Spring Harbor Press, New York. 726p.
- Jansen, G.R., Harper, J.M., O' Deen, L., 1978. Nutritional Evaluation of Blended Foods Made With a Low-Cost Extruder Cooker. *J. Food Sci.* 43, 912-915.
- Jensen, M.S., Jensen, S.K., Jakobsen, K., 1997. Development of Digestive Enzymes in Pigs with Emphasis on Lipolytic Activity in the Stomach and Pancreas. *J. Anim. Sci.* 75, 437-445.

- Kaankuka, F.G., Balogun, T.F., Tegbe, T.S.B., 1996. Effects of duration of cooking of full-fat soya beans on proximate analysis, levels of antinutritional factors, and digestibility by weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62, 229-237.
- Karr-Lilienthal, L.K., Kadzere, C.T., Grieshop, C.M., Fahey, G.C. 2005. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. *Livest. Sci.* 97, 1-12.
- Kim, I.H., Gugle, T.L., Hines, R.H., Hancock, J.D., 1994. Roasting and extruding affect nutrient utilization from soybeans in 10- and 20-lb pigs. In: *Swine Day, 1994*. Manhattan. pp.58-62.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Jones, D.B., Reddy, P.G., 1999. Extrusion Processing of Low-Inhibitor Soybeans Improves Growth Performance of Early-Weaned Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 12, 1251-1257.
- Kim, I.H., Hancock, J.D., Hines, R.H., Gugle, T.L., 2000. Roasting and Extruding Affect Nutrient Utilization from Soybeans in 5 and 10 kg Nursery Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 13, 200-206.
- Kitabatake, N., Tahara, M., Doi, E., 1990. Thermal Denaturation of Soybean Protein at Low Water Contents. *Agric. Biol. Chem.* 54, 2205-2212.
- Kleessen, B., Hartmann, L., Blaut, M., 2003. Fructans in the diet cause alterations of intestinal mucosal architecture, released mucins and mucosa-associated bifidobacteria in gnotobiotic rats. *Br. J. Nutr.* 89, 597-606.
- Koch, K.M., Thaler, R.C., Baidoo, S.K., Levesque, C.L., Bott, R.C., 2015. Characterization of energy and performance of swine fed a novel corn-soybean extruded product. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6, 1-8.
- Kong, C., Adeola, O., 2014. Evaluation of Amino Acid and Energy Utilization in Feedstuff for Swine and Poultry Diets. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27, 917-925.
- Konstance, R.P., Onwulata, C.I., Smith, P.W., Lu, D., Tunick, M.H., Strange, E.D., Holsinger, V.H., 1998. Nutrient-based corn and soy products by twin-screw extrusion. *J. Food Sci.* 63, 1-5.
- Kummer, R., Gonçalves, M.A.D., Lippke, R.T., Marques, B.M.F.P.P., Mores, T.J., 2009. Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche. *Acta Sci. Vet.* 37, 195-209.
- Laemmli, U.K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.* 227, 680-685.

- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F.J.D.; Allee, G.L., Goodband, R.D., Klemm, R., 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68, 1790-1799.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Giesting, D.W., Hancock, J.D., Allee, G.L., Goodband, R.D., 1991a. Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69, 3299-3307.
- Li, D.F., Nelssen, J.L., Reddy, P.G., Blecha, F., Klemm, R., Goodband, R.D., 1991b. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 69, 4062-4069.
- Lin, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 30, 754-761.
- Liu, D.W., Zang, J.J., Liu, L., Jaworski, N.W., Fan, Z.J., Wang, T.T., Li, D.F., Wang, F.L., 2014. Energy content and amino acid digestibility of extruded and dehulled-extruded corn by pigs and its effect on the performance of weaned pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 59, 69-83.
- Losso, J.N., 2008. The Biochemical and Functional Food Properties of the Bowman-Birk Inhibitor. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 94-118.
- Lundblad, K.K., Issa, S., Hancock, J.D., Behnke, K.C., McKinney, L.J., Alavi, S., Prestløkken, E., Fledderus, J., Sørensen, M., 2011. Effects of steam conditioning at low and high temperature, expander conditioning and extruder processing prior to pelleting on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs and broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 169, 208-217.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., 1993. Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 411-419.
- Marty, B.J., Chavez, E.R., de Lange, C.F.M., 1994. Recovery of Amino Acids at the Distal Ileum for Determining Apparent and True Ileal Amino Acid Digestibilities in Growing Pigs Fed Various Heat-Processed Full-Fat Soybean Products. *J. Anim. Sci.* 72, 2029-2037.
- Maurya, K., Said, P.P., 2014. Extrusion Processing on Physical and Chemical Properties of Protein Rich Products-An Overview. *J. Bioresour. Eng. Tech.* 1, 67-73.
- Mendes, W.S., Silva, I.J., Fontes, D.O., Rodriguez, N.M., Marinho, P.C., Silva, F.O., Arouca, C.L.C., Silva, F.C.O., 2004. Composição química e valor nutritivo da soja crua e submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 56, 207-213.

- Milani, N.C., Sbardella, M., Ikeda, N.Y., Arno, A., Mascarenhas, B.C., Miyada, V.S., 2017. Dietary zinc oxide nanoparticles as growth promoter for weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 227, 13-23.
- Miller, B.G., Whittemore, C.T., Stokes, C.R., Telemo, E., 1994. The effect of delayed weaning on the development of oral tolerance to soya-bean protein in pigs. *Br. J. Nutr.* 71, 615-625.
- Naeim, F., Rao, O.N., Song, S.X., Phan, R.T., 2018. Chapter 4 - Principles of Molecular Techniques. In: Naeim, F., Rao, O.N., Song, S.X., Phan, R.T. (Eds.) *Atlas of Hematopathology: Morphology, Immunophenotype, Cytogenetics, and Molecular Approaches*, 2nd ed. Academic Press, Waltham, pp.69-88.
- National Research Council (NRC), 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., U.S.A. 400p.
- Noland, P.R., Campbell, D.R., Gage, R.K., Sharp, R.N., Johnson, Z.B., 1976. Evaluation of Processed Soybeans and Grains in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 43, 763-769.
- Obatolu, V.A., Ketiku, A., Adebawale, E.A., 2003. Effect of Feeding Maize/Legume Mixtures on Biochemical Indices in Rats. *Ann. Nutr. Metab.* 47, 170-175.
- Parsons, C.M., Hashimoto, K., Wedekind, K.J., Baker, D.H., 1991. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. *J. Anim. Sci.* 69, 2918-2924.
- Peng, C., Tang, X., Shu, Y., He, M., Xia, X., Zhang, Y., Cao, C., Li, Y., Feng, S., Wang, X., Wu, J., 2019. Effects of 7S and 11S on the intestine of weaned piglets after injection and oral administration of soybean antigen protein. *Anim. Sci. J.* 90, 393-400.
- Piao, X.S., Kim, J.H., Jin, J., Kim, J.D., Cho, W.T., Shin, I.S., Han, I.K., 2000. Effects of extruded full fat soybean in early-weaned piglets. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 13, 645-652.
- Pierce, J.L., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Russell, L.E., Weaver, E.M., 2005. Effects of spray-dried animal plasma and immunoglobulins on performance of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2876-2885.
- Qiao, S., Li, D., Jiang, J., Zhou, H., Li, J., Thacker, P.A., 2003. Effects of Moist Extruded Full-fat Soybeans on Gut Morphology and Mucosal Cell Turnover Time of Weanling Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 16, 63-69.
- Qin, G., ter Elst, E.R., Bosch, M.W., van der Poel, A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 313-324.
- Raizer, F. A desativação da soja (grão) e o custo de energia: tendências. *Avicultura Industrial*. 2016. <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/a-desativacao-da-soja-grao-e-o->

- [custo-de-energia-tendencias-por-fernando-raizer/20150525-122641-j520](#). Acesso em 16 de fevereiro 2019.
- Rodhouse, S.L., Herkelman, K.L., Veum, T.L., 1992. Effect of Extrusion on the Ileal and Fecal Digestibilities of Lysine, Nitrogen, and Energy in Diets for Young Pigs. *J. Anim. Sci.* 70, 827-835.
- Silva, M.R., Silva, M.A.A.P., 2000. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. *Rev. Nutr.* 13, 3-9.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 916-929.
- Song, Y.S., Pérez, V.G., Pettigrew, J.E., Martinez-Villaluenga, C., Gonzalez De Mejia, E., 2010. Fermentation of soybean meal and its inclusion in diets for newly weaned pigs reduced diarrhea and measures of immunoreactivity in the plasma. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159, 41-49.
- Steel, C.J., Leoro, M.G.V., Schmiele, M., Ferreira, R.E., Chang, Y.K., 2012. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In: El-Sonbati, A. (Ed.). *Thermoplastic Elastomers*. 1st ed. InTech, Rijeka, pp. 265-290.
- Sun, P., Li, D., Dong, B., Qiao, S., Ma, X. 2008a. Effects of soybean glycinin on performance and immune function in early weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 313-321.
- Sun, P., Li, D., Li, Z., Dong, B., Wang, F. 2008b. Effects of glycinin on IgE-mediated increase of mast cell numbers and histamine release in the small intestine. *J. Nutr. Biochem.* 19, 627-633.
- Thanh, V.H., Shibasaki, K. 1977. Beta-Conglycinin from Soybean Proteins: Isolation and Immunological and Physicochemical Properties of the Monomeric Forms. *Biochim. Biophys. Acta.* 490, 370-384.
- Thorn, C.E., 2010. Hematology of the pig. In: Weiss, D.J., Wardrop, K.J. (Eds.), *Schalm's Veterinary Hematology*, 6th ed. Blackwell Publishing Ltd., Ames, pp. 843-851.
- Toledo, J.B., Furlan, A.C., Moreira, I., Piano, L.M., Carvalho, P.L.O., Oliveira, G.C., 2011. Avaliação nutricional de soja integral desativada e desempenho de leitões na fase de creche. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 63, 1191-1199.
- Valaja, J., Siljander-Rasi, H., 2001. Dietary fat supplementation affects apparent ileal digestibility of amino acids and digesta passage rate of rapeseed meal-based diets. In: Lindberg, J.E., Ogle, B. (Eds.), *Digestive Physiology of Pigs*. CABI Publishing, New York, pp. 175-177.

- Van Keulen, J., Young, B.A., 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 47, 282-287.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implication in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Veum, T.L., Serrano, X., Hsieh, F.H., 2017. Twin- or single-screw extrusion of raw soybeans and preconditioned soybean meal and corn as individual ingredients or as corn-soybean product blends in diets for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 95, 1288-1300.
- Woyengo, T.A., Beltranena, E., Zijlstra, R.T., 2014. Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92, 1293-1305.
- Wu, J.J., Cao, C.M., Ren, D.D., Zhang, Y., Kou, Y.N., Ma, L.Y., Feng, S.B., Li, Y., Wang, X.C., 2016a. Effects of soybean antigen proteins on intestinal permeability, 5-hydroxytryptamine levels and secretory IgA distribution in the intestine of weaned piglets. *Ital. J. Anim. Sci.* 15, 174-180.
- Wu, J.J., Zhang, Y., Dong, J.H., Cao, C.M., Li, B., Feng, S.B., Ding, H.Y., Ma, L.Y., Wang, X.C., Li, Y., 2016b. Allergens and intestinal damage induced by soybean antigen proteins in weaned piglets. *Ital. J. Anim. Sci.* 15, 437-445.
- Wykes, L.J., Fiorotto, M., Burrin, D.G., Del Rosario, M., Frazer, M.E., Pond, W.G., Jahoor, F., 1996. Chronic Low Protein Intake Reduces Tissue Protein Synthesis in a Pig Model of Protein Malnutrition. *J. Nutr.* 126, 1481-1488.
- Yen, J.T., Jensen, A.H., Simon, J., 1977. Effect of Dietary Raw Soybean and Soybean Trypsin Inhibitor on Trypsin and Chymotrypsin Activities in the Pancreas and in Small Intestinal Juice of Growing Swine. *J. Nutr.* 170, 156-165.
- Zarkadas, L.N., Wiseman, J., 2005a. Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets. I. Performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 109-119.
- Zarkadas, L.N., Wiseman, J., 2005b. Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets: II. Digestibility and intestinal morphology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 121-137.
- Zeng, P.L., Yan, H.C., Wang, X.Q., Zhang, C.M., Zhu, C., Shu, G., Jiang, Q.Y., 2013. Effects of Dietary Lysine Levels on Apparent Nutrient Digestibility and Serum Amino Acid Absorption Mode in Growing Pigs. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 26, 1003-1011.
- Zhao, Y., Qin, G.X., Sun, Z.W., Zhang, B., Wang, T. 2010. Effects of glycinin and β -conglycinin on enterocyte apoptosis, proliferation and migration of piglets. *Food Agric. Immunol.* 21, 209-218.

- Zhao, Y., Qin, G., Han, R., Wang, J. Zhang, X., Liu, D., 2014. β -Conglycinin Reduces the Tight Junction Occludin and ZO-1 Expression in IPEC-J2. *Int. J. Mol. Sci.* 15, 1915-1926.
- Zhao, Y., Liu, D., Han, R., Zhang, X., Zhang, S., Qin, G., 2015. Soybean allergen glycinin induced the destruction of the mechanical barrier function in IPEC-J2. *Food Agric. Immunol.* 26, 601-609.
- Žilić, S.M., Božović, I.N., Savić, S., Šobajić, S., 2006. Heat processing of soybean kernel and its effect on lysine availability and protein solubility. *Cent. Eur. J. Biol.* 1, 572-583.

Tabela 33. Condições de operação da extrusão dos ingredientes avaliados

Parâmetros	Ingredientes	
	<i>Blend</i> de milho e grão de soja	Milho
Condicionador		
Temperatura (°C)	79,7	80,9
Adição água condicionador (L/h)	10	10
Adição água canhão (L/h)	0	0
Água do vapor (estimada)	5,3	5,6
Velocidade das pás (Hz)	24	24
Umidade (%)	21,8	25,9
Extrusora		
Alimentação (Hz)	23,3	23,6
Velocidade da rosca (RPM)	643,0	642,9
Velocidade da rosca (Hz)	1800	1800
Amperagem (A)	36,6	39,2
Produtividade real (kg/h)	130,0	130,0
Temperatura do canhão extrusora (°C)		
(1)	70,4	41,4
(2)	69,3	43,3
(3)	81,0	52,0
(4)	115,7	102,4
(saída)	120,9	120,6
Velocidade corte faca (Hz)	17,8	17,2
Trafila e Matriz		
Diâmetro do anel de retenção (mm)	15	15
Trafila, n° de furos abertos	1	1
Diâmetro dos furos (mm)	10	10
Área aberta (mm ²)	78,5	78,5
Extrudado		
Umidade (%)	18,8	27,8
Área aberta (mm ² /ton/h)	604,2	604,2

Tabela 34. Composição química dos ingredientes utilizados (matéria natural)

Item	Ingredientes						
	GSOJA	BMGS	BMGSE	MILHO	MILHOEX	FSTOS	GDES
MS, %	89,72	88,73	90,42	88,29	88,55	91,06	89,92
PB, %	35,50	14,99	14,66	7,85	8,04	47,16	35,49
MM, %	5,09	2,52	2,43	1,10	1,35	7,02	5,21
EB, kcal/kg	5473,37	4274,37	4475,99	3931,84	4028,49	4288,40	5207,71
EE, %	21,84	8,72	8,46	3,59	3,62	2,86	21,97
FDN, %	11,81	10,59	8,88	8,80	8,16	8,32	13,00
FDA, %	7,37	4,00	3,08	2,04	2,19	4,70	7,33
Atividade de inibidor de tripsina, (mg/g de PB)	29,47	5,28	3,70	-	-	2,39	1,39
Atividade ureática	1,48	0,50	0,11	-	-	0,02	0,01
Proteína solúvel em KOH, %	98,56	91,78	90,08	-	-	80,96	92,52

GSOJA= grão de soja *in natura*; BMGS = *blend* de milho e grão de soja; BMGSE = *blend* de milho e grão de soja extrudado; MILHOEX = Milho extrudado; FSTOS = Farelo de soja tostado; GDES = Grão de soja desativado.

Tabela 35. Composição das dietas experimentais (matéria natural)

Item	Pré-inicial I				
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100
Ingredientes, g/kg					
Milho extrudado	500,00	500,00	494,60	252,7	-
Farelo de soja, 47% PB	162,50	81,25	-	81,25	-
<i>Blend</i> de milho e grão de soja extrudado	-	-	-	328,55	657,10
Grão de soja desativado	-	81,25	162,50	-	-
Soro de leite desidratado	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
Concentrado proteico de soja	75,00	85,00	100,00	85,00	100,00
Plasma sanguíneo desidratado	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
Farelo de trigo	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Óleo de soja	23,10	11,20	-	14,46	1,63
Fosfato bicálcico	18,90	19,10	19,10	19,10	19,10
Calcário calcítico	10,40	10,40	10,60	10,40	10,60
Sal	3,10	3,60	4,20	3,60	4,20
L-Lisina, 78%	0,36	0,80	1,00	0,80	1,00
DL-Metionina, 99%	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04
L-Treonina, 98,5%	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
L-Valina, 98,5%	-	0,10	-	0,10	-
Triptofano, 98,5%	-	-	-	-	-
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Inerte	15,69	16,35	17,15	13,09	15,52
Celite®	-	-	-	-	-
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg					
Matéria seca ³	910,59	912,57	911,42	914,96	919,63
Matéria mineral ³	88,01	81,76	86,65	73,73	75,99
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3336,22	3322,55	3309,83	3322,55	3309,83
Proteína bruta ³	222,28	252,47	215,50	218,00	207,77
Cálcio ⁴	10,65	10,65	10,65	10,65	10,65
Fósforo disponível ⁴	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Lactose ⁴	66,58	66,58	66,58	66,58	66,58
Fibra em detergente neutro ³	88,42	86,78	98,81	90,26	91,47
Fibra em detergente ácido ³	37,48	34,33	39,92	37,75	38,45
Extrato etéreo ³	48,73	54,30	54,47	55,07	62,76
Lisina digestível ⁴	13,20	13,21	13,20	13,21	13,20
Metionina + cistina digestível ⁴	7,38	7,41	7,40	7,41	7,40
Treonina digestível ⁴	8,91	8,82	8,83	8,82	8,83
Triptofano digestível ⁴	2,79	2,67	2,59	2,67	2,59
Valina digestível ⁴	10,74	10,50	10,20	10,50	10,20
Isoleucina digestível ⁴	18,06	17,69	17,50	17,69	17,50

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado

em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100= Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 36. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação

Item	Pré-inicial II				
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100
Ingredientes, g/kg					
Milho extrudado	562,75	561,60	559,00	295,20	26,20
Farelo de soja, 47% PB	175,00	87,50	-	87,50	-
<i>Blend</i> de milho e grão de soja extrudado	-	-	-	353,90	707,80
Grão de soja desativado	-	87,50	175,00	-	-
Soro de leite desidratado	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Concentrado proteico de soja	65,00	75,00	85,00	75,00	85,00
Plasma sanguíneo desidratado	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Farelo de trigo	67,00	67,85	70,25	67,85	70,25
Óleo de soja	22,10	11,00	-	14,52	1,76
Fosfato bicálcico	18,40	18,40	18,50	18,40	18,50
Calcário calcítico	9,30	9,70	9,70	9,70	9,70
Sal	5,20	5,40	5,40	5,40	5,40
L-Lisina, 78%	3,00	3,50	4,00	3,50	4,00
DL-Metionina, 99%	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
L-Treonina, 98,5%	1,60	1,70	1,80	1,70	1,80
L-Valina, 98,5%	-	0,10	0,50	0,10	0,50
Triptofano, 98,5%	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Inerte	-	-	-	-	-
Celite®	14,00	14,00	14,00	10,48	12,24
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg					
Matéria seca ³	896,42	903,21	904,20	908,56	911,66
Matéria mineral ³	76,87	74,74	82,63	71,97	74,50
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3232,11	3224,43	3218,02	3224,43	3218,02
Proteína bruta ³	203,55	194,69	198,27	201,21	191,28
Cálcio ⁴	9,66	9,74	9,70	9,74	9,70
Fósforo disponível ⁴	3,85	3,84	3,84	3,84	3,84
Lactose ⁴	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49
Fibra em detergente neutro ³	102,23	100,07	104,82	101,87	100,70
Fibra em detergente ácido ³	34,25	35,21	40,18	34,28	34,19
Extrato etéreo ³	46,15	54,25	60,61	64,68	66,99
Lisina digestível ⁴	12,48	12,48	12,49	12,48	12,49
Metionina + cistina digestível ⁴	6,97	6,98	6,99	6,98	6,99
Treonina digestível ⁴	8,35	8,34	8,32	8,34	8,32
Triptofano digestível ⁴	2,41	2,37	2,34	2,37	2,34
Valina digestível ⁴	8,90	8,61	8,63	8,61	8,63
Isoleucina digestível ⁴	7,34	7,02	6,71	7,02	6,71

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado

em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100= Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 37. Composição das dietas experimentais (matéria natural) continuação

Item	Inicial				
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100
Ingredientes, g/kg					
Milho extrudado	570,80	570,80	570,80	285,40	-
Farelo de soja, 47% PB	187,50	93,75	-	93,75	-
<i>Blend</i> de milho e grão de soja extrudado	-	-	-	379,15	758,30
Grão de soja desativado	-	93,75	187,50	-	-
Soro de leite desidratado	-	-	-	-	-
Concentrado proteico de soja	55,00	66,20	77,00	66,20	77,00
Plasma sanguíneo desidratado	-	-	-	-	-
Farelo de trigo	104,40	105,55	106,65	105,55	106,65
Óleo de soja	27,60	13,70	-	17,47	1,88
Fosfato bicálcico	13,30	13,50	13,60	13,50	13,60
Calcário calcítico	15,00	15,10	15,30	15,10	15,30
Sal	6,20	6,40	6,50	6,40	6,50
L-Lisina, 78%	3,95	4,40	5,00	4,40	5,00
DL-Metionina, 99%	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
L-Treonina, 98,5%	1,90	2,00	2,10	2,00	2,10
L-Valina, 98,5%	0,20	0,60	1,10	0,60	1,10
Triptofano, 98,5%	0,20	0,30	0,50	0,30	0,50
Suplemento mineral ¹	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Óxido de zinco	-	-	-	-	-
Antioxidante, BHT	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Inerte	10,00	10,00	10,00	6,23	8,12
Celite®	-	-	-	-	-
Total, kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Níveis nutricionais, g/kg					
Matéria seca ³	903.73	904.37	905.06	908.83	915.47
Matéria mineral ³	72.21	73.26	72.20	66.63	62.47
Energia metabolizável, kcal/kg ⁴	3285,82	3395,89	3385,96	3395,89	3385,96
Proteína bruta ³	186.26	173.09	181.55	185.03	180.84
Cálcio ⁴	8,83	8,83	8,85	8,83	8,85
Fósforo disponível ⁴	3,38	3,40	3,41	3,40	3,41
Lactose ⁴	-	-	-	-	-
Fibra em detergente neutro ³	115.10	114.09	126.18	122.74	126.79
Fibra em detergente ácido ³	45.93	41.29	44.85	41.82	41.98
Extrato etéreo ³	56.31	56.72	61.00	66.92	68.29
Lisina digestível ⁴	11,60	11,56	11,62	11,56	11,62
Metionina + cistina digestível ⁴	6,56	6,59	6,60	6,59	6,60
Treonina digestível ⁴	7,55	7,55	7,53	7,55	7,53
Triptofano digestível ⁴	2,23	2,20	2,25	2,20	2,25
Valina digestível ⁴	7,99	7,99	8,08	7,99	8,08
Isoleucina digestível ⁴	6,80	6,48	6,15	6,48	6,15

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado

em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100= Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta.

¹Fornecendo por kg da dieta: cobalto, 1 mg; cobre, 13 mg; ferro, 100 mg; iodo, 1,0 mg; manganês, 50 mg e zinco, 95 mg.

²Fornecendo por kg da dieta: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2000 UI; vitamina E, 54 UI; vitamina K₃, 4 mg; ácido fólico, 0,45 mg; ácido pantotênico, 21 mg; biotina, 0,16 mg; cianocobalamina, 30 µg; niacina, 40 mg; piridoxina, 2,9 mg; riboflavina, 5 mg; selênio, 0,40 mg e tiamina, 1,8 mg.

³Valores determinados.

⁴Valores calculados (NRC, 2012).

Tabela 38. Anticorpos e diluições utilizadas nas análises de *Dot Blot e Western Blot*

Anticorpo primário	Marca*	Diluição	Anticorpo secundário	Marca*	Diluição
Anti claudin 1	Abcam	1:1000	Anti mouse HRP	Sigma	1:10000
Anti claudin 2	LSBio	1:500	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
ZO1 polyclonal antibody	Invitrogen	1:1000	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
Anti OCLN	LSBio	1:1000	Anti rabbit HRP	Sigma	1:10000
Goat anti-pig IgA HRP	Invitrogen	1:10000	-	-	-

*Abcam, Cambridge, Inglaterra; LSBio, Seattle, Estados Unidos da América; Invitrogen, Waltham, Estados Unidos da América; Sigma-Aldrich, Saint Louis, Estados Unidos da América.

Tabela 39. Desempenho zootécnico dos leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Peso vivo inicial, kg	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02	0,18	0,4837
Período de 1 a 14 dias de experimentação							
Peso vivo, kg	9,99 ^a	9,69 ^{ab}	9,98 ^a	9,11 ^b	8,09 ^c	0,34	<0,0001
GDP, g/dia	283,9 ^a	262,0 ^{ab}	283,2 ^a	220,6 ^b	148,0 ^c	19,20	<0,0001
CDR, g/dia	409,7 ^a	388,7 ^a	421,2 ^a	375,7 ^a	274,6 ^b	22,55	<0,0001
CA	1,45 ^a	1,49 ^a	1,49 ^a	1,77 ^b	1,91 ^b	0,07	<0,0001
Período de 15 a 28 dias de experimentação*							
Peso vivo, kg	17,03 ^a	16,31 ^a	16,97 ^a	13,60 ^b	11,54 ^c	0,64	<0,0001
GDP, g/dia	471,1 ^a	457,1 ^a	468,4 ^a	334,5 ^b	311,3 ^b	23,17	<0,0001
CDR, g/dia	767,7 ^a	745,0 ^a	773,7 ^a	644,6 ^b	616,2 ^b	24,98	<0,0001
CA	1,66 ^a	1,65 ^a	1,68 ^a	2,01 ^b	2,07 ^b	0,08	0,0031
Período de 29 a 42 dias de experimentação*							
Peso vivo, kg	25,52 ^a	24,50 ^a	24,87 ^a	21,14 ^b	17,39 ^c	1,01	<0,0001
GDP, g/dia	532,4	537,9	492,0	543,4	554,1	26,33	0,4613
CDR, g/dia	1,044	1,042	986	996	1,010	29,81	0,4302
CA	1,96	1,95	2,02	1,82	1,83	0,06	0,2860
Período de 1 a 42 dias de experimentação							
Peso vivo, kg	25,52 ^a	24,50 ^a	24,87 ^a	21,14 ^b	17,39 ^c	1,01	<0,0001
GDP, g/dia	464,4 ^a	440,0 ^a	449,0 ^a	342,5 ^b	270,8 ^c	21,45	<0,0001
CDR, g/dia	801,5 ^a	761,6 ^a	786,2 ^a	631,5 ^b	518,0 ^c	32,79	<0,0001
CA	1,72 ^a	1,73 ^a	1,75 ^a	1,87 ^{ab}	1,94 ^b	0,04	0,0055

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; CA = Conversão alimentar; CDR = Consumo diário de ração; EPM = Erro padrão da média; GDP = Ganho diário de peso.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento e 4 leitões por baía dos 1 aos 7 dias e 3 leitões por baía dos 8 aos 42 dias.

*Peso vivo do dia 14 utilizado como co-variável para o período de 15 a 28 dias de experimentação e do dia 28 para o período de 29 a 42 dias de experimentação.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 40. Frequência da ocorrência de diarreia dos leitões alimentados com blend de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Frequência de diarreia, %							
1 a 14 dias	13,98	17,48	13,02	11,83	15,02	3,17	0,7340
15 a 28 dias	1,92	3,72	2,41	2,67	1,08	1,42	0,6951
29 a 42 dias	1,02	2,17	0,68	1,00	2,15	0,81	0,4794
1 a 42 dias	6,52	6,99	6,37	5,97	6,75	1,52	0,9917

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento e 4 leitões por baía dos 1 aos 7 dias e 3 leitões por baía dos 8 aos 42 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 41. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia da dieta de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
MS, %	75,71	78,53	75,81	77,57	75,44	0,83	0,0557
MM, %	45,12	47,11	47,84	44,39	46,22	0,98	0,0968
EE, %	69,19 ^b	63,51 ^c	55,55 ^d	75,70 ^a	75,63 ^a	1,02	<0,0001
PB, %	70,66 ^a	69,58 ^a	67,75 ^a	63,14 ^b	53,71 ^c	1,07	<0,0001
FDN, %	37,09 ^b	43,06 ^{ab}	38,58 ^b	48,45 ^a	40,42 ^b	1,85	<0,0001
FDA, %	21,32 ^b	33,30 ^a	34,92 ^a	35,83 ^a	34,18 ^a	1,64	<0,0001
EB, %	77,15 ^{ab}	78,03 ^a	74,37 ^b	68,20 ^c	78,87 ^a	0,81	<0,0001

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; EE = Extrato etéreo; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; EB = Energia bruta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 42. Valores de C.h.c.m., hemácias, hemoglobina, hematócrito, proteína total e V.c.m. de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
7 dias*							
C.h.c.m., %	31,00	31,06	31,10	31,70	31,13	0,36	0,6439
Hemácias, milhões/ μ L	5,91	6,27	6,09	6,00	6,24	0,16	0,4864
Hemoglobina, g/dL	11,38	11,49	11,43	11,29	11,71	0,23	0,7841
Hematócrito, %	36,71	37,02	36,72	35,69	37,59	0,75	0,5080
Proteína total, g/dL	4,82	4,92	4,84	4,53	4,87	0,12	0,3252
V.c.m., fL	62,30	59,11	59,38	59,46	60,06	0,94	0,1200
21 dias*							
C.h.c.m., %	30,36	30,27	31,01	31,01	30,95	0,28	0,1810
Hemácias, milhões/ μ L	6,38	6,08	6,15	6,16	6,10	0,18	0,7940
Hemoglobina, g/dL	11,47	10,84	10,86	10,95	10,84	0,30	0,5307
Hematócrito, %	37,78	35,59	35,07	35,31	34,97	0,96	0,2373
Proteína total, g/dL	5,18 ^a	5,06 ^{ab}	5,11 ^a	4,57 ^b	4,55 ^b	0,12	0,0128
V.c.m., fL	59,14	57,54	56,86	57,48	59,14	1,21	0,4920

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; C.h.c.m. = concentração da hemoglobina corpuscular média; V.c.m. = volume corpuscular médio; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável para a análise aos 7 dias, e peso vivo do dia 21 utilizado como co-variável para a análise aos 21 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 43. Valores de leucócitos, eosinófilos, linfócitos típicos, monócitos, neutrófilos segmentados e plaquetas de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
7 dias*							
Leucócitos, mil/ μ L	14,36	17,17	17,73	17,36	16,31	1,29	0,3595
Eosinófilos, %	0,63	0,78	0,95	0,95	0,24	0,32	0,5272
Linfócitos típicos, %	50,74	48,54	47,25	46,71	44,27	4,25	0,8848
Monócitos, %	3,05	2,95	2,37	3,46	2,51	0,62	0,7284
Neutrófilos segmentados, %	45,31	47,70	48,13	48,71	55,37	4,04	0,5547
Plaquetas, mil/ μ L	635,60	623,08	558,45	588,25	584,24	42,29	0,6906
21 dias*							
Leucócitos, mil/ μ L	16,75 ^c	20,02 ^{bc}	20,17 ^{bc}	23,39 ^{ab}	27,11 ^a	1,17	0,0004
Eosinófilos, %	0,76	0,93	0,18	0,55	0,85	0,28	0,2861
Linfócitos típicos, %	52,78	58,65	48,21	52,79	55,30	4,18	0,4486
Monócitos, %	3,46	3,07	3,39	3,18	3,43	0,68	0,9894
Neutrófilos segmentados, %	42,13	36,52	47,89	43,33	39,72	4,27	0,3651
Plaquetas, mil/ μ L	503,26	515,13	569,91	581,42	497,64	28,93	0,0940

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável para a análise aos 7 dias, e peso vivo do dia 21 utilizado como co-variável para a análise aos 21 dias.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 44. Morfometria e peso de órgãos de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Peso ao abate, kg	7,52 ^a	7,94 ^a	7,56 ^a	7,26 ^{ab}	6,55 ^b	0,23	0,0040
Peso absoluto, g*							
Baço	15,29	14,20	15,19	14,60	15,14	0,96	0,9237
Coração	40,97	36,86	38,43	38,13	41,11	1,98	0,5397
Estômago	55,04 ^b	70,58 ^a	62,43 ^a	63,83 ^a	58,02 ^a	2,58	0,0050
Fígado	179,7	192,7	175,8	205,2	206,7	8,62	0,0810
Intestino delgado	350,9	407,9	351,3	378,1	392,6	24,06	0,3787
Intestino grosso	136,2	126,2	121,5	135,1	144,3	5,83	0,1209
Pulmão	84,09	82,30	71,10	86,78	88,15	4,67	0,0916
Rins	46,01	44,93	47,85	44,43	42,49	1,96	0,4294
Peso relativo, %							
Baço	0,20	0,18	0,20	0,20	0,21	0,01	0,8462
Coração	0,55	0,50	0,53	0,51	0,56	0,02	0,5321
Estômago	0,75 ^b	0,94 ^a	0,85 ^{ab}	0,87 ^{ab}	0,80 ^{ab}	0,034	0,0093
Fígado	2,47	2,68	2,44	2,79	2,75	0,115	0,1162
Intestino delgado	4,85	5,71	4,91	5,15	5,05	0,104	0,4150
Intestino grosso	1,87	1,81	1,79	1,89	1,90	0,10	0,9157
Pulmão	1,15	1,14	0,99	1,19	1,20	0,06	0,0819
Rins	0,62	0,61	0,65	0,60	0,57	0,02	0,1969
Comprimento do ID, m*	10,11	10,90	10,46	10,74	10,24	0,39	0,6212
Densidade do ID, g/m*	34,76	37,56	33,49	35,28	37,91	2,12	0,5344
Comprimento do IG, m*	1,85	1,88	2,22	2,14	2,01	0,13	0,2906
Densidade do IG, g/m*	69,94	68,45	58,70	65,14	72,83	4,45	0,2077

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; ID = Intestino delgado; IG = Intestino grosso; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 45. Histologia do epitélio intestinal (duodeno e jejuno) de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Duodeno*							
Altura de vilosidade, μm	438,90	452,72	410,86	378,04	379,25	27,80	0,3118
Profundidade de cripta, μm	264,97 ^b	312,60 ^a	266,68 ^b	284,57 ^{ab}	254,34 ^b	8,75	0,0012
Relação vilo/cripta	1,75	1,52	1,64	1,46	1,61	0,12	0,5226
Células caliciformes, n°	13,24 ^b	17,76 ^a	14,42 ^{ab}	12,01 ^b	13,29 ^b	0,88	0,0030
Jejuno*							
Altura de vilosidade, μm	382,60	398,97	360,98	372,88	362,04	20,69	0,7431
Profundidade de cripta, μm	230,19	248,57	242,17	226,21	219,58	8,84	0,2411
Relação vilo/cripta	1,73	1,76	1,64	1,71	1,79	0,10	0,8967
Células caliciformes, n°	9,42	11,70	9,84	9,63	10,20	0,60	0,1329

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 46. Proteínas das junções oclusivas do jejuno de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item ²	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Claudina 1*	0,781	0,981	1,029	0,881	0,995	0,22	0,9142
Claudina 2*	0,775	0,747	0,880	0,833	0,852	0,14	0,9074
<i>Zonula occludens</i> 1*	0,989 ^b	1,208 ^b	2,250 ^a	0,916 ^b	1,137 ^b	0,20	0,0019
Ocludina*	1,617	1,660	1,211	1,416	1,832	0,50	0,9171

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 4 repetições por tratamento.

²Unidade relativa de intensidade (% do controle) normalizado pelo teor de proteína total da amostra.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 47. Imunoglobulina A no duodeno e no jejuno de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item ²	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Duodeno*	0,966	0,823	0,969	1,065	1,371	0,19	0,5938
Jejuno*	0,955	1,009	1,077	0,995	0,821	0,12	0,7884

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 4 repetições por tratamento.

²Unidade relativa de intensidade (% do controle) normalizado pelo teor de proteína total da amostra.

*Peso vivo do dia 7 utilizado como co-variável.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 48. Custo médio em ração por quilograma de peso vivo ganho, índice de eficiência econômica e índice médio de custo de leitões alimentados com *blend* de milho e grão de soja extrudado em substituição ao farelo de soja tostado¹

Item	Tratamentos					EPM	P
	FS	GD50	GD100	GEX50	GEX100		
Período de 1 a 14 dias de experimentação							
CMRPV, R\$/kg	4,95 ^a	5,11 ^a	5,16 ^a	6,11 ^b	6,69 ^b	0,27	<0,0001
IEE, %	100,00	96,84	95,86	81,03	74,06		
IC, %	100,00	103,27	104,32	123,42	135,02		
Período de 15 a 28 dias de experimentação							
CMRPV, R\$/kg	4,00 ^a	4,08 ^a	4,19 ^{ab}	5,04 ^{bc}	5,51 ^c	0,25	<0,0001
IEE, %	100,00	98,06	95,28	79,33	72,57		
IC, %	100,00	101,98	104,96	126,05	137,80		
Período de 29 a 42 dias de experimentação							
CMRPV, R\$/kg	3,43	3,51	3,63	3,35	3,59	0,09	0,1714
IEE, %	97,79	95,59	90,32	100,00	93,42		
IC, %	102,26	104,61	110,72	100,00	107,05		
Período de 1 a 42 dias de experimentação							
CMRPV, R\$/kg	4,13 ^a	4,23 ^a	4,36 ^{ab}	4,83 ^{bc}	5,26 ^c	0,13	<0,0001
IEE, %	100,00	97,48	94,68	85,35	78,42		
IC, %	100,00	102,59	105,62	117,17	127,51		

FS = Dieta com a inclusão do farelo de soja tostado; GD50 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GD100 = Dieta com a inclusão do grão de soja desativado em substituição de 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX50 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 50% do farelo de soja tostado da dieta; GEX100 = Dieta com a inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado com a proporção de grão de soja substituindo 100% do farelo de soja tostado da dieta; CMRPV = Custo médio de ração por quilograma de peso vivo; IC = índice de custo médio; IEE = Índice de eficiência econômica; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não são diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo permitem elaborar as seguintes considerações:

Capítulo 2:

- O aumento da temperatura de extrusão do grão de soja *in natura* e do farelo de soja não tostado reduziu os valores de atividade de inibidores de tripsina.
- O grão de soja *in natura* extrudado a 122°C apresentou maior digestibilidade total aparente da MS e da EB em comparação ao grão de soja desativado e ao grão de soja *in natura* extrudado a 82°C, sendo similar ao grão de soja *in natura* extrudado a 137°C. Para o grão de soja *in natura* extrudado a 82°C se obteve menor digestibilidade total aparente da PB em relação aos valores obtidos para o grão de soja desativado e o grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C. Se observou menor digestibilidade total aparente do EE para o grão de soja desativado, valores intermediários para o grão de soja *in natura* extrudado a 137°C, e maior digestibilidade para o grão de soja *in natura* extrudado a 82°C e 122°C.
- O grão de soja *in natura* extrudado a 82°C apresentou menores coeficientes de digestibilidade ileal aparente e estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos em comparação e ao grão de soja desativado e ao grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C, o que pode indicar a ocorrência de subprocessamento.
- Em geral, o grão de soja *in natura* extrudado a 122°C e 137°C apresentaram coeficientes de digestibilidade ileal aparente e estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos semelhantes aos apresentados pelo grão de soja desativado.
- O farelo de soja não tostado extrudado a 86°C apresentou menor digestibilidade total aparente da MS, EB e da PB em comparação ao farelo de soja tostado e pelo farelo de soja não tostado extrudado a 120°C e 149°C, que foram semelhantes entre si. O farelo de soja tostado apresentou a maior digestibilidade total aparente do extrato etéreo, seguido pelo farelo de soja extrudado a 86°C e 120°C com valores intermediários, e o farelo de soja extrudado a 149°C que apresentou a menor digestibilidade do extrato etéreo. A digestibilidade total aparente do FDA do farelo de soja tostado e do farelo de soja não tostado extrudado a 86°C e 120°C não diferiram e foram superiores ao farelo de soja não tostado extrudado a 149°C. A digestibilidade total aparente do FDN não foi influenciada pelos ingredientes avaliados.

- O farelo de soja não tostado extrudado a 86°C apresentou menores coeficientes de digestibilidade ileal aparente e estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos em comparação ao farelo de soja tostado, e ao farelo de soja não tostado extrudado a 120°C e 149°C, o que pode indicar a ocorrência de subprocessamento.
- Em geral, o farelo de soja não tostado extrudado a 120°C e 149°C apresentou coeficientes de digestibilidade ileal aparente e estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos semelhantes aos apresentados pelo farelo de soja tostado.

Capítulo 3:

- No período de 1 a 14 dias de experimentação o consumo das dietas formuladas com o maior nível de plasma sanguíneo e o menor nível de farelo de soja, independente da fonte, resultou no melhor desempenho dos leitões em comparação as dietas que foram formuladas com o menor nível de plasma sanguíneo e o maior nível de farelo de soja, não sendo observados efeitos sobre a conversão alimentar dos animais.
- No período total de experimentação, 1 a 42 dias, não foram observados efeitos das combinações de níveis de plasma sanguíneo e farelo de soja, bem como da fonte de farelo de soja fornecida, farelo de soja tostado ou farelo de soja não tostado extrudado na temperatura de 119,8°C sobre as variáveis de desempenho, integridade do epitélio intestinal e saúde dos leitões.
- A redução dos níveis de plasma nas dietas, e conseqüentemente o aumento do farelo de soja, independentemente da fonte, foi acompanhada por uma redução nos custos médios de ração por quilograma de peso vivo ganho do período total de experimentação.
- O fornecimento da dieta contendo o menor nível de plasma sanguíneo e maior nível de farelo de soja tostado, resultou no menor custo médio em ração por quilograma de peso vivo, no melhor índice de eficiência econômica e melhor índice médio de custo no período total de experimentação, o que indica que neste cenário foi possível reduzir a inclusão do plasma sanguíneo da dieta e aumentar a inclusão do farelo de soja tostado sem prejuízos ao desempenho e a saúde dos leitões.

Capítulo 4:

- A inclusão do *blend* de milho e grão de soja extrudado nas dietas dos leitões após o desmame não se mostrou efetiva em manter ou promover melhorias de desempenho em comparação as dietas contendo farelo de soja como a principal fonte proteica da dieta.

- Foram observadas reduções no desempenho e no coeficiente de digestibilidade total aparente da proteína bruta da dieta dos leitões que consumiram as dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado, efeito este associado ao emprego de insuficiente temperatura de extrusão para inativar os fatores antinutricionais presentes no grão de soja *in natura*.
- O consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado resultou nas menores concentrações de proteína total no sangue aos 21 dias, efeito relacionado a menor ingestão de alimento, e conseqüentemente ingestão insuficiente de aminoácidos e proteínas, o que se refletiu na menor concentração de proteína total no sangue e também na redução na deposição de proteína muscular com redução no ganho de peso animal.
- O consumo das dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado resultou nas maiores concentrações de leucócitos no sangue aos 21 dias, o que pode ser um indicativo do recrutamento destas células frente a um desafio oral com desencadeamento de resposta imune.
- O maior custo médio em ração por quilograma de peso vivo observado para as dietas contendo o *blend* de milho e grão de soja extrudado se devem a pior conversão alimentar como consequência do menor ganho diário de peso e menor consumo de alimento.
- Os resultados obtidos neste estudo indicam que a substituição do farelo de soja tostado pelo grão de soja na forma de *blend* de milho e grão de soja extrudado na dieta de leitões após o desmame não foi economicamente viável, uma vez que o menor desempenho dos leitões que consumiram as dietas com o ingrediente extrudado não permitiu a compensação do investimento gasto no processamento do *blend*.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Grão de soja extrudado

Tabela 49. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca e DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Dieta				EPM
	GDES	GE82	GE122	GE137	
Digestibilidade total aparente					
Matéria seca	89,50	88,56	90,50	90,34	0,36
Energia bruta	87,48	88,09	90,90	89,14	0,71
Proteína bruta	76,06	68,45	77,48	78,50	1,16
Fibra em detergente neutro	71,96	68,24	66,95	69,13	2,54
Fibra em detergente ácido	65,50	64,64	61,79	62,30	3,29
Extrato etéreo	71,43	80,04	82,80	78,29	1,76
Valores digestíveis					
Energia digestível, kcal/kg	4026,80	4080,90	4168,16	4074,54	45,48
Proteína bruta	7,53	7,09	8,48	7,95	0,16
Fibra em detergente neutro	5,06	4,39	3,46	4,04	0,15
Fibra em detergente ácido	3,24	2,78	2,34	2,43	0,16
Extrato etéreo	7,37	7,63	5,98	5,18	0,24

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Tabela 50. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM
	GDES	GE82	GE122	GE137	
Proteína bruta	6,88	6,11	7,35	7,29	0,25
Aminoácidos essenciais					
Arginina	0,62	0,40	0,72	0,72	0,01
Histidina	0,22	0,15	0,26	0,24	0,01
Isoleucina	0,44	0,31	0,45	0,45	0,01
Leucina	0,66	0,45	0,70	0,72	0,01
Lisina	0,41	0,22	0,59	0,57	0,01
Metionina	0,22	0,14	0,20	0,20	0,01
Fenilalanina	0,52	0,40	0,56	0,57	0,01
Treonina	0,25	0,15	0,27	0,26	0,01
Triptofano	0,09	0,01	0,10	0,11	0,01
Valina	0,35	0,23	0,34	0,36	0,01
Aminoácidos não essenciais					
Alanina	0,27	0,14	0,28	0,30	0,01
Asparagina	0,85	0,71	0,94	0,96	0,03
Cistina	0,15	0,08	0,12	0,10	0,01
Glutamina	1,19	0,80	1,34	1,36	0,03
Serina	0,33	0,25	0,36	0,38	0,01
Tirosina	0,34	0,21	0,34	0,36	0,01

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Tabela 51. Conteúdo digestível ileal estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o grão de soja desativado e o grão de soja extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM
	GDES	GE82	GE122	GE137	
Proteína bruta	9,14	8,40	8,92	9,79	0,32
Aminoácidos essenciais					
Arginina	0,68	0,47	0,79	0,78	0,02
Histidina	0,25	0,18	0,29	0,28	0,01
Isoleucina	0,50	0,36	0,51	0,51	0,01
Leucina	0,74	0,53	0,79	0,81	0,01
Lisina	0,48	0,30	0,67	0,64	0,01
Metionina	0,24	0,16	0,23	0,23	0,01
Fenilalanina	0,61	0,48	0,64	0,64	0,01
Treonina	0,34	0,23	0,36	0,35	0,01
Triptofano	0,09	0,02	0,12	0,13	0,01
Valina	0,41	0,30	0,42	0,43	0,01
Aminoácidos não essenciais					
Alanina	0,33	0,21	0,34	0,36	0,01
Asparagina	0,95	0,80	1,04	1,05	0,03
Cistina	0,17	0,09	0,14	0,11	0,01
Glutamina	1,28	0,90	1,44	1,46	0,03
Serina	0,42	0,34	0,46	0,48	0,01
Tirosina	0,40	0,27	0,40	0,42	0,01

GDES = Grão de soja desativado; GE82 = Grão de soja extrudado a 82°C; GE122 = Grão de soja extrudado a 122°C; GE137 = Grão de soja extrudado a 137°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

APÊNDICE B. Farelo de soja não tostado extrudado

Tabela 52. Digestibilidade total aparente (DTA) da matéria seca e DTA e valores digestíveis da energia, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e extrato etéreo (na matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Dieta				EPM
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149	
Digestibilidade total aparente					
Matéria seca	90,73	87,41	89,90	89,53	0,35
Energia bruta	90,63	87,19	89,68	89,75	0,43
Proteína bruta	82,19	71,24	81,56	84,48	1,16
Fibra em detergente neutro	60,89	59,17	61,68	52,33	2,70
Fibra em detergente ácido	57,03	53,08	52,23	38,25	3,35
Extrato etéreo	81,19	73,63	74,68	72,37	1,65
Valores digestíveis					
Energia digestível, kcal/kg	3915,66	3807,35	3872,85	3916,91	31,49
Proteína bruta	9,22	10,07	12,86	12,38	0,18
Fibra em detergente neutro	4,06	3,23	3,38	2,98	0,17
Fibra em detergente ácido	2,95	2,04	1,98	1,45	0,14
Extrato etéreo	3,38	3,18	2,85	2,04	0,18

FSTOS = Farelo de soja tostado; FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Tabela 53. Conteúdo digestível ileal aparente da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149	
Proteína bruta	9,05	9,07	11,58	11,76	0,36
Aminoácidos essenciais					
Arginina	0,94	0,80	1,05	1,11	0,02
Histidina	0,37	0,28	0,37	0,40	0,01
Isoleucina	0,68	0,46	0,67	0,74	0,02
Leucina	1,01	0,77	1,10	1,17	0,02
Lisina	0,86	0,68	0,97	0,99	0,03
Metionina	0,26	0,19	0,26	0,30	0,01
Fenilalanina	0,80	0,60	0,91	0,94	0,01
Treonina	0,45	0,30	0,53	0,53	0,01
Triptofano	0,07	0,05	0,09	0,11	0,01
Valina	0,53	0,40	0,54	0,63	0,01
Aminoácidos não essenciais					
Alanina	0,41	0,33	0,47	0,53	0,01
Asparagina	1,28	1,04	1,57	1,57	0,06
Cistina	0,17	0,15	0,21	0,23	0,01
Glutamina	1,86	1,51	2,03	2,13	0,05
Serina	0,57	0,39	0,64	0,67	0,02
Tirosina	0,52	0,38	0,59	0,60	0,01

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C; FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.

Tabela 54. Conteúdo digestível ileal estandardizado da proteína bruta e dos aminoácidos (matéria seca) das dietas contendo o farelo de soja tostado e o farelo de soja não tostado extrudado em diferentes temperaturas por leitões na fase de creche¹

Item, %	Ingrediente				EPM
	FSTOS	FSE86	FSE120	FSE149	
Proteína bruta	11,00	10,33	12,88	14,20	0,48
Aminoácidos essenciais					
Arginina	1,01	0,86	1,10	1,20	0,02
Histidina	0,39	0,32	0,41	0,44	0,01
Isoleucina	0,69	0,52	0,73	0,81	0,01
Leucina	1,03	0,82	1,18	1,25	0,02
Lisina	0,92	0,76	1,05	1,06	0,03
Metionina	0,28	0,21	0,28	0,32	0,01
Fenilalanina	0,86	0,68	0,99	1,01	0,02
Treonina	0,50	0,40	0,62	0,62	0,01
Triptofano	0,06	0,07	0,10	0,13	0,01
Valina	0,58	0,48	0,62	0,70	0,01
Aminoácidos não essenciais					
Alanina	0,47	0,37	0,53	0,59	0,01
Asparagina	1,37	1,15	1,64	1,66	0,06
Cistina	0,18	0,16	0,22	0,25	0,01
Glutamina	1,91	1,61	2,14	2,23	0,06
Serina	0,64	0,51	0,74	0,77	0,02
Tirosina	0,57	0,43	0,65	0,66	0,01

FSE86 = Farelo de soja não tostado extrudado a 86°C; FSE120 = Farelo de soja não tostado extrudado a 120°C;

FSE149 = Farelo de soja não tostado extrudado a 149°C; EPM = Erro padrão da média.

¹Os valores são LSMEANS de 8 repetições por tratamento.