

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CAROLINA NATALI LANGER**

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS  
PARA SUÍNOS: PREDIÇÃO VIA META-ANÁLISE, DETERMINAÇÃO E  
VALIDAÇÃO POR SIMULAÇÃO *BOOTSTRAP***

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR**

**2013**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CAROLINA NATALI LANGER**

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS  
PARA SUÍNOS: PREDIÇÃO VIA META-ANÁLISE, DETERMINAÇÃO E  
VALIDAÇÃO POR SIMULAÇÃO *BOOTSTRAP***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Zootecnia, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Orientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira.

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

L276e	<p>Langer, Carolina Natali</p> <p>Energia metabolizável de alimentos energéticos para suínos: predição via meta-análise, determinação e validação por simulação <i>bootstrap</i> / Carolina Natali Langer. - Marechal Cândido Rondon, 2013. 99 p.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira</p> <p>Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2013.</p> <p>1. Suínos. 2. Suínos - Nutrição. 3. Bootstrap. 4. <i>Stepwise</i>. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.</p> <p>CDD 22.ed. 636.4 CIP-NBR 12899</p>
-------	---

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CAROLINA NATALI LANGER**

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS  
PARA SUÍNOS: PREDIÇÃO VIA META-ANÁLISE, DETERMINAÇÃO E  
VALIDAÇÃO POR SIMULAÇÃO *BOOTSTRAP***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Zootecnia, área de concentração “Produção e Nutrição Animal”, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Marechal Cândido Rondon, 19 de Julho de 2013.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Newton Tavares Escocard de Oliveira

---

Ricardo Vianna Nunes

---

Robson Marcelo Rossi

A Deus, que me concedeu a oportunidade de estar aqui;  
Ao meu esposo Telton, que se tornou meu alicerce diante das dificuldades enfrentadas, me  
dando apoio e carinho;  
A minha filha Isabella, que dá sentido a minha vida e torna meus dias mais alegres;  
Aos meus pais Salesio e Iraci por todo amor, dedicação e ensinamentos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização do mestrado e por todo o apoio prestado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira, pela dedicada orientação, paciência e por mostrar-se essa maravilhosa pessoa, que com certeza tornou-se um amigo, o qual levarei os ensinamentos compartilhados para o resto da vida.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Pozza, pela disponibilidade, atenção e contribuição, dividindo suas experiências e conhecimentos os quais tornaram possível a realização desse trabalho.

Aos colegas Sharon Meza, Eveline Berwanger, Ricardo Castilho, Cleiton Sangali, pela amizade, colaboração e ensinamentos compartilhados.

A todos os professores e funcionários do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

Os objetivos propostos neste trabalho foram a predição da energia metabolizável (EM) do milho, sorgo e farelo de trigo a partir da composição química e energética desses alimentos em dados de literatura nacional e internacional; a validação do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras por simulação *bootstrap*; a determinação da EM desses alimentos para suínos em crescimento e a subsequente validação das equações estimadas nos valores de EM observados no experimento, com utilização do método de reamostragem *bootstrap*. Para a predição da EM em função de composição química, foram utilizados dados de ensaios de metabolismo de suínos e de composição química do milho, sorgo e farelo de trigo, disponibilizados na literatura científica nacional e internacional. Foram ajustados cinco modelos de regressão linear múltipla para estimar a EM. Na validação do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras, utilizou-se o método de reamostragem *bootstrap* não paramétrico, com reposição de cada amostra, a partir do banco de dados formado via meta-análise. Foi observado o percentual de significância por regressora (PSR) e o percentual de ocorrência conjunta de regressoras do modelo (POCRM). No modelo completo e no modelo sem inclusão de energia digestível (ED), a ED e a energia bruta (EB) foram as regressoras que apresentaram os maiores PSR (ED = 100% e EB = 95,7%), respectivamente, sugerindo a importância de tais regressoras para explicar a EM de alimentos energéticos para suínos. Entretanto, os POCRM apresentaram-se baixos, com valores entre 2,6 e 23,4%, indicando uma baixa confiabilidade dos modelos preditos para estimar a EM do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos. Com base no PSR, as regressoras dos modelos  $EM_4 = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26DA_1 * PB$  ( $R^2 = 0,90$ ) e  $EM_5 = 3982,99 - 79,97MM - 44,78DA_1 * PB - 43,42DA_2 * MM$  ( $R^2 = 0,92$ ) são válidas para estimar a EM de alimentos energéticos para suínos. No experimento de campo, foram utilizados 44 suínos mestiços, machos e castrados, com peso médio inicial de  $24,3 \pm 1,12$  kg, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez tratamentos e uma ração referência (RR). Os dez tratamentos consistiram em seis cultivares de milho e dois de sorgo, que substituíram em 30% a RR, e dois farelos de trigo, que substituíram em 20% a RR. O método da coleta total de fezes e urina foi utilizado para determinação da EM dos alimentos. Os valores de EM dos milhos, sorgos e farelos de trigo para suínos variam de 3.161 a 3.275, de 3.317 a 3.457 e de 2.767 a 2.842 kcal kg<sup>-1</sup> de matéria natural, respectivamente. A validação dos modelos de predição da EM foi realizada por meio do ajuste de modelos de regressão linear de 1º grau dos valores observados determinados em ensaio sobre os valores preditos de EM, calculados por substituição dos valores de composição química e energética dos alimentos, determinados em laboratório, nos modelos estimados via meta-análise, utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários. A validação dos modelos de 1º grau e dos modelos de predição da EM foi verificada por meio de teste da hipótese de nulidade conjunta para os parâmetros da regressão linear ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ). O percentual de validação cruzada de cada modelo estimado foi avaliado por meio dos mesmos testes de validação descritos no teste único de validação. O modelo  $EM_1$  gerou valores de EM predita semelhantes ( $p > 0,05$ ) aos valores de EM observados em experimento para milhos e sorgos nacionais em teste único de validação e apresentou o maior percentual de validação (68%) em 200 amostras *bootstrap*. Os demais modelos tiveram baixo percentual de validação cruzada (0 a 29,5%) e o modelo validado por ambos os procedimentos, e que pode ser utilizado para o milho e sorgo nacionais é o  $EM_{1a} = 2,547 + 0,969ED$ .

Palavras-chave: *bootstrap*, composição química, energia metabolizável, meta-análise, modelos de predição, suínos em crescimento.

## ABSTRACT

Metabolizable energy of energetic food for swine: prediction via meta-analysis, determination and validation by bootstrap simulation

The proposed objectives in this study were the metabolizable energy (ME) prediction of corn, sorghum and wheat bran from the chemical and energy composition of these foods in national and international literature data; the stepwise procedure validation of regressive selection by bootstrap simulation; the ME determination of these foods for growing pigs and subsequent validation of equations estimated in ME values observed in the experiment, using the bootstrap resampling procedure. For the ME prediction in chemical composition function, we used data from trials of pig metabolism and chemical composition of corn, sorghum and wheat bran, available in national and international scientific literature. Five models of multiple linear regression were adjusted to estimate the ME. In the stepwise procedure validation of regressive selection, it was used the non-parametric bootstrap resampling method, with each sample replacement, from the database formed via meta-analysis. It was observed the significance percentage by regressive (SPR) and the joint occurrence percentage of the model regressive (JOPMR). In the complete model and in the model without the digestible energy inclusion (DE), the DE and the gross energy (GE) were the regressive which presented the highest SPR (DE = 100% and GE = 95.7%), respectively, suggesting the importance of such regressive to explain the ME of energetic foods for pigs. However, the JOPMR were low, with values among 2.6 and 23.4%, indicating a low reliability of the predicted models to estimate the ME of corn, sorghum and wheat bran for pigs. Based on the SPR, the regressive of the models  $ME_4 = 3824.440 - 105.294Ash + 45.008EE - 37.257DA_1 * CP$  ( $R^2 = 0.90$ );  $ME_5 = 3982.994 - 79.970Ash - 44.778DA_1 * CP - 43.416DA_2 * Ash$  ( $R^2 = 0.92$ ) are valid to estimate the ME of energetic food for pigs. In the field trial, we used 44 crossbred pigs, male and castrated, with an average initial weight of  $24.3 \pm 1.12$  kg, in a randomized block experimental design, with ten treatments and a reference ratio. The ten treatments consisted of six corn and two sorghum cultivars, which replaced in 30% the RR, and two wheat brans, which replaced 20% of the RR. The method of total collection of feces and urine was used for determining the ME of food by using ferric oxide as a fecal marker to define the beginning and end of the collection period. The ME values of corn, sorghum and wheat bran for pigs vary from 3.161 to 3.275, from 3.317 to 3.457 and from 2.767 to 2.842 kcal kg<sup>-1</sup> of natural matter, respectively. The validation of the ME prediction models was performed through adjusting the linear regression models of 1<sup>st</sup> degree from the observed values experimentally determined in function of ME predicted values, calculated by replacement of chemical and energetic composition values of foods, determined in laboratory, in the estimated models via meta-analysis, using the ordinary minimum squares method. The validation of 1<sup>st</sup> degree models and prediction models of ME was verified by testing the joint null hypothesis for the linear regression parameters ( $H_0: \beta_0 = 0$  and  $\beta_1 = 1$ ). The cross-validation percentage of each estimated model was evaluated by the same validation tests described in the single test validation. The model  $ME_1$  generated similar predicted EM values ( $p > 0.05$ ) to the experimentally observed ME values for national corn and sorghum cultivars in single test validation and had the highest percentage of validation (68%) in 200 bootstrap samples. The other models had a low percentage of cross-validation (0 to 29.5%), and the validated model by both procedures, and that can be used for national corn and sorghum is the  $ME_1 = 2.547 + 0.969DE$ .

Key-words: bootstrap, chemical composition, growing pigs, meta-analysis, metabolizable energy, prediction models.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma da Energia no Organismo Animal .....	25
Figura 2. Análise gráfica do teste único de validação do modelo EM <sub>1</sub> para os milhos e sorgos nacionais: Reta da condição ideal (em preto) e modelo de 1º grau dos valores observados sobre os preditos de energia metabolizável (em vermelho)...	80
Figura 3. Gaiola de metabolismo com visão externa do comedouro e do coletor de fezes. ....	88
Figura 4. Gaiola de metabolismo com visão interna de alimentação no comedouro. ....	88
Figura 5. Vista lateral da gaiola de metabolismo. ....	89
Figura 6. Corredor interno da sala metabolismo com visão externa dos comedouros e de balde coletor de urina. ....	89
Figura 7. Análise gráfica dos valores de resíduos <i>studentizados</i> em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM <sub>1</sub> . ....	90
Figura 8. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>1</sub> . ....	90
Figura 9. Histograma de percentagem dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>1</sub> e ajuste da curva de distribuição normal. ....	91
Figura 10. Análise gráfica dos valores de resíduos <i>studentizados</i> em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM <sub>2</sub> . ....	91
Figura 11. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>2</sub> . ....	92
Figura 12. Histograma de percentagem dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>2</sub> e ajuste da curva de distribuição normal. ....	92
Figura 13. Análise gráfica dos valores de resíduos <i>studentizados</i> em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM <sub>3</sub> . ....	93
Figura 14. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>3</sub> . ....	93
Figura 15. Histograma de percentagem dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>3</sub> e ajuste da curva de distribuição normal. ....	94
Figura 16. Análise gráfica dos valores de resíduos <i>studentizados</i> em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM <sub>4</sub> . ....	94
Figura 17. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>4</sub> . ....	95

Figura 18. Histograma de percentagem dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>4</sub> e ajuste da curva de distribuição normal. ....	95
Figura 19. Análise gráfica dos valores de resíduos <i>studentizados</i> em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM <sub>5</sub> . ....	96
Figura 20. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>5</sub> . ....	96
Figura 21. Histograma de percentagem dos resíduos <i>studentizados</i> obtidos pelo modelo EM <sub>5</sub> e ajuste da curva de distribuição normal. ....	97

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Identidade de modelos de regressão linear múltipla da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais ..... 49
- Tabela 2. Modelos de regressão da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais, ajustados com base na matéria seca, após a substituição das variáveis auxiliares (*dummies*) por valores binários..... 51
- Tabela 3. Percentual de significância por regressora (PSR) e de ocorrência conjunta de regressoras do modelo (POCRM) em 1000 amostras *bootstrap*, e estimativas da média, desvio-padrão e intervalo de confiança percentil *bootstrap* (ICPB) em 500 diferentes amostras *bootstrap* ..... 56
- Tabela 4. Composição centesimal da ração referência, na matéria natural..... 66
- Tabela 5. Composição química (%) e energética (kcal kg<sup>-1</sup>) dos alimentos avaliados, na matéria natural<sup>(1)</sup> ..... 71
- Tabela 6. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta, e relação EM:ED dos milhos, sorgos e farelos de trigo para suínos, na matéria natural..... 75
- Tabela 7. Modelos de regressão linear da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho (M), sorgo (S) e farelo de trigo (FT) para suínos, estimados a partir de dados nacionais (N) e internacionais (I), probabilidade de significância (p) para a hipótese de nulidade conjunta dos valores observados em função dos preditos, e percentual de validação (PV<sub>BOOT</sub>) dos modelos em 200 diferentes amostras *bootstrap* ..... 79
- Tabela 8. Estatística calculada (W) do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* e probabilidade de significância (p) para os resíduos *studentizados* dos modelos de regressão linear múltipla da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais, e ajustados com base na matéria seca ..... 97

Tabela 9. Valores médios, desvios-padrão, valores mínimos e máximos, e coeficiente de variação (CV) de energia metabolizável predita (EMP) por modelo de regressão e de energia metabolizável observada (EMO) nos ensaios de metabolismo, expressos na matéria seca.....	98
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Suinocultura mundial e brasileira</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 Aspectos produtivos e nutricionais do milho, sorgo e farelo de trigo.</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 Milho ( <i>Zea mays L.</i> ).....	19
2.2.2 Sorgo ( <i>Sorghum bicolor L. Moench</i> ) .....	21
2.2.3 Farelo de Trigo.....	23
<b>2.3 Valor energético dos alimentos</b> .....	<b>24</b>
<b>2.4 Meta-análise</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5 Equações de predição da energia metabolizável</b> .....	<b>29</b>
2.5.1 Validação de modelos para predição da energia metabolizável .....	31
<b>2.6 O método <i>bootstrap</i></b> .....	<b>33</b>
<b>Referências</b> .....	<b>36</b>
<b>3 PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS PARA SUÍNOS E VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO <i>STEPWISE</i> POR SIMULAÇÃO <i>BOOTSTRAP</i></b> .....	<b>42</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>42</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2 Materiais e métodos</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3 Resultados e discussão</b> .....	<b>48</b>
<b>3.4 Conclusão</b> .....	<b>58</b>
<b>3.5 Referências</b> .....	<b>59</b>
<b>4 DETERMINAÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E VALIDAÇÃO CRUZADA DE MODELOS DE REGRESSÃO</b> .....	<b>61</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>61</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>62</b>
<b>4.1 Introdução</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2 Materiais e métodos</b> .....	<b>65</b>
<b>4.3 Resultados e discussão</b> .....	<b>70</b>

<b>4.4 Conclusão .....</b>	<b>82</b>
<b>4.5 Referências .....</b>	<b>82</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>87</b>
APÊNDICE A - Fotografias das gaiolas de metabolismo com suínos em crescimento, no ensaio realizado na sala de metabolismo da Fazenda Antônio Carlos dos Santos Pessoa, Unioeste, Marechal Cândido Rondon, PR.....	88
APÊNDICE B - Checagem dos pressupostos de homogeneidade, linearidade e normalidade dos resíduos dos modelos de regressão linear múltipla, ajustados por mínimos quadrados ordinários.....	90
APÊNDICE C – Tabela 9.....	98

## 1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade economicamente instável, pois ocorre oscilação frequente nos preços dos ingredientes que compõem as rações, podendo resultar em aumento do custo final de produção. Em contrapartida, os preços pagos pelo produto final normalmente não são capazes de suprir os custos de produção, podendo resultar em crises no setor suinícola.

Para superar tais dificuldades, a indústria suinícola vem buscando meios para reduzir os custos e maximizar a produção. A formulação de rações que atendam às exigências nutricionais dos animais, nas diferentes fases produtivas, pode reduzir os custos com alimentação, que representa de 70 a 80% dos custos na produção de suínos (SILVA et al., 2006).

O milho é o ingrediente mais utilizado como fonte energética das rações de suínos, sendo que os preços e a oferta dessa *commodity* do agronegócio brasileiro no mercado são influenciados pelas políticas econômicas e cambiais do país, que dependem do mercado externo e da produção mundial deste cereal (RUIZ et al., 2008).

O sorgo é um cereal importante para a alimentação de suínos no Brasil e tem sido utilizado em substituição ao milho por apresentar características nutricionais semelhantes, ser mais resistente ao estresse hídrico e exigir menor fertilidade do solo (BORGES, 2002). Além disso, seu valor comercial corresponde a 80% do valor do milho, alcançando 95% do valor biológico do mesmo (FIALHO et al., 2002).

O trigo é um alimento cultivado no inverno e é destinado principalmente à nutrição humana, porém 20% do que é produzido vêm sendo utilizado na alimentação animal. O trigo é um produto com valores nutricionais semelhantes ao milho, mas seu valor de energia metabolizável tende a ser 10% menor. Seus subprodutos podem ser utilizados na alimentação de suínos como fonte alternativa de energia e proteína (ZARDO; LIMA, 1999).

A utilização racional desses alimentos pode proporcionar desempenho adequado dos suínos, mas é necessário o conhecimento acurado da composição química e energética dos alimentos, das exigências nutricionais dos animais e dos valores de energia metabolizável (EM) destes alimentos para suínos (FERREIRA et al., 1997).

A composição química e energética destes alimentos apresenta grande variação entre lotes, devido a diferenças na genética, fertilidade do solo, forma de armazenamento e processamento, condições de plantio, entre outros, reduzindo a confiabilidade no uso de tais valores obtidos em tabelas para formulação de ração (SAKOMURA; SILVA, 1998).

Valores de energia metabolizável (EM) do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos são encontrados em tabelas nutricionais (ROSTAGNO et al., 2011; NUTRIENT, 2012), mas para maior acurácia nas formulações das rações, os valores de EM dos alimentos em cada lote devem ser revisados, pois diferentes valores de EM podem ser encontrados em diferentes lotes de um alimento, em decorrência de efeitos distintos de genética, clima, cultivo, armazenamento, e outros, que alteram a composição do alimento, alterando o valor nutricional, a digestibilidade e o uso dos nutrientes pelo animal (MAZZUCO et al., 2002).

A EM tem sido a forma utilizada para a formulação de rações de suínos no Brasil (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007) e sua determinação é importante na nutrição de suínos, pois as exigências de proteína, aminoácidos e outros nutrientes são expressas em função dos níveis de EM das rações, que interferem no consumo e no desempenho dos suínos (SAKOMURA; SILVA, 1998).

A determinação precisa de valores de EM dos alimentos para suínos pode ser obtida utilizando-se do método direto ou convencional, por meio de ensaios metabólicos, mas a metodologia é trabalhosa, demorada e dispendiosa, restringindo-se normalmente a instituições de pesquisa (ZONTA et al., 2004).

A utilização de equações para predição dos valores de EM de alimentos para suínos é uma alternativa prática, rápida e econômica, pois as equações apresentam regressoras baseadas na composição proximal dos alimentos, obtidas rotineiramente em laboratórios (PELIZZERI et al., 2013).

No entanto, a seleção do conjunto de regressoras mais adequado para prever a EM de alimentos energéticos para suínos, em banco de dados contemplando valores de composição química e energética de alimentos provenientes de diferentes condições experimentais, depende da ausência de valores discrepantes de composição química e de EM do alimento. A ocorrência de *outliers* altera as estimativas dos parâmetros das equações obtidas por mínimos quadrados ordinários. Em consequência, a utilização prática da equação, cujos parâmetros são viesados, pode comprometer a formulação acurada de rações para suínos com base em valores preditos de EM dos alimentos.

Equações para predição da EM de alimentos energéticos para suínos, em função de sua composição química, foram estimadas por alguns pesquisadores (LEKULE et al., 1990; FERREIRA et al., 1997; CASTILHA et al., 2011), contudo, grande diversidade de conjuntos de regressoras significativas tem sido observada nos trabalhos existentes na literatura científica, com poucos relatos que venham validar procedimentos de seleção de regressoras e validar equações estimadas em amostras de dados independentes.

A validação das equações de predição da EM de alimentos para suínos em função da sua composição química e energética, em amostras de dados independentes, tem sido constatada quando os valores preditos de EM, obtidos por meio da substituição dos valores de composição química nas equações estimadas, são similares, no todo, aos respectivos valores observados de EM. Isso pode ser verificado aceitando-se a hipótese de nulidade conjunta ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ), por meio do teste F (MONTGOMERY et al., 2006), ao se ajustar um modelo linear de 1º grau dos valores observados sobre os preditos de EM. Entretanto, o teste de validação das equações é aplicado apenas uma vez, não permitindo uma avaliação consistente e confiável da habilidade preditiva dos modelos.

O método *bootstrap* não paramétrico pode simular situações reais e ser utilizado várias vezes em diferentes amostras, para testar a validade de procedimentos de seleção de regressoras (SCALON et al., 1998) e o poder de validação das equações em conjuntos de dados independentes.

Esse método consiste em um conjunto de procedimentos de reamostragem a partir de uma amostra representativa da população original, para obtenção aleatória de várias amostras, com reposição de cada amostra, permitindo o ajuste das equações em cada amostra *bootstrap* e a obtenção da frequência de ocorrência conjunta de regressoras dos modelos em relação ao total de amostras *bootstrap*.

De outro modo, o *bootstrap* não paramétrico permite replicar várias vezes a amostra original de pares de dados de valores observados em experimentos de campo e preditos pelas equações, gerando B amostras *bootstrap* de mesmo tamanho que o banco de dados original (DiCICCO; EFRON, 1996), em que se pode testar a hipótese conjunta do modelo linear geral em cada amostra *bootstrap* e calcular a porcentagem de validação de cada modelo

Desse modo, este trabalho foi realizado com os objetivos de estimar equações de predição da EM desses alimentos, a partir da composição química e energética, utilizando dados de literatura nacional e internacional; validar o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras por simulação *bootstrap*; determinar a energia metabolizável (EM) do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos em crescimento e validar as equações estimadas em amostra experimental com valores observados de EM e em 200 amostras *bootstrap* de pares de valores observados e preditos de EM.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Suinocultura mundial e brasileira

Após 1978, a carne suína consolidou-se como a mais importante fonte de proteína animal do mundo. Em 2011, os maiores produtores (mil toneladas) mundiais de carne suína foram: China (49.500), União Europeia (22.530) e Estados Unidos (10.278). Do mesmo modo, os maiores consumidores (mil toneladas) foram: China (49.810), seguida por União Europeia (20.545) e Estados Unidos (8.384). O Brasil apareceu em quarto lugar, com uma produção de 3.227 mil toneladas produzidas em 2011 (ABIPECS, 2013).

No cenário mundial, o consumo de carne suína no Brasil apresentou-se baixo, com 2.646 mil toneladas em 2011, consequência do baixo consumo per capita (15,10 kg), pois nos países em que mais se consome carne suína houve um consumo per capita acima de 30 kg, como na China, Suíça, em alguns países da União Europeia e Hong Kong, de 66,50 kg (ABIPECS, 2013).

Esse quadro começou a ser revertido, quando houve um incentivo para o crescimento das exportações nacionais, por meio da abertura de novos mercados, após o incremento de tecnologias no setor. Apesar dessa abertura de mercados para a carne suína, a produção de suínos no Brasil vem passando por períodos de rentabilidade econômica intercalados com períodos de crise, que afetam toda a cadeia produtiva. A duração desses ciclos econômicos é dependente de comportamentos dos preços da soja e milho, que são essenciais nas rações, aliados ao preço pago pelo suíno (CIAS, 2012).

Outro fator que tem forte influência nas condições do mercado é o estado sanitário dos plantéis comercializados, sendo importante a implantação de medidas de controle que mantenham o país livre de zoonoses, com estado sanitário seguro e com possibilidade de exportação e comercialização dos produtos.

A capacidade de gerenciar as crises da produção de suínos passa a ser determinante da permanência ou abandono da atividade pelos produtores. Para que o setor consiga superar as crises é fundamental a busca pela tecnificação da atividade, com investimentos em genética, manejo, sanidade e nutrição, pois a tendência é a redução no número de suinocultores, mas mantendo altas taxas de crescimento de produção. Nesse contexto o Brasil é muito importante no cenário mundial, devido à capacidade de produzir carne de qualidade a um baixo custo.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (ABIPECS, 2013), a quantidade de matrizes destinadas à produção industrial no Brasil passou

de 1.364.08 (2004) para 1.639.185 (2011). Em contrapartida as matrizes alojadas em granjas de subsistência passaram de 961.376 (2004) para 762.754 (2011). Esse cenário mostra que a produção tecnificada de suínos é a tendência do mercado, e que a suinocultura de subsistência vem perdendo seu espaço.

Em 2012, o Brasil exportou 581.477 toneladas (t) de carne suína e o preço médio sofreu uma retração de 7,45%, em relação a 2011. O estado que apresentou maior volume exportado no país foi Santa Catarina, que de janeiro a outubro de 2012 exportou 207.772 t, seguido por Rio Grande do Sul (174.245 t), Goiás (71.477 t) e Paraná (54.469 t). A concentração da produção e exportação nacional localizaram-se na região sul e centro-oeste, pois a produção pouco expressiva nas regiões norte e nordeste, devido à escassez e altos preços dos insumos para a alimentação, limitou a expansão da atividade. O principal comprador da carne suína brasileira foi a Ucrânia, com 138.666 t, seguido pela Rússia (127.071 t) e Hong Kong, com 124.702 t, que correspondeu a um crescimento de 124,71% em relação a 2011 (ABIPECS, 2013).

## **2.2 Aspectos produtivos e nutricionais do milho, sorgo e farelo de trigo.**

### **2.2.1 Milho (*Zea mays L.*)**

Segundo Prandini et al. (2011), o milho é amplamente utilizado no mundo devido a sua alta disponibilidade no mercado e por suas características nutricionais, como a baixa quantidade de fibras e excelente digestibilidade, tornando-se um ótimo fornecedor de energia na alimentação de suínos. Além de ser o alimento mais utilizado na formulação de rações, corresponde a aproximadamente 60% do volume total da ração (SAVARIS et al., 2007).

O milho tem sido utilizado em grande escala devido aos fatores produtivos e da excelente qualidade nutricional, com ênfase no alto conteúdo de carboidratos, cuja maior parte está na forma de amido altamente digestível (RODRIGUES et al., 2002), e cerca de 70% do milho produzido no mundo são destinados à alimentação animal, podendo chegar a 85% em países desenvolvidos (MARQUES et al., 2007).

De acordo com o levantamento de safras da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), a produção mundial de milho da safra 2011/2012 foi de 876,8 milhões de toneladas, sendo 40% provenientes dos EUA, 20% da China e 6,85% do Brasil, e o consumo mundial chegou a 862,3 milhões de toneladas.

A produção nacional de milho, na safra de 2011/2012, foi de 72.979,5 mil toneladas (t), em uma área de 15.178,1 mil hectares cultivados, com previsão de produção, para a safra 2012/2013, de 77.451,5 mil t. O consumo deve chegar a 52.053,13 mil t e 15.000 t serão exportadas. Na safra 2011/2012, a região centro-oeste foi a maior produtora, com 31.116,3 mil t ou 42,6% do total, seguida pela região sul, com 23.046,8 mil t. O Paraná foi o estado que apresentou maior produção (16.757,1 mil t), seguido pelo Mato Grosso, com 15.610,4 mil t. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho, mas a produtividade é considerada baixa quando comparada aos principais países produtores, necessitando de investimentos em tecnologia (CONAB, 2013).

A qualidade nutricional do milho é definida de acordo com a composição estrutural, química e energética. O peso individual do grão pode variar, em média, de 250 a 300 mg e sua composição média, em base seca, é de 72,0% de amido, 9,5% de proteínas, 9,0% de fibra (a maioria resíduo detergente neutro) e 4,0% de óleo (PAES, 2006).

O milho é constituído de basicamente três partes: pericarpo (5%), endosperma (82%) e germe (13%). A casca do grão de milho é rica em fibras, fundamental para a eliminação de toxinas. Além das fibras, o grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, especialmente a zeína presente no endosperma, e gluteína presente no germe, ambas de baixo valor nutricional, por apresentarem baixos teores em aminoácidos essenciais. O grão de milho possui vitaminas, caroteno, fósforo, óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose e calorias (PAES, 2006).

As características físicas do grão estão relacionadas à digestibilidade e ao seu valor nutricional. O amido é a principal forma de armazenamento de glicose nos vegetais superiores e representa a principal fonte de energia da dieta de animais monogástricos. A maior parte do amido (98%) está no endosperma dos grãos, que é constituído por 27% de amilose e 73% de amilopectina, sendo a digestibilidade diretamente relacionado ao teor de amilopectina, que confere a esse ingrediente um alto valor energético. A composição aproximada dos ácidos graxos presentes nos lipídeos do milho é de: palmítico (12%), esteárico (2%), oleico (27%), linolênico (0,8%) e linoleico (55%), este de suma importância na alimentação de suínos (BUTOLO, 2002).

Em diversas pesquisas sobre utilização de alimentos energéticos em rações para suínos (EMBRAPA, 1991; FERREIRA et al., 1997; CASTILHA et al., 2011; ROSTAGNO et al., 2011), foi verificada variação na composição química e energética do milho entre diferentes amostras, devido a fatores como variedade, manejo produtivo, clima, adubação, entre outros.

### 2.2.2 Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

O sorgo é uma planta que pertence à família das Gramíneas (Poaceae). Entre os cereais, ocupa o quinto lugar em área plantada no mundo, atrás do trigo, arroz, milho e cevada. A produção de sorgo na América do Norte, América do Sul, Europa e Austrália destina-se, principalmente, à alimentação animal, ao passo que na África, Ásia, Rússia, China e América Central, o grão é utilizado na alimentação humana (MAGALHÃES et al., 2000).

O sorgo é reconhecido por sua capacidade de sobreviver em condições de limitado suprimento de água, mesmo em locais onde ocorrem longos períodos de estiagem. As regiões que apresentam precipitações pluviométricas médias anuais maiores que 450 mm são consideradas aptas para a sua exploração.

A produção nacional de sorgo na safra de 2011/2012 foi de 2.221,9 mil toneladas. Praticamente todo sorgo, considerado uma cultura de segunda safra, produzido no Brasil é destinado à alimentação animal. A região centro-oeste destacou-se como a maior produtora, contribuindo com 1.526,2 mil toneladas ou 68,7% da produção brasileira. Os principais estados produtores foram Goiás, com 998,9 mil toneladas ou 45,0% do total, Minas Gerais, com 443,7 mil toneladas ou 20,0% do total e Mato Grosso, com 420,9 mil toneladas ou 18,9% do total (CONAB, 2013).

Apesar de sua maior produção, na safra de 2011/2012 a região centro-oeste apresentou produtividade média menor ( $3.160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que a produtividade média obtida no Distrito Federal (4.600), Paraná (3.700), Minas Gerais (3.519) e Goiás, com  $3.369 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os Estados Unidos são o maior produtor mundial, com rendimento de 4,3 toneladas do grão por hectare (CONAB, 2013).

Segundo Marques et al. (2007), o sorgo pode ser uma estratégia para manutenção da suinocultura em regiões com maior escassez do milho, cujos preços aumentam, principalmente nas entressafras.

O sorgo pode substituir totalmente o milho em rações, necessitando de pequenos ajustes na porcentagem dos demais ingredientes das rações. A utilização do sorgo alcança pelo menos 95% do valor biológico do milho, tornando-se viável por apresentar custo 20% inferior ao milho (BELLAYER; LUDKE, 2004).

Apesar dos bons índices produtivos, existem alguns entraves na utilização do sorgo em rações devido à presença de compostos fenólicos nos grãos. Esses compostos, os ácidos fenólicos, flavonoides e taninos, podem causar alterações nutricionais, reduzindo a qualidade e a digestibilidade dos nutrientes.

Dentre esses compostos, o de maior relevância na nutrição de não ruminantes é o tanino, fator antinutricional que inibe a ação de algumas enzimas presentes no sistema digestivo, causando redução da absorção de nutrientes pela parede intestinal. Além disso, os taninos formam complexos com proteínas e carboidratos, que resultam em baixa palatabilidade e redução na digestibilidade (FIALHO; BARBOSA, 2001).

Apesar da ação negativa no desempenho de animais não ruminantes, os compostos fenólicos condensados protegem os grãos de sorgo contra ataques de pássaros, patógenos e outros competidores, pois o sorgo não apresenta uma proteção física como ocorre no milho, que contém a palha como barreira contra insetos e aves. O sabor adstringente que o tanino confere ao sorgo é devido à sua associação com proteínas. A estabilidade desse complexo se deve, sobretudo, à formação de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas entre essas moléculas (BUTOLO, 2002).

Além das alterações que ocorrem devido à presença dos compostos fenólicos, fatores como modo de cultivo, variedade, fertilidade de solo, tipo de adubação, entre outros, podem causar variação na composição química e nos valores nutricionais do sorgo.

Rodrigues et al. (2002) encontraram valores de energia bruta (EB), proteína bruta (PB) e fibra bruta (FB) do sorgo muito próximos aos do milho. Da mesma forma Ferreira et al. (1997) obtiveram valores semelhantes para ambos ingredientes, sendo 3.910 kcal kg<sup>-1</sup> de EB, e 8,70% de PB para o sorgo de baixo tanino e 3.960 kcal kg<sup>-1</sup> (EB) e 8,80% (PB) para o milho. O valor médio de FB do sorgo (2,13%) representou 85,2% do valor médio de FB do milho (2,50%). No entanto, a média encontrada para o teor de extrato etéreo (EE) do sorgo (2,10%) foi 62,7% menor do que o valor médio de EE para o milho (3,35%). Em relação ao conteúdo de matéria mineral (MM), o resultado foi o inverso, ou seja, a MM média do milho (1,31%) foi 45,2% menor do que a do sorgo (2,90%).

Nas tabelas brasileiras de composição química de alimentos (ROSTAGNO et al., 2011), o sorgo de baixo tanino apresentou os seguintes conteúdos médios, na matéria natural: EB = 3.910 kcal kg<sup>-1</sup>, PB = 8,97%, FB = 2,3%, EE = 2,96% e MM = 1,41%. Para o milho, os valores médios foram de EB = 3.940 kcal kg<sup>-1</sup>, PB = 7,88%, FB = 1,72%, EE = 3,65% e MM = 1,27%. Os resultados de EB, PB e FB do sorgo e de EB, PB, EE e MM do milho encontrados nas tabelas de composição foram próximos aos obtidos por Ferreira et al. (1997). No entanto, os valores de EE e MM do sorgo e FB do milho descritos nas tabelas de composição foram discrepantes dos valores encontrados por Ferreira et al. (1997), caracterizando a variabilidade nutricional entre os alimentos.

### 2.2.3 Farelo de Trigo

O trigo é uma gramínea do gênero *Triticum*, cultivada em todo mundo e destacando-se como a segunda maior cultura de cereais, após o milho. Originária do Oriente Médio, a cultura tem ciclo anual e seus cultivares são classificados segundo a estação do ano em que crescem (trigo de inverno ou trigo de primavera) e pelo conteúdo de glúten (trigo duro, com elevado conteúdo de glúten, ou trigo macio, com elevado conteúdo de amido).

O trigo é a principal cultura de inverno no Brasil, sendo cultivado em rotação com a soja nos maiores estados produtores. Embora seja produzido no Brasil, o país se caracteriza como um importador no mercado. Em 2010, os gastos relacionados à compra do trigo alcançaram 14% do total de importações. As exportações ocorreram em quantidade baixa e esporádica, e os principais destinos das farinhas e do trigo em grão são os países do MERCOSUL, EUA, Ásia e África (MAPA, 2012).

Historicamente, o trigo é uma cultura que esteve concentrada no sul do Brasil, mas tem se deslocado a partir do Rio Grande do Sul em direção aos estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. No cerrado, vem sendo utilizado em condições de irrigação (EMBRAPA, 2012).

A produção nacional na safra de 2011/2012 ficou em 5.788,6 mil toneladas. A região sul destacou-se como a maior produtora, contribuindo com 5.478,8 mil toneladas ou 94,7% da produção brasileira. Os principais estados produtores foram Rio Grande do Sul, com 2.742,2 mil toneladas ou 47,4% do total, e Paraná (2.501 mil toneladas ou 43,2% do total). As regiões Sudeste e Centro-Oeste ocuparam a segunda e terceira posição na produção tritícola, com participação média aproximada de 3,5 e 1,9%, respectivamente. Apesar de sua grande produção, a região sul apresentou produtividade média de 2.671 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a produtividade média foi de 4.949 em Goiás, 5.200 no Distrito Federal e de 3.917 kg ha<sup>-1</sup> em Minas Gerais, locais onde as lavouras foram irrigadas (CONAB, 2013).

O trigo da origem a diversos subprodutos. Na alimentação humana, tem-se o melhor aproveitamento das farinhas, enquanto na nutrição animal, utiliza-se principalmente o farelo de trigo, que é um subproduto resultante da moagem do trigo, composto de pericarpo, partículas finas do gérmen e outros resíduos resultantes do processo industrial do trigo para obtenção da farinha (FIALHO; BARBOSA, 2001).

O farelo de trigo apresenta níveis de proteína que podem variar de 15 a 20% e altos teores de potássio e fósforo. O fósforo encontra-se na forma de fitato, composto que afeta a absorção e o torna menos disponível para os suínos. Além disso, ainda há a presença de

arabinoxilanas do trigo, que causam um desarranjo na estrutura da proteína, inibindo ou diminuindo a absorção de aminoácidos, podendo resultar em aumento na secreção de proteínas endógenas, derivadas de secreções e de células intestinais (ARAÚJO et al., 2008).

Outro cuidado que deve ser tomado na inclusão do farelo de trigo em rações, principalmente em animais jovens, é a alta concentração de fibras, que varia entre 10 a 13% (ROSTAGNO et al., 2011). Em razão da alta quantidade de fibras, o uso de quantidades elevadas pode promover um efeito laxativo, que aumenta a motilidade intestinal, importante em animais em estágios finais de gestação ou em animais submetidos à restrição alimentar.

### **2.3 Valor energético dos alimentos**

O conhecimento do valor energético dos alimentos é de grande importância para formular rações que atendam às exigências dos animais nas diferentes fases de produção.

Com o decorrer dos anos, houve vários investimentos em genética, manejo e instalações, visando ao aumento de produtividade e melhora na qualidade do produto final. Nesse contexto, cabe ao nutricionista o desafio de formular rações de alta qualidade, que atendam às exigências dos animais e potencializem a resposta produtiva do plantel, permitindo o máximo aproveitamento de cada nutriente fornecido.

Alimentos energéticos são aqueles que possuem menos de 20% de proteína bruta e menos de 18% de fibra bruta em sua composição, contribuindo com a maior parte da dieta de suínos. Além de fornecedores de energia, também suprem parte das proteínas, vitaminas e minerais (FIALHO et al., 2003).

Segundo Mascarenhas et al. (2002), os suínos se alimentam a fim de atender prioritariamente sua necessidade energética. A qualidade e a quantidade da energia consumida irão influenciar a deposição de gordura e proteína na carcaça dos animais de diferentes pesos.

Embora a energia seja o fator limitante para o ótimo desempenho do animal e o elemento mais caro das rações, esta não é considerada um nutriente, mas o produto resultante da oxidação dos nutrientes pelo metabolismo. Toda substância que contem carbono ou hidrogênio em sua composição pode ser oxidada para o fornecimento de energia, que é expressa em calorias ou em joules (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Quando as moléculas orgânicas são oxidadas, a energia é produzida como calor e usada nos processos metabólicos dos animais em produção (gestação, lactação ou crescimento) e para a manutenção dos processos vitais. De forma geral, todos os componentes

orgânicos do alimento, sujeitos a digestão e absorção pelo animal, contribuem para a energia útil desse alimento, embora tenham diferentes destinos no organismo animal. As perdas energéticas que ocorrem por meio das fezes, urina e gases podem variar em função da espécie animal, idade, fase de produção, composição da dieta, nível de consumo e da interação entre esses fatores (NUTRITIONAL, 2012).

A quantidade total de energia contida em um alimento, denominada de energia bruta (EB), representa a quantidade de calor produzido após a oxidação completa do dióxido de carbono e água. No processo de digestão e metabolização, parte dessa energia é perdida nas fezes, urina e gases. Da energia restante, parte é utilizada pelo animal para a manutenção da sua homeostase, ou gasta nos processos de digestão e absorção, e parte é recuperada sob a forma de produto animal (NUTRITIONAL, 1981). Os processos descritos são apresentados na Figura 1.

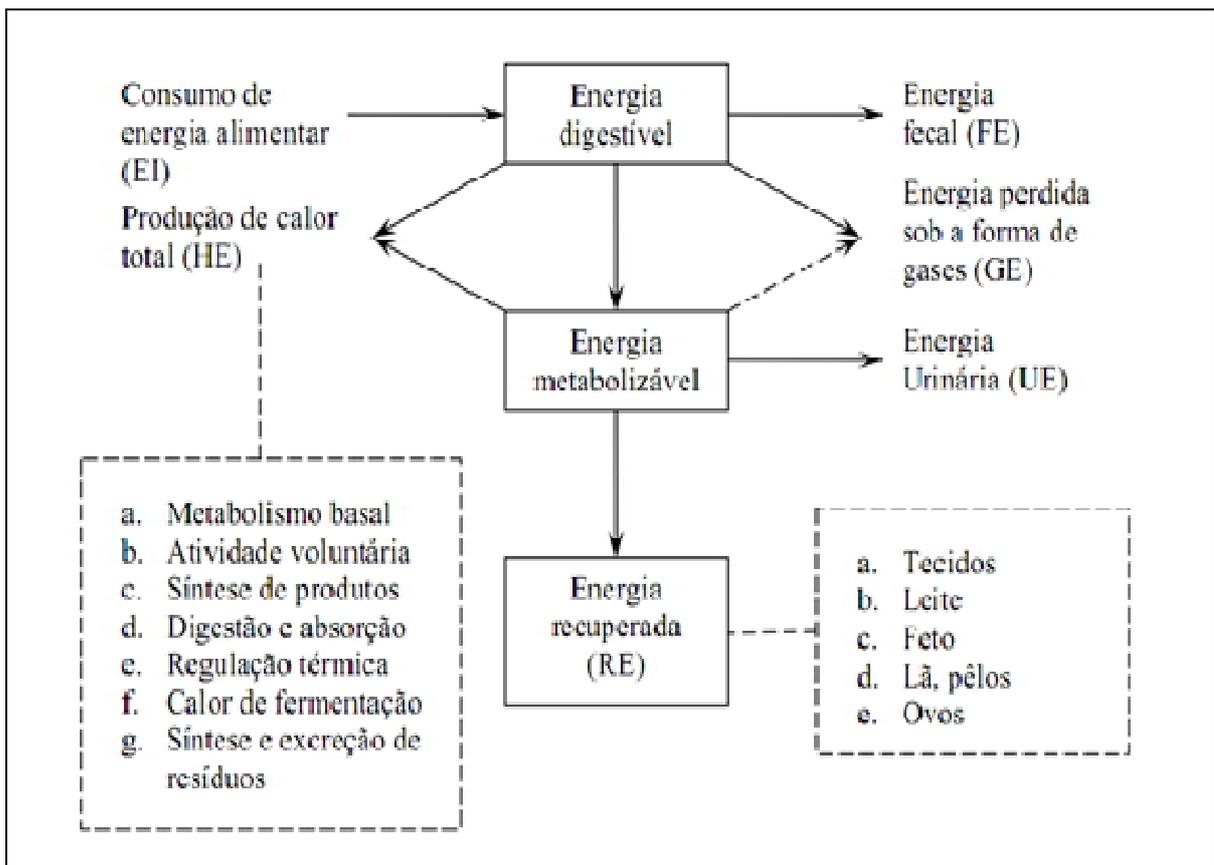


Figura 1. Fluxograma da Energia no Organismo Animal

Fonte: NUTRIENT, 1981

As formas de determinar a energia contida nos alimentos são: energia bruta (EB), digestível (ED), metabolizável (EM) e líquida. A EB indica a energia produzida pela oxidação

total da matéria orgânica dos alimentos e que é medida em bomba calorimétrica. O conteúdo de EB é dependente das proporções de nutrientes, em que carboidratos e proteínas fornecem 4,0 kcal g<sup>-1</sup> e gorduras proporcionam 9,0 kcal g<sup>-1</sup> de EB. A ED representa a energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão nos animais, sendo determinada pela diferença entre a EB do alimento consumido e a EB excretada nas fezes (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

De acordo com Mello et al. (2009), a EM é uma estimativa da energia dietética que está disponível para ser metabolizada pelo tecido animal e consiste na diferença entre a energia bruta consumida e a energia bruta perdida nas fezes e urina.

A EM pode ser determinada e expressa como energia metabolizável aparente (EMA) ou energia metabolizável verdadeira (EMV). A EMV é obtida pela diferença entre a EB do alimento consumido e a energia bruta das fezes e urina, corrigida pelas perdas de energia fecal metabólica e urinária endógena. A correção da EM para ganhos ou perda de nitrogênio corporal (balanço de N) também é utilizada com suínos. A correção pelo balanço de N tem por objetivo padronizar e reduzir a variação nos valores de EMA dos alimentos medidos em diferentes condições que podem resultar em maior ou menor ganho de peso ou em perda de peso dos animais (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

A razão para correção da EM para o balanço de nitrogênio (EMAn) é que a energia retida como proteína não é totalmente aproveitada pelo animal quando os aminoácidos são degradados para fornecer energia, e o N é excretado na urina na forma de ureia. Essa correção pode ser válida para animais adultos, que podem até perder peso, mas não para suínos em crescimento que retêm uma quantidade considerável de nitrogênio (SIBBALD, 1982).

O conhecimento das exigências nutricionais e do aproveitamento dos nutrientes pelos animais tem evoluído para a utilização de valores de energia líquida (EL) dos alimentos, porque parte da EM se perde nos trabalhos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes na forma de incremento calórico que é um termo prático para reunir várias formas de perda de calor (NOBLET; PEREZ, 1993). A EL é a forma mais precisa de se obter a energia real do alimento e do que o animal pode aproveitar, mas a mesma é de difícil determinação.

Os valores de EM dos alimentos para suínos podem ser obtidos em ensaios biológicos, pelo método de coleta total de fezes e urina, e pela predição dos valores energéticos por meio de equações de predição, que utilizam como regressoras alguns parâmetros físicos e químicos dos alimentos (FERREIRA et al. 1997; POZZA et al. 2010; CASTILHA et al. 2011).

Os métodos diretos ou convencionais para determinação da EM de alimentos são demorados e dispendiosos, pois requerem a utilização de bomba calorimétrica e de ensaios metabólicos. Entretanto, a utilização de equações para predição da EM de alimentos é um método indireto, que se baseia na composição proximal dos alimentos, obtida rotineiramente em laboratórios, e é considerada uma alternativa rápida, prática e econômica na avaliação nutricional dos alimentos (ZONTA et al., 2006).

Na determinação da EM de suínos, o método de coleta total de fezes e urina tem sido o mais utilizado, em que é fornecida ao animal uma ração referência com a inclusão do alimento a ser testado. O período recomendado de adaptação à ração é de cinco a sete dias, seguidos de cinco a sete dias de coleta, utilizando óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) na ração como marcador fecal, a fim de determinar o início e final do período de coleta de fezes (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

## **2.4 Meta-análise**

Um recurso que tem sido utilizado para se estabelecer uma relação entre valores de energia metabolizável e a composição química dos alimentos é a meta-análise. O termo meta-análise foi introduzido por Glass (1976), que a definiu como a “análise estatística de uma grande coleção de resultados de estudos individuais, com o propósito de completar as descobertas” ou como a “análise das análises”, pois utiliza métodos estatísticos para combinar ou comparar resultados de estudos distintos, mas que estejam relacionados. Devido a grande variedade de dados provenientes da literatura, há um interesse no desenvolvimento de métodos para combinar informações contidas nos mesmos (GIANOTTI et al., 2002).

A meta-análise foi definida como o procedimento estatístico que consiste em uma revisão quantitativa e resumida de resultados de estudos distintos, mas relacionados, com o objetivo de comparar e combinar os resultados de diferentes trabalhos publicados, no intuito de se obter uma conclusão geral sobre o tema em estudo (GLASS, 1976).

Esse procedimento combina resultados de vários experimentos realizados de forma independente, sob a forma de revisão, permitindo sintetizar as conclusões ou extrair uma nova conclusão, de modo a fazer uma síntese reproduzível e quantificável dos dados, melhorando a potência estatística na pesquisa dos efeitos dos tratamentos, sendo mais precisa na estimação e tamanho do efeito. Quando são observados resultados contraditórios há a possibilidade de generalizar conclusões para uma amplitude variada de estudos (LOVATTO et al., 2007).

A meta-análise permite aumentar o número de observações e o poder estatístico dos testes de hipóteses, obtendo conclusões para uma amplitude variada de estudos. A partir da variabilidade entre os ensaios ou estudos, essa ferramenta permite: resolver incertezas quando certas conclusões destoam; realizar análises de subgrupo, identificando a necessidade de planejar ensaios ou estudos maiores; e responder questões que não foram atribuídas de início aos estudos individuais (GIANOTTI et al., 2002).

Segundo Wang e Bushmann (1999), os principais passos envolvidos na meta-análise são a pesquisa bibliográfica, a transformação dos resultados numa métrica comum, a verificação da homogeneidade dos resultados, a modelagem da variação entre os estudos e a análise da sensibilidade.

Segundo Lovatto et al. (2007), o primeiro passo na meta-análise deve ser a definição do objetivo, relacionando as causas e os efeitos das variáveis. Em seguida, realiza-se a sistematização do conjunto de dados obtidos na literatura científica, buscando autores que trabalham na mesma linha de pesquisa, em conferências, dissertações, artigos e em periódicos relevantes.

Após a obtenção dos dados realiza-se a codificação, que localiza ou considera estatisticamente as modalidades dos fatores experimentais. Após a codificação deve-se realizar a triagem dos dados, de acordo com a qualidade do material pesquisado, com os objetivos do trabalho e considerando fatores que influenciam na variabilidade dos resultados, como peso, tipo de alimento, e outros, para a definição de grupos mais homogêneos. Na meta-análise do milho, por exemplo, existem diversos híbridos que foram geneticamente melhorados, como o milho alto óleo, milho QPM (quality protein maize), alta lisina entre outros (POLLACK et al., 1987).

A triagem rigorosa do banco de dados é fundamental para evitar possíveis erros de interpretação ou de análise, pois quando utilizada corretamente, a técnica transforma diversos resultados de pesquisa em conhecimento utilizável. A realização de um único experimento gera conclusões para as condições daquele experimento, sendo necessária para a confirmação dos resultados e a realização de experimentos adicionais. Assim, para um mesmo assunto, têm-se dezenas ou centenas de resultados obtidos que podem ser compilados para uma única conclusão.

Em seguida, no momento da análise, são utilizados métodos que avaliam a diversidade de critérios encontrados na literatura, por meio de ajuste e seleção de modelos estatísticos que permitam a avaliação adequada dos resultados encontrados, que geralmente envolve a combinação de estimativas (como diferenças de médias entre grupos de tratamento ou entre

tratamentos e o controle, entre outras), a combinação de resultados de testes de hipóteses, ou a combinação de equações de regressões lineares estimadas em diferentes estudos.

Apesar do crescente número de publicações e da grande utilidade da meta-análise em diferentes linhas de pesquisa, ela também tem sido alvo de críticas devido a problemas em relação à natureza diversa dos estudos e da extensão da revisão de literatura dos artigos que são incluídos no processo. Embora os estudos analisados em conjunto tratem do mesmo assunto, muitas vezes há heterogeneidade entre eles em relação a critérios como número, idade e sexo dos animais, época e local de realização dos experimentos, número de repetições, metodologias utilizadas, entre outros. Isso torna necessária a ponderação desses efeitos no momento da análise (SOUZA, 2009).

De acordo com Queiroz (2010), os principais problemas relacionados à utilização da meta-análise são a dificuldade no estabelecimento de critérios utilizados na seleção dos estudos que podem ser incorporados na análise, a correlação existente entre as estimativas a serem combinadas e o vício ou viés de publicação causado pela dificuldade de acesso a todos os artigos sobre o assunto, inclusive os artigos que não foram publicados por algum motivo. Estudos com resultados positivos ou negativos, dependendo da resposta esperada, têm maior probabilidade de serem publicados do que aqueles contrários ao que o pesquisador espera. Portanto, quanto mais abrangente a revisão de literatura sobre o tema em estudo, menor será o vício de publicação.

Outro problema comum é a aleatoriedade da amostra e a identificação da população. Souza (2009) sugeriu a meta-análise com estudos individuais bastante homogêneos, em que as amostras sejam aleatórias. Caso não sejam aleatórias, a meta-análise deve incluir o tamanho do efeito, o nível descritivo e o tamanho da amostra.

## **2.5 Equações de predição da energia metabolizável**

Os métodos diretos ou convencionais de determinação da energia metabolizável (EM) são restritos a instituições de pesquisa, e não têm aplicação na indústria devido à necessidade de realização de ensaios metabólicos com animais, que os tornam dispendiosos e demorados (ZONTA et al., 2006).

Para a indústria de rações o uso de métodos indiretos é de extrema importância para determinar o valor energético dos alimentos e para realizar os ajustes necessários de acordo com a variação da composição, principalmente de proteína, gordura e fibra dos ingredientes.

O uso de equação para predição da energia permite maximizar a utilização dos dados de composição obtidos mediante análises laboratoriais de rotina (ROSTAGNO et al., 2007).

O conhecimento do conteúdo energético dos alimentos é de suma importância para os nutricionistas, uma vez que os ingredientes são incluídos ou rejeitados nas formulações de mínimo custo, em função, principalmente, de seu conteúdo relativo de energia (LIMA, 1996).

A utilização de equações pode permitir a predição do valor de EM do alimento a partir de regressoras de composição química. As equações podem ser utilizadas como ferramenta para o nutricionista devido à facilidade na obtenção dos valores a partir de análises químicas simples, práticas e de baixo custo (NASCIMENTO et al., 2009).

Segundo Albino e Silva (1996), quando a composição química dos alimentos tem grande variabilidade, as equações que utilizam parâmetros físicos e químicos dos alimentos são mais apropriadas do que a utilização de valores fixos, pois podem aumentar a precisão no processo de formulação de rações por meio da correção dos valores energéticos.

Frequentemente, a composição dos alimentos utilizados na elaboração das rações é obtida em tabelas nacionais (ROSTAGNO et al., 2011) e estrangeiras (NUTRIENT, 2012). As equações de predição são importantes para complementar os valores das tabelas, uma vez que os valores energéticos variam em função da composição química e física dos ingredientes.

A vantagem de se determinar equações de predição da energia metabolizável em função da composição química dos alimentos decorre de que é bem mais fácil realizar análises laboratoriais para a determinação da composição química do que efetuar ensaios utilizando animais, avaliando suas excretas em calorímetros (QUEIROZ, 2010).

Uma crítica que tem sido feita ao uso de equações de predição refere-se à utilização de um mesmo valor de digestibilidade para proteínas, carboidratos e gorduras, que pode dificultar a comparação entre as equações, pois a digestibilidade dos nutrientes é obtida com dietas e condições fisiológicas distintas e a qualidade da mensuração é dependente da composição química do alimento, que varia muito de região para região, de um país para outro, dificultando a validação das equações em ensaios posteriores (SOUZA, 2009).

Morgan et al. (1987) ajustaram cinco equações para estimar a EM de alimentos em geral para suínos, porém a qualidade de ajuste dos modelos aos dados ( $R^2$ ) foi baixa, variando de 0,39 a 0,41. As equações propostas foram:  $EM = 16,13 - 9,5FDN + 16EE + 23PB*FDN - 138MM*FDN$ ;  $EM = 17,50 - 15,3FDN + 16EE + 5,9PB - 34MM$ ;  $EM = 18,47 - 21FDN + 16EE + 30PB*FDN - 32MM$ ;  $EM = 10,33 - 8,5FDN + 18EE + 9,7PB + 6,7Amido$  e  $EM = 5,42 - 17,2FDN - 19,4MM + 0,709EB$ .

Lekule et al. (1990) estimaram modelos de predição da energia metabolizável ( $\text{MJ kg}^{-1}$  de MS) de alimentos em geral para suínos a partir da composição química de dados obtidos na literatura. Os modelos estimados foram:  $\text{EM} = 0,08 + 0,96\text{ED}$  ( $R^2 = 0,96$ ),  $\text{EM} = 16,81 - 0,031\text{FB}$  ( $R^2 = 0,68$ ) e  $\text{EM} = 16,34 - 0,034\text{FB} + 0,003\text{PB}$  ( $R^2 = 0,73$ ), em que as regressoras de composição química foram expressas em  $\text{g Kg}^{-1}$  de MS e a ED, em  $\text{MJ kg}^{-1}$  de MS.

Noblet e Perez (1993) propuseram sete equações para estimar a EM de rações para suínos, utilizando dados de composição química como regressoras e energia bruta. As equações estimadas foram:  $\text{EM} = 4369 - 10,9\text{MM} + 4,1\text{EE} - 6,5\text{FB}$  ( $R^2 = 0,87$ );  $\text{EM} = 4334 - 8,1\text{MM} + 4,1\text{EE} - 3,7\text{FDN}$  ( $R^2 = 0,91$ );  $\text{EM} = 4168 - 12,3\text{MM} + 1,4\text{PB} + 4,1\text{EE} - 6,1\text{FB}$  ( $R^2 = 0,88$ );  $\text{EM} = 4194 - 9,2\text{MM} + 1,0\text{PB} + 4,1\text{EE} - 3,5\text{FDN}$  ( $R^2 = 0,92$ );  $\text{EM} = 4,182 - 9,6\text{MM} + 1,1\text{PB} + 4,1\text{EE} - 2,4\text{Hemi} - 4,4\text{FDA}$  ( $R^2 = 0,93$ );  $\text{EM} = 1255 + 0,712\text{EB} - 8,5\text{MM} - 6,6\text{FB}$  ( $R^2 = 0,85$ ) e  $\text{EM} = 1099 + 0,740\text{EB} - 5,5\text{MM} - 3,7\text{FDN}$  ( $R^2 = 0,85$ ).

Pozza et al. (2010) estimaram equações para predizer os valores de EM de diferentes silagens de grão úmido de milho para suínos a partir da composição. Os modelos ajustados foram:  $\text{EM} = 3264,39 + 84,93\text{EE} - 67,07\text{FB}$  ( $R^2 = 0,34$ ) e  $\text{EM} = 3242,38 + 57,89\text{EE}$  ( $R^2 = 0,20$ ). Os autores observaram que os modelos apresentaram baixa aderência aos dados de EM, com explicação de 34 e 20% da variação da EM, respectivamente, ou seja, verificou-se uma baixa confiabilidade na predição da EM com a utilização dos mesmos. Além disso, observou-se que o extrato etéreo teve uma correlação positiva e a fibra bruta, uma correlação negativa, com os valores de EM.

Pozza et al. (2008) relataram que as regressoras utilizadas nos modelos devem ser obtidas a partir de análises laboratoriais de fácil execução e baixo custo. O uso de modelos com menor número de regressoras pode indicar maior praticidade na realização das análises laboratoriais e melhor aplicabilidade da equação, visto que será gasto menor tempo com realização de análises.

### 2.5.1 Validação de modelos para predição da energia metabolizável

Para que um modelo possa ser utilizado na formulação de rações para suínos na indústria como ferramenta para gerar valores de energia metabolizável (EM), a predição da EM de alimentos a partir da composição química deve ser validada em amostras independentes. Oliveira e Warpechowski (2009) informaram que a maioria dos modelos apresenta bom poder de predição para o conjunto de dados em que foram derivados, no

entanto, ainda há poucos estudos descritos na literatura científica (NOBLET; PEREZ, 1993; PELIZZERI et al., 2013) sobre a avaliação do comportamento de modelos de predição em conjuntos de dados independentes.

O ajuste de modelos de regressão múltipla permite a predição da EM de alimentos energéticos para suínos a partir de diversas variáveis independentes de composição química. Segundo Queiroz (2010), um modelo de regressão linear múltipla permite prever a variável dependente a partir de variáveis quantitativas ou qualitativas, ou seja, permite a avaliação da relação entre os valores observados e preditos e da significância das regressoras, por meio do teste F aplicado às estimativas dos parâmetros.

O método mais utilizado para estimar os parâmetros da regressão é o método dos mínimos quadrados ordinários, que minimiza a soma dos quadrados dos erros (SILVA, 1995). As estimativas obtidas são funções lineares dos dados  $y_i$ . Assim, supondo-se normalidade dos erros,  $y_i$  terá distribuição normal e, por conseguinte, os estimadores de mínimos quadrados também serão normalmente distribuídos. Desta forma, intervalos de confiança e testes de significância podem ser construídos facilmente pelos métodos tradicionais.

Outro ponto crucial na distribuição dos estimadores é o fato de que nem sempre os estimadores resultantes seguem a normalidade, sendo o uso de aproximações assintóticas a solução normalmente encontrada para esse problema.

Sabe-se que, em determinadas condições, os estimadores de mínimos quadrados têm distribuição assintótica normal, independente da distribuição dos erros, isto é, para um tamanho amostral suficientemente grande, a distribuição destes estimadores estará próxima da distribuição normal (SILVA, 1995). Seu grande problema é saber quão grande o tamanho da amostra deve ser para se obter uma "boa" aproximação. Para um tamanho amostral que não seja suficientemente grande a validade das aproximações pode ficar bastante comprometida.

Três procedimentos de seleção de regressoras podem ser utilizados para estimar os parâmetros dos modelos de regressão. O *forward*, em que a equação começa vazia e cada preditor entra um por um na equação; o *backward*, quando todos os preditores são incluídos de uma só vez na equação e retirados, um a um, até que se identifiquem os melhores preditores; o *blockwise* ou *setwise*, que se assemelha à regressão *stepwise forward*, mas ao invés dos preditores serem incluídos individualmente, eles entram na equação em blocos.

Outro método que pode ser utilizado facilmente para testar a validade de modelos de regressão é o método de simulação *bootstrap*, que pode ser não paramétrico ou paramétrico, dependendo do conhecimento do problema.

Pelizzeri et al. (2013) avaliaram 41 modelos de predição da energia metabolizável (EM) do milho para suínos em função da composição química obtida na literatura nacional, no período de 1985 a 2009. Após a regressão dos valores estimados de EM, obtidos por meio dos modelos, em função dos valores observados de EM, obtidos na literatura, verificou-se que os modelos  $EM = 1,099 + 0,740EB - 5,5MM - 3,7FDN$ , estimado por Noblet e Perez (1993), e  $EM = 16,13 - 9,5FDN + 16EE + 23PB*FDN - 138MM*FDN$  e  $EM = 5,42 - 17,2FDN - 19,4MM + 0,709EB$ , propostos por Morgan et al. (1987), foram válidos para estimar os valores de EM do milho, podendo ser utilizados como ferramenta para formulação de rações para suínos.

Castilha et al. (2011) avaliaram nove equações para predição da EM de quatro cultivares de milho para suínos. Observou-se que os valores médios de EM estimada pelos modelos  $EM = 1,000ED - 0,68PB$  ( $R^2 = 0,99$ ) e  $EM = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$  ( $R^2 = 0,99$ ), propostos por Noblet e Perez (1993), apresentaram correlação de *Spearman* significativa ( $p < 0,05$ ) com os valores médios de energia metabolizável observada em milhos de diferentes cultivares para suínos. Os autores concluíram que os dois modelos permitem estimar com precisão os valores de EM do milho em grão para suínos.

## 2.6 O método *bootstrap*

Originalmente, o *bootstrap* foi generalizado do método *jackknife* (QUENOUILLE, 1949), introduzido como um dispositivo não paramétrico para estimar erros-padrão. Nos últimos anos, a utilização do *bootstrap* foi ampliada para estimar não apenas os "melhores" erros-padrão, em diversas condições de regularidade, mas como abordagem alternativa à estimação de intervalos de confiança, em circunstâncias em que outras técnicas não são aplicáveis, em particular, no caso em que o tamanho da amostra é pequeno (EFRON, 1979).

No contexto do ajuste de modelos de regressão, o *bootstrapping* consiste em um conjunto de procedimentos computacionais intensivos de reamostragem, que foram desenvolvidos para a obtenção de estimativas de erros-padrão de coeficientes de regressão, em situações que não podem ser facilmente avaliadas por métodos analíticos disponíveis ou cuja aproximação existente tenha suposições questionáveis. No ajuste de regressão cumeeira (*ridge*) e em muitos tipos de procedimentos robustos, não há teoria disponível para construção de intervalos de confiança e de testes estatísticos. Por sua vez, no ajuste de modelos não

lineares e de modelos lineares generalizados, os únicos testes e intervalos disponíveis são baseados em grandes amostras (MONTGOMERY et al., 2006).

Segundo McCulough e Vinod (1993), a aplicação de resultados assintóticos para amostras grandes é adequada, mas para amostras de tamanho moderado, a divergência entre a exata distribuição e a distribuição normal assintótica, baseada no teorema do limite central, pode ser substancial. Além disso, para distribuições assimétricas, não normais ou multimodais, os erros padrão assintóticos são inadequados, comprometendo a inferência. Assim, Efron (1979) generalizou o *jackknife* para produzir o "*bootstrap*", proporcionando um método alternativo de inferência para amostras de tamanho moderado ou para distribuições de amostragem analiticamente intratáveis, devido a não linearidade.

Esse método de reamostragem é útil porque permite encontrar estimativas pontuais e por intervalos de parâmetros de uma população, como médias, desvios-padrão, coeficientes de regressão, entre outros, a partir da análise de um conjunto de dados. De acordo com Davison e Hinkley (1997), o *bootstrap* pode ser usado como método complementar na argumentação de conclusões obtidas por outros métodos.

Uma distribuição amostral está baseada em muitas amostras aleatórias da população, entretanto, no método *bootstrap*, ao invés de retirarem-se muitas amostras da população, criam-se reamostras, com reposição, a partir de amostra única disponível, que representa a população da qual os dados são provenientes. Cada reamostra normalmente tem o mesmo tamanho da amostra aleatória original (EFRON, 1979; DiCICCIO; EFRON, 1996).

No *bootstrap* não paramétrico, a distribuição de probabilidades da estatística do parâmetro a ser estimado é desconhecida. Por meio da distribuição *bootstrap* empírica é possível obter a distribuição amostral do parâmetro a partir da amostra original. Contudo, se a distribuição de probabilidades das estimativas dos parâmetros da população da qual a amostra original foi extraída for conhecida, aplica-se o *bootstrap* paramétrico para gerar amostras baseadas na distribuição de probabilidades conhecida, utilizando como parâmetros desta distribuição, a estimativa dos parâmetros obtida na amostra original, para avaliação e correção do vício das estimativas dos parâmetros (SILVA, 1995; HESTERBERG et al., 2003).

A escolha do número de amostras *bootstrap* que determinará uma estimativa *bootstrap* real da estatística de interesse depende da aplicação. Para que se tenha um valor confiável, tem sido recomendada a utilização de 200 a 1000 amostras *bootstrap*, de mesmo tamanho que a amostra original. Um modo de estimar o número ideal de amostragens para a estimativa do parâmetro é verificar a variação do desvio padrão *bootstrap*  $s(\hat{\beta}^*)$ , à medida que o número de

amostras aumenta. Quando  $s(\hat{\beta}^*)$  se estabilizar, o tamanho das amostras *bootstrap* estará adequado (MONTGOMERY et al., 2006). Raramente são necessárias mais do que  $B = 200$  replicações para se estimar um desvio-padrão, no entanto, maiores valores de  $B$  podem ser necessários para estimação de intervalos de confiança *bootstrap* (SILVA, 1995).

Coelho-Barros et al. (2008) apresentaram uma sequência de passos para obtenção de intervalo de confiança *bootstrap* para os coeficientes de regressão  $\beta$ , proposto por Efron (1982), baseado nos percentis da distribuição *bootstrap* de  $\beta$  (*p-bootstrap*). Seja  $U = (y, x_1, x_2, \dots, x_k)$ , em que,  $y = (y_1 \dots y_n)$  é o vetor de observações da variável dependente, e  $x_j = (x_{1j} \dots x_{nj})$ ,  $j = 1, \dots, k$ , são os vetores de observações das variáveis independentes, os passos para estimação do intervalo *p-bootstrap* são: a) Amostrar, com reposição de  $U$ , uma amostra *bootstrap*  $(y_1^*, x_{11}^*, \dots, x_{1k}^*), \dots, (y_n^*, x_{n1}^*, \dots, x_{nk}^*)$ ; b) Da amostra *bootstrap*  $(y_1^*, x_{11}^*, \dots, x_{1k}^*), \dots, (y_n^*, x_{n1}^*, \dots, x_{nk}^*)$ , obter o estimador de mínimos quadrados ordinários de  $\beta$ , dado por  $\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' y$ , representado por  $\hat{\beta}^*$ ; c) Repetir os passos a) e b) um número  $B$  grande de vezes; d) De  $\hat{\beta}^* = (\hat{\beta}_{(1)}^* \leq \hat{\beta}_{(2)}^* \leq \dots \leq \hat{\beta}_{(B)}^*)$ , para algum valor de  $\alpha$ , ( $0 < \alpha < 1$ ), o intervalo de confiança *p-bootstrap*  $100 \times (1 - \alpha\%)$  é dado por  $(\hat{\beta}_{(q_1)}^*; \hat{\beta}_{(q_2)}^*)$ , em que  $q_1 = [B \times \alpha/2]$  e  $q_2 = B - q_1$ .

Montgomery et al. (2006) relataram que o *bootstrap* de pares de valores  $(x_i, y_i)$  deve ser utilizado em situações que haja dúvidas sobre a adequabilidade do modelo de regressão, em relação aos pressupostos de linearidade, normalidade, homogeneidade e independência dos erros, ou quando as regressoras não são variáveis fixas. Silva (1995) mencionou que a estimativa *bootstrap* da matriz de variância e covariância, baseada na reamostragem das observações (pares), é consistente tanto, no caso de homocedasticidade, quanto, no caso de heterocedasticidade, ao contrário do método de reamostragem de resíduos que é válido apenas no primeiro caso. Este método de reamostragem é mais simples que o método de reamostragem de resíduos, pois não é necessário ajustá-los ou corrigi-los antes da reamostragem.

O método *bootstrap* não altera nenhum valor da amostra original, apenas ocorre a combinação dos valores iniciais para a obtenção de conclusões desejadas. A variabilidade presente é dada pela escolha da amostra original e pelas reamostras, porém a maior influência é causada pela amostra mestre (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Para verificar se o intervalo de confiança  $t$  calculado é confiável, podemos compará-lo com o intervalo de confiança percentil. Se o vício for pequeno e a distribuição *bootstrap* for aproximadamente normal, os dois intervalos irão apresentar valores muito próximos.

Scalon et al. (1998) utilizaram o *bootstrap* não paramétrico na validação do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras, visando a avaliação da habilidade preditiva de modelos de regressão linear múltipla com covariáveis relacionadas à saúde de recém nascidos, cujos parâmetros foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, o que permitiu a obtenção da frequência de significância por regressora em relação ao total de amostras. Os autores preconizaram o índice de 50% de frequência de seleção por regressora em amostras *bootstrap*.

De outro modo, os bancos de dados de composição química e de energia metabolizável (EM) do sorgo e farelo de trigo encontrados na literatura podem apresentar tamanho moderado, de 20 a 30 observações, em razão de serem alimentos menos frequentes que o milho em rações para suínos. A utilização da teoria normal assintótica em amostras moderadas pode comprometer a precisão das estimativas dos coeficientes de regressão (EFRON, 1979; McCULLOUGH; VINOD, 1993), ao se ajustar modelos de regressão da EM sobre a composição química, pois os erros-padrão ficam mais elevados. Assim, a utilização do método *bootstrap* permite a ampliação do tamanho das amostras de composição química e energética desses alimentos via meta-análise, por meio da replicação da amostra original, adequando as estimativas à teoria assintótica, ou seja, permitindo a obtenção de estimativas mais próximas do valor real do parâmetro.

Este método é recomendado para casos com resultados assintóticos, ou seja, mínimos quadrados generalizados com matriz de covariância estimada, modelos com variáveis defasadas, erros não normais, são os problemas de regressão onde o *bootstrap*, independentemente da distribuição dos resíduos, poderá ser aplicado para determinação de variâncias, intervalos de confiança, entre outros (FERREIRA FILHO, 1988).

Dessa forma, como a variação nos dados de energia metabolizável do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos na literatura é elevada, a utilização deste método para validação de modelos de regressão torna-se uma ferramenta interessante, pois permite a avaliação dos conjuntos de regressoras que melhor explicam a variável dependente, além de proporcionar a aplicação de inúmeros testes de validação em amostras independentes, derivadas da amostra original.

## Referências

ABIPECS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. 2013. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/news/633/101/ABIPECS-2013-comeca-com-otimismo-para-o-setor-de-carne-suina.html>>. Acesso em 24/04/2013.

- ALBINO, L.F.T.; SILVA, M.A. Valores nutritivos de alimentos para aves e suínos determinados no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, Viçosa, 1996. **Anais...** Viçosa: UFV, 1996. p.303-318.
- ARAUJO, D.M.; SILVA, J.H.V.; ARAUJO, J.A. et al. Farelo de trigo na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de recria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.67-72, 2008.
- BELLAVER, C.; LUDKE, J. Considerações sobre os alimentos alternativos para dietas de suínos. In: Palestras ENIPEC 2004. Cuiabá. CD-ROM.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento – MAPA**. 2012. Sítio oficial. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 20/11/2012.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal - CBNA, 2002.430 p.
- CASTILHA, L.D.; POZZA, P.C.; KLOSOWSKY, E.S. et al. Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.456-467, 2011.
- CIAS. **Central de Inteligência de Aves e Suínos (CIAS)**. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/cias>>. Acesso em: 26/11/2012.
- CONAB. **Levantamentos de Safra. Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB**. 2013. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_04\\_09\\_10\\_27\\_26\\_boletim\\_graos\\_abril\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_27_26_boletim_graos_abril_2013.pdf)>. Acesso em: 26/04/2013.
- DAVISON, A.C.; HINKLEY, D.V. **Bootstrap methods and their application**. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics: Cambridge University Press, Cambridge. 1997. 575p.
- DiCICCO, T.J.; EFRON, B. Bootstrap Confidence Intervals. **Statistical Science**, v.11, n.3, p.189-228, 1996.
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **The Annals of Statistics**, v.7, n.1, p.1-26, 1979.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Trigo)**. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/indicacoes.htm>>. Acesso em: 26/11/2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. 3.ed. Concórdia: EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, 1991. 97p.

- FERREIRA FILHO, P. **Intervalos de confiança para os parâmetros de regressão  $L_1$ : Pequenas amostras**. 1988. 87p. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- FERREIRA, E.R.A.; FIALHO, E.T.; TEIXEIRA, A.S. et al. Avaliação da composição química e determinação de valores energéticos e equação de predição de alguns alimentos para suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.3, p.514-523, 1997.
- FIALHO, E.T.; BARBOSA, H.P. **Alimentos alternativos para suínos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 228p.
- FIALHO, E.T.; LIMA, J.A.F.; OLIVEIRA, V. et al. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.1, p.105-111, 2002.
- FIALHO, E.T.; SILVA, H.O.; CANTARELLI, V.S. Alimentos alternativos para suínos. In: FERREIRA, A.F.; VELOSO, C.M.; RECH, C.L.S. **Nutrição animal: tópicos avançados**. Itapetinga/BA: UESB, 2003. p.35-98.
- GIANOTTI, G.G.; PACKER, U.I.; MERCADANTE, M.E.Z. Meta-análise para estimativas de correlação genética entre pesos ao nascer e desmama de bovinos. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.435-440, 2002.
- GLASS, G.V. **Primary, secondary, and meta-analysis of research**. Educational Researcher, v.6, p.3-8, 1976
- HESTERBERG, T.; MOORE, D.S.; MONAGHAN, S. et al. Bootstrap methods and permutation tests. In: THE PRACTICE of business statistics: using data for decisions. New York: W.H. Freeman, 2003. Cap. 18.
- LEKULE, F.P., JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. et al. Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content. **Animal Feed Science and Technology**, v.28, p.91-101, 1990.
- LIMA, I.L. Níveis nutricionais utilizados nas rações pela indústria avícola. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, Viçosa, 1996. **Anais...** Viçosa: UFV, 1996. p.389-402.
- LOVATTO, P.A.; LEHNEN, C.R.; ANDRETTA, I. et al. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.285-294, 2007. Suplemento especial.
- McCULLOUGH, B.D.; VINOD, H. Implementing the single bootstrap: some computational considerations. **Computational Economics**, v.6, p.1-15, 1993.
- MAGALHÃES, P.C.; RODRIGUES, W.A.; DURÃES, F.O.M. **Tanino no grão de sorgo: bases fisiológicas e métodos de determinação**. Sete Lagoas: EMBRAPA – CNPMS, 2000. 13p. Circular Técnica 27.

- MARQUES B.M.F.P.P.; ROSA, G.B.; HAUCHILD L. et al. Substituição de milho por sorgo baixo tanino em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.3, p.767-772, 2007.
- MASCARENHAS, A.G.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M. et al. Fontes e níveis de energia digestível em rações para suínos machos inteiros dos 60 aos 100 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1403-1408, 2002. Suplemento.
- MAZZUCO, H.; LORINI, I.; BRUM, P.A.R. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2216-2220, 2002.
- MELLO, H.H.C.; GOMES, P.C.; ROSTAGNO, H.S. et al. Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5, p.863-868, 2009.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2006. 612p.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- MORGAN, C.A.; WHITTEMORE, C.T.; PHILLIPS, P. et al. The prediction of the energy value of compounded pig foods from chemical analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.17, n.2, p.81-107, 1987.
- NASCIMENTO, G.A.J.; RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F. et al. Equações de predição para estimar os valores energéticos de alimentos concentrados de origem vegetal para aves utilizando a metanálise. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.7, p.1265-1271, 2009.
- NUTRIENT requirements of swine. 11<sup>th</sup> ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2012. 400p.
- NUTRITIONAL energetics of domestic animals and glossary of energy terms. Washington, D.C.: National Academy Press, 1981. 54p.
- NOBLET, J.; PEREZ, J.M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, v.71, n.12, p.3389-3398, 1993.
- OLIVEIRA, V.; WARPECHOWSKI, M.B. Avaliação de modelos para predição da energia metabolizável do milho para aves. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1514-1520, 2009.
- PAES, M.C.D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. EMBRAPA – CNPMS, 2006. 6p. Circular Técnica 75.
- PELIZZERI, R.N.; POZZA, P.C.; OLIVEIRA, N.T.E. et al. Avaliação de modelos de predição da energia metabolizável do milho para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.460-468, 2013.

- PENZ, JR., A.M.; BRUGALLI, I. Novos conceitos de energia para aves. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, Campinas, 1999. **Anais...** Campinas, 1999.
- POLLACK, M.M.; RUTTIMANN, U.E.; GETSON, P.R. Accurate prediction of the outcome of pediatric intensive care: a new quantitative method. **The New England Journal of Medicine**, v.316, n.3, p.134-139, 1987.
- POZZA, P.C.; GOMES, P.C.; DONZELE, J.L. et al. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.30, n.1, p.33-40, 2008.
- POZZA, P.C.; NUNES, R.V.; POZZA, M.S.S et al. Determinação e predição de valores energéticos de silagens de grãos úmidos de milho para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.226-232, 2010.
- PRANDINI, A.; SIGOLO, S.; MORLACCHINI, A. et al. High-protein maize in diets for growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.165, n.1, p.105-110, 2011.
- QUEIROZ, F.C.M. **Análise de componentes principais na meta-análise para obtenção de equações de predição de valores energéticos de alimentos para aves**. 2010. 71p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- QUENOUILLE, M. Approximate tests of correlation in time series. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B**, v.11, p.18-84, 1949.
- RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.D.; FIALHO, E.T. et al. Digestibilidade dos nutrientes e desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados com rações a base de milho e sorgo suplementadas com enzima. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.91-100, 2002.
- ROSTAGNO H.S; BUNZEN S.; SAKOMURA N.K. et al. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.295-304, 2007.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252p.
- RUIZ, U.S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I. et al. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.458-468, 2008.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2007. 283p.
- SAKOMURA, N.K.; SILVA, R. Conceitos inovadores aplicáveis à nutrição de não ruminantes. **Caderno Técnico da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, v.22, p.125-146, 1998.

- SCALON, J.D.; FREIRE, S.M.; CUNHA, T.A. Validation of models for predicting the use of health technologies. **Medical Decision Making**, v.18, n.3, p.311-319, 1998.
- SIBBALD, I.R. Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.62, n.4, p.983-1048, 1982.
- SILVA, D.N. **O método bootstrap e aplicações à regressão múltipla**. 1995. 108p. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- SILVA, M.A.A.; FURLAN, A.C.; MOREIRA I. et al. Avaliação nutricional do milho com maior teor de óleo, nas formas de grãos secos e silagens, para suínos nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.830-839, 2006.
- SAVARIS, V.D.L.; POZZA, P.C.; NUNES, R.V. et al. Perfil microbiológico e valores energéticos do milho e silagens de grãos úmidos de milho com adição de inoculantes para suínos. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.29, n.4, p.403-409, 2007.
- SOUZA, R.M. **Equações de predição dos valores energéticos de alimento para aves**. 2009. 123p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ZARDO, A.O.; LIMA, G.J.M.M. Alimentos para Suínos. **Boletim Informativo de Pesquisa**, Embrapa Suínos e Aves e Extensão, EMATER/RS. BIPERS, n.12, Ano 8, 1999.
- ZONTA, M.C.M.; RODRIGUES, P.B.; ZONTA, A. et al. Energia metabolizável de farinhas de soja ou produtos de soja, determinado pelo método de coleta total e por equações de predição. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.209, p.21-30, 2006.
- WANG, M.C.; BUSHMAN, B.J. **Integration results: through meta-analytic review using SAS software**. Cary: Statistical Analysis System. 1999.

### 3 PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS PARA SUÍNOS E VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO *STEPWISE* POR SIMULAÇÃO *BOOTSTRAP*

#### Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar equações de predição da energia metabolizável (EM) do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos em crescimento em função de composição química e de validar o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras por simulação *bootstrap*. Dados de ensaios de metabolismo com suínos e de composição química do milho, sorgo e farelo de trigo disponibilizados na literatura científica nacional e internacional foram reunidos e expressos na matéria seca. Foi procedida uma análise de resíduos e ajustados cinco modelos de regressão linear múltipla para estimar a EM, em que foi realizada a identidade dos modelos, com uso das variáveis auxiliares “origem do trabalho na literatura” e “alimento”. Na validação do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras, utilizou-se o método de reamostragem *bootstrap* não paramétrico para gerar aleatoriamente 1000 amostras *bootstrap* de mesmo tamanho, obtidas por reamostragem e com reposição de cada amostra, a partir do banco de dados formado via meta-análise. Em todas as amostras *bootstrap* foram ajustados os cinco modelos estimados, utilizando-se do *stepwise*, e foi computado o percentual de significância por regressora (PSR) e o percentual de ocorrência conjunta de regressoras do modelo (POCRM). Quando incluídas nos modelos, a energia digestível (ED) e a energia bruta (EB) apresentaram os maiores PSR (ED = 100% e EB = 95,7%), indicando que tais regressoras apresentaram-se altamente correlacionadas com a EM. Nos modelos EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub>, em que não foram incluídas a ED e EB como regressoras, observou-se que os valores de PSR foram maiores do que 50,0%, mostrando que as regressoras matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE) e interação de dummy e proteína bruta (PB) que indica efeito da PB para o farelo de trigo (DA<sub>1</sub>\*PB) (EM<sub>4</sub>) e MM, DA<sub>1</sub>\*PB e DA<sub>2</sub>\*MM (interação entre dummy e MM que indica efeito de MM para o sorgo, distinguindo-o do farelo de trigo e milho (EM<sub>5</sub>) foram importantes na explicação da EM, possibilitando a estimação da EM sem a realização de experimento de campo. Entretanto, os POCRM apresentaram-se baixos, com valores entre 2,6 e 23,4%, indicando uma baixa confiabilidade dos modelos preditos para estimar a EM do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos. Os modelos ajustados foram: EM<sub>1</sub> = 2,547 + 0,969ED + 36,784DO - 4,217DA<sub>1</sub>\*PB (R<sup>2</sup> = 0,99); EM<sub>2</sub> = 2306,263 + 0,309EB - 123,948FB + 33,052EE - 49,629DO\*MM (R<sup>2</sup> = 0,92); EM<sub>3</sub> =

3675,387 + 50,019EE - 25618DO\*FB - 91,231DA<sub>1</sub>\*FB ( $R^2 = 0,91$ ); EM<sub>4</sub> = 3824,440 - 105,294MM + 45,008EE - 37,257DA<sub>1</sub>\*PB ( $R^2 = 0,90$ ); EM<sub>5</sub> = 3982,994 - 79,970MM - 44,778DA<sub>1</sub>\*PB - 43,416DA<sub>2</sub>\*MM ( $R^2 = 0,92$ ). Com base no PSR, as regressoras dos modelos EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub> são válidas para estimar a EM de alimentos energéticos para suínos. Para os cinco modelos ajustados, o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras não pode ser validado com base no POCRM.

**Palavras-chave:** *bootstrap*, composição química, meta-análise, milho, sorgo, suínos em crescimento.

### Abstract

The study was conducted with the objective of estimating equations to predict the metabolizable energy (ME) of maize, sorghum and wheat bran for growing pigs as a function of chemical composition and validate the stepwise selection regressive by *bootstrap* simulation. Data metabolism trials with pigs and chemical composition of maize, sorghum and wheat bran available in national and international scientific literature were gathered and expressed on dry matter. It was performed an analysis of residues and set five models of multiple linear regression to estimate the ME, which was held in the identity of the models, with use of auxiliary variables "source of work in the literature" and "food." To validate the stepwise selection regressive, we used the *bootstrap* resampling procedure to randomly generate nonparametric *bootstrap* 1000 samples of the same size, obtained by resampling with replacement and each sample from the database formed via meta-analysis. In all *bootstrap* samples were adjusted the five estimated models, using the stepwise and was computed the percentage regressive significance (PRS) and the percentage of occurrence joint regressive model (POJRM). When included in the models, the digestible energy (DE) and gross energy (GE) had the highest PRS (DE = 100% and GE = 95.7%), indicating that such regressive were highly correlated with the metabolic energy. In models EM<sub>4</sub> and EM<sub>5</sub>, which were not included in the GE and DE regressive, it was observed that the values of PRS were greater than 50.0%, showing that the regressive Ash, EE and DA<sub>1</sub>\*CP (ME<sub>4</sub>) and Ash, DA<sub>1</sub>\*CP and DA<sub>2</sub>\*Ash (ME<sub>5</sub>) were important in explaining the ME, allowing the estimation of ME without making a field experiment. However, POJRM were low, with values between 2.6 and 23.4%, indicating a low reliability of predicted models to estimate of corn, sorghum

and wheat bran for pigs. The fitted models are:  $ME_1 = 2.547 + 0.969DE + 36.784DO - 4.217DA_1*CP$  ( $R^2 = 0.99$ );  $ME_2 = 2306.26 + 0.39GE - 123.95CF + 33.05EE - 49.63DO*Ash$  ( $R^2 = 0.92$ );  $ME_3 = 3675.39 + 50.02EE - 25.62DO*CF - 91.23DA_1*CF$  ( $R^2 = 0.91$ );  $ME_4 = 3824.44 - 105.29Ash + 45.01EE - 37.26DA_1*CP$  ( $R^2 = 0.90$ );  $ME_5 = 3982.99 - 79.97Ash - 44.78DA_1*CP - 43.42DA_2*Ash$  ( $R^2 = 0.92$ ). Based on PRS, the regressor models of  $ME_4$  and  $ME_5$  are valid for estimating the ME energy food for pigs. For the five adjusted models, the stepwise selection regressive could not be validated based on POJRM.

**Keywords:** *bootstrap*, chemical composition, growing pigs, maize, meta-analysis, sorghum.

### 3.1 Introdução

O conhecimento acurado do valor de energia metabolizável (EM) de alimentos energéticos, utilizados em rações de suínos, é fundamental para maximizar a produtividade, pois as exigências de diversos nutrientes são expressas em função dos níveis de EM das rações, os quais interferem no consumo de ração e no desempenho dos suínos (SAKOMURA; SILVA, 1998). Assim, para que as exigências nutricionais dos suínos possam ser atendidas adequadamente, é necessário formular rações com a utilização de valores de EM dos alimentos determinados a partir de um método acurado.

A determinação direta dos valores de EM de alimentos para suínos é demorada, trabalhosa e onerosa, pois envolve a análise de composição química e de energia bruta do ingrediente em laboratório, e a execução de ensaios metabólicos, dificultando sua aplicabilidade na indústria suinícola. Uma alternativa rápida, prática e econômica para prever os valores de EM de alimentos energéticos para suínos consiste no uso de equações de regressão, frequentemente estimadas em função da composição química dos alimentos, obtida rotineiramente em laboratórios (PELIZZERI et al., 2013).

A formulação acurada de rações para suínos com base em valores preditos de EM dos alimentos, obtidos a partir do uso de equações, depende das determinações laboratoriais das regressoras de composição química, que devem ser usadas preferencialmente em relação aos valores constantes encontrados em tabelas nutricionais, em razão da variabilidade encontrada em dados de composição química.

Outro fator que pode influenciar na variação dos valores preditos de EM de alimentos para suínos e comprometer a sua utilização em formulações de rações é a presença de *outliers*,

decorrentes de erros experimentais na mensuração da EM ou de erros na determinação da composição química do alimento, que podem mudar o conjunto de regressoras selecionado na equação e, por conseguinte, alterar as estimativas dos parâmetros das equações estimados por mínimos quadrados ordinários.

No entanto, a estratégia de se ajustar modelos de regressão da EM sobre a composição química de alimentos energéticos, em resultados provenientes de diferentes condições experimentais, pode permitir a obtenção de conclusões mais detalhadas sobre a variação nos valores de EM do que a estratégia de se ajustar modelos de regressão em resultados de um experimento, para testá-los em amostra de dados oriundos de diferentes trabalhos da literatura.

Vários pesquisadores têm ajustado equações para predição da EM de alimentos energéticos para suínos em função de sua composição química (LEKULE et al., 1990; FERREIRA et al., 1997; CASTILHA et al., 2011), mas tem-se observado uma grande diversidade de conjuntos de regressoras significativas entre os trabalhos existentes na literatura, com poucos relatos que venham validar procedimentos de seleção de regressoras em amostras de dados independentes.

Um método que pode simular situações reais e ser utilizado como complemento na validação de procedimentos de seleção de regressoras é o *bootstrap* não paramétrico (SCALON et al., 1998), em que várias amostras são obtidas aleatoriamente a partir de uma amostra representativa da população original, com reposição de cada amostra, permitindo a obtenção da frequência de significância por regressora e a frequência de ocorrência conjunta de regressoras dos modelos, ambas em relação ao total de amostras.

Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de ajustar equações de predição da energia metabolizável para suínos em crescimento, a partir da composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo disponível em literatura científica nacional e internacional, e validar o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras nos modelos ajustados utilizando o método de simulação *bootstrap* não paramétrico.

### **3.2 Materiais e métodos**

Informações de ensaios de metabolismo de suínos com peso corporal entre 7,0 e 75,0 kg foram coletadas em pesquisas disponibilizadas na literatura científica nacional e internacional, visando à formação de um banco de dados de proteína bruta (PB), extrato

etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra bruta (FB), energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) do milho, sorgo e farelo de trigo.

O material pesquisado foi acessado nas seguintes bases de dados: Periódicos da Capes, *Scielo*, *Science Direct*, *Google Acadêmico*, *Scirus* e *Scopus*, e em trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses disponíveis na biblioteca da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste).

Após a pesquisa bibliográfica e tabulação dos dados, foi realizada uma minuciosa triagem para a retirada de dados discrepantes que pudessem resultar em estimativa de parâmetros viesados. Após a retirada de dados incompletos e discrepantes, foram mantidos 142 registros, sendo 69 nacionais e 73 internacionais. Do total nacional, foram encontradas 46 informações de composição química e energética do milho, 11 do sorgo e 12 para o farelo de trigo. Na literatura internacional, foram coletados 41, 17 e 15 dados de milho, sorgo e farelo de trigo, respectivamente.

Do total de registros, foram detectadas 142 observações de energia metabolizável, proteína bruta e extrato etéreo, 140 de energia digestível, 132 de matéria mineral, 131 de energia bruta e 129 observações de fibra bruta. Todos os registros de composição química e de valores energéticos obtidos na base da matéria natural foram convertidos para a matéria seca, a fim de padronização e posterior predição da energia metabolizável. As literaturas científicas consultadas foram publicadas no período de 1965 a 2011.

Inicialmente, para diagnóstico de observações influentes e para atender os pressupostos de normalidade, homogeneidade e linearidade dos resíduos dos modelos de regressão linear múltipla, foi procedida a análise dos resíduos padronizados de *Student* (*RStudent*). O critério adotado para identificação de *outliers* foi baseado na curva de distribuição normal, em que valores de *RStudent* maiores que três desvios-padrão, em valor absoluto, foram considerados como influentes e retirados do respectivo banco de dados. Uma barra (/) após o comando MODEL, seguido por “r” (resíduo *studentizado*), no procedimento REG (SAS, 2008), foi utilizada para obtenção dos valores de *RStudent*.

A predição dos valores observados de energia metabolizável em função de composição química, energia bruta e energia digestível dos alimentos foi realizada por meio de ajuste de modelos de regressão linear múltipla, utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários e de variáveis *dummy* (valores binários) para as regressoras “origem” (pesquisa nacional ou internacional) e alimento (milho, sorgo ou farelo de trigo). A utilização dessas variáveis permite classificar os modelos de acordo com a *dummy* selecionada. O procedimento adotado para a seleção de regressoras nos modelos foi o *stepwise*, em que a

primeira regressora incluída no modelo é aquela que apresenta a maior correlação com a variável dependente.

Inicialmente, foi ajustado o modelo completo ( $EM_1$ ), representado por  $y_i = b_0 + b_1X_{i1} + b_2X_{i2} + b_3X_{i3} + b_4X_{i4} + b_5X_{i5} + b_6X_{i6} + b_7X_{i7} + b_8X_{i81} + b_9X_{i82} + b_{10}X_{i7}X_{i1} + b_{11}X_{i7}X_{i2} + b_{12}X_{i7}X_{i3} + b_{13}X_{i7}X_{i4} + b_{14}X_{i7}X_{i5} + b_{15}X_{i7}X_{i6} + b_{16}X_{i81}X_{i1} + b_{17}X_{i81}X_{i2} + b_{18}X_{i81}X_{i3} + b_{19}X_{i81}X_{i4} + b_{20}X_{i81}X_{i5} + b_{21}X_{i81}X_{i6} + b_{22}X_{i82}X_{i1} + b_{23}X_{i82}X_{i2} + b_{24}X_{i82}X_{i3} + b_{25}X_{i82}X_{i4} + b_{26}X_{i82}X_{i5} + b_{27}X_{i82}X_{i6} + \varepsilon_i$ , com  $i = 1, \dots, n$ , em que  $n$  é o número de indivíduos,  $y_i$  é a observação da energia metabolizável para o  $i$ -ésimo indivíduo,  $X_i = (x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{i27})^T$  é um vetor de observações das variáveis independentes para o  $i$ -ésimo indivíduo,  $\beta = (b_0 \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{27})^T$  é um vetor de coeficientes de regressão (parâmetros) a serem estimados e  $\varepsilon_i$  é um vetor de erros aleatórios, supostos independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância  $\sigma^2$ .

A variável independente  $X_{i7}$  é uma variável *dummy* que representou a “origem” do trabalho na literatura (DO). O valor zero foi a codificação para trabalho nacional e o valor um, para trabalho internacional. A significância de DO no modelo sugeriu a ocorrência de modelos distintos para dados nacionais e internacionais.

A regressora  $X_{i8}$  é uma variável *dummy* que indicou os três diferentes alimentos (milho, sorgo e farelo de trigo). O milho foi codificado quando as duas classes da variável  $X_{i8}$  assumiram o valor zero, ou seja,  $X_{i81} = 0$  e  $X_{i82} = 0$ . O efeito do sorgo foi expresso quando  $X_{i81} = 0$  e  $X_{i82} = 1$ . Quando ocorreu a codificação  $X_{i81} = 1$  e  $X_{i82} = 0$ , o efeito do farelo de trigo foi indicado. A discriminação do farelo de trigo do milho e sorgo foi observada quando a classe  $X_{i81}$ , denominada de “*dummy* de alimento 1” ( $DA_1$ ), foi selecionada no modelo, ao final do *stepwise*. A significância da  $X_{i82}$ , ou “*dummy* de alimento 2” ( $DA_2$ ), indicou a ocorrência de um modelo para o sorgo e outro modelo para o milho e farelo de trigo.

Um total de cinco modelos de regressão linear múltipla foi ajustado aos dados de energia metabolizável. O segundo modelo ( $EM_2$ ) ajustado correspondeu ao modelo completo sem a inclusão de ED e das interações entre ED e variáveis indicadoras. O terceiro modelo ( $EM_3$ ) foi ajustado considerando o modelo completo sem a inclusão de ED, EB e respectivas interações com as variáveis *dummies*. O quarto modelo ( $EM_4$ ) foi ajustado após a retirada do modelo completo de ED, EB, FB e suas interações com as *dummies*. O quinto e último modelo ( $EM_5$ ) proposto correspondeu ao modelo completo sem as regressoras ED, EB, FB e EE e suas interações com as variáveis indicadoras.

A verificação da significância de cada parâmetro foi avaliada por meio do teste  $t$  parcial, em que a hipótese de nulidade testada foi  $H_0: \beta_i = 0$ .

A ocorrência da multicolinearidade entre as regressoras foi verificada por meio da observação do fator de inflação de variância associado à cada regressora.

A qualidade de ajuste dos modelos de regressão aos dados de energia metabolizável foi avaliada observando-se o valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A precisão das estimativas foi avaliada observando-se os respectivos desvios-padrão.

A partir da amostra original obtida na literatura, foram geradas aleatoriamente 1000 amostras *bootstrap* de mesmo tamanho, obtidas por reamostragem e com reposição de cada amostra (DiCICCIO; EFRON, 1996), para validação do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras, com base em suas respectivas frequências de seleção.

Em todas as amostras *bootstrap*, foram ajustados os cinco diferentes modelos descritos, considerando o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras e o método dos mínimos quadrados ordinários para estimação dos parâmetros. A frequência de significância por regressora e a frequência de ocorrência conjunta de regressoras dos modelos foram verificadas nas 1000 amostras *bootstrap*. A aderência à distribuição normal das estimativas *bootstrap* dos coeficientes foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Após a ordenação crescente das estimativas *bootstrap* do j-ésimo coeficiente de regressão ( $b_j^*$ ), foram estimados intervalos de confiança dos parâmetros, pelo método percentil *bootstrap*, em 500 amostras *bootstrap* diferentes, de mesmo tamanho, obtidas por reamostragem e com reposição de cada amostra, para avaliação da significância do viés ( $b_j - b_j^*$ ) de cada coeficiente e da significância dos coeficientes de regressão. O nível de significância de 0,05 foi o utilizado em todos os testes de hipóteses.

### 3.3 Resultados e discussão

As equações de regressão estimadas da energia metabolizável (EM) em função de composição química do milho, sorgo e farelo de trigo, em dados da literatura científica nacional e internacional foram:  $EM_1 = 2,547 + 0,969ED + 36,784DO - 4,217DA_1*PB$  ( $R^2 = 0,99$ );  $EM_2 = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63DO*MM$  ( $R^2 = 0,92$ );  $EM_3 = 3675,39 + 50,02EE - 25,62DO*FB - 91,23DA_1*FB$  ( $R^2 = 0,91$ );  $EM_4 = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26DA_1*PB$  ( $R^2 = 0,90$ );  $EM_5 = 3982,99 - 79,97MM - 44,78DA_1*PB - 43,42DA_2*MM$  ( $R^2 = 0,92$ ) (Tabela 1).

Tabela 1. Identidade de modelos de regressão linear múltipla da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais

Modelo <sup>1</sup>	Regressora	Estimativa do parâmetro	Desvio-padrão	P	R <sup>2</sup>
EM <sub>1</sub> (n = 96)	Intercepto	2,547	62,00	0,9673	0,9967
	ED	0,969	0,01	<0,0001	
	DO	36,784	5,53	<0,0001	
	DA <sub>1</sub> *PB	-4,217	0,87	<0,0001	
EM <sub>2</sub> (n = 106)	Intercepto	2306,26	396,51	<0,0001	0,9239
	EB	0,39	0,09	<0,0001	
	FB	-123,95	4,50	<0,0001	
	EE	33,05	13,87	0,0191	
	DO*MM	-49,63	8,29	<0,0001	
EM <sub>3</sub> (n = 117)	Intercepto	3675,39	56,53	<0,0001	0,9106
	EE	50,02	14,51	0,0008	
	DO*FB	-25,62	5,20	<0,0001	
	DA <sub>1</sub> *FB	-91,23	3,28	<0,0001	
EM <sub>4</sub> (n = 129)	Intercepto	3824,44	60,05	<0,0001	0,9023
	MM	-105,29	18,85	<0,0001	
	EE	45,01	13,10	0,0008	
	DA <sub>1</sub> *PB	-37,26	3,69	<0,0001	
EM <sub>5</sub> (n = 124)	Intercepto	3982,99	28,41	<0,0001	0,9247
	MM	-79,97	17,17	<0,0001	
	DA <sub>1</sub> *PB	-44,78	3,52	<0,0001	
	DA <sub>2</sub> *MM	-43,42	16,27	0,0087	

<sup>1</sup> ED: energia digestível; EB: energia bruta; FB: fibra bruta; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; DO: *dummy* de origem; DA<sub>1</sub>: *dummy* de alimento 1; DA<sub>2</sub>: *dummy* de alimento 2.

Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) obtidos mostraram que as equações estimadas explicaram mais de 90% da variação dos dados de energia metabolizável (EM) em função da composição química do milho, sorgo e farelo de trigo, sugerindo elevada confiabilidade nas estimativas com o ajuste do modelo aos dados, ou seja, isso indicou que mais de 90% da

variação no conteúdo de EM dos alimentos obtido na literatura foram explicadas ao se considerar as variáveis independentes que fazem parte das equações (JUST et al., 1984).

Dentre as equações estimadas (Tabela 1), observou-se que o  $R^2$  foi mais elevado quando a ED apareceu como variável preditora do modelo, mostrando que a mesma explicou a maior parte da variação da EM, pois apresentou maior correlação com a EM ( $r_{xy} = 0,9969$ ) do que as demais regressoras. Noblet e Perez (1993) também observaram que as equações que obtiveram maiores  $R^2$  foram as que utilizaram a ED como preditora.

Apesar de apresentar o maior valor de  $R^2$  (99,67%) em relação às demais equações (Tabela 1), o modelo EM<sub>1</sub> (modelo completo) não deve ser considerado como o mais indicado na prática, pois é necessária a coleta de fezes, em experimento de metabolismo, para a determinação da ED, tornando sua utilização onerosa e de pouca aplicabilidade (PELIZZERI et al., 2013). No entanto, a utilização de modelos de predição que contemplam a ED como regressora permite que sejam computadas apenas as perdas energéticas nas fezes, não necessitando de coleta e mensuração do total de urina excretada.

Morgan et al. (1987) estimaram equações para predição da EM de alimentos em geral utilizando as mesmas regressoras, porém a qualidade de ajuste dos modelos ( $0,39 \leq R^2 \leq 0,41$ ) aos dados foi bem inferior à observada neste trabalho.

Além do coeficiente de determinação, é fundamental observar quais foram as preditoras significativas do modelo, pois as equações que contêm até quatro variáveis de composição química requerem menor tempo, maior facilidade e maior economia na determinação, podendo ser utilizadas com maior facilidade (POZZA et al., 2008).

Após a substituição dos valores binários nos modelos EM<sub>1</sub>, EM<sub>2</sub>, EM<sub>3</sub>, EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub>, foram originadas as equações-filhas descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos de regressão da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais, ajustados com base na matéria seca, após a substituição das variáveis auxiliares (*dummies*) por valores binários

Alimento/Origem	Modelo de regressão <sup>(1)</sup>
Milho e sorgo/Nacional	$EM_{1A} = 2,547 + 0,969ED$
Milho e sorgo/Internacional	$EM_{1B} = 39,33 + 0,969ED$
Farelo de trigo/Nacional	$EM_{1C} = 2,547 + 0,969ED - 4,217PB$
Farelo de trigo/Internacional	$EM_{1D} = 39,33 + 0,969ED - 4,217PB$
Milho, sorgo e farelo de trigo/Nacional	$EM_{2A} = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE$
Milho, sorgo e farelo de trigo/Internacional	$EM_{2B} = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63MM$
Milho e sorgo/Nacional	$EM_{3A} = 3675,39 + 50,02EE$
Milho e sorgo/Internacional	$EM_{3B} = 3675,39 + 50,02EE - 25,62FB$
Farelo de trigo/Nacional	$EM_{3C} = 3675,39 + 50,02EE - 91,23FB$
Farelo de trigo/Internacional	$EM_{3D} = 3675,39 + 50,02EE - 116,85FB$
Milho e sorgo/Nacional e Internacional	$EM_{4A} = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE$
Farelo de trigo/Nacional e Internacional	$EM_{4B} = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26PB$
Milho/Nacional e Internacional	$EM_{5A} = 3982,99 - 79,97MM$
Sorgo/Nacional e Internacional	$EM_{5B} = 3982,99 - 123,39MM$
Farelo de trigo /Nacional e Internacional	$EM_{5C} = 3982,99 - 79,97MM - 44,78PB$

<sup>(1)</sup> ED: energia digestível; PB: proteína bruta; EB: energia bruta; FB: fibra bruta; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral.

Após a substituição dos valores binários na  $EM_1$ , foram originadas as equações  $EM_{1A} = 2,547 + 0,969ED$ , para milho e sorgo nacionais,  $EM_{1B} = 39,33 + 0,969ED$ , para milho e sorgo internacionais,  $EM_{1C} = 2,547 + 0,969ED - 4,217PB$ , para o farelo de trigo nacional e  $EM_{1D} = 39,33 + 0,969ED - 4,217PB$ , para o farelo de trigo internacional (Tabela 2). Os resultados mostraram que os dados de milho e sorgo podem ser incluídos em banco de dados único, desde que classificados por origem do trabalho na literatura, pois os modelos estimados para o milho e o sorgo foram os mesmos.

Observou-se, ainda, que diferentemente dos milhos e dos sorgos, as equações estimadas para os farelos de trigo apresentaram a proteína bruta (PB) como variável

independente importante para a redução da estimativa da EM (Tabela 2). Isso pode ser constatado ao se observar o valor médio de PB para os três alimentos em tabela nacional de composição de alimentos, em que o teor proteico do farelo de trigo (PB = 15,62%) é bem maior do que o observado para o milho (PB = 7,88%) e sorgo (PB = 8,97%) (ROSTAGNO et al., 2011). A inclusão significativa ( $p < 0,05$ ) da interação entre *dummy* de alimento 1 (DA<sub>1</sub>) e PB no modelo-mãe permitiu inferir que o efeito de PB foi importante para discriminar o farelo de trigo dos demais alimentos.

Em modelos que apresentaram simultaneamente as regressoras PB e ED, observou-se que a PB reduziu a estimativa da EM do milho (CASTILHA et al., 2011) e de rações (NOBLET; PEREZ, 1993) para suínos. Porém, quando a ED não foi incluída nos modelos (NOBLET; PEREZ, 1993), a PB apresentou sinal positivo, correlacionando-se positivamente com a EM. Morgan et al. (1987) também observaram influência positiva da PB na estimativa da EM para alimentos em geral quando a ED não esteve presente. Quando a ED aparece no modelo, o sinal da PB é negativo porque há um ajuste para as perdas de nitrogênio urinário.

Os valores estimados de EM para dados internacionais foram maiores do que para dados de literatura nacional, independentemente do alimento, pois as estimativas do intercepto foram maiores (Tabela 2). Diferenças de fertilidade do solo, clima, manejo de cultura, genética, entre outras, influenciam a qualidade nutricional dos alimentos e, em consequência, no aproveitamento dos nutrientes pelos suínos (NUTRIENT, 2012).

A predição da EM em função de composição química e *dummies*, sem inclusão de ED (modelo EM<sub>2</sub>), apresentou significância para as regressoras EB, FB, EE e DO\*MM (Tabela 1). A substituição dos valores binários na EM<sub>2</sub> originou duas equações, discriminadas pela origem do alimento, uma para milho, sorgo e farelo de trigo nacional (EM<sub>2A</sub> = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE) e outra para milho, sorgo e farelo de trigo internacional (EM<sub>2B</sub> = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63MM) (Tabela 2).

Essas duas equações mostraram que não houve diferença numérica nos coeficientes de regressão associados à EB, FB e EE para milhos, sorgos e farelos de trigo, porém para estimar a EM em dados internacionais, houve influência negativa da MM (Tabela 2). Isso indicou que a estimativa da EM dos alimentos de origem internacional será menor do que a EM de alimentos de origem nacional, quando a ED não está presente no modelo.

Os sinais dessas preditoras foram semelhantes aos sinais observados por Noblet e Perez (1993), quando incluíram a EB nos modelos. Os autores observaram correlações positivas entre EB com EM, e negativas da MM e fibra com EM, sendo que os modelos obtidos apresentaram  $R^2 = 0,85$ .

A utilização do modelo EM<sub>2</sub> pode ser uma alternativa viável porque não há necessidade de realização de experimento com animais. Contudo, a análise de EB demanda o uso de bomba calorimétrica.

O modelo EM<sub>3</sub> deu origem às equações  $EM_{3A} = 3675,39 + 50,02EE$ , para o milho e sorgo nacional,  $EM_{3B} = 3675,39 + 50,02EE - 25,62FB$  (milho e sorgo internacional),  $EM_{3C} = 3675,39 + 50,02EE - 91,23FB$  (farelo de trigo nacional) e  $EM_{3D} = 3675,39 + 50,02EE - 116,85FB$  (farelo de trigo internacional) (Tabela 2).

No ajuste do modelo EM<sub>3</sub>, em que não foram selecionadas as regressoras ED, EB e interações entre EB e ED com as variáveis auxiliares, observou-se novamente que os dados de milho e sorgo podem ser reunidos em banco de dados único, haja vista que houve uma equação de origem nacional e outra de origem internacional. Isso pode ser verificado na Tabela 1, pois a equação-mãe contemplou a interação entre *dummy* de origem e fibra bruta (DO\*FB).

A variável independente de composição química que distinguiu a origem dos milhos e sorgos foi a FB (Tabela 2), que apresentou efeito negativo sobre a EM para dados internacionais, indicando que a estimativa de EM do milho e sorgo internacionais foi menor do que o valor estimado nacional. Esses resultados também foram obtidos para os farelos de trigo, em que a estimativa da EM para dados internacionais foi menor do que para dados nacionais, em razão do menor coeficiente de regressão associado à FB para os farelos de trigo internacionais.

Do mesmo modo, a FB foi o componente que distinguiu os farelos de trigo dos cultivares de milho e sorgo, ou seja, serão obtidas estimativas menores de EM para os farelos de trigo em relação aos cultivares de milho e sorgo, independentemente da origem dos alimentos (Tabela 2). A presença da FB como regressora significativa que discriminou os farelos de trigo dos cultivares de milho e sorgo pode ser decorrente da diferença do valor de FB dos alimentos, cujas médias obtidas na literatura foram de 10,13% (farelos de trigo) e 2,52% (milhos e sorgos). Noblet e Perez (1993) também verificaram influência negativa da fibra e positiva do extrato etéreo em equações de predição da EM de rações para suínos.

No ajuste do modelo EM<sub>4</sub>, em que não foram selecionadas as regressoras ED, EB, FB e interações entre EB, ED e FB com as variáveis auxiliares, observou-se uma distinção entre os farelos de trigo e os milhos e sorgos, caracterizada pela presença da interação entre *dummy* de alimento 1 (DA<sub>1</sub>) e proteína bruta (PB) na equação-mãe (Tabela 1). Da substituição dos valores binários, foram obtidas duas equações independentes de origem, uma para os milhos e sorgos ( $EM_{4A} = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE$ ) e outra para os farelos de trigo ( $EM_{4B} =$

3824,44 - 105,29MM + 55,01EE - 37,26PB) (Tabela 2), indicando que a não inclusão de componente fibroso (FB), com a inclusão de MM, EE e PB não são suficientes para discriminar a origem de alimento na literatura, devido a semelhança na digestibilidade e metabolizabilidade da MM, EE e PB desses alimentos ou pela diferença nos valores de FB entre alimentos de origem distinta.

Do mesmo modo que ocorreu com o ajuste do modelo EM<sub>1</sub>, a PB foi o nutriente que distinguiu os cultivares de milho e sorgo dos farelos de trigo no modelo EM<sub>4</sub>, determinando um efeito negativo sobre a EM dos farelos de trigo, possivelmente em razão da diferença nos valores de PB dos farelos de trigo em relação aos cultivares de milho e sorgo. Se a proteína for de baixa qualidade ou estiver em excesso na ração, há um aumento na carga de nitrogênio (N) do animal, resultando em aumento do gasto energético para a excreção de N, reduzindo a quantidade de energia disponível para o animal (POZZA et al., 2008).

Não houve diferença de origem para os cultivares de milho e sorgo, e farelos de trigo com o ajuste do modelo EM<sub>4</sub>, podendo ser utilizada uma equação única para dados nacionais e internacionais (Tabela 2). Observou-se que para ambos os alimentos, houve efeito negativo de MM em conjunto com o efeito positivo de EE. Isso ocorre devido ao efeito de saponificação da MM com gorduras, que resulta na redução da ED e EM do alimento (POZZA et al., 2008). Esses resultados corroboraram os obtidos por Morgan et al. (1987), que justificaram o efeito negativo de MM na EM de alimentos em geral para suínos em razão da ação diluente da MM sobre a EB.

No ajuste do modelo EM<sub>5</sub>, em que não se utilizou a ED, EB, FB, EE e interações entre ED, EB, FB e EE com as variáveis *dummy*, observou-se que foram originadas três equações independentes de origem, referentes ao milho (EM<sub>5A</sub> = 3982,99 - 79,97MM), sorgo (EM<sub>5B</sub> = 3982,99 - 123,39MM) e farelo de trigo (EM<sub>5C</sub> = 3982,99 - 79,97MM - 44,78PB) (Tabela 2).

Os modelos ajustados para os cultivares de milho e de sorgo apresentaram a MM como variável independente significativa no estágio final do *stepwise*. Os valores estimados de EM dos cultivares de sorgo foram menores do que os cultivares de milho, em razão da menor estimativa do coeficiente de regressão (Tabela 2). A PB foi a regressora que diferenciou a equação do farelo de trigo da equação de predição da EM dos cultivares de milho. Observou-se que a PB exerceu efeito negativo na predição da EM dos farelos de trigo.

Os modelos EM<sub>3</sub>, EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub> apresentaram poucas regressoras de composição química (Tabelas 1 e 2) e por isso são de fácil aplicabilidade, pois as análises laboratoriais são rotineiras. Para o uso desses modelos, não há necessidade de utilização de bomba

calorimétrica e de realização de experimento com animais, o que reduz o custo das pesquisas e o tempo de execução.

Os resultados obtidos utilizando-se do método de reamostragem *bootstrap* (Tabela 3) mostraram que, após o ajuste dos modelos aos dados das 1000 amostras *bootstrap*, a ED apresentou 100% de percentual de significância por regressora (PSR) no modelo EM<sub>1</sub>, ou seja, a ED foi selecionada ( $p < 0,05$ ) em todas as 1000 amostras *bootstrap*, no estágio final do procedimento *stepwise* para a seleção de regressoras. Do mesmo modo, a EB foi altamente significativa nas 1000 amostras no modelo EM<sub>2</sub>, com 95,7% de frequência de seleção. Isso mostrou a alta correlação da ED e EB com a EM, sugerindo a importância de tais regressoras para explicar a energia metabolizável de alimentos energéticos para suínos.

De modo geral, os valores obtidos de PSR das regressoras nos modelos apresentaram com mais de 50% de frequência de seleção e foram considerados satisfatórios (SCALON et al., 1998), à exceção das interações DA<sub>1</sub>\*PB no modelo EM<sub>1</sub> (PSR = 26,8%), DO\*MM e EE no modelo EM<sub>2</sub> (PSR = 28,3 e 46,4%) e DO\*FB no modelo EM<sub>3</sub> (PSR = 45,3%) (Tabela 3).

Nos modelos EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub>, observou-se que o PSR de todas as regressoras foi maior do que 50,0% (Tabela 3). Poucos relatos puderam ser encontrados na literatura científica zootécnica sobre a utilização de procedimentos de simulação para validação de covariáveis de modelos de regressão. No entanto, Scalon et al. (1998) preconizaram o índice mínimo de 50% de frequência de seleção por regressora em amostras *bootstrap* para validar a habilidade preditiva de modelos de regressão linear múltipla com covariáveis relacionadas à saúde de recém nascidos, cujos parâmetros foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e que apareceram no modelo original, selecionadas pelo *stepwise*.

Tabela 3. Percentual de significância por regressora (PSR) e de ocorrência conjunta de regressoras do modelo (POCRM) em 1000 amostras *bootstrap*, e estimativas da média, desvio-padrão e intervalo de confiança percentil *bootstrap* (ICPB) em 500 diferentes amostras *bootstrap*

Modelo	Regressora <sup>1</sup>	PSR (%)	POCRM (%)	Média	Desvio-padrão	ICPB <sub>(95%)</sub>
EM <sub>1</sub>	Intercepto	100	9,4	33,457	78,375	[-102,503; 190,411]
	ED	100		0,959	0,020	[0,918; 0,997]
	DO	63,6		45,328	6,003	[33,413; 57,008]
	DA <sub>1</sub> PB	26,8		-4,666	1,095	[-6,921; -2,687]
EM <sub>2</sub>	Intercepto	100	2,6	2251,989	383,459	[1466,050; 3057,570]
	EB	95,7		0,403	0,089	[0,224; 0,585]
	FB	64,6		-124,709	5,575	[-135,431; -113,973]
	EE	46,4		32,766	12,725	[8,036; 57,944]
	DO*MM	28,3		-49,110	8,383	[-64,392; -32,708]
EM <sub>3</sub>	Intercepto	100	6,4	3710,451	57,042	[3598,450; 3838,160]
	EE	63,0		37,526	13,271	[9,627; 63,860]
	DO*FB	45,3		-21,911	4,939	[-31,290; -12,245]
	DA <sub>1</sub> *FB	51,9		-91,442	4,158	[-99,436; -82,856]
EM <sub>4</sub>	Intercepto	100	23,4	3828,829	64,458	[3694,700; 3946,860]
	MM	85,9		-106,581	27,367	[-163,535; -59,433]
	EE	70,7		44,641	12,544	[21,515; 70,023]
	DA <sub>1</sub> *PB	66,7		-37,076	5,249	[-46,880; -25,665]
EM <sub>5</sub>	Intercepto	100	16,5	3983,698	38,648	[3909,310; 4058,700]
	MM	83,0		-80,770	26,797	[-129,791; -30,207]
	DA <sub>1</sub> *PB	66,9		-44,805	4,966	[-54,676; -35,973]
	DA <sub>2</sub> *MM	51,8		-44,156	17,842	[-81,731; -10,901]

<sup>1</sup> ED: energia digestível; EB: energia bruta; FB: fibra bruta; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; DO: *dummy* de origem; DA<sub>1</sub>: *dummy* de alimento 1; DA<sub>2</sub>: *dummy* de alimento 2.

Tais resultados indicaram que a utilização das regressoras dos modelos EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub> podem ser utilizadas para predição da EM em modelos cujo ajuste não incluiu a ED e EB, pois apresentaram elevada correlação com a EM, sugerindo a possibilidade de não realização de experimento para predição da EM de alimentos energéticos para suínos.

Entretanto, quando se observou o percentual de ocorrência conjunta das regressoras do modelo (POCRM) em 1000 amostras *bootstrap* (Tabela 3), os valores apresentaram-se baixos, com variação entre 2,6% (EM<sub>2</sub>) e 23,4% (EM<sub>4</sub>), indicando uma baixa confiabilidade dos modelos preditos para estimar a EM do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos. Quanto maior o POCRM, maior sua confiabilidade, ou seja, maiores as chances de seleção do

conjunto de regressoras em bancos de dados diferentes, mas originários do banco de dados principal, obtido a partir da literatura científica.

Algumas críticas que têm sido feitas em relação ao uso do procedimento *stepwise* de seleção de regressoras referem-se ao viés dos coeficientes e previsões, e a instabilidade do modelo, em que pequenas mudanças nos dados podem resultar em grandes alterações no conjunto de variáveis independentes incluídas no modelo, nas estimativas dos parâmetros e nas respectivas previsões (HESTERBERG et al., 2008). A construção de amostras *bootstrap* requer a seleção de amostras aleatórias, de mesmo tamanho da amostra original, com reposição de cada amostra, indicando que, em uma determinada amostra *bootstrap*, alguns dados podem ser utilizados mais de uma vez e outros podem ser omitidos (MONTGOMERY et al., 2006). As mudanças nas diferentes amostras *bootstrap* podem ter influenciado no POCRM dos modelos ajustados no presente trabalho.

No ajuste do modelo EM<sub>1</sub>, utilizando-se do *stepwise*, o intercepto, ED, DO e DA<sub>1</sub>PB apareceram juntos em 94 vezes em 1000 amostras *bootstrap* (Tabela 3). Contudo, o número de modelos possíveis de serem ajustados com até cinco regressoras significativas, expresso pela soma dos coeficientes binomiais considerando 27 regressoras (n) e o número de sucessos (p) entre um e cinco, alcançou 101.583 possibilidades, indicando que embora a confiabilidade seja baixa, o critério para avaliação do POCRM é subjetivo, haja vista o elevado número de possibilidades de ajuste de modelos. Vale mencionar que não há informações disponíveis na literatura científica para avaliação de modelos com base no POCRM.

Do mesmo modo, no ajuste do modelo EM<sub>2</sub> por meio do procedimento *stepwise*, o intercepto, EB, FB, EE e a interação DO\*MM apareceram juntos em apenas 26 vezes, num total de 1000 amostras *bootstrap* (Tabela 3). Entretanto, o número de possibilidades de modelos que podem apresentar significância na etapa final do *stepwise* é de 44.551. Pode-se observar que, em relação ao modelo EM<sub>1</sub>, o modelo EM<sub>2</sub> apresentou menores POCRM e quantidade de possibilidades de ajustes de modelos, indicando uma pior confiabilidade.

Ao se ajustar o modelo completo sem ED, EB e interações entre ED e EB com as variáveis auxiliares, observou-se que o POCRM foi de 64 vezes em 1000, num total de 16.663 possibilidades de modelos significativos. O modelo EM<sub>3</sub> apresentou menor confiabilidade do que o modelo EM<sub>1</sub>. O modelo EM<sub>4</sub> foi o maior entre todos os modelos, com índice de 234 ocorrências em 1000 amostras *bootstrap* (Tabela 3). No entanto, deve-se considerar que o número de modelos possíveis de serem ajustados, considerando um total de 15 regressoras e até cinco sucessos (regressoras significativas no final do *stepwise*), foi de 4.943 casos, número

bem menor do que os modelos anteriores. O maior POCRM do modelo EM<sub>4</sub> pode ser esperado, com base nas probabilidades de ocorrência dos modelos.

Para o ajuste do modelo EM<sub>5</sub>, houve 165 ocorrências conjuntas das regressoras MM, DA<sub>1</sub>\*PB e DA<sub>2</sub>\*MM, num total de 1000 amostras *bootstrap* (Tabela 3). O número de possibilidades de modelos ajustados foi de 1.023, o mais baixo entre todos os modelos. Pode-se verificar que a confiabilidade do modelo EM<sub>5</sub> foi menor do que a do EM<sub>4</sub>.

No modelo EM<sub>1</sub> todos os parâmetros foram significativos, a exceção do intercepto. Nos modelos EM<sub>2</sub>, EM<sub>3</sub>, EM<sub>4</sub> e EM<sub>5</sub>, todos os parâmetros estimados foram significativos, pois não foi constatada a ocorrência do valor zero nos intervalos de confiança estimados (Tabela 3). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos com a utilização do método dos mínimos quadrados ordinários (Tabela 1), em que foram ajustados os modelos de regressão linear múltipla de EM em função de composição química e energética.

Observou-se que os parâmetros estimados utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO) estiveram entre o valor mínimo e máximo do intervalo de confiança percentil *bootstrap* (ICPB), a 95% de probabilidade, indicando a não ocorrência de viés nas estimativas dos parâmetros *bootstrap*, ou seja, não houve a necessidade de utilização de intervalos de confiança com correção para o viés. A similaridade entre as estimativas dos parâmetros e dos seus desvios-padrão, obtidos via MMQO e *bootstrap* (Tabelas 1 e 3), evidenciaram que a análise de resíduos procedida anteriormente ao ajuste de mínimos quadrados resultou em retirada de dados discrepantes, indicando que a amostra de dados de composição química e energética obtida na literatura e utilizada neste trabalho foi adequada e consistente, pois atendeu aos pressupostos de normalidade e homogeneidade dos erros para ajuste de modelos de regressão.

### 3.4 Conclusão

Com base no percentual de significância por regressora e independentemente da origem do alimento na literatura, as regressoras dos modelos EM<sub>4A</sub> = 3824,44 – 105,29MM + 45,01EE (milho e sorgo), EM<sub>4B</sub> = 3824,44 – 105,29MM + 45,01EE – 37,26PB (farelo de trigo), EM<sub>5A</sub> = 3982,99 - 79,97MM (milho), EM<sub>5B</sub> = 3982,99 - 123,39MM (sorgo) e EM<sub>5C</sub> = 3982,99 - 79,97MM – 44,78PB (farelo de trigo) são válidas para estimar a EM de alimentos energéticos para suínos.

Para todos os modelos ajustados, o procedimento *stepwise* de seleção de regressoras não pode ser validado com base no percentual de ocorrência conjunta de regressoras do modelo.

### 3.5 Referências

- CASTILHA, L.D.; POZZA, P.C.; KLOSOWSKY, E.S. et al. Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.456-467, 2011.
- DiCICCIO, T.J.; EFRON, B. Bootstrap Confidence Intervals. **Statistical Science**, v.11, n.3, p.189-228, 1996.
- FERREIRA, E.R.A.; FIALHO, E.T.; TEIXEIRA, A.S. et al. Avaliação da composição química e determinação de valores energéticos e equação de predição de alguns alimentos para suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.3, p.514-523, 1997.
- HESTERBERG, T.; CHOI, N.H.; MEIER, L. et al. Least angle and  $l_1$  penalized regression: A review. **Statistics Surveys**, v.2, p.61-93, 2008.
- JUST, A.; JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. Prediction of metabolizable energy for pigs on the basis of crude nutrients in the feeds. **Livestock Production Science**, v.11, n.1, p.105-128, 1984.
- LEKULE, F.P., JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. et al. Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content. **Animal Feed Science and Technology**, v.28, p.91-101, 1990.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2006. 612p.
- MORGAN, C.A.; WHITTEMORE, C.T.; PHILLIPS, P. et al. The prediction of the energy value of compounded pig foods from chemical analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.17, n.2, p.81-107, 1987.
- NOBLET, J.; PEREZ, J.M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, v.71, n.12, p.3389-3398, 1993.
- NUTRIENT requirements of swine. 11<sup>th</sup> ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2012. 400p.
- PELIZZERI, R.N.; POZZA, P.C.; OLIVEIRA, N.T.E. et al. Avaliação de modelos de predição da energia metabolizável do milho para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.460-468, 2013.
- POZZA, P.C.; GOMES, P.C.; DONZELE, J.L. et al. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.30, n.1, p.33-40, 2008.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2011. 252p.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, R. Conceitos inovadores aplicáveis à nutrição de não ruminantes. **Caderno Técnico da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, v.22, p.125-146, 1998.

SCALON, J.D.; FREIRE, S.M.; CUNHA, T.A. Validation of models for predicting the use of health technologies. **Medical Decision Making**, v.18, n.3, p.311-319, 1998.

SAS Institute Inc. 2008. **SAS/STAT<sup>®</sup> 9.2 User's guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc.

#### 4 DETERMINAÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS ENERGÉTICOS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E VALIDAÇÃO CRUZADA DE MODELOS DE REGRESSÃO

##### Resumo

O presente trabalho teve por objetivo a determinação dos valores de energia metabolizável (EM) de seis cultivares de milho, dois cultivares de sorgo e dois farelos de trigo para suínos em crescimento e validar modelos de predição da EM estimados a partir de dados de composição química e energética destes alimentos disponibilizados na literatura nacional e internacional, em amostra contendo valores de EM observados em experimento de campo e em 200 amostras *bootstrap*, obtidas a partir de pares de valores observados e preditos de EM. Quarenta e quatro suínos mestiços, machos, castrados, com peso médio inicial de  $24,3 \pm 1,12$  kg, foram utilizados em delineamento experimental de blocos ao acaso, com 10 tratamentos e uma ração referência, quatro repetições e um suíno por unidade experimental. A ração referência foi substituída em 30%, para o milho e sorgo, e em 20% para o farelo de trigo. O método de coleta total de fezes e urina foi adotado durante o período experimental. O valor médio de EM ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ) dos seis cultivares de milho (3.216) e dos dois cultivares de sorgo (3.387) ficou 3,71% abaixo e 2,17% acima dos respectivos valores informados em tabela Brasileira de composição de alimentos para suínos (ROSTAGNO et al., 2011). O valor médio de coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB) do farelo de trigo (69,77%) foi menor ( $p < 0,05$ ) do que a média de CMEB obtida para os cultivares de milho (83,19%) e sorgo (85,76%). Os valores de EM dos milhos, sorgos e farelos de trigo para suínos variam de 3.161 a 3.275, de 3.317 a 3.457 e de 2.767 a 2.842  $\text{kcal kg}^{-1}$  de matéria natural, respectivamente. Na etapa de validação dos modelos, foram ajustados modelos de regressão linear simples dos valores observados em função dos preditos de EM, utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários, para teste da hipótese de nulidade conjunta sobre os parâmetros da regressão linear simples ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ) em amostra única e em 200 amostras *bootstrap*, nas quais se verificou o percentual de validação cruzada (PVC) de cada modelo. O modelo  $EM_1 = 2,547 + 0,969ED$  estimou de modo preciso a EM dos cultivares de milho e sorgo nacionais para suínos na amostra experimental e em 68% dos testes de validação *bootstrap*. Os outros 14 modelos de predição apresentaram baixos valores de PVC, que variaram de 0 a 29,5%. O modelo  $EM_1 = 2,547 + 0,969ED$  é adequado para estimar a EM dos cultivares nacionais de milho e sorgo e pode ser utilizado como ferramenta para

formulação de rações para suínos em crescimento.

**Palavras-chave:** *bootstrap*, coeficiente de metabolizabilidade, coleta total de excretas, composição química, mínimos quadrados ordinários, suinocultura.

### **Abstract**

The present study aimed to determine the metabolizable energy (ME) values of six maize cultivars, two sorghum cultivars and two wheat brans for growing pigs and validating predictive models of ME estimated from data of chemical and energetic composition of these foods available in the national and international literature, in sample containing values of ME observed in field experiment and in 200 bootstrap samples, obtained from pairs of values of ME observed and predicted. Forty-four crossbred pigs, male, castrated, with an average initial weight of  $24.3 \pm 1.12$  kg, were used in a randomized block experimental design, with 10 treatments and a reference ratio, four replications and one pig per experimental unit. The reference diet was replaced by 30%, for maize and sorghum, and in 20% for wheat bran. The method of total collection of feces and urine was used during the trial period. The average ME value ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ) of the six maize cultivars (3216) and the two sorghum cultivars (3387) was 3.71% lower and 2.17% higher than the respective amounts reported in Brazilian table of food composition for pigs (ROSTAGNO et al., 2011). The average value of metabolizability coefficient of gross energy (MCGE) of wheat bran (69.77%) was smaller than the average of MCGE obtained for maize (83.19%) and sorghum cultivars (85.76%). The ME values of maize, sorghum and wheat bran for pigs range from 3161 to 3275, from 3317 to 3457 and from 2767 to 2842  $\text{kcal kg}^{-1}$  of natural matter, respectively. In the models validation phase, were adjusted simple linear regression models of the observed values as a function of the predicted ME, using the method of ordinary minimum squares, to test the joint null hypothesis on the simple linear regression parameters ( $H_0: \beta_0 = 0$  and  $\beta_1 = 1$ ) in a single sample and in 200 bootstrap samples, in which it was verified the percentage of cross validation (PCV) of each model. The model  $ME_1 = 2.547 + 0.969DE$  accurately estimated the ME of national maize and sorghum cultivars for pigs in the experimental sample and in 68% of the bootstrap validation tests. The other 14 predictive models had low predictive values of PCV, which ranged from 0 to 29.5%. The model  $ME_1 = 2.547 + 0.969DE$  is appropriate to estimate the ME of national maize and sorghum cultivars and can be used as a tool for formulating rations

for growing pigs.

**Keywords:** *bootstrap*, chemical composition, metabolizability coefficient, ordinary least square, swine, total excreta collection.

#### 4.1 Introdução

Dentre os componentes de custos na atividade suinícola, a alimentação representa 65% dos custos totais em granjas produtoras de leitões, de recria e de ciclo completo. Em épocas de entressafra de grãos, esse valor pode atingir de 70 a 75%. Nesse contexto, a possibilidade de obter lucros com a suinocultura depende do planejamento adequado do plano nutricional e do fornecimento de dietas balanceadas que atendam às exigências dos animais, resultando em máxima produtividade (ALBUQUERQUE et al., 2011).

A busca constante para formular rações mais eficientes e economicamente viáveis tem aumentado a necessidade de pesquisas relacionadas à composição química e energética de alimentos, a exigências nutricionais e à determinação da energia metabolizável (EM) dos alimentos para suínos.

A EM é a forma normalmente utilizada para formulação de rações de suínos no Brasil e é obtida pela diferença entre a energia bruta (EB) do alimento, produzida pela oxidação total da matéria orgânica do alimento e medida em bomba calorimétrica, e a EB das fezes e urina, não considerando as perdas de EB dos gases oriundos da digestão, por serem valores muito baixos (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

A determinação da EM é importante na nutrição de suínos porque as exigências de proteína, aminoácidos e de outros nutrientes são expressas em função dos níveis de EM das rações, os quais interferem no consumo e, em consequência, no desempenho dos suínos (SAKOMURA; SILVA, 1998).

Na indústria, uma prática comum e que têm servido como referência para a formulação de rações para suínos é o uso de tabelas de composição de alimentos (ROSTAGNO et al., 2011; NUTRIENT, 2012). Porém, para que se possa obter maior precisão nas formulações, esses dados devem ser atualizados, pois fatores climáticos, de cultivo e armazenamento e de variedade genética alteram a composição dos alimentos, modificando seu valor nutricional, a digestibilidade e a utilização dos nutrientes pelo animal (MAZZUCO et al., 2002). Segundo Zonta et al. (2006), os valores nutricionais variam devido

a diferenças de origem, proporção, tipo e processamento dos alimentos, sendo necessário cautela no uso das tabelas, pois essas variações não são consideradas.

Na literatura nacional, a variabilidade nos valores médios de EM de alimentos energéticos, expressos na matéria seca, tem sido constatada. Os níveis de EM encontrados para o milho foram de 3.765 (EMBRAPA, 1991), 3.797 (FERREIRA et al., 1997) e 3.818 kcal kg<sup>-1</sup> (ROSTAGNO et al., 2011). Para o sorgo de baixo tanino, os autores mencionaram 4.220, 3.616 e 3.771 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o farelo de trigo, as médias observadas foram de 2.801 (EMBRAPA, 1991) e 2.704 kcal kg<sup>-1</sup> (ROSTAGNO et al., 2011).

De outro modo, o uso de equações para predição da EM de alimentos energéticos para suínos baseadas na composição proximal dos alimentos vem sendo estudado em razão da dificuldade de realização dos métodos convencionais para determinação da EM dos alimentos, os quais necessitam de experimentos com animais *in vivo*, e demandam infraestrutura, tempo e recursos financeiros (PELIZZERI et al., 2013).

A predição da EM de alimentos energéticos para suínos por meio de modelos que têm como preditoras algumas variáveis de composição química tem sido uma opção difundida, pois apresenta vantagens como rapidez e baixo custo (PELIZZERI et al., 2013), além de considerar as características do lote de alimento disponível para o preparo da ração.

Todavia, existem alguns pontos negativos na utilização de equações de predição, dentre eles o fato de que todas as proteínas, carboidratos e gorduras são considerados igualmente digestíveis, a dificuldade de comparação entre as equações, uma vez que a digestibilidade dos nutrientes é obtida com dietas e condições fisiológicas distintas, além da qualidade da mensuração ser totalmente dependente da composição química do alimento, sendo esse fator bastante variável (SOUZA, 2009).

Embora vários pesquisadores (LEKULE et al., 1990; NOBLET; PEREZ, 1993; FERREIRA et al., 1997) tenham estimado equações de predição da EM de alimentos para suínos a partir de sua composição proximal, têm sido escassos e recentes os trabalhos que relatam sobre a validação de tais equações em novas amostras de dados (CASTILHA et al., 2011; PELIZZERI et al., 2013). A validação permite que as equações possam ser utilizadas na indústria como uma ferramenta viável e de maior confiabilidade.

O método dos mínimos quadrados ordinários tem sido utilizado comumente na avaliação de modelos de predição da EM, em dados de amostras independentes, em que se ajusta um modelo linear de 1º grau dos valores observados em função dos estimados de EM, ou o inverso (PELIZZERI et al., 2013). Porém, o teste de validação das equações é aplicado

apenas uma vez, não permitindo uma avaliação consistente e confiável da habilidade preditiva dos modelos.

Um método que pode simular situações reais e ser utilizado repetidas vezes em várias amostras, para testar o poder de validação e a confiabilidade das equações em conjuntos de dados independentes, é o de simulação *bootstrap*. Esse método consiste em um conjunto de procedimentos de reamostragem a partir do banco de dados original, para obtenção de quantidade expressiva de estimativas dos parâmetros da regressão linear de 1º grau ( $\beta_0$  e  $\beta_1$ ), permitindo a aplicação de teste de hipótese em cada amostra *bootstrap* gerada (EFRON, 1979). O *bootstrap* pode ser usado como um complemento na argumentação das conclusões obtidas por meio de outros procedimentos (DAVINSON; HINKLEY, 1997).

Em razão da variação nos níveis de energia metabolizável (EM) observada nos trabalhos e da possibilidade de aplicação de inúmeros testes para avaliação do poder preditivo de modelos de predição da EM, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de determinar a EM de seis cultivares de milho, dois cultivares de sorgo e dois farelos de trigo para suínos em crescimento e avaliar a validação de equações estimadas de EM desses alimentos a partir de composição química e energética destes alimentos obtidos via meta-análise, em amostra experimental com valores observados de EM e em 200 amostras *bootstrap* de pares de valores observados e preditos de EM.

## 4.2 Materiais e métodos

O ensaio de metabolismo foi conduzido na sala de metabolismo de suínos da fazenda experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon, PR (24°33'40"S; 54°04'12"W; 392 m a.n.m.).

Foram utilizados 44 suínos mestiços (Landrace x Large White x Piétrain), machos castrados, com peso médio inicial de  $24,3 \pm 1,12$  kg, em delineamento experimental de blocos ao acaso. Os tratamentos foram constituídos por 10 alimentos (seis cultivares de milho, dois cultivares de sorgo e dois farelos de trigo) e a ração referência. Os blocos foram constituídos no tempo em razão da disponibilidade total de 11 gaiolas de metabolismo, sendo quatro repetições e um suíno por unidade experimental, representada por gaiolas de metabolismo, semelhantes às descritas por Pekas (1968).

A temperatura ambiente foi registrada diariamente, às 7h30min e 17h30min, por meio de termômetro. No decorrer do experimento, os valores registrados variaram de 13,8 a 30°C.

Os cultivares de milho e de sorgo substituíram em 30% a ração referência, enquanto o farelo de trigo substituiu em 20% (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). A ração referência (Tabela 4), à base de milho e farelo de soja, foi formulada considerando as composições químicas dos ingredientes e as exigências nutricionais de suínos de alto potencial genético, com desempenho médio, em fase inicial (15 a 30 kg de peso vivo) apresentadas por Rostagno et al. (2011), à exceção do nível de proteína bruta.

Tabela 4. Composição centesimal da ração referência, na matéria natural.

Ingrediente	%
Milho moído	60,00
Farelo de soja	35,76
Fosfato bicálcico	1,44
Calcário	0,83
Óleo de soja	1,11
Bicarbonato de sódio	0,33
Sal	0,23
L-lisina	0,10
DL-metionina	0,02
Suplemento mineral vitamínico <sup>(1)</sup>	0,15
Antioxidante <sup>(2)</sup>	0,01
Promotor de crescimento <sup>(3)</sup>	0,02
<b>Composição calculada</b>	
Energia metabolizável (kcal kg <sup>-1</sup> de ração)	3.230
Proteína bruta (%)	21,00
Cálcio (%)	0,77
Fósforo disponível (%)	0,38
Sódio (%)	0,20
Lisina (%)	1,09
Metionina + cistina (%)	0,61
Triptofano (%)	0,23
Treonina (%)	0,71

<sup>(1)</sup> Suplementação de vitaminas, minerais e aditivos por kg de ração: vit. A, 10.000.000 UI; vit. D<sub>3</sub>, 2.000.000 UI; vit. E, 60.000 UI; vit. B<sub>1</sub>, 1,0g; vit. B<sub>2</sub>, 5,0g; vit. B<sub>6</sub>, 2,0g; vit. B<sub>12</sub>, 30.000mcg; ácido nicotínico, 30.000mcg; ácido pantotênico, 15.000mcg; vit. K<sub>3</sub>, 1.000mg; ácido fólico, 1.500mg; biotina, 250mg; selênio, 350mg; e veículo q.s.p., 1.000g; ferro, 100g; cobre, 10g; cobalto, 1g; manganês, 50g; zinco, 100g; iodo, 1g; e veículo q.s.p. p/ 1000g, <sup>(2)</sup> BHT (hidroxitolueno butilado), <sup>(3)</sup> Tilosina 25%.

O período experimental teve duração de 12 dias, sendo sete dias de adaptação dos animais às gaiolas de metabolismo e às rações, e cinco dias de coleta de fezes e urina.

No início do período de adaptação, os suínos receberam uma quantidade fixa e crescente de ração umedecida, na proporção água:ração de 0,3:1, para estimular o consumo e evitar perdas de ração. As rações umedecidas foram ofertadas às 7h e às 18h. A água foi

fornecida à vontade, após a ingestão da ração. Nos últimos arraçoamentos do período de adaptação, a quantidade de ração fornecida por animal e as sobras de ração no comedouro foram registradas, para cálculo do consumo de ração por suíno.

Após a última oferta de ração do período de adaptação, os suínos foram pesados individualmente para cálculo do respectivo peso metabólico ( $\text{kg}^{0,75}$ ). A partir dessas mensurações, foi calculado o valor da constante K para cada suíno, dada pela razão entre o consumo médio de ração por suíno no período de adaptação e o seu peso metabólico. Em cada bloco, foi utilizado o menor valor de K (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007), que multiplicada pelos pesos metabólicos determinou a quantidade fixa de ração a ser ofertada por suíno no período de coleta de fezes e urina.

Após a definição do consumo, a ração umedecida foi fornecida duas vezes ao dia, nos mesmos horários relatados no período de adaptação. A água foi fornecida à vontade, após a ingestão da ração.

Tanto no período de adaptação quanto no período de coleta total de fezes e urina, cada suíno recebeu sequencialmente, ração e água, em comedouro de chapa galvanizada, localizado na parte frontal da gaiola de metabolismo.

O início e o final do período de coleta de fezes foram determinados com o aparecimento de fezes marcadas, a partir da utilização de dois gramas de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) às rações. O método de coleta total de fezes foi utilizado. As fezes foram coletadas diariamente, às 7h30min e 18h30min, identificadas individualmente, pesadas, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em congelador a  $-18^\circ\text{C}$ . Ao final desse período, foram descongeladas, homogeneizadas e retiradas amostras individuais com cerca de 300g para pré-secagem em estufa de ventilação forçada ( $55^\circ\text{C}/72\text{h}$ ). A seguir, foram moídas e armazenadas para análises posteriores de matéria seca e energia bruta.

As urinas foram coletadas separadamente, por repetição, em baldes plásticos com 20 ml de HCl 1:1, para evitar perdas de nitrogênio e proliferação bacteriana. Em seguida, foram filtradas e os volumes mensurados com auxílio de proveta graduada. Em cada coleta, 10% do volume total foram retirados e transferidos para frascos de vidro, que foram armazenados em geladeira, a aproximadamente  $3^\circ\text{C}$ , para análises posteriores de energia bruta.

Análises bromatológicas de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), matéria mineral (MM), cálcio (Ca) e fósforo (P) dos dez alimentos e da ração referência foram realizadas conforme metodologias descritas por Silva e Queiroz (2005).

Análises de MS das fezes (SILVA; QUEIROZ, 2005) e de EB das fezes e urinas, determinada utilizando bomba calorimétrica isoperibólica Parr®, modelo 6200, foram realizadas após os períodos experimentais, para posterior cálculo de energia digestível e metabolizável da ração referência e dos alimentos.

Para cada alimento, as características avaliadas foram: coeficiente de digestibilidade da energia bruta (CDEB), energia digestível (ED), coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), energia metabolizável aparente (EMA) e relação energia metabolizável:energia digestível (EM:ED).

Os valores de ED e EMA dos alimentos foram obtidos utilizando-se as fórmulas propostas por Matterson et al. (1965), descritas a seguir:  $ED_{RR} = (EB_{INGERIDA} - EB_{EXCRETADA\ FEZES})/MS_{INGERIDA}$ ,  $ED_{ALIMENTO} = ED_{RR} + (ED_{ALIM.\ TESTE} - ED_{RR})/PSA_{RR}$ ,  $EMA_{RR} = (EB_{INGERIDA} - EB_{EXCRETADA\ FEZES} - EB_{EXCRETADA\ URINA})/MS_{INGERIDA}$  e  $EMA_{ALIMENTO} = EMA_{RR} + (EMA_{ALIM.\ TESTE} - EMA_{RR})/PSA_{RR}$ , em que  $PSA_{RR}$ : percentual de substituição do alimento na ração referência.

Os efeitos dos alimentos sobre o CDEB e o CMEB foram verificados por meio de análise de variância. Os valores médios dos alimentos foram agrupados pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância.

Na etapa de validação, valores de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo, determinados em laboratório, e de energia digestível, estimada em experimento de campo com suínos em crescimento, foram utilizados em 15 modelos de regressão estimados a partir da literatura científica nacional e internacional, via meta-análise, para obtenção dos valores de energia metabolizável predita (EMP). Os valores considerados de energia metabolizável observada (EMO) para análise foram os obtidos no experimento. Em consequência, foram elaborados 15 bancos de dados com pares de respectivos valores de energia metabolizável observada e predita, com base na matéria seca.

Antes de efetuar a predição dos valores observados de energia metabolizável (EM) em função dos valores preditos de EM, foi procedida a análise dos resíduos padronizados de Student (*RStudent*), a fim de diagnosticar observações influentes ou *outliers* que pudessem interferir nas estimativas dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  da regressão. Os valores preditos ( $\hat{Y}$ ) de cada modelo de 1º grau, os valores de resíduo ordinário ( $\epsilon_i$ ) e os valores *RStudent* ( $r_i$ ) foram gerados por utilização de uma barra (/) após o comando MODEL e com inclusão das opções “p” (predito) e “r” (resíduo *studentizado*) do procedimento REG (SAS, 2008).

O critério adotado para identificação de *outliers* foi baseado na curva de distribuição normal, ou seja, valores de *RStudent* maiores que dois desvios-padrão, em valor absoluto, foram considerados como influentes e retirados do respectivo banco de dados.

O ajuste de modelos de regressão linear de 1º grau ( $y_i = b_0 + b_1x_i + \varepsilon_i$ ) dos valores de energia metabolizável observada em experimento realizado com suínos em crescimento (EMO) sobre os valores de energia metabolizável predita (EMP) pelos modelos foi realizado utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários, em que  $y = \text{EMO}$  e  $x = \text{EMP}$ .

A significância das estimativas do parâmetro  $\beta_1$  foi verificada pelo teste “t” parcial. A hipótese de nulidade ( $H_0$ ) testada foi  $H_0: \beta_1 = 0$  e a hipótese alternativa bilateral ( $H_a: \beta_1 \neq 0$ ). A significância do intercepto não foi testada nas análises.

A ausência de significância para o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) dos modelos de 1º grau indicou a inexistência de relação linear entre EMO e EMP, sugerindo a falta de influência dos valores de EMP para explicar a variação nos valores de EMO. Nesse caso, a validação não foi constatada.

A validação dos modelos de 1º grau e, em consequência, a validação das equações de regressão, estimadas a partir de valores energéticos e de composição química do milho, sorgo e farelo de trigo, disponíveis em artigos científicos da literatura nacional e internacional, foi constatada quando foi aceita a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) conjunta para os parâmetros da regressão linear, em que  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$  versus  $H_a: \beta_0 \neq 0$  e  $\beta_1 \neq 1$ , ao se aplicar o teste F (MONTGOMERY et al., 2006), situação em que haverá semelhança entre os valores energéticos preditos ( $\hat{Y}$ ) e observados ( $Y$ ), indicando que os valores de resíduo ( $\varepsilon_i = Y - \hat{Y}$ ) da análise de regressão foram próximos, ou seja, as equações de regressão estimadas na etapa de predição podem ser usadas como ferramenta para gerar valores estimados de EM.

Com o intuito de verificar o percentual de validação cruzada dos modelos estimados a partir de dados da literatura científica em relação ao total de amostras realizadas, os respectivos pares de dados de valores observados no experimento de campo e preditos pelos modelos foram replicados utilizando-se o método de reamostragem *bootstrap* não paramétrico, gerando 200 amostras *bootstrap* de mesmo tamanho que o banco de dados original, com reposição, selecionando os valores de forma aleatória (DiCICCIO; EFRON, 1996).

Em todas as 200 amostras *bootstrap* de valores observados e preditos foram ajustados diretamente um modelo de regressão linear de 1º grau ( $y_i = b_0 + b_1x_i + \varepsilon_i$ ) dos valores observados de energia metabolizável observada (EMO) em função dos respectivos valores de

energia metabolizável predita (EMP), utilizando-se do método dos mínimos quadrados ordinários, em que  $y = \text{EMO}$  e  $x = \text{EMP}$ .

De mesmo modo para o teste de validação única, foram ajustados modelos de regressão linear de 1º grau de valores de EMO em função de EMP, em cada amostra *bootstrap* gerada, correspondendo a duzentas estimativas de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ . Na sequência, foi aplicado o teste F (MONTGOMERY et al., 2006) em cada amostra *bootstrap*, para teste da hipótese de nulidade conjunta  $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ , correspondendo a aplicação de 200 testes de hipótese.

A partir dos valores de probabilidade de significância dos 200 testes F de validação, foi calculada a porcentagem de validação de cada modelo estimado por meio da seguinte fórmula: % de Validação  $_{\text{BOOT}} = (\text{número de validações ou número de resultados de probabilidade } (p\text{-value}) \text{ maior do que } 0,05/200) \times 100$ .

### 4.3 Resultados e discussão

A matéria seca (MS) dos cultivares de milho apresentou valores de 87,43 a 89,31% (Tabela 5), estando de acordo com Rostagno et al. (2011), que obtiveram valores entre 87,70 e 89,30% para a matéria seca do milho em grão, e com a recomendação de 10 a 14% de umidade da ANFAR (1985), para evitar a fermentação e proliferação de fungos, que afetam a qualidade da ração e dos grãos. Esses resultados indicaram que os alimentos utilizados no experimento apresentaram teores de umidade que permitiram a formulação das rações experimentais sem perdas na densidade de nutrientes.

Tabela 5. Composição química (%) dos alimentos avaliados, na matéria natural<sup>(1)</sup>.

Alimento	MS	PB	FB	FDA	FDN	EE	MM	Ca	P
Milho 1	89,31	7,99	1,87	2,40	9,40	4,00	1,15	0,01	0,22
Milho 2	88,79	8,17	1,84	2,32	9,05	3,70	1,10	0,02	0,21
Milho 3	87,43	7,24	1,31	1,82	7,84	4,28	1,08	0,01	0,52
Milho 4	89,00	7,00	1,66	2,72	8,91	3,82	0,91	0,01	0,18
Milho 5	88,99	8,82	1,56	2,16	8,83	3,51	1,01	0,01	0,22
Milho 6	87,76	7,12	1,50	2,74	8,30	3,55	1,27	0,01	0,31
CV (%)	0,86	9,33	13,11	14,79	8,44	7,67	11,27	34,99	45,87
Sorgo 1	89,36	10,28	1,83	2,14	9,11	1,97	1,06	0,03	0,17
Sorgo 2	89,83	10,41	1,95	4,74	10,07	2,53	0,95	0,02	0,15
F. trigo 1	89,82	17,55	7,88	8,20	32,27	3,00	5,06	0,11	1,09
F. trigo 2	89,68	17,72	8,32	10,65	33,96	3,00	5,08	0,11	1,12

<sup>(1)</sup> CV: coeficiente de variação; F. trigo: farelo de trigo; MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FB: fibra bruta; FDA: fibra em detergente ácido; FDN: fibra em detergente neutro; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; Ca: cálcio; P: fósforo;

Os nutrientes que apresentaram maior coeficiente de variação (CV) entre os seis cultivares de milho foram o fósforo (45,87%) e o cálcio (34,99%). Esses resultados corroboram parcialmente com os obtidos por Pelizzeri et al. (2013), que verificaram a maior instabilidade para o teor de cálcio (CV = 62,5%) e de fibra em detergente ácido (CV = 47,18%), em dados coletados na literatura científica nacional e internacional, no período de 1985 a 2009, cujos valores foram expressos na matéria seca. A elevada variação que ocorreu nas amostras dos macrominerais mostrou que os formuladores de ração devem ter atenção nas determinações laboratoriais de cada lote de milho, pois a variabilidade nos teores de fósforo e cálcio pode ocorrer em razão de diferentes ambientes de cultivo.

Apesar da baixa magnitude desses nutrientes, o ajuste de seus níveis nas rações deve ser preciso para que o animal tenha suas exigências nutricionais atendidas e consiga maximizar seu desempenho. Além do problema nutricional, o desbalanceamento de fósforo nas rações pode aumentar a eliminação de resíduos poluidores no ambiente de criação.

Os valores de proteína bruta (PB) dos cultivares de milho variaram de 7,00 a 8,82% (Tabela 5) e foram semelhantes aos encontrados por Rostagno et al. (2011), que dentre diferentes híbridos de milho encontraram um mínimo de 7,29 e máximo de 8,48%. Porém, o valor mínimo de 7,00% encontrado no presente trabalho foi menor do que os mínimos de 8,13% (CASTILHA et al., 2011) e 8,17% de PB (CARVALHO et al., 2004). A diferença de 1,82% de PB entre os milhos com maior (8,82%) e menor (7,00%) valor proteico não refletiu em alterações importantes nos respectivos valores de energia bruta, digestível e

metabolizável, indicando que o aproveitamento da proteína dos milhos pelos suínos foi semelhante, não resultando em perdas metabólicas significativas.

Os valores de PB, na matéria natural, dos dois cultivares de sorgo foram de 10,28 e 10,41% (Tabela 5), maiores do que 8,98 (ROSTAGNO et al., 2011) e 9,71% (EMBRAPA, 1991). No entanto, Antunes et al. (2008) encontraram valores de 12,71, 13,05 e 13,40%, e Antunes et al. (2007) encontraram variação de 8,77 a 15,92% de PB nos grãos de 33 genótipos de sorgo com diferentes texturas do endosperma, na matéria natural. Para os dois farelos de trigo, os valores de PB foram de 17,55% e 17,42%, teores maiores do que 15,8% (FIALHO et al., 1995), 16,76% (EMBRAPA, 1991) e 13,01 e 13,81% (NUNES et al., 2008).

A variação de valores proteicos do sorgo e farelo de trigo observada na literatura sugere que a utilização de valores tabelados, em matrizes de programas de formulação de rações, pode ocasionar o desbalanceamento da dieta. O modo e a frequência das adubações nitrogenadas podem resultar em alterações no teor proteico dos grãos, devido ao aumento da zeína, uma proteína de baixo valor nutricional, e ao acúmulo de nitrogênio não proteico, como amônio e nitrato (VASCONCELOS, 1989).

O teor fibroso dos milhos variou de 1,82 a 2,74% (FDA), 7,84 a 9,40% (FDN) e 1,31 a 1,87% (FB) (Tabela 5). Os valores de FDA e FDN foram menores do que 2,80% de FDA e 9,6% de FDN (NUTRIENT, 2012) e de 3,8% de FDA e 9,8% de FDN (SANTOS et al., 2005) Castilha et al. (2011) obtiveram 4,42 a 5,35% de FDA e 12,39 a 16,70% de FDN, valores muito elevados em relação aos obtidos neste trabalho. O valor médio de FB dos milhos (1,62%) esteve próximo ao valor obtido por Rostagno et al. (2011), de 1,73%, e por Nunes et al. (2008), com 1,93% e 1,87% de FB.

Os teores de FDN dos dois sorgos foram de 9,11 e 10,07%, valores similares a 10,03% obtido por Rostagno et al. (2011). A FDA variou de forma discrepante (2,14 e 4,74%), apesar de serem mensurados apenas dois valores de análise, resultando em elevado coeficiente de variação (CV = 53,44%) (Tabela 5). Pelizzeri et al. (2013) também obtiveram o maior CV para a FDA em 74 amostras de milho coletadas em dados de literatura. Os elevados graus de instabilidade no conteúdo fibroso evidenciaram a importância da realização de análises da fibra para ajuste do valor energético das rações em situações práticas, haja vista o efeito negativo da fibra no aproveitamento da energia do alimento (NOBLET; PEREZ, 1993).

Os valores de fibra bruta do sorgo obtidos neste trabalho foram muito próximos (1,83% e 1,85%), e corroboram com os obtidos por Antunes et al. (2008), que obtiveram 1,55, 2,08 e 2,35%. Porém estes valores estiveram abaixo de 2,44 e 2,27% (FIALHO et al., 1998) e 2,92 e 2,7% (EMBRAPA, 1991).

Os teores de FDA dos farelos de trigo foram de 8,20 e 10,65% e os níveis de FDN variaram de 32,27 e 33,96% (Tabela 5). Estes valores estiveram bem abaixo dos valores encontrados por Rostagno et al. (2011), de 13,64% de FDA e 40,1% de FDN, e por Nunes et al. (2008), com valores de 11,69 e 11,65% (FDA) e 40,49 e 40,45% (FDN).

Os valores de fibra bruta do farelo de trigo encontrados por Rostagno et al. (2011) e Fialho et al. (1995), de 9,5 e 9,6%, respectivamente, estão acima aos obtidos neste trabalho (7,88 e 8,32%), porém o valor de 8,12% (EMBRAPA, 1991) é próximo aos valores obtidos.

A presença de maiores teores de fibra no alimento pode interferir no teor energético da dieta, tornando os nutrientes inacessíveis e impedindo o acesso das enzimas necessárias à sua degradação, reduzindo o aproveitamento energético dos nutrientes (BORGES et al., 2003).

O maior teor fibroso no farelo de trigo é uma das características que o diferencia dos demais alimentos energéticos, que resulta em menor valor de energia metabolizável em relação aos milhos e sorgos (Tabela 6). Segundo Noblet e Perez (1993), a FB pode reduzir a digestão de outros nutrientes da dieta aumentando a secreção endógena, tanto de proteína quanto de gordura, associada ao aumento da massa microbiana. Além disso, a fermentação da fibra produz ácidos graxos voláteis, cuja eficiência metabólica é menor.

Os valores de extrato etéreo (EE) dos milhos variaram de 3,51 a 4,28% (Tabela 5) e foram similares aos observados por Veloso et al. (2005) para o milho (3,92%) e o milho expandido (4,27%). Castilha et al. (2011) encontraram 0,61 a 2,33%, mostrando-se inferiores aos obtidos no presente trabalho. Carvalho et al. (2004) obtiveram o valor mínimo de 4,39% de EE para o milho, estando acima dos obtidos neste trabalho. O EE dos sorgos apresentaram uma variação elevada ( $CV = 17,60\%$ ) e o valor de 1,97% foi bem abaixo dos obtidos por Rostagno et al. (2011), de 2,35 e 2,96%, e EMBRAPA (1991), de 2,76% de EE.

Ambos os farelos apresentaram 3,00% de EE (Tabela 5), valores semelhantes a 3,15% (EMBRAPA, 1991), mas inferiores a 3,5% (ROSTAGNO et al., 2011) e 3,97 e 3,78% de EE, encontrados por Nunes et al. (2008).

Em geral, a quantidade de energia liberada pelo metabolismo de gorduras e óleos ( $9,4 \text{ kcal kg}^{-1}$  de EB) é 2,25 vezes maior que a quantidade de energia liberada pelo metabolismo de carboidratos. Lima (2001) relatou que milhos com maiores teores de óleo apresentam maior valor energético, podendo reduzir o custo de produção de suínos e aves. No entanto, apesar dos sorgos terem apresentado menores teores de EE em relação aos milhos, os valores de EB dos sorgos foram maiores do que os valores energéticos observados para os milhos (Tabela 5).

Condições inadequadas de temperatura e umidade no armazenamento e a atividade fúngica podem reduzir o conteúdo de óleo dos grãos de milho, diminuindo em 5 a 25% o seu valor de energia metabolizável (KRABBE et al., 1995).

Os valores de MM das amostras de milho variaram de 0,91 a 1,27% (Tabela 5) e foram semelhantes aos descritos por Rostagno et al. (2011) e Carvalho et al. (2004), que obtiveram uma variação de 1,20 a 1,33%. Os valores de Ca apresentaram variação de 0,01 a 0,02% e o fósforo total variou de 0,18 a 0,52%. O valor de 0,52% foi muito discrepante em relação aos demais. A alta variação nos valores relativos de fósforo não refletiu no metabolismo do animal, pois o fósforo disponível é que indicará o que será aproveitado pelo animal. O fósforo não aproveitado pelo animal ocorre pela formação de fitatos, que correspondem de 60 a 97% do fósforo total e atuam como reserva do mesmo (ROSTAGNO et al., 2011).

Os valores de MM dos farelos de trigo foram muito próximos (5,06 e 5,08%) (Tabela 5) e estiveram acima de 4,7% (ROSTAGNO et al., 2011) e 4,57% de MM (EMBRAPA, 1991). Os valores de MM dos sorgos (0,95 e 1,06%) estiveram bem abaixo dos valores obtidos por Rostagno et al. (2011), Fialho et al. (1995) e EMBRAPA (1991).

Os valores de energia bruta (EB) dos milhos variaram de 3.780 a 3.931 kcal kg<sup>-1</sup> (Tabela 5) e foram semelhantes a 3.825 a 3.929 kcal kg<sup>-1</sup> (OLIVEIRA et al., 2011) e 3.940 kcal kg<sup>-1</sup> (ROSTAGNO et al., 2011). A variação entre os valores de EB nos dois cultivares de sorgo foi baixa (3.946 e 3.953 kcal kg<sup>-1</sup>) e próxima de 3.910 kcal kg<sup>-1</sup> (ROSTAGNO et al., 2011).

Os valores de EB dos farelos de trigo foram de 4.040 e 3.999 kcal kg<sup>-1</sup> (Tabela 5). Estes valores foram semelhantes a 4.023 kcal kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1991) e maiores do que 3.914 kcal kg<sup>-1</sup> de EB (ROSTAGNO et al., 2011).

A variabilidade encontrada entre os valores de EB dos milhos, sorgos e farelos de trigo foram condizentes com os relatos da literatura, e pode ser atribuída à variação observada na composição química dos alimentos, pois a EB dos alimentos está diretamente relacionada à quantidade de calor que pode ser liberada por cada fração do alimento (NUTRIENT, 2012).

Além da EB do alimento, outros fatores podem reduzir o aproveitamento dos nutrientes pelos suínos. Assim, as rações devem ser formuladas para atender as exigências de ED e, principalmente, de EM dos suínos, em suas respectivas fases. A determinação da ED e EM do alimento participante da ração é fundamental para o atendimento dos requerimentos dos demais nutrientes (SAKOMURA; SILVA, 1998).

Os valores de ED e EM dos seis milhos variaram de 3.259 a 3.500 e 3.161 a 3.275 kcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os dois cultivares de sorgo apresentaram valores de 3.509 e 3.638 kcal kg<sup>-1</sup> de ED e 3.457 e 3.317 kcal kg<sup>-1</sup> de EM, respectivamente. Os respectivos valores de ED e EM estão acima de 3.277 (ED) e 3.193 kcal kg<sup>-1</sup> (EM), obtidos por Ferreira et al. (1997), mas próximos a 3.646 de ED e 3.456 kcal kg<sup>-1</sup> de EM (EMBRAPA, 1991) (Tabela 6).

O farelo de trigo apresentou valores de 3.159 e 3.169 kcal kg<sup>-1</sup> de ED e 2.767 e 2.842 kcal kg<sup>-1</sup> de EM (Tabela 6). Esses valores foram maiores do que 2.623 kcal kg<sup>-1</sup> de ED e 2.458 kcal kg<sup>-1</sup> de EM (EMBRAPA, 1991), e 2.504 de ED e 2.390 kcal kg<sup>-1</sup> de EM (ROSTAGNO et al., 2011).

Tabela 6. Valores de energia bruta (EB), digestível (ED) e metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade (CMEB) da energia bruta, e relação EM:ED dos milhos, sorgos e farelos de trigo para suínos, na matéria natural

Alimento	EB (kcal kg <sup>-1</sup> )	CDEB <sup>1</sup> (%)	ED (kcal kg <sup>-1</sup> )	CMEB <sup>1</sup> (%)	EM (kcal kg <sup>-1</sup> )	EM:ED
Milho 1	3885	90,08 <sup>a</sup>	3500	84,29 <sup>a</sup>	3275	0,94
Milho 2	3911	85,80 <sup>a</sup>	3356	80,98 <sup>a</sup>	3167	0,95
Milho 3	3780	90,61 <sup>a</sup>	3425	84,93 <sup>a</sup>	3211	0,94
Milho 4	3878	88,77 <sup>a</sup>	3443	82,97 <sup>a</sup>	3218	0,94
Milho 5	3931	87,03 <sup>a</sup>	3421	83,00 <sup>a</sup>	3262	0,95
Milho 6	3810	85,55 <sup>a</sup>	3259	82,97 <sup>a</sup>	3161	0,97
Sorgo 1	3946	92,19 <sup>a</sup>	3638	87,61 <sup>a</sup>	3457	0,95
Sorgo 2	3953	88,78 <sup>a</sup>	3509	83,91 <sup>a</sup>	3317	0,94
Farelo de trigo 1	4040	78,43 <sup>b</sup>	3169	70,35 <sup>b</sup>	2842	0,90
Farelo de trigo 2	3999	78,98 <sup>b</sup>	3159	69,18 <sup>b</sup>	2767	0,88
CV (%)	-	6,45	6,41	7,59	7,50	4,14

<sup>1</sup> Médias seguidas de letras diferentes na coluna pertencem a grupos diferentes, pelo teste de Scott-Knott (p<0,05); CV: coeficiente de variação.

A variação encontrada nos valores de energia digestível e metabolizável entre os milhos, sorgos e farelos de trigo pode ser justificada pela influência de fertilidade do solo, clima, variedade genética, armazenamento e processamento, que interferem na composição química do alimento, a principal determinante da ED (NUTRIENT, 2012). No presente experimento, o coeficiente de variação foi de 6,41 (ED) e 7,50 (EM), considerando todos os

alimentos. No entanto, a variabilidade encontrada pode reduzir a acurácia nas formulações de rações para suínos, interferindo no desempenho, haja vista a amplitude dos valores médios de EM entre os milhos (114), sorgos (140) e farelos de trigo ( $75 \text{ kcal kg}^{-1}$ ).

O aproveitamento da ED e EM dos alimentos pelos suínos é influenciado pela composição da dieta, que está relacionada à composição dos ingredientes, pois a eficiência de utilização da energia para manutenção ou crescimento é influenciada pelo conteúdo de nutrientes (NOBLET; HENRY, 1993).

De acordo com Lekule et al. (1990), a proteína bruta e o extrato etéreo têm correlação positiva com a energia metabolizável, ou seja, quanto maior a quantidade de EE ou PB, maiores os valores de EM dos alimentos. Porém, na proteína bruta existem diversos compostos que não podem ser aproveitados pelo animal, portanto, o aproveitamento da ED e EM dos alimentos depende da qualidade da proteína fornecida e do quanto o animal consegue aproveitar da mesma, pois a proteína pode ser catabolizada, aumentando a demanda de energia e as perdas via urina (NUTRIENT, 2012).

No presente trabalho, os sorgos apresentaram valores de PB mais elevados em relação aos milhos, porém seus valores de EE mantiveram-se abaixo dos obtidos para os milhos (Tabela 6), indicando que a alta correlação entre EE e EM, relatada por Lekule et al. (1990), não foi suficiente para explicar os maiores valores numéricos de EM dos sorgos em relação aos milhos. A diferença entre o maior valor de EM dos sorgos (3457) e o maior valor de EM dos milhos (3275) foi de  $182 \text{ kcal kg}^{-1}$ . A diferença entre o menor valor energético dos sorgos e milhos foi de  $156 \text{ kcal kg}^{-1}$ .

De acordo com Noblet e Perez (1993), a MM, a FB e a FDN apresentaram correlação negativa com a EM. A MM atuou como diluente da energia bruta e reduziu o conteúdo de matéria orgânica dos alimentos (MORGAN et al., 1987) enquanto o EE apresentou efeito positivo, devido a alta produção de calor produzida na sua oxidação (POZZA et al., 2010).

No presente trabalho, o maior valor numérico de FDA apresentado pelo sorgo 2 (4,74%) pode ter contribuído para redução do valor de EM ( $3317 \text{ kcal kg}^{-1}$ ), quando comparado com o valor de EM apresentado pelo sorgo 1 ( $3457 \text{ kcal kg}^{-1}$ ). No entanto, observando os valores de EM de todos os milhos e sorgos (Tabela 6) e os respectivos valores de conteúdo fibroso e de matéria mineral (Tabela 5), não foi possível estabelecer justificativas para as diferenças nos valores de EM entre estes alimentos com base nas correlações expostas por Noblet e Perez (1993), pois os valores de MM e de fibra, exceto o sorgo 2, não diferiram acentuadamente entre os dois alimentos.

As relações EM:ED variaram de 0,94 a 0,97, para os milhos e sorgos, e de 0,88 a 0,90 para os farelos de trigo (Tabela 6). O milho 6 apresentou o maior valor (0,97) para a relação EM:ED, cujo resultado foi similar ao obtido por Castilha et al. (2011) e ao recomendado pelo NRC (NUTRIENT, 2012). Os outros milhos tiveram relação EM:ED com valor numérico mais baixo, de 0,94 e 0,95. De modo geral, as médias obtidas de EM:ED dos seis milhos foram menores do que 0,975 (PEREZ, 1989) e 0,976 e 0,977 (FERREIRA et al., 1997). Os menores valores de EM:ED para os farelos de trigo indicaram que as perdas de energia na urina foram importantes, possivelmente decorrente do maior catabolismo da proteína e aumento da demanda de energia (NUTRIENT, 2012), pois os farelos de trigo apresentaram teor proteico mais elevados em relação aos cultivares de milho e sorgo (Tabela 5).

Não houve diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os coeficientes de digestibilidade (CDEB) e de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB) dos milhos e sorgos (Tabela 6), ratificando a constatação da ausência de justificativa aparente, com base nas composições químicas, para as diferenças entre valores de ED e EM entre os dois alimentos. Esses resultados mostraram que os cultivares de milho e sorgo formaram um grupo homogêneo de alimentos em relação à digestibilidade e metabolizabilidade, sugerindo a possibilidade de substituição do milho pelo sorgo em rações de suínos.

No presente estudo, os valores de CDEB e CMEB dos milhos variaram de 85,55 (milho 6) a 90,61% (milho 3) e de 80,98 (milho 2) a 84,93% (milho 3), respectivamente (Tabela 6), e foram próximos aos descritos por Castilha et al. (2011), que encontraram CDEB entre 87,42 e 89,37% e CMEB entre 84,01 e 86,00% em ensaio de metabolismo utilizando quatro cultivares de milho. Os coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade dos sorgos foram discrepantes entre os dois cultivares avaliados (CDEB = 92,19 e 88,78%; CMEB = 87,61 e 83,91%), porém a relação EM:ED foi próxima (0,95 e 0,94) e manteve-se semelhante às obtidas para os milhos (Tabela 6).

De outro modo, para os farelos de trigo, os valores médios encontrados de CDEB e CMEB foram menores ( $p < 0,05$ ) aos obtidos para os milhos e sorgos (Tabela 6), indicando a formação de um grupo heterogêneo de menor digestibilidade e metabolizabilidade energética. O menor aproveitamento do conteúdo energético dos farelos pode estar relacionado ao maior conteúdo fibroso. Segundo Noblet e Henry (1993), as diferenças nos coeficientes de digestibilidade da energia, em diferentes idades, estágios fisiológicos e nível de alimentação, são explicadas, em grande parte, por mudanças na utilização digestiva da fibra, gordura e proteína bruta, que são dependentes do tempo de trânsito e da capacidade digestiva do suíno.

Os farelos de trigo apresentaram os mais altos teores de fibra bruta (FB) (Tabela 5) e os menores ( $p < 0,05$ ) coeficientes de metabolizabilidade, de 70,35% e 69,18% (Tabela 6), comprovando a baixa digestibilidade da FB no trato gastrointestinal dos suínos. Segundo Penz Jr. et al. (1999), o alto teor de FB nos alimentos, principalmente nos derivados do trigo, provoca redução no consumo de ração pelos suínos e na estimativa dos valores energéticos, tendência que aumenta de acordo com a porcentagem desses alimentos nas rações.

No presente estudo, observou-se variação considerável na composição química e energética entre amostras de um mesmo alimento. Tais variações também podem ser observadas em relação a diferentes fontes de referência, tanto nacionais (EMBRAPA, 1991; ROSTAGNO et al., 2011) quanto internacionais (NUTRIENT, 2012). Portanto, os nutricionistas devem realizar análises químicas rotineiras dos respectivos lotes de alimentos, visando a formular rações que atendam com maior precisão às exigências nutricionais dos animais.

De outro modo, no teste único de validação observou-se que a hipótese de nulidade conjunta ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ) foi aceita ( $p > 0,05$ ), ao se ajustar o modelo  $EM_1$  para os cultivares de milho e sorgo nacionais, e rejeitada ( $p < 0,05$ ), quando se ajustou os demais modelos (Tabela 7).

Tabela 7. Modelos de regressão linear da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho (M), sorgo (S) e farelo de trigo (FT) para suínos, estimados a partir de dados nacionais (N) e internacionais (I), probabilidade de significância (p) para a hipótese de nulidade conjunta dos valores observados em função dos preditos e percentual de validação ( $PV_{BOOT}$ ) dos modelos em 200 diferentes amostras *bootstrap*

Alimento/ Origem	Modelo de regressão <sup>(1)</sup>	N	p <sup>(2)</sup>	PV BOOT
M e S/N	$EM_{1a} = 2,547 + 0,969ED$	31	0,2510	68,00
M e S/I	$EM_{1b} = 39,33 + 0,969ED$	31	0,0298	29,50
FT/N	$EM_{1c} = 2,547 + 0,969ED - 4,217PB$	7	*	4,50
FT/I	$EM_{1d} = 39,33 + 0,969ED - 4,217PB$	7	*	4,00
M, S e FT/N	$EM_{2a} = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE$	29	$6,75 \times 10^{-6}$	0
M, S e FT/I	$EM_{2b} = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63MM$	29	$2,51 \times 10^{-7}$	0
M e S/N	$EM_{3a} = 3675,39 + 50,02EE$	23	*	0
M e S/I	$EM_{3b} = 3675,39 + 50,02EE - 25,62FB$	23	*	0
FT/N	$EM_{3c} = 3675,39 + 50,02EE - 91,23FB$	7	*	2,0
FT/I	$EM_{3d} = 3675,39 + 50,02EE - 116,85FB$	7	*	0
M e S/N e I	$EM_{4a} = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE$	24	*	0
FT/N e I	$EM_{4b} = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26PB$	7	*	0
M/N e I	$EM_{5a} = 3982,99 - 79,97MM$	16	$4,54 \times 10^{-5}$	0
S/N e I	$EM_{5b} = 3982,99 - 123,39MM$	8	*	11,5
FT/N e I	$EM_{5c} = 3982,99 - 79,97MM - 44,78PB$	7	*	0

<sup>(1)</sup> ED: energia digestível; PB: proteína bruta; EB: energia bruta; FB: fibra bruta; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; <sup>(2)</sup> \*: Não houve relação linear entre energia metabolizável observada e energia metabolizável predita (aceitação da  $H_0: \beta_1 = 0$ ).

Os resultados indicaram que os valores observados de energia metabolizável (EM) no experimento foram similares aos valores preditos de EM com o uso da equação  $EM_{1a} = 2,547 + 0,969ED$  (Tabela 7), em que os valores de energia digestível (ED) obtidos no experimento foram substituídos na equação para obtenção da EM predita. Na análise gráfica do teste único de validação do modelo  $EM_{1a}$  para os milhos e sorgos nacionais (Figura 2), confirmou-se a similaridade entre valores observados e preditos de EM, em que a reta do modelo linear de 1º grau apresentou ângulo com o eixo das abscissas de  $47,77^\circ$ , valor próximo ( $p > 0,05$ ) ao ângulo

da reta de condição ideal ( $y = x$ ), que é de 45°, indicando que o modelo  $EM_{1a}$  pode ser usado como ferramenta para obtenção de valores de EM para suínos em crescimento.

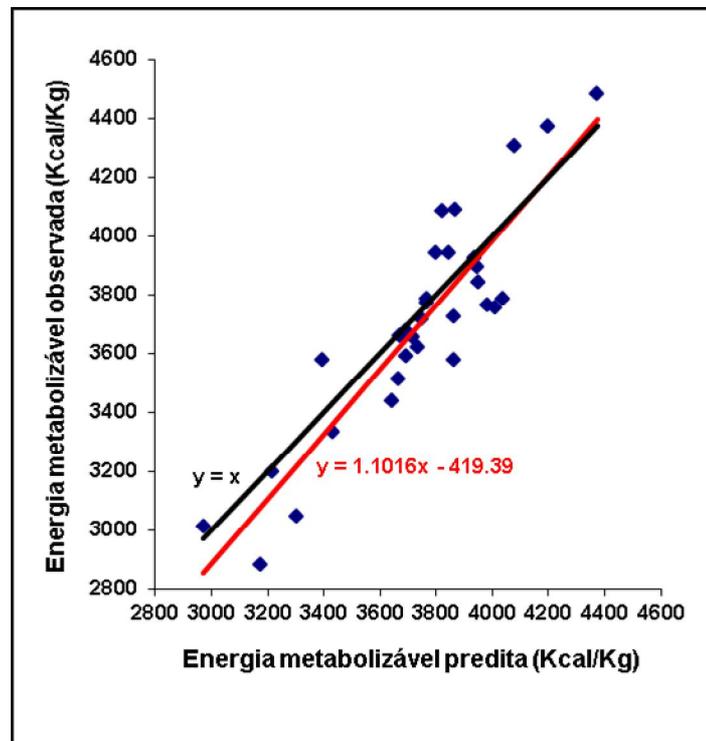


Figura 2. Análise gráfica do teste único de validação do modelo  $EM_1$  para os milhos e sorgos nacionais: Reta da condição ideal (em preto) e modelo de 1º grau dos valores observados sobre os preditos de energia metabolizável (em vermelho).

Castilha et al. (2011) não encontraram correlação de Spearman significativa ( $p > 0,05$ ) entre valores médios observados de EM de quatro cultivares de milho e valores estimados de EM obtidos pelo modelo  $EM = 989,76 + 0,86ED$  ( $R^2 = 0,79$ ), no entanto os autores verificaram que os modelos  $EM = 1,000ED - 0,68PB$  ( $R^2 = 0,99$ ) e  $EM = 0,997ED - 0,68PB + 0,23EE$  ( $R^2 = 0,99$ ), propostos por Noblet e Perez (1993), que apresentaram ED e PB como regressoras, proporcionaram valores estimados de EM com correlação significativa ( $p < 0,05$ ) e de grande magnitude com os valores observados de EM.

O teste de validação única referente à hipótese de nulidade conjunta associada ao modelo  $EM_{1b} = 39,33 + 0,969ED$  apresentou-se não significativo, ao nível de 1% de probabilidade ( $p = 0,0298$ ), mas foi significativo a 5% de erro alfa (Tabela 7). Esses resultados mostraram que os valores observados e estimados de EM dos milhos e sorgos internacionais estiveram próximos, mas não o suficiente para atender ao nível de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ) utilizado nesta pesquisa.

A rejeição da hipótese de nulidade conjunta ( $H_0: \beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ) observada nos testes de validação única referente aos modelos  $EM_{1c}$  e  $EM_{1d}$  do farelo de trigo nacional e internacional, que foram ajustados com a inclusão da ED como regressora, e dos modelos  $EM_2$ ,  $EM_3$ ,  $EM_4$  e  $EM_5$ , cujas regressoras foram representadas por covariáveis de composição química e energética, pode ser explicada devido aos valores observados de EM obtidos no experimento apresentaram-se mais baixos em relação aos valores de EM observados nos artigos científicos encontrados na literatura, obtidos via meta-análise. Além disso, as estimativas dos parâmetros dos modelos estudados no presente trabalho basearam-se nos valores de composição química e energética disponíveis na literatura nacional e estrangeira, os quais foram diferentes dos valores de composição dos alimentos utilizados no experimento, analisados em laboratório, cujos valores foram usados para obtenção da EM predita pelas equações.

No entanto, os modelos  $EM = 1,099 + 0,740EB - 5,5MM - 3,7FDN$ ,  $EM = 16,13 - 9,5FDN + 16EE + 23PB*FDN - 138MM*FDN$  e  $EM = 5,42 - 17,2FDN - 19,4MM + 0,709EB$  foram válidos para predição da EM do milho para suínos, em teste único de validação, utilizando amostra de valores observados de EM obtidos em literatura científica (PELIZZERI et al., 2013). Segundo Oliveira e Warpechowski (2009), torna-se fundamental a validação de modelos de predição em amostras de dados independentes, para que os mesmos possam ter aplicabilidade na indústria de formulação de rações.

Os resultados de validação por simulação *bootstrap* revelaram que o modelo  $EM_{1a} = 2,547 + 0,969ED$ , relacionado aos cultivares de milho e sorgo nacionais, apresentou o maior percentual de validação (68%) em 200 amostras *bootstrap* (Tabela 7). O modelo  $EM_{1b} = 39,33 + 0,969ED$ , referente aos milhos e sorgos internacionais, apresentou o segundo maior índice de validação (29,5%), no entanto, este percentual não foi satisfatório, haja vista que correspondeu a apenas 59 validações em 200 testes. Não foram encontradas referências na literatura científica de testes de validação, por meio de simulação *bootstrap*, de modelos de predição da EM de alimentos energéticos com diferentes origens para suínos.

Modelos que apresentam a ED como variável independente não são os mais indicados para utilização na formulação de rações em situações práticas, pois requerem a realização de experimento de campo. No entanto, a utilização dos mesmos reduz a necessidade de mão-de-obra, pois não exige coleta e armazenamento adequado de urina, além de permitir a redução no tempo e no custo das pesquisas.

Embora seja preconizado o uso de modelos com variáveis independentes de composição química, por serem de fácil aplicabilidade na prática zootécnica, os modelos que

tiveram a PB, FB, EE, MM e EB como regressoras apresentaram percentual de validação cruzada insatisfatório, que variou de 0 a 11,5% (Tabela 7), evidenciando uma confiabilidade baixa para a predição da EM.

O critério que deverá ser levado em consideração para que um modelo seja classificado como adequado na validação de dados independentes é subjetivo, dependendo da exigência do pesquisador e dos objetivos da pesquisa. Nas condições deste trabalho e considerando a escassez de informações relacionadas à utilização de simulação *bootstrap* na área zootécnica, o índice de validação de 68% (136 sucessos em 200 amostras) apresentado pelo modelo EM<sub>1</sub> para cultivares de milho e sorgo nacionais pode ser considerado satisfatório, com confiabilidade intermediária.

Outros estudos sobre a utilização de simulação *bootstrap* na validação de modelos de predição da EM para suínos devem ser realizados, a fim de disponibilizar maior número de informações relacionadas à habilidade preditiva de modelos.

#### 4.4 Conclusão

Os valores de energia metabolizável dos alimentos energéticos para suínos em crescimento variaram de 3.161 a 3.275 kcal kg<sup>-1</sup> para os cultivares de milho, e foram de 3.457 e 3.317 kcal kg<sup>-1</sup> para os cultivares de sorgo, e 2.842 e 2.767 kcal kg<sup>-1</sup> para os farelos de trigo, na matéria natural.

O modelo  $EM_{1a} = 2,547 + 0,969ED$  é válido para estimar a EM dos cultivares de milho e sorgo nacionais e pode ser utilizado como ferramenta para formulação de rações para suínos em crescimento.

#### 4.5 Referências

- ALBUQUERQUE, D.M.N.; LOPES, J.B.; KLEIN, M.H.J. et al. Resíduo desidratado de cervejaria para suínos em terminação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.2, p.465-472, 2011.
- ANFAR. Associação dos Fabricantes de Rações. **Matérias primas para alimentação animal**: Padrão ANFAR. 4.ed. 1985. 66p.

- ANTUNES, R.C.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Composição bromatológica e parâmetros físicos de grãos de sorgo com diferentes texturas de endospermas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.5, p.1351-1354, 2007.
- ANTUNES, R.C.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Valor nutritivo de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma para leitões. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.3, p.713-718, 2008.
- BORGES, F.M.O.; ROSTAGNO, H.S.; SAAD, C.E.P. et al. Equações de regressão para estimar valores energéticos de trigo e seus subprodutos para frangos de corte, a partir de análises químicas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.6, p.734-746, 2003.
- CASTILHA, L.D.; POZZA, P.C.; KLOSOWSKY, E.S. et al. Modelos matemáticos para predição dos valores energéticos do milho para suínos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.456-467, 2011.
- CARVALHO, D.C.O.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. Composição química e energética de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.358-364, 2004.
- DAVISON, A.C.; HINKLEY, D.V. **Bootstrap methods and their application**. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics: Cambridge University Press, Cambridge. 1997. 575p.
- DiCICCO, T.J.; EFRON, B. Bootstrap Confidence Intervals. **Statistical Science**, v.11, n.3, p.189-228, 1996.
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the jackknife. **The Annals of Statistics**, v.7, n.1, p.1-26, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. 3.ed. Concórdia: EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, 1991. 97p.
- FERREIRA, E.R.A.; FIALHO, E.T.; TEIXEIRA, A.S. et al. Avaliação da composição química e determinação de valores energéticos e equação de predição de alguns alimentos para suíno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.3, p.514-523, 1997.
- FIALHO, E.T.; BARBOSA, H.P.; ALBINO, L.F.T. Chemical composition, digestible protein and energy values of some alternative feedstuffs for pigs in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, v.55, n.3-4, p.239-245, 1995.
- FIALHO E.T.; LIMA J.A.; SILVEIRA, P.R. et al. Avaliação de digestibilidade dos nutrientes de alguns alimentos através de ensaios metabólicos com suínos. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1998, Botucatu. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.330-332.

- KRABBE, E.L.; JUCHEM, S.; MACIEL, J.E.S. et al. Efeito das condições de armazenamento de grãos de milho da energia metabolizável aparente para frangos de corte criados com rações de diferentes qualidades. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1995. Campinas. **Anais...** Campinas: FACTA, 1995. p.9-10.
- LEKULE, F.P., JORGENSEN, H.; FERNANDEZ, J.A. et al. Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content. **Animal Feed Science and Technology**, v.28, p.91-101, 1990.
- MATTERSON, L.D.; POTTER, L.M.; STUTZ, M.W. et al. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Storrs, Connecticut, The University of Connecticut, Storrs Agricultural Station, 1965. 11p. Research Report 7.
- MAZZUCO, H.; LORINI, I.; BRUM, P.A.R. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2216-2220, 2002.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2006. 612p.
- MORGAN, C.A.; WHITTEMORE, C.T.; PHILLIPS, P. et al. The prediction of the energy value of compounded pig foods from chemical analysis. **Animal Feed Science Technology**, v.17, n.2, p.81-107, 1987.
- NUTRIENT requirements of swine. 11<sup>th</sup> ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2012. 400p.
- NOBLET, J.; HENRY, Y. Energy evaluation systems for pig diets: a review. **Livestock Production Science**, v.36, n.2, p.121-141, 1993.
- NOBLET, J.; PEREZ, J.M. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, v.71, n.12, p.3389-3398, 1993.
- NUNES, R.V; ROSTAGNO, H.S; GOMES, P.C et al. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes ingredientes para frangos de corte **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.89-94, 2008.
- OLIVEIRA, G.C; MOREIRA, I; FURLAN, A.C et al. Corn types with different nutritional profiles, extruded or not, on piglets (6 to 15 kg) feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.11, p.2462-2470, 2011.
- OLIVEIRA, V.; WARPECHOWSKI, M. Avaliação de modelos para predição da energia metabolizável do milho para aves. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1514-1520, 2009.
- PEKAS, J.C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, v.27, n.5, p.1303-1306, 1968.
- PELIZZERI, R.N.; POZZA, P.C.; OLIVEIRA, N.T.E. et al. Avaliação de modelos de predição da energia metabolizável do milho para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.460-468, 2013.

- PENZ JR., A.M.; KESSLER, A.M.; BRUGALLI, I. Novos conceitos de energia para aves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1999, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1999. p.1-24.
- PEREZ, J.M. Valeur énergétique des céréales françaises pour le porc: Synthèse des résultats sur trois années de récolte successives. **INRA Productions Animales**, v.2, n.2, p.137-143, 1989.
- POZZA, P.C.; NUNES, R.V.; POZZA, M.S.S et al. Determinação e predição de valores energéticos de silagens de grãos úmidos de milho para suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.226-232, 2010.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. **Tabelas Brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252p.
- SANTOS, Z.A.S.; FREITAS, R.T.F.; FIALHO, E.T. et al. Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na Universidade Federal de Lavras. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.232-237, 2005.
- SAKOMURA, N.K.; SILVA, R. Conceitos inovadores aplicáveis à nutrição de não ruminantes. **Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, n.22, p.125-146, 1998.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2007. 283p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 235p.
- SOUZA, R.M. **Equações de predição dos valores energéticos de alimento para aves**. 2009. 123p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SAS Institute Inc. 2008. **SAS/STAT<sup>®</sup> 9.2 User's guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- VASCONCELLOS, C.A. Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1989. Ilha Solteira, SP. **Anais...Ilha Solteira - FEIS / UNESP / ANDA / POTAFOS**, 1989, p. 319-330.
- VELOSO, J.A.F.; MEDEIROS, S.L.S.; AROUCA, C.L.C. et al. Composição química, avaliação físico-química e nutricional e efeito da expansão do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.623-633, 2005.
- ZONTA, M.C.M.; RODRIGUES, P.B.; ZONTA, A. et al. Energia metabolizável de farinhas de soja ou produtos de soja, determinada pelo método de coleta total e por equações de predição. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.209, p.21-30, 2006.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) O milho e o sorgo apresentaram composição química e energética semelhante e podem ser incluídos em banco de dados único, para ajuste de modelos em dados de ensaios independentes disponíveis na literatura científica, à exceção do modelo que apresenta proteína bruta e matéria mineral como regressoras;
- b) Em estudos por meta-análise, a utilização de variáveis indicadoras mostrou que é importante separar dados de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo de acordo com a origem do trabalho na literatura científica, para ajuste do modelo completo e de modelos sem as regressoras ‘energia digestível’ e ‘energia bruta’.
- c) A energia digestível foi a regressora que mais contribuiu para explicar a variação da energia metabolizável;
- d) O uso do método de reamostragem *bootstrap* não paramétrico permitiu constatar a instabilidade dos modelos de regressão estimados por mínimos quadrados ordinários e obtidos a partir do procedimento de seleção de regressoras *stepwise*, com base no percentual de ocorrência conjunta de regressoras do modelo.
- e) O uso do método de reamostragem *bootstrap* não paramétrico pode ser utilizado como ferramenta complementar para diagnosticar os melhores conjuntos de regressoras de modelos para predição da energia metabolizável de alimentos energéticos para suínos.
- f) Os resultados mostram que métodos robustos de estimação de parâmetros podem ser utilizados em conjunto com a reamostragem *bootstrap* não paramétrica, em pesquisas futuras envolvendo a meta-análise, na avaliação de modelos e verificação da confiabilidade dos procedimentos de seleção de regressoras, sendo uma alternativa o uso da inferência bayesiana.

**APÊNDICES**

APÊNDICE A - Fotografias das gaiolas de metabolismo com suínos em crescimento, no ensaio realizado na sala de metabolismo da Fazenda Antônio Carlos dos Santos Pessoa, Uniãoeste, Marechal Cândido Rondon, PR.



Figura 3. Gaiola de metabolismo com visão externa do comedouro e do coletor de fezes.



Figura 4. Gaiola de metabolismo com visão interna de alimentação no comedouro.



Figura 5. Vista lateral da gaiola de metabolismo.



Figura 6. Corredor interno da sala metabolismo com visão externa dos comedouros e de balde coletor de urina.

APÊNDICE B - Checagem dos pressupostos de homogeneidade, linearidade e normalidade dos resíduos dos modelos de regressão linear múltipla, ajustados por mínimos quadrados ordinários.

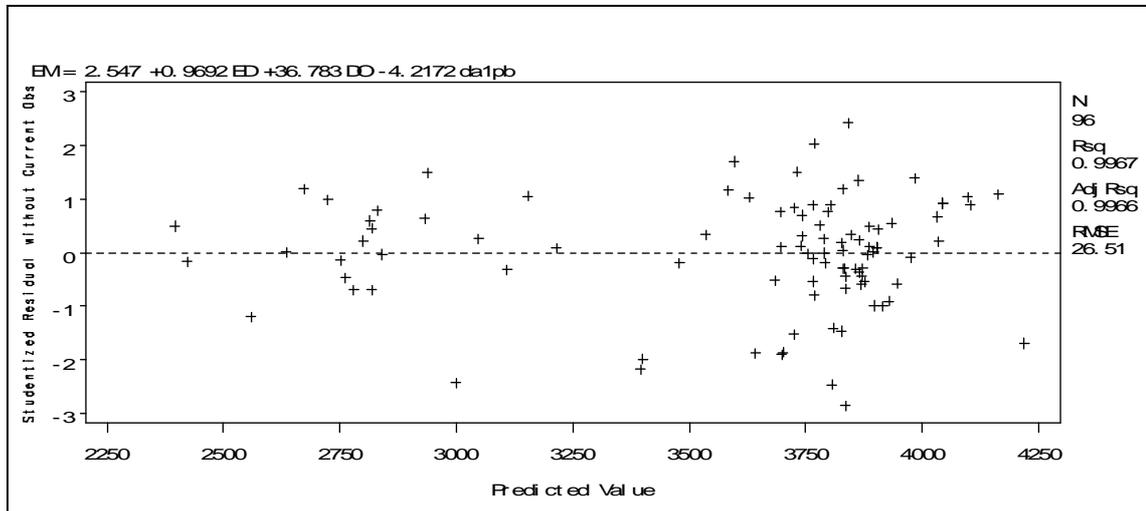


Figura 7. Análise gráfica dos valores de resíduos *studentizados* em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM<sub>1</sub>.

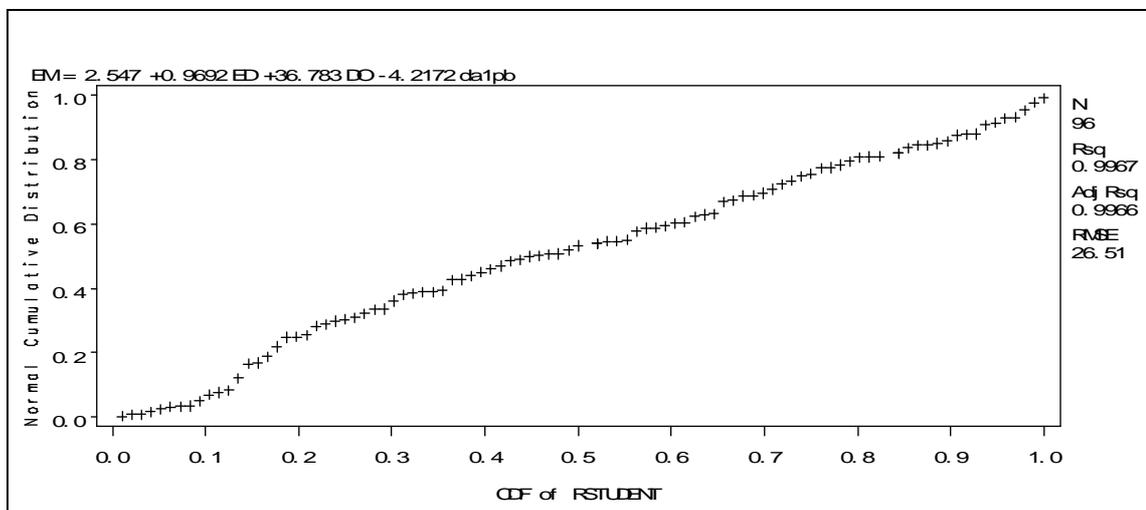


Figura 8. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>1</sub>.

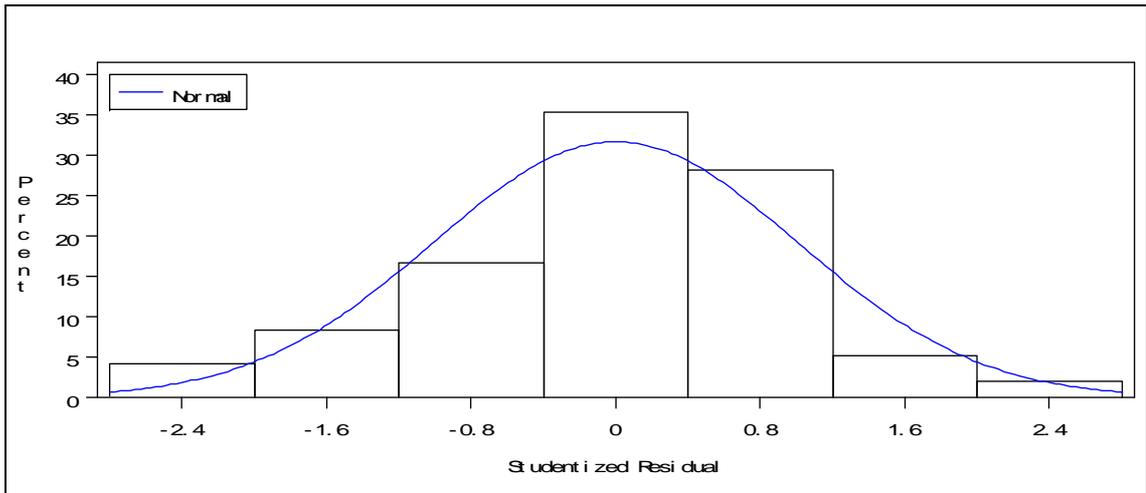


Figura 9. Histograma de percentagem dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>1</sub> e ajuste da curva de distribuição normal.

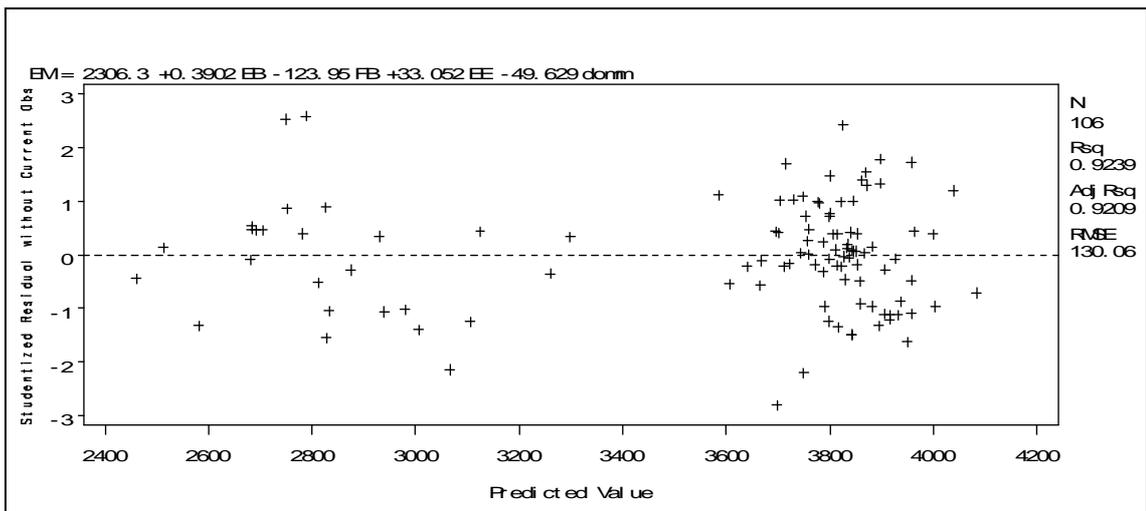


Figura 10. Análise gráfica dos valores de resíduos *studentizados* em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM<sub>2</sub>.

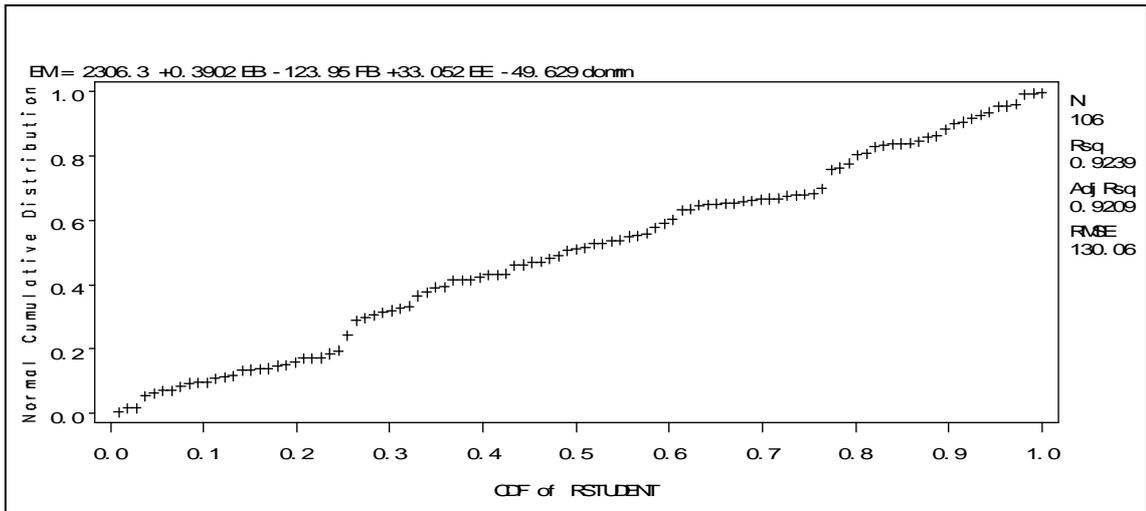


Figura 11. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>2</sub>.

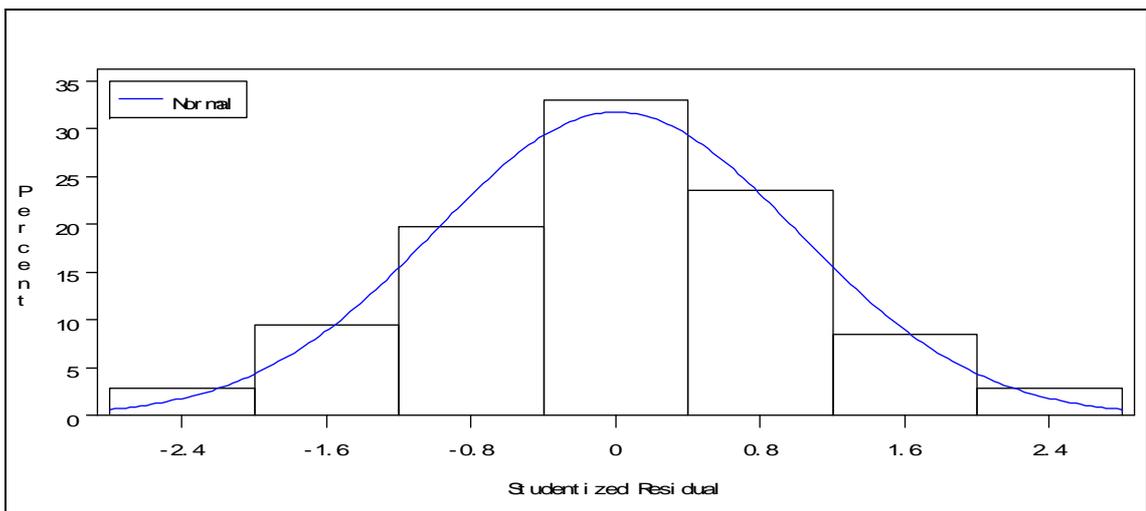


Figura 12. Histograma de percentagem dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>2</sub> e ajuste da curva de distribuição normal.

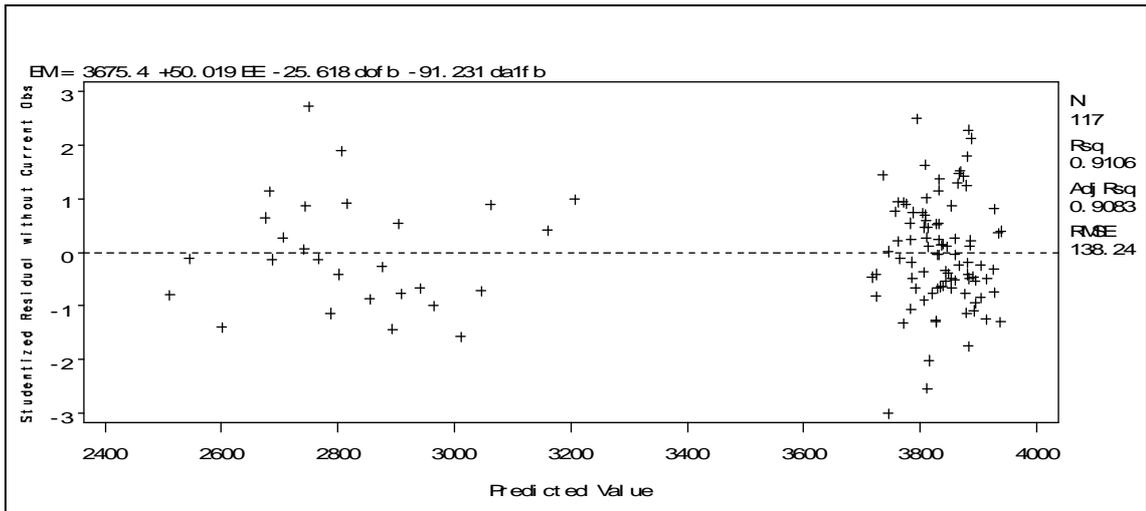


Figura 13. Análise gráfica dos valores de resíduos *studentizados* em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM<sub>3</sub>.

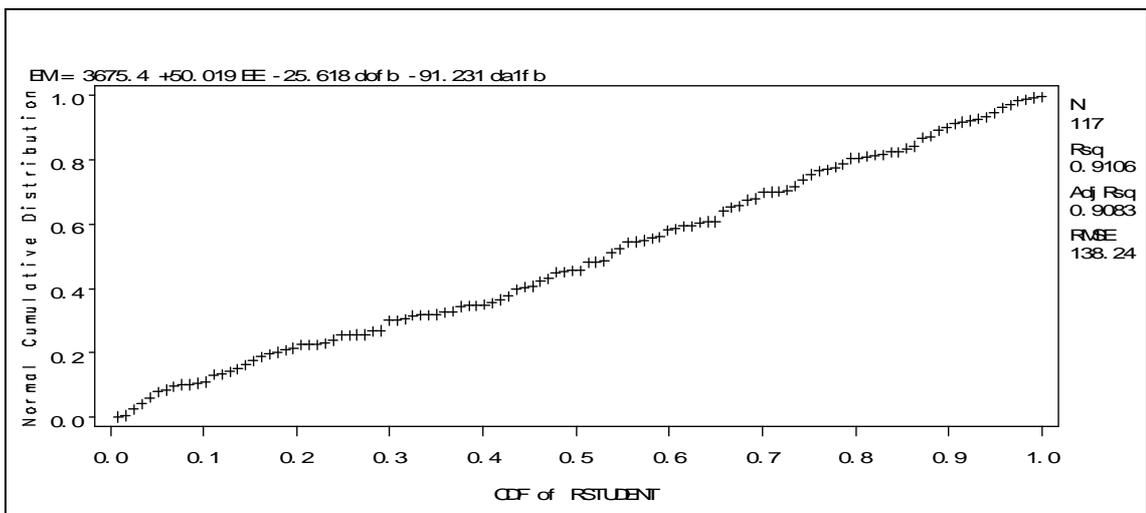


Figura 14. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>3</sub>.

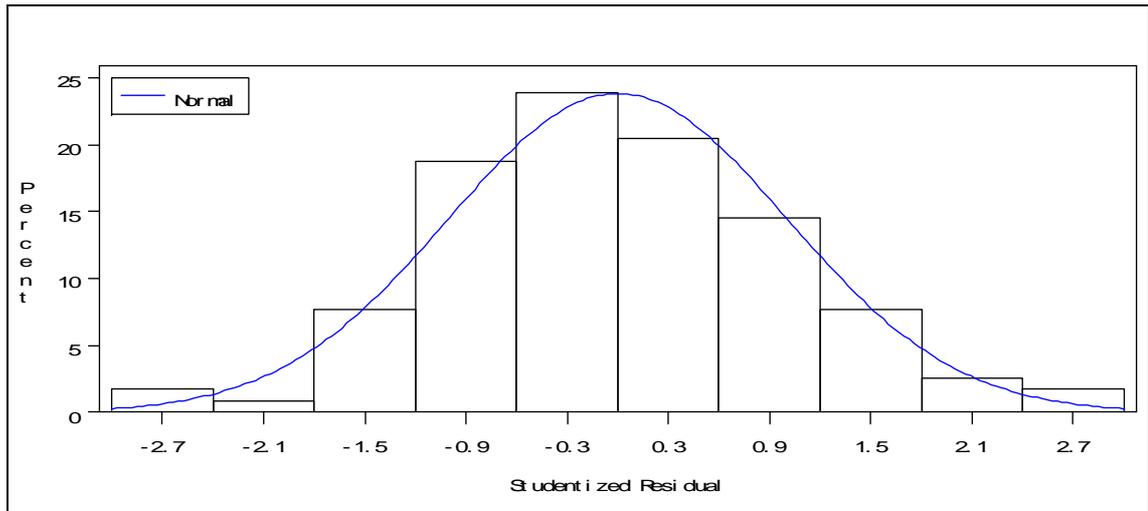


Figura 15. Histograma de percentagem dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>3</sub> e ajuste da curva de distribuição normal.

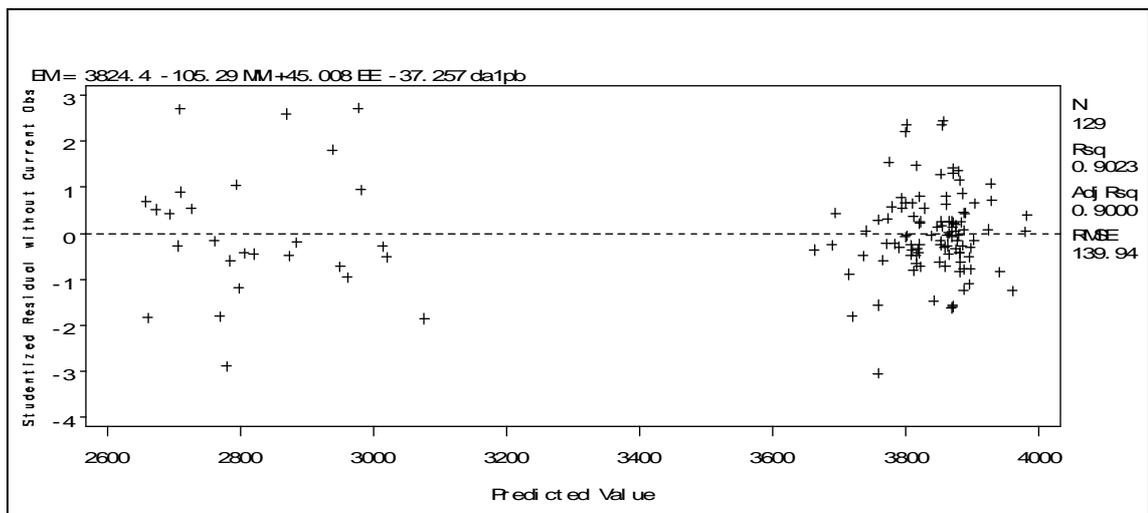


Figura 16. Análise gráfica dos valores de resíduos *studentizados* em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM<sub>4</sub>.

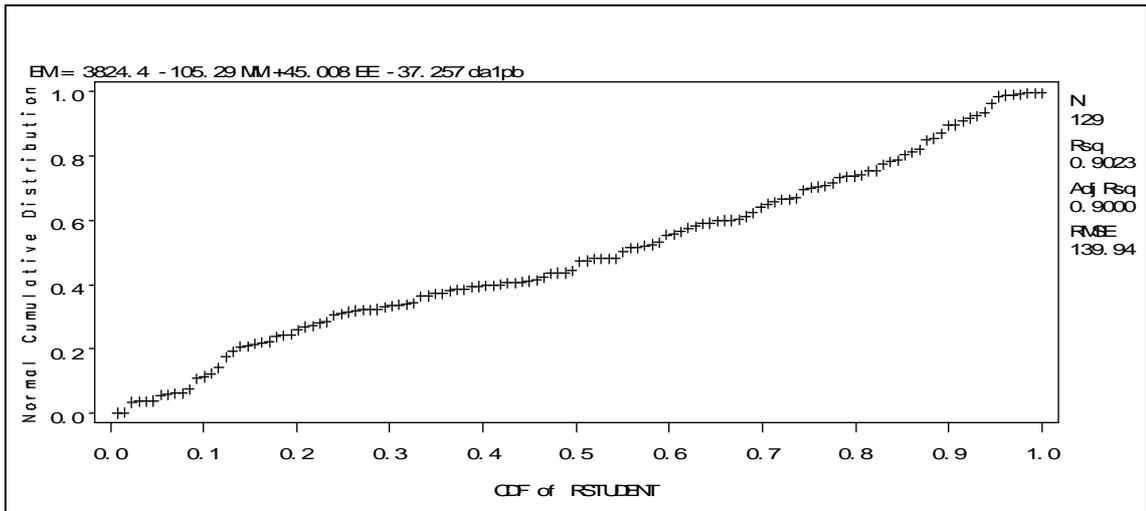


Figura 17. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>4</sub>.

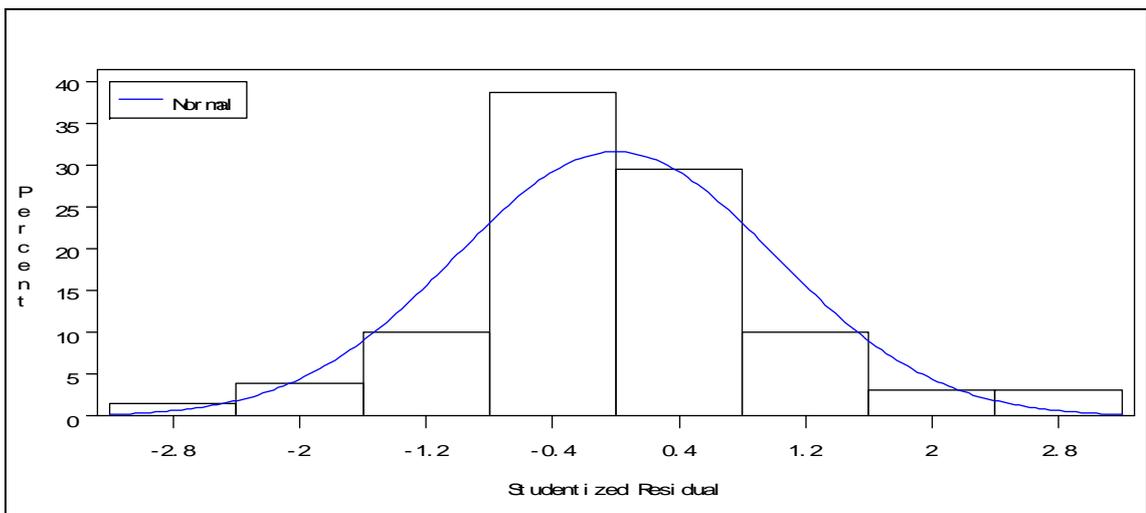


Figura 18. Histograma de percentagem dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>4</sub> e ajuste da curva de distribuição normal.

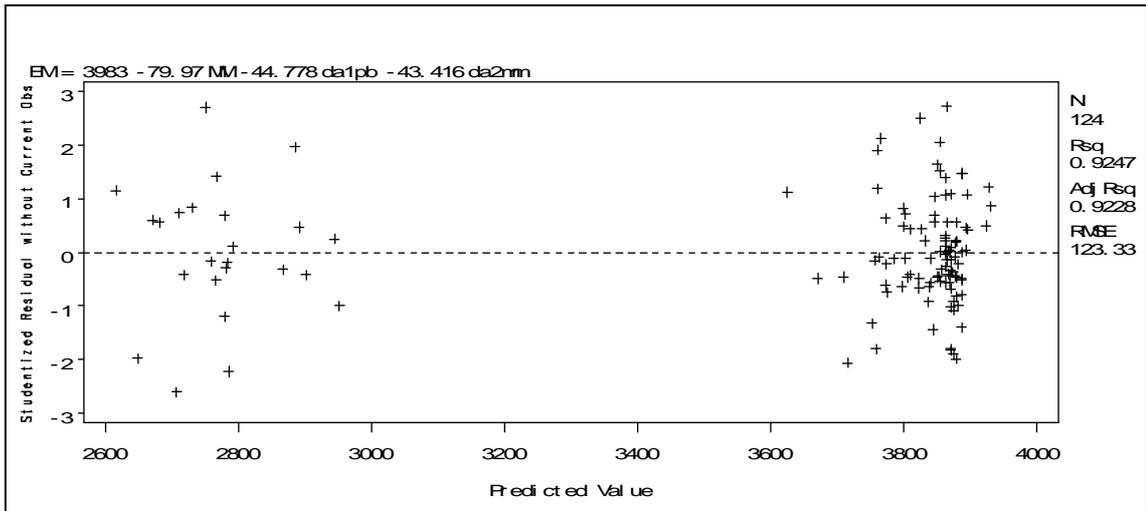


Figura 19. Análise gráfica dos valores de resíduos *studentizados* em função dos valores preditos de energia metabolizável obtidos pelo modelo EM<sub>5</sub>.

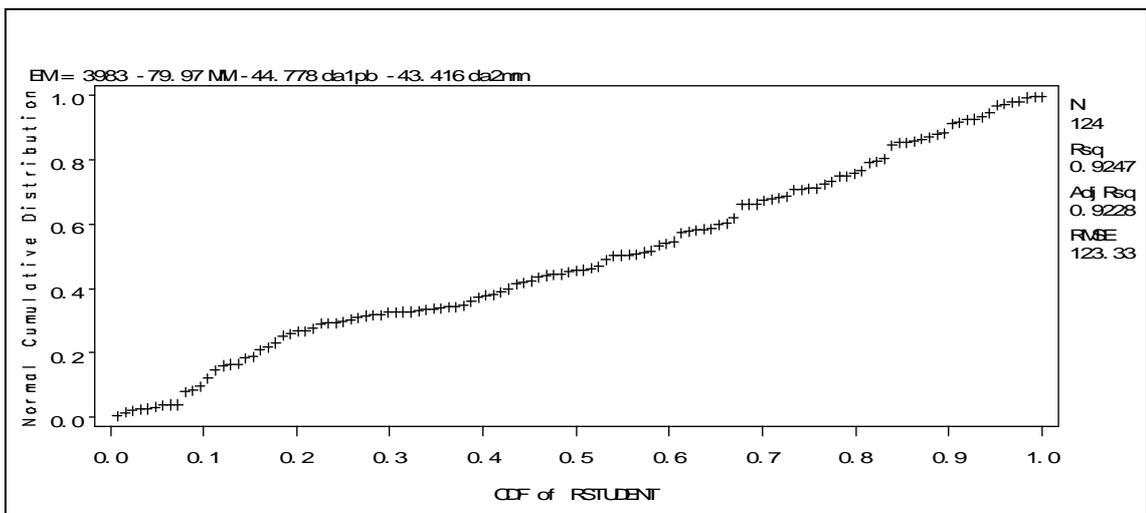


Figura 20. Análise gráfica da distribuição normal acumulada sobre a função de distribuição acumulada dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>5</sub>.

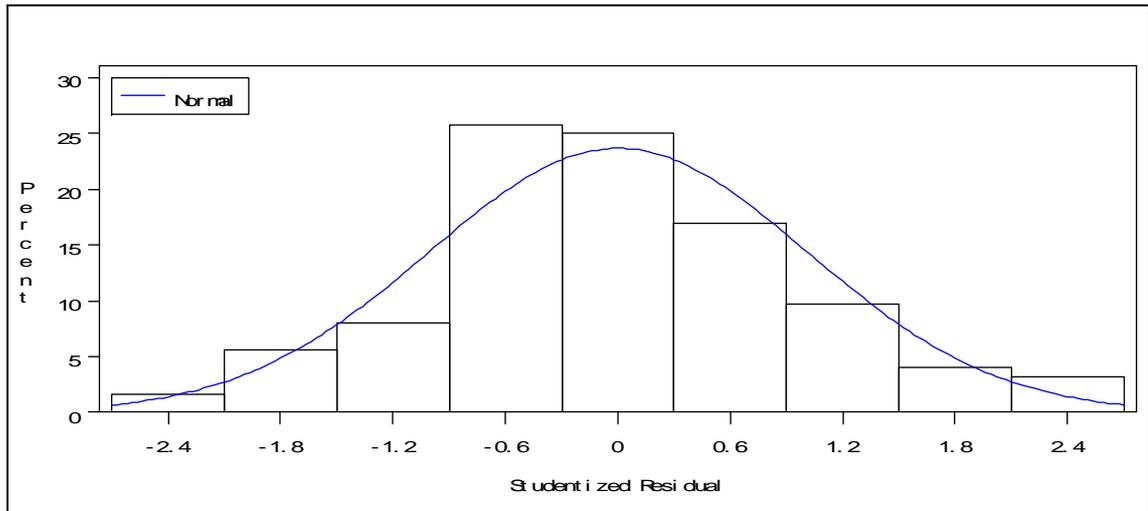


Figura 21. Histograma de percentagem dos resíduos *studentizados* obtidos pelo modelo EM<sub>5</sub> e ajuste da curva de distribuição normal.

Tabela 8. Estatística calculada (W) do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* e probabilidade de significância (p) para os resíduos *studentizados* dos modelos de regressão linear múltipla da energia metabolizável (EM) em função de composição química e energética do milho, sorgo e farelo de trigo para suínos, estimados a partir de dados nacionais e internacionais, e ajustados com base na matéria seca

Modelo de regressão <sup>(1)</sup>	W	P
$EM_1 = 2,547 + 0,969ED + 36,784DO - 4,217DA_1 * PB$	0,9752	0,0653
$EM_2 = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63DO * MM$	0,9906	0,6724
$EM_3 = 3675,39 + 50,02EE - 25,62DO * FB - 91,23DA_1 * FB$	0,9920	0,7411
$EM_4 = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26DA_1 * PB$	0,9698	0,0908 <sup>(2)</sup>
$EM_5 = 3982,99 - 79,97MM - 44,78DA_1 * PB - 43,42DA_2 * MM$	0,9831	0,1243

<sup>1</sup>ED: energia digestível; EB: energia bruta; FB: fibra bruta; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; DO: *dummy* de origem (nacional ou internacional); DA<sub>1</sub>: *dummy* de alimento 1 (variável auxiliar que discriminou o farelo de trigo do milho e sorgo); DA<sub>2</sub>: *dummy* de alimento 2 (variável auxiliar que discriminou o sorgo do milho e farelo de trigo); <sup>2</sup>Probabilidade de significância pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

## APÊNDICE C – Tabela 9

Tabela 9. Valores médios, desvios-padrão, valores mínimos e máximos, e coeficiente de variação (CV) de energia metabolizável predita (EMP) por modelo de regressão e de energia metabolizável observada (EMO) nos ensaios de metabolismo, expressos na matéria seca.

Alimento/ Origem	Modelo	N	Média (kcal/kg)	Desvio- Padrão	Mínimo (kcal/kg)	Máximo (kcal/kg)	CV (%)
M e S/N	EMP <sub>1A</sub>	31	3746,98	302,89	2971,53	4372,78	8,08
	EMO <sub>1A</sub>	31	3708,33	369,10	2883,12	4478,75	9,95
M e S/I	EMP <sub>1B</sub>	31	3783,76	302,89	3008,32	4409,57	8,01
	EMO <sub>1B</sub>	31	3708,33	369,10	2883,12	4478,75	9,95
FT/N	EMP <sub>1C</sub>	7	3215,81	261,44	2746,27	3481,26	8,13
	EMO <sub>1C</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28
FT/I	EMP <sub>1D</sub>	7	3252,59	261,44	2783,06	3518,05	8,04
	EMO <sub>1D</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28
M, S e FT/N	EMP <sub>2A</sub>	29	3699,38	374,77	3005,99	3968,50	10,13
	EMO <sub>2A</sub>	29	3569,01	295,18	2939,07	3942,06	8,27
M, S e FT/I	EMP <sub>2B</sub>	29	3587,25	470,81	2724,87	3907,19	13,12
	EMO <sub>2B</sub>	29	3569,01	295,18	2939,07	3942,06	8,27
M e S/N	EMP <sub>3A</sub>	23	3869,42	41,56	3785,66	3920,25	1,07
	EMO <sub>3A</sub>	23	3726,33	164,58	3439,01	4083,73	4,42
M e S/I	EMP <sub>3B</sub>	23	3819,95	45,21	3733,19	3881,86	1,18
	EMO <sub>3B</sub>	23	3726,33	164,58	3439,01	4083,73	4,42
FT/N	EMP <sub>3C</sub>	7	3022,47	24,45	2996,32	3042,07	0,81
	EMO <sub>3C</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28
FT/I	EMP <sub>3D</sub>	7	2792,18	31,36	2758,65	2817,32	1,12
	EMO <sub>3D</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28
M e S/N e I	EMP <sub>4A</sub>	24	3874,34	34,18	3798,76	3914,70	0,88
	EMO <sub>4A</sub>	24	3741,47	177,22	3439,01	4089,53	4,74
FT/N e I	EMP <sub>4B</sub>	7	2648,81	6,01	2642,39	2653,63	0,23
	EMO <sub>4B</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28
M/N e I	EMP <sub>5A</sub>	16	3885,97	10,45	3867,27	3901,23	0,27
	EMO <sub>5A</sub>	16	3749,44	160,96	3511,67	4089,53	4,29
S/N e I	EMP <sub>5B</sub>	8	3844,57	8,49	3836,63	3852,51	0,22
	EMO <sub>5B</sub>	8	3960,47	303,60	3652,79	4478,75	7,67

FT/N e I	EMP <sub>5C</sub>	7	2652,27	6,60	2645,22	2657,56	0,25
	EMO <sub>5C</sub>	7	3125,61	164,88	2939,07	3382,67	5,28

<sup>(1)</sup> M: milho; S: sorgo; FT: farelo de trigo; N: nacional; I: internacional; EMP<sub>1A</sub>: energia metabolizável predita (EMP) do modelo EM<sub>1A</sub> = 2,547 + 0,969ED; EMP<sub>1B</sub>: EMP do modelo EM<sub>1B</sub> = 39,33 + 0,969ED; EMP<sub>1C</sub>: EMP do modelo EM<sub>1C</sub> = 2,547 + 0,969ED - 4,217PB; EMP<sub>1D</sub>: EMP do modelo EM<sub>1D</sub> = 39,33 + 0,969ED - 4,217PB; EMP<sub>2A</sub>: EMP do modelo EM<sub>2A</sub> = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE; EMP<sub>2B</sub>: EMP do modelo EM<sub>2B</sub> = 2306,26 + 0,39EB - 123,95FB + 33,05EE - 49,63MM; EMP<sub>3A</sub>: EMP do modelo EM<sub>3A</sub> = 3675,39 + 50,02EE; EMP<sub>3B</sub>: EMP do modelo EM<sub>3B</sub> = 3675,39 + 50,02EE - 25,62FB; EMP<sub>3C</sub>: EMP do modelo EM<sub>3C</sub> = 3675,39 + 50,02EE - 91,23FB; EMP<sub>3D</sub>: EMP do modelo EM<sub>3D</sub> = 3675,39 + 50,02EE - 116,85FB; EMP<sub>4A</sub>: EMP do modelo EM<sub>4A</sub> = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE; EMP<sub>4B</sub>: EMP do modelo EM<sub>4B</sub> = 3824,44 - 105,29MM + 45,01EE - 37,26PB; EMP<sub>5A</sub>: EMP do modelo EM<sub>5A</sub> = 3982,99 - 79,97MM; EMP<sub>5B</sub>: EMP do modelo EM<sub>5B</sub> = 3982,99 - 123,39MM; EMP<sub>5C</sub>: EMP do modelo EM<sub>5C</sub> = 3982,99 - 79,97MM - 44,78PB.