



EVELYN CRISTINA DE OLIVEIRA

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS
DETERMINADA *IN VIVO* E POR MÉTODOS INDIRETOS
PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES**

**LAVRAS – MG
2019**

EVELYN CRISTINA DE OLIVEIRA

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS DETERMINADA *IN VIVO* E POR
MÉTODOS INDIRETOS PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Não Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Paulo Borges Rodrigues
Orientador

Dr. Édison José Fassani
Dra. Renata Ribeiro Alvarenga
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Oliveira, Evelyn Cristina de.

Energia metabolizável de alimentos determinada *in vivo* e por métodos indiretos para diferentes categorias de aves / Evelyn Cristina de Oliveira. – 2019.

106 p. : il.

Orientador: Paulo Borges Rodrigues.

Coorientador: Édison José Fassani; Renata Ribeiro Alvarenga.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Avicultura. 2. Alimentos para animais. 3. Nutrição. I. Rodrigues, Paulo Borges. II. Fassani, Édison José. III. Alvarenga, Renata Ribeiro. IV. Título.

EVELYN CRISTINA DE OLIVEIRA

**ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS DETERMINADA *IN VIVO* E POR
MÉTODOS INDIRETOS PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES**

**ENERGY OF METABOLIZABLE FOOD DETERMINED *IN VIVO* AND BY
INDIRECT METHODS FOR DIFFERENT BIRD CATEGORIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Não Ruminantes, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 12 de Agosto de 2019.

Dr. Édison José Fassani	UFLA
Dra. Renata Ribeiro Alvarenga	UFLA
Dr. Renato Ribeiro de Lima	UFLA
Dra. Flávia Cristina Martins Queiroz Marino	UNIFESP

Prof. Dr. Paulo Borges Rodrigues
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Aos meus pais, Edson e Edinéia, e a minha irmã, Ellen, por acreditarem sempre em mim.

Ao meu sobrinho, Vitor, por trazer alegria aos meus dias.

Ao Bráulio, meu maior incentivador.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado;

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro;

Ao meu orientador, Prof. Paulo Borges Rodrigues, pela orientação, confiança e paciência;

Aos professores do Departamento de Zootecnia, em especial aos meus coorientadores Prof. Édison José Fassani e Profa. Renata Ribeiro Alvarenga, pelos ensinamentos, apoio e disposição em contribuir com esta pesquisa;

Ao prof. Renato Ribeiro de Lima, por todo auxílio e paciência, durante o desenvolvimento desse trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia e Laboratório de Nutrição Animal, por toda a atenção e ajuda ao prestada ao longo do curso;

À banca examinadora de qualificação e defesa pelas contribuições a minha formação e para o enriquecimento desse trabalho;

Ao Bráulio, por todo auxílio prestado durante a elaboração deste trabalho, por acreditar que tudo é possível e nunca me deixar desistir;

A Madalena e Maria Júlia, por todo o apoio emocional prestado durante o desenvolvimento desta pesquisa e por trazerem alegria aos meus dias;

Aos colegas David, Breno, Bruno, Bianca, Moara, Alisson e Danusa, por tornarem possível a realização desse trabalho e, acima de tudo, pela amizade;

Aos amigos e professores Márcio e Renata, pelos anos de amizade, companheirismo, conselhos inestimáveis e, acima de tudo, por serem meus exemplos como profissionais e como pessoas;

Aos amigos Tacy, Alécio, Bruna, Sérgio, Dudu e David, pela companhia, amizade e companheirismo;

À Alessandra, Ademar, Cassiano, Taciany e a Dona Lica, pelo acolhimento, amizade e por me permitirem conviver com toda família, vocês são especiais!!!

AUTOBIOGRAFIA

Evelyn Cristina de Oliveira – nascida em 23 de janeiro de 1988, na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais, filha de Edson de Oliveira e Edinéia Bastos de Oliveira.

Ingressou, em 2007, no curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), graduando-se em junho de 2011.

Em agosto de 2011, ingressou no curso de Zootecnia, na Universidade Federal de Lavras, colando grau em abril de 2014.

Em abril de 2014, iniciou o curso de mestrado em Zootecnia, na Universidade Federal de Lavras, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Não Ruminantes, obtendo o título de mestra em 17 de julho de 2015.

Em abril de 2015, iniciou o curso de doutorado em Zootecnia, na Universidade Federal de Lavras, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Não Ruminantes e submetendo-se à defesa de tese em 12 de agosto de 2019 para a obtenção do título de doutora.

RESUMO GERAL

Objetivou-se propor equações de predição para diferentes categorias de aves (frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura) e avaliar diferentes métodos de predição para estimar os valores de EMAn do milho, farelo de soja, farelo de trigo e sorgo. Para determinar os valores *in vivo*, foram conduzidos três ensaios de metabolismo, o ensaio I com 390 frangos de corte aos 21 dias de idade, o ensaio II com 240 frangas de reposição com 13 semanas de idade e o ensaio III com 156 galinhas em postura com 27 semanas de idade. As aves receberam rações referência, as quais foram substituídas em 40%, para alimentos concentrados energéticos e 30% para alimentos concentrados proteicos. As aves foram distribuídas, aleatoriamente, em seis repetições de cada parcela experimental, composta de cinco frangos de corte, três frangas de reposição e duas galinhas em postura em seus respectivos ensaios metabólicos. Foram verificadas as correlações entre os componentes químicos dos alimentos e a energia metabolizável e, posteriormente, determinadas equações de predição para cada categoria de aves, por meio de regressão linear múltipla, em que o melhor modelo foi selecionado com base no critério de Akaike obtido pelo procedimento de *stepwise*. Os valores de composição química foram utilizados para estimar EMAn, por meio de diferentes métodos indicados na literatura, como o aplicativo de redes neurais *AMEn Predictor*, redes bayesianas e equações obtidas por meta-análise. A equação geral que melhor se ajustou para estimar EMAn de alimentos para frangos de corte foi $EMAn=4048,731-14,087PB-196,498FB$; para frangas de reposição $EMAn=4238,899-17,02PB+120,368MM-924,087cálcio-2680,438fósforo$ e; para galinhas em postura $EMAn=4156,31+35,54PB+151,12FB+97,70FDN-223,93FDA-4369,33cálcio-4513,78fósforo$. Para alimentos energéticos a equação que melhor se ajustou para estimas EMAn para frangos de corte foi $EMAn=1983,21+373,20EE+746,01 MM-481,93FB+192,46FDA-76,69FDN$; para frangas de reposição $EMAn=-6584,7+496,1PB+3314,2MM+952,5EE-1728,5FB-548,0FDN+1345,5FDA+8075,7cálcio$ e; para galinhas em postura $EMAn=5319,44-427,74MM-152,65EE+408,26FB+181,19FDN-378,29FDA-4630,37cálcio-6227,04fósforo$. Nenhum dos modelos de predição avaliados mostrou-se eficiente para a utilização a campo. Sugere-se que, para melhor a acurácia dos métodos, faz-se necessária a adição de novas categorias de aves e atualização do banco de dados utilizados para o desenvolvimento desses métodos, garantindo que os dados empregados sejam referentes a aves geneticamente atuais e de alimentos utilizados atualmente.

Palavras-chave: Avicultura. Alimentos para animais. Nutrição.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to propose prediction equations for different categories of birds (broilers, spare pullets and laying hens) and to evaluate different prediction methods to estimate the AMEn values of corn, soybean meal, wheat bran and sorghum. To determine *in vivo* values, three metabolism assays were conducted: Trial I with 390 21-day-old broilers, Trial II with 240 13-week replacement pullets, and Trial III with 156 27-week-old laying hens. The birds received reference feeding, which were replaced by 40% of energy concentrate feed and 30% of protein concentrate feed. The birds were randomly distributed in six replications in each experimental plot, which consisted of five broilers, three spare pullets and two laying hens in their respective metabolic assays. Correlations between chemical components of food and metabolizable energy were estimated and, subsequently, prediction equations were obtained for each bird category by multiple linear regression and the choice of the best-fitted model was based on the Akaike Information Criterion obtained by stepwise procedure. The chemical composition values were used to estimate AMEn by different estimation methods: AMEn Predictor neural networks, Bayesian networks and equations obtained by meta-analysis. The best-fitted overall equation for estimating AMEn of broiler feed was $AMEn = 4048,731 - 14,087PB - 196,498FB$; for replacement pullets: $AMEn = 4238.899 - 17.02PB + 120.368MM - 924.087 \text{ calcium} - 2680.438 \text{ phosphorus}$; and for laying hens: $AMEn = 4156.31 + 35.54PB + 151.12FB + 97.70FDN - 223.93FDA - 4369.33 \text{ calcium} - 451.78 \text{ phosphorus}$. For energy feeds the best-fitted equation that estimated AMEn for broiler chickens was: $AMEn = 1983.21 + 373.20EE + 746.01 \text{ MM} - 481.93FB + 192.46FDA - 76.69FDN$; for replacement pullets: $AMEn = -6584.7 + 496.1PB + 3314.2MM + 952.5EE - 1728.5FB - 548.0FDN + 1345.5FDA + 8075.7 \text{ calcium}$; and for laying hens: $AMEn = 5319.44 - 427.74MM - 152.65EE + 408.26FB + 181.19FDN - 378.29FDA - 4630.37 \text{ calcium} - 6227.04 \text{ phosphorus}$. None of the evaluated prediction models provided efficiency for field applications. To improve the accuracy of the methods, it is necessary to add new categories of birds and to update the database used to develop these methods, ensuring that the data used refer to current genetically birds and food.

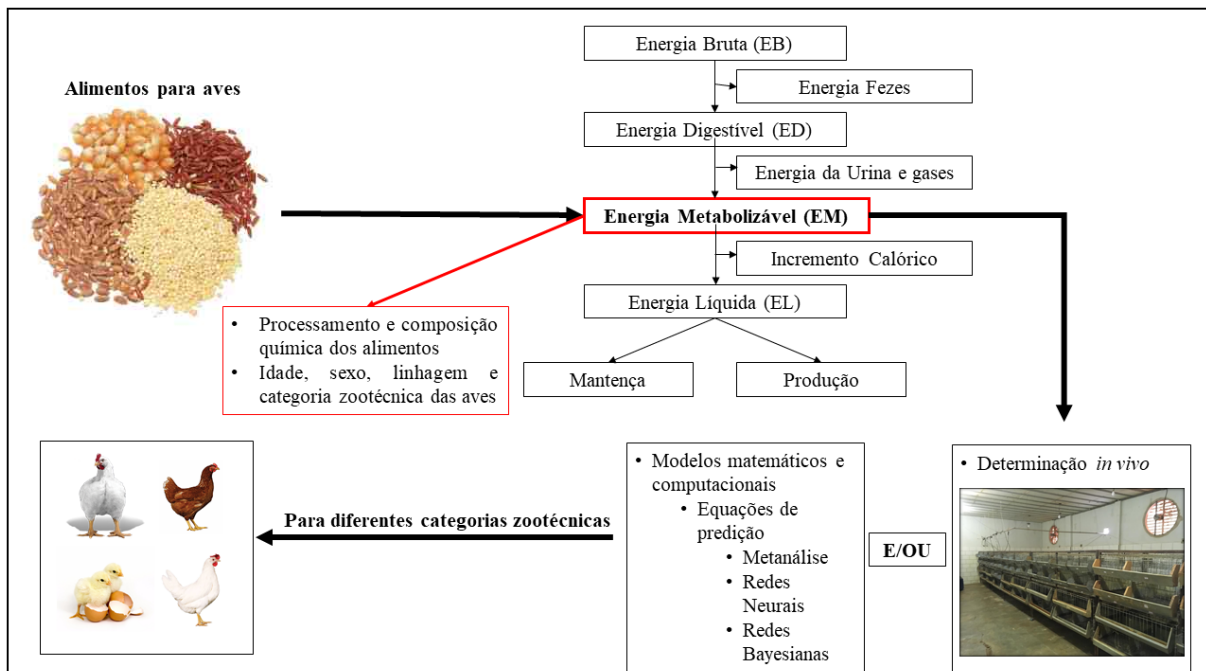
Keywords: Poultry farming. Feedstuff. Nutrition.

Resumo Interpretativo e Resumo Gráfico

Elaborado por Evelyn Cristina de Oliveira e orientado por Paulo Borges Rodrigues

A formulação de dietas balanceadas é primordial para o sucesso de um sistema de produção de aves. Para que seja possível o balanceamento adequado de rações é necessário que se conheça o valor energético dos alimentos. Para aves a energia presente nos alimentos é representado pela energia metabolizável e seus valores são influenciados por características inerentes aos alimentos e as aves, como por exemplo a composição química e processamento dos alimentos, idade, linhagem, categoria zootécnica e sexo dos animais. A determinação *in vivo* da energia metabolizável é considerada o método mais preciso de se obter os valores de energia, porém é trabalhosa, demanda tempo, mão-de-obra treinada, estruturas de galpões e salas de metabolismo e laboratórios bem equipados, o que torna esse procedimento oneroso. Como uma alternativa aos ensaios metabólicos, métodos indiretos que empregam modelagem matemática e computacional têm se mostrado uma alternativa promissora para a determinação do valor energético dos alimentos para aves.

O objetivo neste estudo foi propor equações de predição para diferentes categorias zootécnicas de aves (frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura) e avaliar diferentes métodos de predição para estimar os valores energéticos de alimentos empregados comumente na dieta de aves (farelo de soja, milho, farelo de trigo e sorgo). As equações de predição propostas devem ser validadas para que seu uso seja recomendado à campo. Os métodos de predição avaliados não se mostraram eficientes para determinar os valores de energia metabolizável para nenhuma das categorias de aves estudadas.



Determinação e avaliação de métodos indiretos para se estimar os valores de energia metabolizável de alimentos para diferentes categorias zootécnicas de aves

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 2

Figura 1 - <i>AMEn Predictor</i>	76
Figura 2 - Relação entre os valores de EMA observados para o milho e valores preditos através do (1) <i>AMEn Predictor</i> - frangos de corte; (2) <i>AMEn Predictor</i> - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.	86
Figura 3 - Relação entre os valores de EMA observados para o farelo de soja e valores preditos através do (1) <i>AMEn Predictor</i> - frangos de corte; (2) <i>AMEn Predictor</i> - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.	87
Figura 4 - Relação entre os valores de EMA observados para o farelo de trigo e valores preditos através do (1) <i>AMEn Predictor</i> - frangos de corte; (2) <i>AMEn Predictor</i> - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.	88
Figura 5 - Relação entre os valores de EMA observados para o sorgo e valores preditos através do (1) <i>AMEn Predictor</i> - frangos de corte; (2) <i>AMEn Predictor</i> - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.	89
Figura 6 - Relação entre os valores de EMA observados para o alimentos e valores preditos através de (1) Equação geral 1; (2) Equação geral 2.	89

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Recomendações de inclusão (%) de alguns alimentos das rações das aves.	20
--	----

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.	44
Tabela 2 - Composição química dos alimentos, expressos na matéria natural.	50
Tabela 3 - Valores de energia metabolizável aparente (EMA) e aparente corrigida para nitrogênio retido (EMAn) dos alimentos teste, em Kcal/kg de MS.	51
Tabela 4 - Coeficientes de correlação estimados entre todas as variáveis da composição química e EMAn dos alimentos para frangos de corte.	53
Tabela 5 - Equações de predição obtidas para estimar os valores de EMAn de alimentos concentrados proteicos e energéticos para as diferentes categorias de aves (valores expressos com base na matéria seca).	55
Tabela 6 - Coeficientes de correlação estimados entre todas as variáveis da composição química e EMAn dos alimentos concentrados energéticos (milho, farelo de trigo e sorgo) para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura.	57
Tabela 7 - Equações de predição obtidas para estimar os valores de EMAn de alimentos energéticos para as diferentes categorias de aves (valores expressos com base na matéria seca).	59

ARTIGO 2

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.	70
Tabela 2 - Composição química e energia bruta dos alimentos, expressos na matéria natural.	80
Tabela 3 - Valores de EMAn determinados em ensaios metabólicos para as diferentes categorias de aves, valores expressos em kcal/kg na matéria natural (MS).	81
Tabela 4 - Valores estimados de EMAn através do aplicativo AMEn Predictor e através das equações determinadas através de Redes Bayesianas, valores expressos em kcal/kg na matéria natural (MS).	82

Tabela 5 - Estimativas de parâmetros, níveis descritivos de probabilidade para as hipóteses de nulidade para as regressões entre valores observados e preditos, dos valores de EMAn de alimentos e estimados.	84
Tabela 6 - Parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia dos métodos de predição de valores energéticos de alimentos para aves.	94
Tabela 7 - Ranqueamento das predições de acordo com os parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia dos métodos de predição de valores energéticos de alimentos para aves.	94

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	14
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Estrutura da tese.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Avicultura brasileira.....	17
2.2 Alimentos empregados na avicultura e seus valores energéticos	18
2.3 Métodos para a determinação dos valores de energia metabolizável	23
2.3.1 Métodos biológicos para a determinação dos valores de energia metabolizável	23
2.3.2 Métodos não biológicos para a determinação dos valores de energia metabolizável.....	26
2.3.3 Modelos matemáticos e computacionais na estimativa dos valores de energia metabolizável.....	27
REFERÊNCIAS.....	31
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	38
ARTIGO 1 - VALOR ENERGÉTICO E EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES DE ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES DE PRODUÇÃO	38
1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1 Animais e condições experimentais	43
2.2 Delineamento experimental e instalações.....	44
2.3 Procedimentos experimentais.....	45
2.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais	46
2.5 Análises estatísticas e determinação das equações de predição	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS.....	61
ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DE MÉTODOS INDIRETOS PARA ESTIMAR O VALOR ENERGÉTICO DOS ALIMENTOS PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES	64
1 INTRODUÇÃO.....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
2.1 Ensaio metabólico	69
2.1.1 Animais e condições experimentais	69
2.1.2 Delineamento experimental e instalações.....	70
2.1.3 Procedimentos experimentais.....	71
2.1.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais	72
2.2 Modelos selecionados para predição da EMAn de alimentos para aves.....	73
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4 CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS.....	99
ANEXO A – Certificado de aprovação pela Comissão de Ética no uso de Animais (CEUA)	103
ANEXO B – Rotina R para obter equações de predição	104
ANEXO C – Rotina R para avaliar os métodos de predição.....	105

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca, no cenário econômico internacional, como um grande exportador de produtos agrícolas e pecuários. Assim, pode-se dizer que os produtos agropecuários são fundamentais para o crescimento da economia brasileira e uma das principais atividades que compõem esse setor é a produção de aves.

Os índices alcançados pelo setor avícola são resultantes de avanços na genética, manejo, sanidade, ambiência e nutrição dos animais, sendo que a nutrição se destaca por ser o principal componente dos custos de produção. Por isso, há uma busca constante por dietas cada vez mais precisas, as quais fornecem nutrientes de qualidade e em quantidades adequadas. Atender, adequadamente, à exigência nutricional das aves é primordial para que se alcance o máximo desempenho zootécnico e econômico.

O requerimento nutricional varia entre as diferentes categorias de aves, e nutrientes em excesso não são aproveitados, representando gastos desnecessários que refletem nos custos da atividade avícola. Já a escassez de nutrientes pode ser limitante e reflete negativamente no desempenho animal, afetando a produção de carne e ovos e, conseqüentemente, o retorno econômico da atividade.

A notável produção brasileira de grãos e cereais, fornece uma grande variedade de alimentos que podem ser utilizados nas rações para animais, principalmente em épocas em que o milho e o farelo de soja estão com alta nos preços ou quando há escassez no mercado regional. Contudo, as composições químicas e energéticas dos alimentos de origem vegetal variam, de acordo com as condições climáticas e do solo onde são cultivados e, até mesmo, do sistema de produção adotado. Assim, torna-se importante conhecer precisamente as características do alimento a ser utilizado na alimentação das aves.

Dentre os principais componentes nutricionais dos alimentos, a energia é reconhecida por refletir diretamente na produtividade animal. Os valores de energia dos alimentos resultam da interação entre as características químicas dos alimentos e características inerentes às aves, como a categoria, idade e sexo.

A categoria de aves diz respeito aos grupos de animais formados em função da sua finalidade zootécnica, como animais voltados para a produção de carne (frangos de corte), animais cuja finalidade é a reprodução (galos e matrizes), aves sendo preparadas para futura

produção de ovos (frangas de reposição) e aves para a produção de ovos (galinhas em postura).

A maioria das informações disponíveis, na literatura, quanto à energia metabolizável aparente (EMA) dos alimentos, foram obtidos com frangos de corte e galos. Esses valores têm sido aplicados ao longo dos anos em formulações para várias categorias de aves. No entanto, a generalização desses valores para as diversas categorias de aves pode resultar em rações super ou subestimadas em relação a sua composição química e energética. Os valores de energia metabolizável são comumente corrigidos para retenção de nitrogênio, obtendo-se valores de energia metabolizável aparente, corrigida para nitrogênio retido (EMAn), dessa forma torna-se possível realizar comparações entre os valores de energia, já que em um ensaio de metabolismo nem sempre as aves apresentam mesma taxa de crescimento. Assim, faz-se importante determinar os valores de EMAn de alimentos frequentemente utilizados em dietas para as diferentes categorias de aves.

No entanto, a determinação *in vivo* de EMA é um procedimento oneroso e que demanda tempo, o que torna, muitas vezes, inviável a condução de ensaios metabólicos. Por isso, o uso de métodos de predição de energia já existentes é uma alternativa a ser considerada. Para que os métodos de predição sejam aplicados à campo para todas as categorias de aves é necessário que sejam avaliados para garantir sua acurácia.

Assim, os objetivos desse trabalho são:

- a) determinar *in vivo* os valores de energia de diferentes lotes de milho, farelo de soja, farelo de trigo e sorgo para diferentes categorias de aves;
- b) propor equações de predição para os valores de EMA, a partir do ajuste de um modelo de regressão múltipla, inserindo diferentes categorias de aves;
- c) comparar os modelos obtidos, neste trabalho, com outras alternativas recomendadas na literatura.

1.1 Estrutura da tese

Inicialmente, será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a avicultura brasileira, sobre os principais alimentos empregados na alimentação das aves e seus valores energéticos e métodos para a determinação dos valores de energia metabolizável. Na segunda parte, estão anexados dois artigos relacionados ao desenvolvimento desta tese, os quais estão redigidos conforme as normas da Universidade Federal de Lavras.

No primeiro artigo, foram determinados os valores de energia dos alimentos e proposto equações de predição para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura. No segundo artigo, comparou-se os valores obtidos à campo com valores preditos por diferentes métodos de predição.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Avicultura brasileira

Há evidências de que as galinhas (*Gallus domesticus*) foram domesticadas há 3000 anos aC, sendo, inicialmente, utilizadas para recreação e ornamentação (PICOLI, 2004). Dentre os fatores que facilitaram a domesticação das aves, estão a facilidade de reprodução e o fato de os filhotes se alimentarem sozinhos após o nascimento.

Após sua domesticação, as galinhas foram levadas para a Europa e no período de colonização foram disseminadas pelo mundo. Os primeiros exemplares foram trazidos para o Brasil ainda na época do descobrimento, relatos de galinhas, no Brasil, estão documentados em cartas escritas por Pero Vaz de Caminha ao rei de Portugal Dom Manuel, nas quais são descritas as expedições de Pedro Álvarez Cabral. Nas cartas, datadas do ano de 1500, são relatadas como eram realizadas a aclimação e adaptação das aves (WATANABE, 2016).

A produção familiar foi responsável pelo início da avicultura no Brasil. A criação de aves ocorria em pequenas propriedades, as quais eram feitas para subsistência e apenas o excedente era comercializado. Além disso, a produção nessas propriedades eram diversificadas, ou seja, a atividade ocorria, concomitantemente, com outras atividades dentro da propriedade, como produção de grãos, bovinos e suínos (ZEN et al., 2014).

A partir de 1940, a produção avícola deixa de ser uma atividade doméstica e passa a ser considerada uma atividade industrial, com adoção de sistemas que proporcionaram o aumento da produção e permitiram que a avicultura ganhasse expressão na economia do país. O desenvolvimento das principais tecnologias voltadas para a produção de aves foi impulsionado pela escassez de alimentos decorrentes da segunda guerra mundial, as aves foram visadas em razão da aptidão de produzir carne e ovos.

Os avanços tecnológicos, que foram desenvolvidos, principalmente, pelos Estados Unidos, chegaram ao Brasil, nos anos de 1950. Na década de 1970, houve uma evolução significativa no que se refere à genética, nutrição, manejo e sanidade dos animais. Isso somado à automatização das atividades resultaram em uma elevação da produção de carne de frango, chegando a um aumento de 12% ao ano, nessa década (LIMA; SIQUEIRA; ARAUJO, 1995). Segundo Garcia (2005), nos anos de 1990, esses avanços foram intensificados, impulsionados pela disponibilidade de milho e soja somado ao sistema de integração adotado pela indústria avícola.

Atualmente, a indústria avícola é uma das maiores e mais desenvolvidas do mundo (AMID; GUNDOSHMIAN, 2016). No mercado mundial de aves, o Brasil ocupa a segunda posição como maior produtor de carne de frango e a primeira posição como maior exportador de carne. Quanto à produção de ovos, em 2017, a produção brasileira atingiu o marco de 39,9 milhões de ovos produzidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2018). Segundo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2015), a carne de frango é a que apresenta maior expectativa de crescimento, até 2026, com média anual de crescimento de 3%.

A carne de frango é a mais produzida no Brasil, sendo que, em 2018, a produção atingiu a marca de 13.375 milhões de toneladas, seguida pela carne bovina e suína, com produções de 9.994 milhões de toneladas e 3.675 milhões de toneladas, respectivamente (TALAMINI; MARTINS; SANTOS FILHO, 2019).

Há ainda a perspectiva de aumento da demanda, pelo consumidor, por produtos avícolas, isso em razão da maior disponibilidade de carne frango e ovos e da mudança nos hábitos da população nos últimos anos. O consumo per capita brasileiro de ovos passou de 131,8 unidades/ano em 2007 (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBA, 2007) para 192,0 unidades/ano em 2017, enquanto o consumo per capita de carne de frango teve um aumento de 5,05 quilos/ano entre os anos de 2007 e 2017, passando de 37,02 quilos/habitante/ano para 42,07 quilos/habitante/anos (ABPA, 2018). Borges, Borges e Pinheiro (2018) afirmaram que o interesse sobre determinado produto decorre da motivação pela busca e da disponibilidade para a venda desse produto, ou seja, o consumidor, ao buscar um determinado alimento e este estiver disponível para compra, afeta, positivamente, a demanda.

Assim, profissionais que atuam na cadeia produtiva de aves buscam sempre aprimorar os sistemas de produção, tornando-os cada vez mais eficientes, evitando perdas, minimizando o impacto ambiental e maximizando a produção e o retorno econômico.

2.2 Alimentos empregados na avicultura e seus valores energéticos

Uma grande variedade de alimentos e seus coprodutos são empregados na formulação de rações para aves, buscando sempre maior aproveitamento desses ingredientes. Para isso, é primordial que se conheça com precisão a composição química, o valor nutritivo e energético dos alimentos.

As rações fornecidas para aves, no Brasil, são formuladas à base de milho e farelo de soja, em razão da oferta desses dois alimentos e por serem considerados alimentos de alta digestibilidade (FREITAS; FUENTES; ESPÍNDOLA, 2000).

Mundialmente, as aves, juntamente com os suínos, são responsáveis por consumir 2/3 da produção de farelo de soja (BELLAYER; SNIZEK JUNIOR, 1999). O milho, por sua vez, além de ser um insumo importante para a cadeia produtiva de aves também é utilizado, diretamente, na alimentação humana e na produção de etanol (BRITO, 2008). Considerando a oferta e a demanda de milho e farelo de soja para a avicultura e o impacto desses dois alimentos nos custos de produção, busca-se, com frequência, a utilização de outros ingredientes em substituição total ou parcial desses dois alimentos.

A utilização constante de alimentos alternativos, na alimentação de frangos de corte e galinhas em postura, tem se mostrado uma alternativa viável (MURAKAMI; FURLAN, 2002). São alimentos alternativos, usualmente empregados na avicultura, o farelo de trigo, sorgo, milheto, glúten de milho, farinha de vísceras, farinha de carne e ossos, cevada, aveia, quirera de arroz, farelo de algodão, polpa cítrica, entre outros (BELLAYER; LUDKE, 2004).

Outro fator considerado determinante na escolha dos alimentos a serem incluídos na dieta das aves são as exigências nutricionais de cada categoria animal, a necessidade de alguns nutrientes pode variar, consideravelmente, entre as categorias de aves, como os níveis de cálcio, proteína digestível, fibra bruta, entre outros. De acordo com Rostagno et al. (2017) a exigência nutricional de cálcio (Ca) para frangos de corte desempenho regular-médio na fase de crescimento é de 0,754%, enquanto para frangas de reposição na fase de pré-postura é de 2,2% Ca e para galinhas em postura a exigência desse nutriente chega a 4,7%. Esses autores fazem ainda recomendações quanto aos níveis de inclusão dos alimentos, nas rações para cada categoria de aves (TABELA 1).

Tabela 1 - Recomendações de inclusão (%) de alguns alimentos das rações das aves.

Alimentos	Frangos de corte		Galinhas em postura
	Inicial	Crescimento	
Milho grão (8,8% PB)	65	65	65
Farelo de soja (45% PB)	35	35	30
Farelo de algodão (30% PB)	2 - 4	3 - 5	3 - 5
Farinha de carne e ossos (48% PB)	5 - 8	5 - 10	5 - 10
Farelo de trigo	3 - 10	5 - 15	6 - 15
Sorgo grão (Baixo tanino)	30 - 65	30 - 65	30 - 65
Farinha de sangue	1 - 2	2 - 3	1 - 2
Óleo de soja	3 - 6	3 - 7	3 - 7
Glúten de milho (60% PB)	4 - 8	4 - 8	4 - 10
Raspa integral de mandioca	5 - 20	10 - 20	10 - 20
Farelo de girassol	5 - 10	8 - 15	8 - 15

Fonte: Adaptado de Rostagno et al. (2017).

Levando em conta a variedade de alimentos que é utilizada na alimentação das aves, o conhecimento nutricional desses alimentos se torna imprescindível, atentando-se ainda ao conteúdo energético dos alimentos. A energia é um componente nutricional utilizado pelo organismo dos animais, o qual é obtido, por meio da oxidação dos nutrientes presentes nos alimentos, como metabolizados pelo organismo animal (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1994).

É sabido que as aves ingerem alimentos na busca de satisfazer suas necessidades energéticas. Assim o aumento da energia da dieta pode refletir em um menor consumo para atender às suas exigências de energia. Outro fator que deve ser considerado é que maiores níveis de energia na dieta resultam em maiores taxas de crescimento, já que não há necessidade de se utilizar proteína bruta como fonte de energia, a qual é então direcionada para a deposição de tecido muscular (DUARTE et al., 2007; GONZALES, 2002). Esses dois fatores ressaltam a importância da precisão dos valores de energia dos alimentos.

A quantidade de energia presente nos alimentos, é denominada energia bruta (EB). Os valores de EB podem ser determinados laboratorialmente, por meio da incineração dos alimentos, no entanto nem toda energia contida nos alimentos será aproveitada pelo organismo do animal, o que faz com que esses valores não sejam úteis na formulação de rações (SIBBALD; SUMMERS; SLINGER, 1960). Ao subtrair da energia ingerida a energia contida nas fezes, têm-se o valor de energia digestível (ED). No entanto, em decorrência das

aves excretarem fezes e urina juntos, a forma mais empregada para se expressar os valores de energia é denominada energia metabolizável (EM).

De acordo com Brumano et al. (2006), quando o objetivo é a rentabilidade e a produtividade do setor avícola, é extremamente importante se conhecer os valores de EM dos alimentos. Silva et al. (2008) ressaltam que os valores de EM são resultantes da interação entre características inerentes ao alimento (composição química e características físicas do alimento) com características relacionadas às aves (anatômicas e fisiológicas), as quais irão influenciar diretamente os processos digestivos e absorptivos. Já Troni et al. (2016) ainda acrescentam a forma de criação dos animais como um dos fatores que podem influenciar os valores de EM, esses autores evidenciam também a importância de se realizar pesquisas constantes, objetivando-se a determinação dos valores energéticos dos alimentos utilizados em dietas de aves.

Dentre os principais fatores que podem influenciar os valores de EM dos alimentos para aves estão: a idade, sendo que animais jovens (idade inferior a 14 dias) são menos eficientes em metabolizar os nutrientes, por possuírem menor atividade da enzima lipase e menor concentração de ácidos biliares (BRUMANO et al., 2006; FREITAS et al., 2006; MELLO, 2007; SAKOMURA et al., 2004); sexo, categoria e espécie (FURLAN et al., 1998); consumo de ração, sendo que quanto maior o consumo menor a influência das perdas metabólicas, em relação aos valores de energia, o baixo de rações tendem a influenciar, negativamente, os valores de EMA (BORGES; ROSTAGNO; SAAD, 2004; SIBBALD, 1975); tempo de passagem dos alimentos pelo trato gastrointestinal e processamento dos alimentos e da ração (MASSUQUETTO et al., 2018; MORENO et al., 2018; SAKOMURA et al., 2004).

Alguns autores relatam que a produção de enzimas digestivas, o aproveitamento dos nutrientes e, conseqüentemente, o aproveitamento de energia aumentam com a idade do animal. Esse aumento é, ainda, associado à ingestão dos alimentos, já que as aves passam por um período de adaptação quando deixam de utilizar a gema como fonte de nutrientes e passam a utilizar os nutrientes presentes nos alimentos, por meio de alimentação exógena (NOY; SKLAN, 2001; OLUKOSI; COWIESON; ADEOLA, 2007). Assim, é de suma importância considerar os diferentes valores de energia presentes nos ingredientes em função da idade das aves, durante o procedimento de formulação de rações (ADEOLA et al., 2018). Os valores de EM tendem a aumentar com a idade até atingir um valor máximo, nesse ponto, apenas variações mínimas são observadas (SAKOMURA et al., 2004). Por outro lado, Thomas, Ravindran e Ravindran (2008) enfatizam que, em razão das mudanças fisiológicas,

ocasionadas por conta do melhoramento genético das aves, é possível que aves jovens apresentem valores de EM iguais ou, até mesmo, superiores aos determinados por aves adultas, como galinhas em postura e galos.

Existem, também, evidências de que o aproveitamento de energia dos alimentos para fêmeas possui eficiência diferente do que ocorre para os machos. Nascif et al. (2004) ao determinarem valores de óleos e gorduras para animais de ambos os sexos, observaram que os valores de energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente, corrigida para balança de nitrogênio igual a zero (EMAn) foram 2% maiores quando determinados com machos do que em relação aos determinados com fêmeas. No entanto, a maioria dos valores de energia encontrados, atualmente, na literatura, foram determinados com animais machos (frangos de corte e galos). Rostagno et al. (2011, 2017) propuseram uma correção nos valores de energia, para que possam ser utilizados com galinhas, no entanto, esses autores afirmam que os valores determinados com galinhas são superiores aos determinados com frangos de corte, em decorrência do sexo e categoria a que esses animais pertencem. Esse fator de correção é calculado em função do extrato não nitrogenado não digerido e fibra bruta ($EM_{galinhas} = EM_{aves} + 0,3ENDF$).

Quanto ao processamento do alimento, ao analisarem a digestibilidade da energia da soja integral extrusada, soja integral tostada pelo vapor e do farelo de soja com incorporação de óleo, Sakomura et al. (2004) observaram que o tipo de processamento afetou a disponibilidade de energia dos alimentos para aves, sendo que o processo de extrusão elevou os valores de EM, já que tornam mais disponível o conteúdo lipídico do grão de soja e promovem maior aproveitamentos dos lipídeos e do amido. Resultados semelhantes foram observados por Massuquetto et al. (2018) que afirmam que os processamentos térmicos aos quais os alimentos e as rações são submetidos resultam na desintegração e solubilização das moléculas de amido, ocasionando maiores valores de EM. Alahyari-Shahrasb et al. (2017), ao compararem o processamento feito com fermentação da cevada ao uso de enzimas exógenas, concluíram que a fermentação é mais eficiente para melhorar a digestibilidade da cevada e, conseqüentemente, apresentar maiores valores de EM para frangos de corte.

Em razão do grande número de fatores que afetam os valores de EM, diversos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de se determinar a energia presente nos alimentos para aves de forma mais precisa possível. No entanto, as diferentes metodologias empregadas na determinação desses valores de energia podem ser uma causa de variação entre os valores encontrados na literatura (AARDSMA; MITCHELL; PARSONS, 2017).

2.3 Métodos para a determinação dos valores de energia metabolizável

Os métodos empregados na determinação de valores energéticos podem ser divididos em três categorias, que são os métodos biológicos, os métodos não biológicos (*in vitro*) e, mais recentemente, o uso de modelos matemáticos e computacionais que visam a prever a energia presente nos alimentos.

2.3.1 Métodos biológicos para a determinação dos valores de energia metabolizável

Os métodos biológicos, também conhecidos como métodos *in vivo*, podem ser representados pelo método tradicional de coleta total de excretas (SIBBALD; SLINGER, 1963), pelo método de alimentação precisa (SIBBALD, 1976) e o método rápido (FARREL, 1978).

O método tradicional de coleta total de excretas preconiza o uso de uma dieta basal que é substituída, parcialmente, pelo alimento testado e fornecida *ad libitum*. Esse método determina os valores de energia metabolizável aparente (EMA). Zelenka (1997) ressalta que a quantidade de alimento ingerido pode afetar o valor de EMA determinado, assim, esses autores enfatizam a importância de se fornecer alimentos *ad libitum*, ficando o mais próximo possível da situação real de alimentação das aves. O efeito do consumo é ainda mais relevante quando a quantidade de ração consumida é baixa, neste caso, as perdas endógenas podem reduzir o valor de EMA (SIBBALD, 1976).

A metodologia tradicional de coleta total de excretas não considera possíveis variações nos valores de EMA, em razão das diferenças nos níveis de inclusão ou o valor extracalórico dos alimentos, assumindo assim que toda a variação nos valores encontrados nos valores de EMA está relacionada ao ingrediente teste (SCHANG, 1987). No entanto, Matterson, Potter e Stutz (1965) afirmam que os valores energéticos dos alimentos são pouco influenciados pelo balanço nutricional da dieta, esses autores evidenciam a vantagem do método ser facilmente empregado, motivo pelo qual é o mais difundido. Uma desvantagem dessa metodologia, de acordo com Baptista (1984) é o tempo para a condução dos experimentos, média de 14 dias, visando à determinação dos valores de energia, já que é necessário submeter as aves a um período de adaptação à dieta antes de dar início ao período experimental, além de ser este um

método oneroso, pois necessita de instalações adequadas, mão de obra treinada para a condução do ensaio e análise dos resultados, animais, alimentos a serem testados e de análises laboratoriais específicas para as excretas e alimentos. Outro ponto a ser considerado é que, aos valores de EMA obtidos, por meio do método de coleta total de excretas não considera possíveis perdas metabólicas endógenas.

Barzegar et al. (2019), ao utilizarem a metodologia de coleta total de excretas para determinar os valores de energia de alimentos para galinhas em postura, observaram que a metodologia não apresentou valores de EM representativos. Esses autores sugerem que a metodologia deve ser ajustada para aves de postura em produção, bem como os valores de EM utilizados para a formulação de rações para essa categoria de aves.

O método da alimentação precisa proposto por Sibbald (1976), utiliza como modelo animal, galos adultos, os quais são submetidos a um período de jejum e, posteriormente, recebem quantidades específicas do alimento teste diretamente no papo. A quantidade de alimento introduzida no papo, varia de 20 a 30g e são realizadas coletas, por um período de 48 horas. Esse método leva em consideração as perdas metabólicas e endógenas, determinando a energia metabolizável verdadeira (EMV), para isso, é necessário manter animais em jejum, pelo mesmo período de 48 horas. Esse método também é conhecido como método da alimentação forçada, uma vez que o consumo de alimento não ocorre voluntariamente.

No método proposto por Sibbald (1976), o autor considera que as perdas endógenas de aves mantidas em jejum e aves que recebem alimento é o mesmo (BORGES et al., 2003). Baptista (1984) ressaltam que o período de jejum deve variar entre 24 a 96 horas, períodos menores não são suficientes para promover o esvaziamento do trato gastrointestinal e as aves do grupo controle devem passar por um período de jejum exatamente igual aos que as aves, recebendo alimento teste.

Dentre as principais desvantagens do método da alimentação precisa, pode-se destacar as pequenas quantidades de alimentos ingeridas pelas aves. Borges et al. (2003) ressaltam que a quantidade de alimento ingerida, afeta, diretamente, os valores de energia dos alimentos, sendo que quanto menor o consumo de alimento mais expressivos os efeitos das perdas metabólicas sobre os valores de energia metabolizável.

A grande maioria dos valores de energia para galos encontrados hoje, na literatura, advém de dados obtidos com o emprego da metodologia de alimentação precisa. No entanto, dificilmente, nos dias atuais, seriam aprovados ensaios ou experimentos com esse método por parte dos comitês de ética no uso de animais, já que o período de jejum e a introdução da

cânula forçando a ingestão do alimento podem ser considerados como um sofrimento para os animais (CAMPOS et al., 2016).

Os valores de EMV determinados pelo método da alimentação precisa, não são comparáveis aos valores de EMA obtidos pelo método tradicional de coleta total de excretas, que são, a maioria, encontrados na literatura. Nunes et al. (2008) observaram valores de EMV superiores em média 3,77% aos de EMA, para diversos alimentos. Assim, Farrel (1978) propôs o método rápido o qual determina os valores EMA em que galos treinados ingerem, voluntariamente, de 80 a 100g de ração teste, que é composta por 50% de ração basal e 50% de alimento teste, em um período de 24 horas nos quais são realizadas a coleta de excretas. Os valores de EMA pelo método de Farrel (1978) são determinados em um período médio de 5 dias e são comparáveis aos obtidos pelo método tradicional de coleta total de excretas.

Os valores de EMA comumente são corrigidos para balanço de nitrogênio igual a zero (EMAn), essa correção é necessária, pois nem sempre os animais apresentam a mesma taxa de crescimento (NUNES et al., 2008). De acordo com Sibbald (1982), o nitrogênio retido no corpo, quando catabolizado pelo organismo das aves, pode ser excretado na forma de compostos que contém energia, superestimando ou subestimando os valores de energia presentes nos alimentos.

A correção para balanço de nitrogênio igual a zero também é aplicável para os valores de EMV, obtendo-se, assim, a EMVn. Fischer Júnior et al. (1998), ao determinarem os valores de energia de alimentos empregados na alimentação de aves, observaram que os valores de EMV foram superiores aos de EMVn, esses autores utilizaram galos como modelo animal e ressaltaram que as aves apresentaram balanço de nitrogênio positivo (retenção de nitrogênio do alimento) o que leva a subestimação dos valores energéticos nas excretas desses animais.

A correção para balanço de nitrogênio igual a zero é extremamente importante para fins comparativos, ou seja, após realizada a correção, é possível comparar os valores obtidos em diferentes situações já que se presume que, após as correções, os valores representam aves em mesma situação metabólica e englobam todos os possíveis efeitos da idade ou de categoria das aves (LOPEZ; LEESON, 2008). O fator de correção adotado, universalmente, para se adequar os valores de EMA e EMV para balanço de nitrogênio igual a zero é de 8,22, esse valor foi proposto por Hill e Anderson (1957) e é a energia bruta liberada para a combustão de um grama de nitrogênio urinário excretado na forma de ácido úrico. No entanto, apesar de considerado imprescindível por muitos autores, Andrade et al. (2016) afirmam que, como aves em produção, estão, geralmente, em balanço energético positivo, o ajuste dos valores de

energia metabolizável em função da idade é mais relevante do que a correção para balanço de nitrogênio igual a zero.

No entanto, em estudos recentes realizados por Mateos et al. (2019) esses autores demonstraram que a correção para balanço de nitrogênio igual a zero pode subestimar, em cerca de 7%, os valores de energia dos alimentos proteicos. Segundo Lopez e Leeson (2008), os alimentos proteicos são mais penalizados pela correção para balanço de nitrogênio igual a zero, pois assumo que todos os compostos nitrogenados, como a proteína, são utilizados como fonte de energia. Esses autores observaram um declínio de 7 a 12 pontos percentuais nos valores de energia metabolizável do farelo de soja, enquanto que para o milho essa variação foi de 1 a 5 pontos percentuais.

Os frangos de corte moderno possuem rápido crescimento e alta capacidade em depositar proteína, nesse caso, os valores de energia dos alimentos podem ser mais penalizados, em razão das correções pelo nitrogênio retido (LOPEZ; LEESON, 2008). Isso pode indicar a necessidade de se atualizar os valores de energia dos alimentos utilizados hoje na formulação de rações e de se desenvolver novos métodos e técnicas para a determinação ou estimativa desses valores.

2.3.2 Métodos não biológicos para a determinação dos valores de energia metabolizável

Os métodos não biológicos, *in vitro*, consistem em procedimentos laboratoriais que visam a simular o processo digestivo e metabólico sem o uso de animais (SMEETS-PEETERS et al., 1998). Apesar de ser uma forma rápida de se determinar os valores de energia, os resultados obtidos com métodos não biológicos não são precisos, pois no organismo dos animais ocorrem processos digestivos e metabólicos complexos que são impossíveis de se reproduzir fielmente.

Considerando que os métodos não biológicos não apresentam precisão adequada e que os métodos biológicos são onerosos, trabalhosos, dependem do uso de bombas calorimétricas e requerem tempo para serem desenvolvidos, pesquisadores viram a necessidade de desenvolver outras formas para prever o valor energético contido nos alimentos para aves. Assim, modelos matemáticos passaram a ser estudados para prever os valores de energia, baseando-se, basicamente, na composição química dos alimentos. Segundo o NRC (1994), baseando-se na composição química dos alimentos, é possível prever o seu conteúdo energético, considerando a digestibilidade constante dos nutrientes. Além disso, o uso de modelos matemáticos, como as equações de predição, geralmente dispensam o uso de bombas

calorimétricas e dos ensaios metabólicos, se destacando, assim, como uma alternativa econômica, rápida e mais aplicável (ZONTA et al., 2004).

2.3.3 Modelos matemáticos e computacionais na estimação dos valores de energia metabolizável

O uso de equações de predição, visando a estimar a energia metabolizável dos alimentos, vem sendo amplamente discutido por pesquisadores e nutricionistas de animais. Essas equações permitem corrigir os valores de energia metabolizável dos alimentos em função de sua composição química, o que as torna uma ferramenta viável no procedimento de balanceamento de rações para aves (NASCIMENTO et al., 2011; SEDGHI et al., 2011).

Rostagno, Bünzen e Sakomura (2007) destacaram que o uso de equações de predição é importante para as indústrias, pois permite estimar os valores de energia e ajustar os demais componentes nutricionais da dieta, baseando-se em análises laboratoriais rotineiras para a indústria. No entanto, Zhao et al. (2008) afirmam que o sucesso do emprego de equações de predição pode ser afetado por diversos fatores, os quais influenciam a precisão do modelo, como, por exemplo, o número ou tipo da variável que compõe.

É possível encontrar, na literatura internacional e nacional, (BORGES et al., 2003; JANSSEN, 1989; MARIANO et al., 2012; NASCIMENTO, 2007; NRC, 1994; PASQUETTI et al., 2015; ROSTAGNO et al., 2017) diversos trabalhos que propõem equações de predição para um alimento ou um grupo de alimentos. O ajuste da equação de predição deve ser realizado com base em valores de EMAn obtidos com a espécie de interesse zootécnico, evitando a extrapolação de dados (PASQUETTI et al., 2015).

Janssen (1989), nas Tabelas Européias de Valores Energéticos de Alimentos para Aves, propôs equações de predição para estimar os valores energéticos de diversos alimentos usados na alimentação de aves. Nagata et al. (2004), ao compararem os valores de energia de diferentes híbridos de milho e alguns subprodutos (quirera e gérmen) estimados pelas equações propostas por Janssen (1989), com os valores estimados pelas equações propostas por Rodrigues et al. (2001) e valores estimados pelas equações de Rodrigues (2000), observaram que os valores obtidos pelas equações de Janssen (1989) ficaram superestimados em relação aos demais e que a equação que melhor se adequou foi $EMAn = 4021,8 - 227,55MM$, proposta por Rodrigues (2000).

Assim como as equações propostas por Janssen (1989), o NRC (1994) também propõe diversas equações para se estimar valores de EMAn, no entanto o valor energético dos alimentos pode sofrer influência das condições edafoclimáticas em que são cultivados e, devido a isso, alguns autores sugerem que o uso de equações estrangeiras pode não resultar na mesma precisão que as que determinadas com dados nacionais. Assim, Rostagno et al. (2017) propuseram a equação $EM_{AVES}=4,31 \text{ pbD} + 9,29 \text{ EEd} + 4,14 \text{ ENNd}$ para frangos de corte e aves jovens e a equação $EM_{GALINHAS}=4,31 \text{ pbD} + 9,29 \text{ EEd} + 4,14 \text{ ENNd} + 0,3 \text{ ENDF}$ para galinhas e aves adultas. Além disso, esses autores sugerem que a EMAn de alimentos de origem animal e gordura devem ser estimados por $EM_{AVES}= 4,31 \text{ PBd} + 9,29 \text{ EEd}$.

É consenso entre os pesquisadores que a precisão do modelo depende das variáveis que o compõem, nesse sentido, Borges et al. (2003) afirmam que a proteína bruta (PB), o extrato etéreo (EE) e a fibra bruta (FB), quando utilizadas em conjunto, foram as variáveis que resultaram em maior precisão. Esses autores relatam que a FB possui correlação negativa com os valores de EMAn, sendo que a equação que melhor se ajustou foi $EMAn = 4337,0 - 202,0 \text{ FB} - 156,8 \text{ EE}$ ($R^2=0,93$). Por outro lado, Cerrate et al. (2019) sugerem que as variáveis proteína digestível (Pd), carboidratos digestíveis (CHOd) e extrato etéreo digestível, proporcionaram melhor ajuste ($R^2=0,99$) e sugeriram que os genótipos do frango de corte moderno podem estar mais eficientes para metabolizar esses componentes.

A metanálise vem sendo empregada na tentativa de melhorar a precisão da predição de valores energéticos de alimentos para aves. Em suma, tal metodologia se baseia na aplicação de algum método estatístico para combinar e resumir resultados distintos, encontrados na literatura, mas que sejam relacionados entre si (SAUVANT et al., 2008). O intuito é que tais métodos estatísticos empregados na meta-análise assegurem a obtenção de uma estimativa combinada precisa e acurada, sobretudo em razão do aumento do número de observações e da consideração da variabilidade existente entre os resultados (FAGARD; STAESSEN; THIJS, 1996).

Oliveira et al. (2018) ressaltam que o uso de metanálise contribui para a elaboração de equações de predição que resultam em valores de EMAn mais precisos. Assim, Nascimento et al. (2009) propuseram duas equações de predição para estimar EMAn de alimentos concentrados, baseadas no princípio da metanálise, que são $EMAn = 4101,33 + 56,28EE - 232,97MM - 24,86FDN + 10,42FDA$, com R^2 de 84%; e $EMAn = 4095,41 + 56,84EE - 225,26MM - 22,24FDN$, com R^2 de 83% .

Um fator a ser considerado é a categoria de aves para a qual serão formuladas as rações, Barzegar et al. (2019) indicam valores de EMAn ou equações de predição

determinadas com frangos de corte não podem ser aplicados para galinhas em postura. Esses autores, concluem que o método de coleta total de excretas também não se adequa para essa categoria de aves e indicam que equações de predição determinadas, por meio da regressão com dados obtidos por essa metodologia.

Métodos computacionais têm sido desenvolvidos e estão sendo bem aceitos por profissionais da área, já que permitem o processamento de um banco de dados mais amplo. A capacidade preditiva dos modelos matemáticos é influenciada por diversos fatores, como pelo número de amostras, variação na composição química da amostra e o número de variáveis independentes adotada no modelo (PERAI et al., 2010).

Estudos mais recentes utilizam métodos e técnicas computacionais como redes neurais artificiais (AMID; GUNDOSHMIAN, 2016; MARIANO et al., 2014), sistemas de inferência fuzzy, sistemas evolutivos computacionais (AMID; GUNDOSHMIAN, 2016) e redes bayesianas (ALVARENGA, 2019) para estimar os valores de EMAn dos alimentos.

As redes neurais artificiais têm sido estudadas nos últimos 40 anos (DAYHOFF; DELEO, 2001) e o seu uso tem se mostrado um bom método para modelar respostas biológicas complexas (ALMEIDA, 2002). De acordo com Dayhoff e DeLeo (2001), as redes neurais artificiais foram inspiradas em modelos de neurônios vivos e redes de neurônios, assim se destacam como modelos matemáticos multifatoriais robustos que podem ser aplicados com sucesso na previsão, classificação, identificação, estimativa e reconhecimento de padrões.

Na área da zootecnia, métodos utilizando redes neurais já foram testados para diversos fins, como para prever o desempenho de aves, baseando-se na energia metabolizável da dieta e nos níveis de metionina e lisina (AHMADI; MOTTAGHITALAB; NARIMAN-ZADEH, 2007), prever o crescimento de frangos de corte baseando-se na proteína, gordura e carboidratos da dieta (AHMADI; GOLIAN, 2010), prever a eclodibilidade de ovos (BOLZAN; MACHADO; PIAIA, 2008) e para prever a energia metabolizável dos alimentos, baseando-se em sua composição química (AMID; GUNDOSHMIAN, 2016; MARIANO et al., 2014; SEDGHI et al., 2011).

Sedghi et al. (2011), ao compararem o método de redes neurais na previsão de energia metabolizável do sorgo ao método de regressão linear múltipla, observaram que as redes neurais foram mais precisas na estimação e que se mostraram eficientes na estimativa desses valores. Esses autores afirmaram que isso se deve, principalmente, à alta correlação entre a composição química do alimento e os valores de energia metabolizável do alimento.

Mariano et al. (2013) indicaram um modelo de redes neurais perceptron multicamadas (MLP) para prever o valor energético dos alimentos. Esses autores desenvolveram uma calculadora no Excel[®] que, posteriormente, deu origem ao aplicativo android denominado *AMEn Predictor*, sendo ambos baseados em dados exclusivamente nacionais.

Para o desenvolvimento do *AMEn Predictor* os autores utilizaram como parâmetros de entrada a categoria animal (galos ou frangos de corte), categoria de alimentos (alimentos concentrados energéticos ou proteicos), ingrediente utilizado (milho ou coproduto do milho, farelo de soja ou coproduto da soja e outros alimentos) e a composição química do alimento (matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e fibra bruta). A partir dessas informações é possível prever os valores de EMAn na matéria seca ou na matéria natural.

Mais recentemente, Alvarenga (2019) propôs equações de predição para EMAn de alimentos energéticos e proteicos utilizados para frangos de corte, considerando redes bayesianas, no estudo de meta-análise. As redes bayesianas tem se destacado, em razão de seu potencial em estimar valores a partir de relações complexas entre covariáveis e variáveis resposta, assim esse autor conclui que, em razão da acurácia apresentada, na predição de EMAn, as equações propostas podem ser empregadas à campo na elaboração de rações para frangos de corte

De maneira geral, aplicação dos métodos e técnicas computacionais tem se mostrado promissoras e possuem capacidade de impactar, diretamente, o processo produtivo na agroindústria. No entanto, para que sejam aplicados com segurança, faz-se necessário o ajuste dos diferentes métodos as diversas categorias de aves utilizadas comercialmente e a atualização dos dados já existentes para o maior número possível de alimentos e para as linhagens atuais de aves.

REFERÊNCIAS

- AARDSMA, M. P.; MITCHELL, R. D.; PARSONS, C. M. Relative metabolizable energy values for fats and oils in young broilers and adult roosters. **Poultry Science**, Champaign, v. 96, n. 7, p. 2320-2329, 2017.
- ADEOLA, O. et al. Age-related energy values of meat and bone meal for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 97, n. 7, p. 2516-2524, 2018.
- AHMADI, H.; GOLIAN, A. Growth analysis of chickens fed diets varying in the percentage of metabolizable energy provided by protein, fat, and carbohydrate through artificial neural network. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 1, p. 173-179, 2010.
- AHMADI, H.; MOTTAGHITALAB, M.; NARIMAN-ZADEH, N. Group method of data handling-type neural network prediction of broiler performance based on dietary metabolizable energy, methionine, and lysine. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 16, n. 4, p. 494-501, 2007.
- ALAHYARI-SHAHRASB, M. et al. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy values of barley varies by treatment and species. **Poultry science**, Champaign, v. 96, n. 7, p. 2194-2199, 2017.
- ALMEIDA, J. S. Predictive non-linear modeling of complex data by artificial neural networks. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 13, n. 1, p. 72-76, 2002.
- ALVARENGA, T. C. **Redes bayesianas na predição de valores energéticos de alimentos para aves**. 2019. 101 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- AMID, S.; GUNDOSHMIAN, T. M. Prediction of output energies for broiler production using linear regression, ANN (MLP, RBF), and ANFIS models. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 577-585, Mar. 2016.
- ANDRADE, R. C. et al. Avaliação da correção da energia pelo balanço de nitrogênio em alimentos para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68, n. 2, p. 497-505, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- BAPTISTA, M. E. S. A técnica da energia metabolizável verdadeira: revisão. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Coimbra, v. 89, p. 41-57, 1984.
- BARZEGAR, S. et al. Metabolizable energy of corn, soybean meal and wheat for laying hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 11, p. 5876-5882, Nov. 2019.

BELLAVER, C.; LUDKE, J. V. Considerações sobre os alimentos alternativos para dietas de suínos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DOS NEGÓCIOS DA PECUÁRIA, 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ENIPEC, 2004. 1 CD-ROM.

BELLAVER, C.; SNIZEK JUNIOR, P. N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA, 1999. 1 CD-ROM.

BOLZAN, A. C.; MACHADO, R. A. F.; PIAIA, J. C. Z. Egg hatchability prediction by multiple linear regression and artificial neural networks. **Poultry Science**, Champaign, v. 10, p. 97-102, 2008.

BORGES, F. M. O. et al. Comparação de métodos de avaliação dos valores energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 6, p. 710-721, 2003.

BORGES, F. M. O.; ROSTAGNO, H. S.; SAAD, C. E. P. Efeito do consumo de alimento sobre os valores energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte, obtidos pela metodologia da alimentação forçada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1392-1399, nov./dez. 2004.

BORGES, F. Q.; BORGES, F. Q.; PINHEIRO, J. G. Comportamento do consumidor de carne de frango: uma análise do consumo e da comercialização em Paragominas - PA. **Revista Pretexto**, Belo Horizonte, v. 18, n. 4, p. 129-143, out./dez. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2015/16 a 2025/26**. Brasília, DF, 2015. 18 p.

BRITO, A. B. de. **Avaliação de ingredientes para a nutrição de poedeiras comerciais**. 2008. Disponível em: <<https://polinutri.com.br/upload/artigo/195.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

BRUMANO, G. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de alimentos protéicos determinados com frangos de corte em diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2297-2302, nov./dez. 2006.

CAMPOS, A. D. S. et al. **Guia brasileiro de produção, manutenção ou utilização de animais em atividades de ensino ou pesquisa científica: introdução geral**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 53 p.

CERRATE, S. et al. Predicting nutrient digestibility and energy value for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 9, p. 3994-4007, Sept. 2019.

DAYHOFF, J. E.; DELEO, J. M. Artificial neural networks: opening the black box. **Cancer**, Bruselles, v. 91, n. 8, p. 1615-1635, 2001.

DUARTE, K. F. et al. Efeito dos níveis de energia e programas de alimentação sobre a qualidade de carcaça e desempenho de frangos de corte abatidos tardiamente. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 39-47, 2007.

FAGARD, R. H.; STAESSEN, J. A.; THIJS, L. Advantages and disadvantages of the meta-analysis approach. **Journal of Hypertension**, London, v. 14, p. 9-13, 1996. Supplement 2.

FARREL, D. J. Rapid determination of metabolizable energy of foods using cockerels. **British Poultry Science**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 303-308, 1978.

FISCHER JÚNIOR, A. A. et al. Determinação dos valores de energia metabolizável de alguns alimentos usados na alimentação de aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 314-318, 1998.

FREITAS, E. R. et al. Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 1, p. 107-115, jan. 2006.

FREITAS, E. R.; FUENTES, M. de F. F.; ESPÍNDOLA, G. B. Efeito da suplementação enzimática em rações à base de milho/farelo de soja sobre o desempenho de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1103-1109, jul./ago. 2000.

FURLAN, A. C. et al. Valores energéticos de alguns alimentos determinados com codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1147-1150, nov./dez. 1998.

GARCIA, L. A. F. Economia de escala na produção de frangos de corte no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 465-483, jul./set. 2005.

GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

HILL, F. W.; ANDERSON, D. L. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 64, n. 4, p. 587-603, Apr. 1957.

JANSSEN, W. M. M. A. **European table of energy values for poultry feedstuffs**. 3rd ed. Beekbergen: European Federation of Branches of the World's Poultry Science Association, 1989. 84 p. (Spelderholt Center for Poultry Research and Information Services).

LIMA, J. F.; SIQUEIRA, S. H. G. de; ARAUJO, D. V. **Relato setorial: avicultura**. Brasília, DF: BNDES, 1995.

LOPEZ, G.; LEESON, S. Assessment of the nitrogen correction factor in evaluating metabolizable energy of corn and soybean meal in diets for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, p. 298-306, 2008.

MARIANO, F. C. M. Q. et al. Equações de predição de valores energéticos de alimentos obtidas utilizando meta-análise e componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1634-1640, 2012.

MARIANO, F. C. M. Q. et al. Neural network committee to predict the AMEn of poultry feedstuffs. **Neural Computing and Applications**, London, v. 25, p. 1903-1911, 2014.

- MARIANO, F. C. M. Q. et al. Prediction of the energy values of feedstuffs for broilers using meta-analysis and neural networks. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 9, p. 1440-1445, 2013.
- MASSUQUETTO, A. et al. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 27, n. 1, p. 51-58, 2018.
- MATEOS, G. G. et al. Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. **The Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 28, n. 3, p. 506-525, Sept. 2019.
- MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Agricultural Experimental Station Research Report**, New York, v. 7, p. 3-11, 1965.
- MELLO, H. H. de C. **Determinação dos valores de energia metabolizável de alimentos com aves de diferentes idades**. 2007. 42 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- MORENO, F. A. et al. Equivalência energética da peletização de dietas para frangos de corte. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 8., 2018, Campinas. **Anais...** Campinas, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190511/1/final9048.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- MURAKAMI, A. E.; FURLAN, A. C. Pesquisas na nutrição e alimentação de codornas em postura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2002. p. 113-120.
- NAGATA, A. K. et al. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 668-677, 2004.
- NASCIF, C. C. C. et al. Determinação dos valores energéticos de alguns óleos e gorduras para frangos de corte machos e fêmeas aos 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 375-381, 2004.
- NASCIMENTO, G. A. J. do. **Equações de predição dos valores aves utilizando o princípio da meta-análise**. 2007. 199 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- NASCIMENTO, G. A. J. do et al. Equações de predição para estimar os valores da EMAn de alimentos proteicos para aves utilizando a meta-análise. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 10, p. 2172-2177, 2011.
- NASCIMENTO, G. A. J. do 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**, Viçosa, MG, v. 38, n. 7, p. 1265-1271, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9th ed. Washington: National Academy Press, 1994. 155 p.

NOY, Y.; SKLAN, D. Yolk and exogenous feed utilization in the Posthatch chick. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 10, p. 1490-1495, 2001.

NUNES, R. V. et al. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes ingredientes para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 89-94, 2008.

OLIVEIRA, C. R. C. D. et al. Prediction equations for energy values of animal meals obtained using meta-analysis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 47, p. 1-6, 2018.

OLUKOSI, O. A.; COWIESON, A. J.; ADEOLA, O. Age-related influence of a cocktail of xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 77-86, 2007.

PASQUETTI, T. J. et al. Adjustment of equations to predict the metabolizable energy of corn for meat type quails. **Ciências Agrárias**, Teresina, v. 36, n. 4, p. 2861-2870, 2015.

PERAI, A. H. et al. A comparison of artificial neural networks with other statistical approaches for the prediction of true metabolizable energy of meat and bone meal. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 7, p. 1562-1568, 2010.

PICOLI, K. P. **Avaliação de sistemas de produção de frangos de corte no pasto**. 2004. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

RODRIGUES, P. B. **Digestibilidade de nutrientes e valores energéticos de alguns alimentos para aves**. 2000. 220 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

RODRIGUES, P. B. et al. Valores energéticos do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1767-1778, nov./dez. 2001.

ROSTAGNO, H. S.; BÜNZEN, S.; SAKOMURA, N. K. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, p. 295-304, 2007.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 252 p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017.

SAKOMURA, N. K. et al. Efeito da idade dos frangos de corte sobre a atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e da soja integral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 924-935, 2004.

SAUVANT, D. et al. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 8, p. 1203-1214, 2008.

SCHANG, M. J. Valor nutritivo de ingredientes y raciones para aves: energia. **Revista Argentina Producción Animal**, Buenos Aires, v. 7, p. 599-608, 1987.

SEDGHI, M. et al. Estimation and modeling true metabolizable energy of sorghum grain for poultry. **Poultry Science**, Champaign, v. 90, n. 5, p. 1138-1143, 2011.

SIBBALD, I. R. The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roost-ers. **Poultry Science**, London, v. 54, p. 1990-1997, 1975.

SIBBALD, I. R. Measurement of bioavailable energy in poultry feeding stuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 62, n. 4, p. 983-1048, 1982.

SIBBALD, I. R. The true metabolizable energy values of several feedingstuffs measured withroosters, laying hens, turkeys and broiler hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 55, p. 1459-1463, 1976.

SIBBALD, J. R.; SLINGER, S. J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredientes together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. **Poultry Science**, Champaign, v. 42, n. 2, p. 313-325, Mar. 1963.

SIBBALD, I. R.; SUMMERS, J. D.; SLINGER, S. J. Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds. **Poultry Science**, Champaign, v. 57, n. 4, p. 954-958, 1960.

SILVA, R. B. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de subprodutos agroindustriais determinados com diferentes aves. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 269-275, nov. 2008.

SMEETS-PEETERS, M. et al. A review of the physiology of the canine digestive tract related to the development of in vitro systems. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 11, p. 45-69, 1998.

TALAMINI, D. J. D.; MARTINS, F. M.; SANTOS FILHO, J. I. dos. Conjuntura econômica da avicultura brasileira em 2018. **Anuário 2019 da Avicultura Industrial**, Tamanduá, n. 11, p. 20-25, 2019.

THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G. Nutrient digestibility and energy utilisation of diets based on wheat, sorghum or maize by the newly hatched broiler chick. **British Poultry Science**, Oxford, v. 49, n. 4, p. 429-435, 2008.

TRONI, A. R. et al. Chemical and energy composition of broiler feeds. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, p. 755-760, 2016.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual**. Brasília, DF, 2007.

WATANABE, G. E. **O desenvolvimento da avicultura no Brasil e as tendências para os próximos anos**. 2016. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Agronegócio)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ZELENKA, J. Effects of sex, age and food intake upon metabolisable energy values in broiler chickens. **British Poultry Science**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 281-284, 1997.

ZEN, S. et al. Evolução da avicultura no Brasil. **Informativo CEPEA**, Piracicaba, ano 1, n. 1, p. 1-3, 2014.

ZHAO, F. et al. Predicting metabolizable energy of normal corn from its chemical composition in adult pekin ducks. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 1603-1608, 2008.

ZONTA, M. C. de M. et al. Energia metabolizável de ingredientes protéicos determinada pelo método de coleta total e por equações de predição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 1400-1407, 2004.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**ARTIGO 1 - VALOR ENERGÉTICO E EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DOS VALORES
DE ENERGIA METABOLIZÁVEL DE ALIMENTOS PARA DIFERENTES
CATEGORIAS DE AVES DE PRODUÇÃO**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

Objetivou-se nesse trabalho determinar o valor energético de diferentes lotes de milho, farelo de soja, farelo de trigo e sorgo, para diferentes categorias de aves e propor equações para prever os valores de EMAn para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura, em função da composição química dos alimentos. Para isso foram conduzidos três ensaios de metabolismo, sendo o ensaio I com 390 frangos de corte aos 21 dias de idade, o ensaio II com 240 frangas de reposição com 13 semanas de idade e o ensaio III com 156 galinhas em postura com 52 semanas de idade. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado e aplicou-se a metodologia tradicional de coleta total de excretas, onde os alimentos testes substituíram a ração referência em 30% para alimentos concentrados proteicos e 40% para alimentos concentrados energéticos. Foram determinados os valores de energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio igual a zero (EMAn) e a composição química dos alimentos. Foi determinada a correlação de Pearson entre os componentes químicos dos alimentos e os valores de EMAn e para cada categoria de aves foram estimadas equações de predição dos valores de EMAn. Para a seleção da melhor equações foi utilizado o método *Stepwise*. A equação geral que melhor se ajustou para estimar EMAn de alimentos para frangos de corte foi $EMAn=4048,731-14,087PB-196,498FB$; para frangas de reposição $EMAn=4238,899-17,02PB+120,368MM-924,087Ca-2680,438P$ e; para galinhas em postura $EMAn=4156,31+35,54PB+151,12FB+97,70FDN-223,93FDA-4369,33Ca-4513,78P$. Para alimentos energéticos a equação que melhor se ajustou para estimas EMAn para frangos de corte foi $EMAn=1983,21+373,20EE+746,01 MM-481,93FB+192,46FDA-76,69FDN$; para frangas de reposição $EMAn=-6584,7+496,1PB+3314,2MM+952,5EE-1728,5FB-548,0FDN+1345,5FDA+8075,7Ca$ e; para galinhas em postura $EMAn=5319,44-427,74MM-152,65EE+408,26FB+181,19FDN-378,29FDA-4630,37Ca-6227,04P$.

Palavras-chave: Alimentos para animais. Avicultura. Valores energéticos.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the energetic value of distinct lots of corn, soybean meal, wheat bran, and sorghum, for different categories of birds, and propose equations to predict the apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AMEn) for broiler chicken, replacement pullets, and laying hens in function of the chemical composition of the foods. To this end, we conducted three metabolism assays: assay I consisting of 390 21-day-old broilers, assay II consisting of 240 13-week replacement pullets, and assay III consisting of 156 52-week-old laying hens. The experimental design adopted was completely randomized, applying the traditional methodology of total excreta collection, for which the test feeds replaced the reference feed in 30% for protein concentrate and 40% for energy concentrate. We evaluated the values of apparent metabolizable energy (AME), apparent metabolizable energy corrected for zero nitrogen balance (EMAn), and the chemical composition of the foods. We also determined the Pearson correlation between the chemical components of the food and the AMEn values and estimated the prediction equations for the AMEn values of each bird category. We used the Stepwise method to select the best equations. The overall equation that best fit the estimation of AMEn of the feed for broilers was $AMEn = 4048.731 - 14.087CP - 196.498CF$; for replacement pullets, $AMEn = 4238.899 - 17.02CP + 120.368MM - 924.087Ca - 2680.438P$; and for laying hens, $AMEn = 4156.31 + 35.54CP + 151.12CF + 97.70NDF - 223.93ADF - 4369.33Ca - 451.78P$. For the energy feeds, the equation that best fit the AMEn estimates for broiler chickens was $AMEn = 1983.21 + 373.20EE + 746.01MM - 481.93CF + 192.46ADF - 76.69NDF$; for replacement pullets, $AMEn = -6584.7 + 496.1CP + 3314.2MM + 952.5EE - 1728.5CF - 548.0NDF + 1345.5ADF + 8075.7Ca$; and for laying hens, $AMEn = 5319.44 - 427.74MM - 152.65EE + 408.26CF + 181.19NDF - 378.29ADF - 4630.37Ca - 6227.04P$.

Keywords: Animal feed. Poultry farming. Energetic values.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento preciso do valor energético dos alimentos é extremamente importante para a formulação adequada de rações para aves. Além de afetar, diretamente, o desempenho dos animais, a energia corresponde a 65% dos custos com alimentação, refletindo, diretamente, no retorno econômico da atividade (DONOHUE; CUNNINGHAM, 2009).

Na literatura, é possível encontrar diversos valores de energia metabolizável (EM) de alimentos empregados na alimentação das aves, os quais foram determinados com animais de diferentes idades, sexo e linhagens (CARRÉ; JUIN, 2015). No entanto, a maioria dos estudos têm sido realizados com frangos de corte ou galos adultos e os valores de energia obtidos são, geralmente, extrapolados para as demais categorias de aves.

O valor energético dos alimentos são influenciados por diversos fatores, como a idade (BRUMANO et al., 2006; MELLO, 2007), categoria e espécie (FURLAN et al., 1998), tempo de passagem dos alimentos pelo trato gastrointestinal, processamento dos alimentos e da ração (MASSUQUETTO et al., 2018; MORENO et al., 2018; SAKOMURA et al., 2004). Assim, pode-se dizer que os valores de EM são resultantes da interação entre as características químicas e físicas do alimento com características anatômicas e fisiológicas dos animais (SILVA et al., 2008).

Contudo, além da determinação da EM dos alimentos para diferentes categorias de aves, como, por exemplo, para frangos de corte, galinhas em posturas e frangas de reposição, é necessário a avaliação contínua do valor nutritivo dos alimentos, já que, ao longo dos anos, ocorrem avanços genéticos nas cultivares utilizadas na produção de grãos utilizados na alimentação dos animais e nas linhagens de aves adotadas na avicultura. Thomas, Ravindran e Ravindran (2008) observaram que aves jovens podem ser tão eficientes quanto aves adultas no aproveitamento da energia gerada pela metabolização dos nutrientes, isso, em razão das mudanças fisiológicas resultantes do melhoramento avícola.

Os ensaios de metabolismo empregados para avaliar o valor nutricional dos alimentos são onerosos, demandam mão de obra treinada, são demorados e requerem inúmeras análises laboratoriais, incluindo o uso de bomba calorimétrica que é um aparelho laboratorial de preço elevado e que não é encontrado, rotineiramente, em laboratórios. Assim, uma alternativa aos ensaios *in vivo* é o emprego de equações de predição para estimar o valor energético dos alimentos.

Por meio do uso de equações de predição, é possível prever os valores de energia metabolizável, a partir da composição química dos alimentos, obtida, por meio de análise

bromatológica. Assim, o uso de equações de predição destaca-se como uma forma aplicável, rápida, econômica e precisa para se estimar os valores de energia metabolizável. No entanto, Wu et al. (2019) ressaltam a necessidade de se propor novas equações de predição para aves modernas, já que o aproveitamento dos nutrientes parece ocorrer de forma mais eficiente nas linhagens atuais.

Assim, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar o valor energético de diferentes lotes de milho, farelo de soja, farelo de trigo e sorgo, para diferentes categorias de aves e propor equações para predizer os valores de EMAn para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura, em função da composição química dos alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar os valores de energia metabolizável, aparente (EMA) e energia metabolizável aparente, corrigida para balanço de nitrogênio (EMAn) de três diferentes lotes de milho (milho 1, 2 e 3), três lotes de farelo de soja (farelo de soja 1, 2 e 3), três lotes de farelo de trigo (farelo de trigo 1, 2 e 3) e três lotes de sorgo (sorgo 1, 2 e 3) foram realizados três ensaios biológicos, com frangos de corte em crescimento, galinhas em postura e frangas de reposição. Os ensaios foram conduzidos no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, à altitude de 910 m, nas coordenadas 24°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 29/2018 (ANEXO A).

2.1 Animais e condições experimentais

No ensaio de metabolismo I, foram utilizados 390 frangos de corte Coob[®] 500, com 21 dias de idade e peso médio de 0,713±0,035 Kg. Os animais foram adquiridos em incubatório comercial, com um dia de idade e criados em galpão convencional de alvenaria, sob piso com cama de maravalha, recebendo uma ração referência formulada de acordo com as exigências recomendadas por Rostagno et al. (2017). Posteriormente, aos 14 dias de idade, as aves foram pesadas, homogeneizadas pelo peso e transferidas para uma sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 24 horas por dia. Para compor a parcela experimental, foram utilizadas 5 aves/gaiola.

No ensaio de metabolismo II, foram utilizadas 240 frangas de reposição Hy-line Brown, com 13 semanas de idade e peso médio de 0,950±0,047 Kg. Os animais foram adquiridos em idade pré-experimental e receberam ração referência (TABELA 1) formulada de acordo com as exigências recomendadas por Rostagno et al. (2017). As aves foram alojadas em sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 15 horas por dia. Para compor a parcela experimental foram utilizadas 3 aves/gaiola.

Já no ensaio de metabolismo III, foram utilizadas 156 galinhas em postura Hisex Brown, com 52 semanas de idade e peso médio de 2,000 ±0,100 Kg. Os animais foram adquiridos em idade pré-experimental e receberam ração referência (TABELA 1) formulada de acordo com as exigências recomendadas pelo manual da linhagem. As aves foram alojadas

em sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 15 horas por dia. Para compor a parcela experimental foram utilizadas 2 aves/gaiola.

2.2 Delineamento experimental e instalações

As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e foram alojadas em gaiolas metabólicas (50cm de largura, 50 cm de profundidade e 50 cm de altura e equipada com um comedouros do tipo calha, um bebedouro tipo pressão e uma bandeja de alumínio sob o piso), onde receberam as rações experimentais (TABELA 1). Foram utilizadas 6 repetições de cada parcela experimental.

As aves receberam uma ração referência (TABELA 1), formuladas de acordo com as exigências nutricionais de cada uma das categorias de aves utilizadas, e 12 rações teste, em que os alimentos teste substituíram a ração referência em 30% para o farelo de soja e 40% para o milho, farelo de trigo e sorgo (MATTERSON; POTTER; STUTZ, 1965).

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.

Ingredientes (%)	Continua		
	Frangos de corte	Galinhas em postura	Franga de reposição
Milho grão	59,60	61,06	64,50
Farelo de soja (45%)	34,70	20,76	13,30
Farelo de trigo	-	4,15	18,50
Óleo de soja	2,00	2,69	1,00
Fosfato Bicálcico	1,50	1,10	1,00
Calcário calcítico	0,95	9,13	1,25
Sal comum	0,48	0,38	0,32
DL-metionina 99%	0,29	0,20	-
L-lisina HCL 78%	0,22	0,12	-
L-treonina	0,07	-	-
Suplemento mineral	0,05 ^a	0,10 ^b	0,05 ^b

Suplemento Vitamínico	0,05 ^c	0,10 ^d	0,05 ^d
Cloreto de colina 60%	0,04	0,10	-
Anticoccidioano ^e	0,05	-	0,05
Antibiótico ^f	0,005	-	-
Phosmor TT ^g	-	0,005	-
Total	100,00	100,00	100,00
<hr/>			
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2997	2850	2900
Proteína bruta (%)	20,80	15,06	13,99
Metionina + Cistina digestível (%)	0,85	0,63	0,42

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.

Ingredientes (%)	Conclusão		
	Frangos de corte	Galinhas em postura	Franga de reposição
Lisina digestível (%)	1,17	0,73	0,55
Fósforo disponível (%)	0,39	0,30	0,31
Cálcio (%)	0,83	3,80	0,79
Sódio (%)	0,21	0,16	0,15

Fonte: Do autor (2019).

^aSuplemento mineral para frangos de corte (por kg de ração): 55 mg de Zn; 0,18 mg de Se; 0,70 mg de I; 10 mg de Cu; 78 mg de Mn; 48 mg de Fe. ^b Suplemento mineral para frangas de reposição e galinhas em postura (por kg de produto): Manganês 150.000mg, Zinco 100.000mg, Ferro 100.000mg, Cobre 16.000mg, Iodo 1.500mg ^c Suplemento vitamínico para frangos de corte (por kg de ração: 0,48 mg de ácido fólico; 8,70 mg de ácido pantotênico; 0,018 mg de biotina; 1,5 mg de butilhidroxi-tolueno (BHT); 11,1 mg de niacina; 6000 UI de vitamina A; 0,8 mg de vitamina B1; 12,15 UI de vitamina E; 8,10 µg de vitamina B12; 3,6 mg de vitamina B2; 1,80 mg de vitamina B6; 1500 UI de vitamina D3; 1,44 mg de vitamina K3. ^d Suplemento vitamínico para frangas de reposição e galinhas em postura (por kg de ração): Vit. A 10.000.000 U.I, Vit. D3 2.500.000 U.I, Vit. E 6.000 U.I, Vit. K 1.600 mg, Vit. B12 11.000, Niacina 25.000mg, Ácido Fólico 400 mg, Ácido Pantotênico 10.000 mg, Selênio 300 mg, Antioxidante 20g ^eSalinomicina. ^fAvilamicina. ^gEnzima fitase 10.000 FTU.

2.3 Procedimentos experimentais

Para os ensaios de metabolismo, foi adotado o método tradicional de coleta total de excretas (SIBBALD; SLINGER, 1963) nos três ensaios de metabolismo.

As rações e água foram fornecidas à vontade, por um período de 10 dias, sendo sete dias de adaptação às gaiolas e à alimentação (período pré-experimental) e três dias de coleta

total de excretas (período experimental). As rações experimentais foram fornecidas às aves, três vezes ao dia, para evitar desperdício.

A coleta foi realizada uma vez ao dia, iniciando-se sempre às oito horas da manhã. No período de coleta, as bandejas foram previamente revestidas com plástico para evitar perdas de excretas. As rações e as sobras foram pesadas e registradas, respectivamente, no início e no final do período experimental para a determinação do consumo de cada parcela durante a fase experimental.

As excretas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados e armazenadas em freezer, à temperatura de -5°C , até o final do período de coleta, quando foram descongeladas, pesadas e homogeneizadas. Em seguida, foram retiradas alíquotas de 300 gramas para as análises laboratoriais posteriores. Essas amostras foram submetidas a uma pré-secagem em estufa de ventilação forçada (55°C), durante 72 horas. Posteriormente, foram novamente pesadas para a determinação da matéria seca a 55°C e moídas em moinho analítico básico modelo IKA A 11, e então, encaminhadas ao Laboratório Multiusuário de Pesquisa Animal do DZO/UFLA.

2.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

Os alimentos testados, as rações (referências e testes) e as amostras obtidas, por meio da coleta total de excretas, foram encaminhadas para análises dos teores de matéria seca (MS), e nitrogênio (N), seguindo as técnicas descritas em INCT-Ciência Animal (DETMANN et al., 2012). Também foram determinados os valores de energia bruta (EB) em bomba calorimétrica (modelo C200, IKA[®], Stauten, Alemanha).

Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os valores de energia metabolizável aparente (EMA) utilizando-se as equações propostas por Matterson, Potter e Stutz (1965) e ajustados para a retenção de nitrogênio (EMAn):

$$\text{EMA} = \frac{\text{EB}_{\text{INGERIDA}} - \text{EB}_{\text{EXCRETADA}}}{\text{MS}_{\text{INGERIDA}}}$$

$$\text{EMAn da RT ou RR} = \frac{\text{EB}_{\text{INGERIDA}} - (\text{EB}_{\text{EXCRETADA}} + 8,22 \times \text{BN})}{\text{MS}_{\text{INGERIDA}}}$$

$$\text{EMAn do alimento} = \text{EMAnRR} + \frac{\text{EMAnRT} - \text{EMAnRR}}{\text{g/g de substituição}}$$

em que:

RT = ração teste;

RR = ração referência;

EB = energia bruta;

Para cada alimento, foram determinados ainda os teores de extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), fibras em detergente ácido e neutro (FDA e FDN), extrativo não nitrogenado (ENN), matéria mineral (MM), cálcio (Ca) e fósforo (P). Para o milho foi determinado o amido, para o sorgo foi realizada a quantificação de taninos e para o farelo de soja as análises de atividade ureática e solubilidade da proteína em KOH.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Pesquisa Animal do DZO-UFLA, conforme as técnicas descritas pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal-INCT (DETMANN et al., 2012).

2.5 Análises estatísticas e determinação das equações de predição

Após determinada a composição química dos alimentos, e obtidos os valores energéticos (EMA e EMAn), determinados nos experimentos 1, 2 e 3, foram verificados os pressupostos do modelo estatístico utilizado e determinada a correlação de Pearson entre os componentes químicos dos alimentos e os valores de EMAn obtidos.

Para cada categoria de aves, foram estimadas equações de predição dos valores de EMAn em função dos valores de composição química dos alimentos. Os modelos propostos referem-se à equações de regressão linear múltipla da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_4 X_{i4} + \beta_5 X_{i5} + \beta_6 X_{i6} + \varepsilon_i$$

em que: Y_i = valor da EMAn do alimento, determinado em ensaio metabólico no i -ésimo estudo; $X_{i1}; \dots; X_{i6}$ = variáveis de composição química do alimento, no i -ésimo estudo, ε_i = erro associado à i -ésima observação, assumido normal e independentemente distribuído, com média 0 e variância σ_i^2 .

Para a seleção da melhor equação de predição de cada categoria de aves, foi utilizado o método *Stepwise* (DRAPER; SMITH, 1998) com o intuito de obter variáveis significativas que deveriam estar incluídas no modelo final. O *Stepwise* incorpora as variáveis independentes ao modelo, podendo, posteriormente, retirá-lo em busca do modelo que melhor represente os dados.

Durante o processo, foi utilizado o critério de Akaike (AIC), no qual quanto menor o valor de AIC melhor é o modelo.

Todas as análises estatísticas foram realizadas, por meio do software R (R CORE TEAM, 2018), os scripts utilizados estão disponíveis no Anexo B.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observam-se variações nas composições químicas (TABELA 2) e nos valores de EMA e EMAn dos diferentes lotes dos alimentos (TABELA 3). Essas variações nos diferentes lotes são consideradas comuns, já que a composição química dos alimentos sofre influência das condições de clima e solo nos locais onde foram cultivados, do ponto de maturação, da cultivar utilizada, a forma de armazenamento e aos diferentes tipos de processamento aplicado aos alimentos (BUTOLO, 2002; CALDERANO et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2002; SANTOS et al., 2005). Já os valores de energia dos alimentos são afetados por características relacionadas ao alimento e aos animais, como a composição química e processamento dos alimentos, idade, categoria e sexo das aves (FREITAS et al., 2006).

Tabela 2 - Composição química dos alimentos, expressos na matéria natural.

Alimento	Lote	MS %	EB Kcal/Kg	PB %	EE %	MM %	FB %	FDA %	FDN %	Ca %	P %	Amido %	KOH %	Atividade ureática Var. pH	Tanino %
Milho	1	88,37	3682	8,90	3,78	1,54	2,00	3,78	10,67	0,15	0,22	64,00	-	-	-
Milho	2	87,58	3711	7,15	3,77	2,12	2,54	3,90	10,77	0,15	0,23	63,34	-	-	-
Milho	3	86,34	3676	8,07	2,11	2,32	2,06	3,66	11,43	0,16	0,23	63,43	-	-	-
Farelo de soja	1	89,52	3943	43,95	1,56	5,00	4,77	8,43	13,43	0,26	0,58	-	83,33	0,03	-
Farelo de soja	2	89,83	4013	43,97	1,55	5,20	5,00	8,12	14,00	0,24	0,58	-	83,55	0,01	-
Farelo de soja	3	89,31	3942	44,43	1,53	5,22	5,05	8,06	13,40	0,27	0,54	-	83,03	0,04	-
Farelo de trigo	1	89,16	3856	15,47	3,65	4,40	9,44	14,09	38,89	0,17	0,94	-	-	-	-
Farelo de trigo	2	88,60	3779	14,11	3,77	5,22	9,43	13,06	40,40	0,20	0,93	-	-	-	-
Farelo de trigo	3	88,78	3868	14,23	3,54	5,00	9,65	13,55	39,76	0,19	0,96	-	-	-	-
Sorgo	1	87,32	3768	9,20	3,00	2,33	3,65	6,33	14,00	0,06	0,27	-	-	-	0,29
Sorgo	2	87,74	3701	7,88	3,00	2,05	2,54	6,33	14,55	0,06	0,27	-	-	-	0,30
Sorgo	3	87,29	3543	9,54	2,89	2,00	2,55	5,77	14,44	0,06	0,28	-	-	-	0,31

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3 - Valores de energia metabolizável aparente (EMA) e aparente corrigida para nitrogênio retido (EMAn) dos alimentos teste, em Kcal/kg de MS.

Alimentos	Ensaio I		Ensaio II		Ensaio III	
	Frangos de corte		Frangas de reposição		Galinhas em postura	
	EMA	EMAn	EMA	EMAn	EMA	EMAn
Milho 1	3571	3467	3636	3527	3396	3343
Milho 2	3807	3693	3799	3747	3258	3219
Milho 3	3418	3343	3591	3513	3397	3359
Farelo de soja 1	3026	2676	2546	2367	2271	2134
Farelo de soja 2	2773	2494	2522	2369	2402	2344
Farelo de soja 3	2467	2223	2451	2324	2371	2370
Farelo de trigo 1	1924	1837	1921	1854	1842	1805
Farelo de trigo 2	2209	2166	2100	2056	2055	2021
Farelo de trigo 3	1960	1903	1775	1716	1848	1807
Sorgo 1	3285	3218	3615	3577	3605	3540
Sorgo 2	3577	3503	3682	3615	3357	3306
Sorgo 3	3435	3336	3535	3461	3555	3473

Fonte: Do autor (2019).

A variação do amido na composição do milho foi de 0,66 pontos percentuais, podendo não acarretar em diferenças quanto à digestibilidade do alimento entre os diferentes lotes. O amido é a principal forma de reserva de energia nos vegetais, esse componente é uma fonte dietética de energia para aves e o amido pode melhorar a digestibilidade da ração (HERWIG et al., 2019). O amido pode ser classificado em dois grupos em função do tempo de digestão, assim têm-se a fração digerida rapidamente e a fração digerida lentamente (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992). No período pós-prandial, a fração digerida, lentamente, colabora para a redução do uso de aminoácidos como fonte de energia, já que essa fração é usada como fonte de energia no intestino delgado (ENTING et al., 2005). Outra consequência, em decorrência da presença dessa fração digerida lentamente, está relacionada à redução do tempo de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal, fazendo com que o conteúdo ideal

permaneça por mais tempo no íleo e resulte em uma maior absorção de nutrientes (SHIN et al., 2013).

Além disso, segundo Herwig et al. (2019) dificilmente se consegue isolar o efeito do amido quanto à digestibilidade e ao valor energético do alimento, já que o efeito do amido pode ser confundido com o de outros componentes da ração, como de outros carboidratos, proteínas, gorduras e com fatores antinutricionais.

As análises de solubilidade da proteína em hidróxido de potássio (KOH) e atividade ureática dos três lotes de farelo de soja se apresentaram dentro dos padrões esperados com valores superiores a 80% e menores que 0,05, o que indica boa solubilidade da proteína e que o processamento térmico dos farelos de soja foi excelente.

Nos três lotes de sorgo não foram detectadas presença de taninos, já que, atualmente, valores menores de 0,70% encontrados para análises de taninos indicam ausência desse composto no grão.

Os valores de matéria seca dos alimentos variaram de 86,34% a 89,83%. O baixo teor de água nos grãos de cereais e leguminosas permite o armazenamento do grão sem que haja alteração nas propriedades físico-química e nutricional dos grãos, assim é recomendado que os grãos sejam armazenados com no máximo 13% de umidade (GALLIARD, 1986). A deterioração dos lipídeos, carboidratos e proteínas presentes nos grãos sofrem deterioração, durante o período de armazenamento (VANIÉR, 2017).

Os alimentos utilizados na alimentação animal devem apresentar, no mínimo, 87% de MS, assim o terceiro lote de milho não se adequa quanto à umidade para compor as rações. Além disso, pode-se observar diferenças nos valores obtidos para os demais nutrientes, como EE, PB, EB, MM, FB e amido. Resultados semelhantes foram obtidos por Nagata et al. (2004) ao determinarem a composição química de diversos alimentos empregados na alimentação de frangos de corte, esses autores obtiveram teores umidade maiores que 13% para três diferentes híbridos de milho dos 14 alimentos avaliados bem como variações decorrentes dos teores de proteínas, óleos e amido.

Quanto aos valores para EE, as amostras de farelo de trigo variaram de 3,54 a 3,77%, com média de 3,65%. Esses valores foram superiores, em média, aos apresentados por Rostagno et al. (2017) nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos, onde esses autores atribuem média de 3,40% de EE para o farelo de trigo. O EE é o componente que mais contribui para a elevação dos valores de energia, já que a oxidação de 1g de gordura gera

cerca de 9,4 kcal de EB, enquanto 1g de proteína é capaz de gerar 5,6 kcal de EB e 1g de carboidratos 4,15 kcal de energia (SILVA et al., 2014).

Dentre os alimentos avaliados, para frangos de corte e galinhas em postura, o farelo de soja foi o que apresentou maior variação nos valores de EMAn entre os lotes, sendo essa variação de 453 Kcal/kg de MS e 236 Kcal/kg de MS, respectivamente, para essas espécies. Já, para frangas de reposição, maior diferença foi observada entre os lotes de farelo de trigo, com variação de 340 Kcal/kg de MS de alimento (TABELA 3). Variações na composição química dos alimentos refletem diretamente nos valores de energia dos alimentos, já que a energia é resultante da oxidação dos nutrientes no metabolismo dos animais (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1994).

-Alimentos concentrados em geral

Para valores de EMAn determinados com frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura, houveram correlações negativas (p -valor $<0,05$) com PB, MM, FB, FDA e FDN, cálcio e fósforo (TABELA 4).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação estimados entre todas as variáveis da composição química e EMAn dos alimentos para frangos de corte.

	Frangos de corte	Frangas de reposição	Galinhas em postura
	EMAn ¹	EMAn ¹	EMAn ¹
EMAn	1,00*	1,00*	1,00*
PB	-0,44*	-0,52*	-0,51*
EE	0,08	0,10	0,07
MM	-0,83*	-0,91*	-0,89*
FB	-0,85*	-0,89*	-0,86*
FDA	-0,85*	-0,89*	-0,86*
FDN	-0,72*	-0,74*	-0,71*
Ca	-0,57*	-0,68*	-0,70*
P	-0,87*	-0,94*	-0,92*

Fonte: Do autor (2019).

¹EMAn= energia metabolizável corrigida pelo balanço de nitrogênio; PB= proteína bruta; EE= extrato etéreo; FB= fibra bruta; FDA= fibra em detergente ácido; FDN= fibra em detergente neutro; Ca= cálcio; P= fósforo

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t (p -valor $<0,05$).

Observa-se que, nos três ensaios a PB, MM, FB, FDA, FDN, cálcio e fósforo colaboraram para a redução nos valores de EMAn. Esses resultados estão de acordo com o encontrado por Pasquetti et al. (2015), que afirmam que, quando correlacionados com EMAn, o FDN e o FDA colaboram para que os valores de EMAn sejam menores.

Em nenhuma das três categorias de aves avaliadas houve correlações ($P>0,05$) entre EMAn e o EE. Esse resultado contradiz os obtidos por Rodrigues et al. (2002), esses autores destacam que o EE possui correlação alta, 88,55%, com os valores de EMAn para frangos de corte. De acordo com Zhou et al. (2010), o EE geralmente se correlaciona positivamente com EMAn e colabora, significativamente, para a elevação dos valores de energia dos alimentos.

Apesar das correlações indicadas na Tabela 4, em que, para todas as espécies oito componentes químicos apresentaram correlações significativas com valores de EMAn, após aplicado o método *Stepwise*, observou-se que, para frangos de corte, o modelo que melhor representou EMAn foi composto por duas variáveis independentes, para frangas de reposição por quatro variáveis e para galinhas em postura foram necessárias cinco variáveis independentes (TABELA 5). De acordo com Rodrigues et al. (2002) e Souza (2009), para estimar os valores de EMAn do farelo de soja e seus coprodutos para frangos de corte em crescimento, equações contendo quatro variáveis foram as que melhor se aplicaram e explicaram de 93% a 99% das variações nos valores de EMAn, respectivamente.

No entanto, deve ser considerado que a categoria animal pode influenciar os valores de EMAn, já que os animais que compõem essas categorias encontram-se em momentos fisiologicamente diferentes, o que gera respostas metabólicas diferentes e que irão afetar o aproveitamento dos nutrientes e os valores de energia dos alimentos. Os frangos de corte foram selecionados geneticamente para apresentarem um rápido desenvolvimento corporal e com conformação corporal que beneficie os cortes nobres da carne, dessa forma, essas aves atingem o ponto de abate ainda jovens e antes de atingir a idade adulta. Já as frangas de reposição estão sendo preparadas para a fase de postura, essas aves têm o desenvolvimento corporal e, principalmente, do trato reprodutivo priorizado. Quanto as galinhas em postura, o objetivo com essa categoria é mantê-las o maior tempo possível produzindo ovos de qualidade e com elevada taxa de postura. Assim, é possível que o número de variáveis que serão selecionadas para estimar os valores de EMAn para uma categoria não seja o mesmo para outras.

Tabela 5 - Equações de predição obtidas para estimar os valores de EMAn de alimentos concentrados proteicos e energéticos para as diferentes categorias de aves (valores expressos com base na matéria seca).

Categoria	Constante	PB (%)	EE (%)	MM (%)	FB (%)	FDA (%)	FDN (%)	Ca (%)	P (%)	R²
Frangos de corte	4048,731	-14,087	---	---	-196,498	---	---	---	---	0,80
Frangas de reposição	4238,889	-17,02	---	+120,368	---	---	---	-924,087	-2680,44	0,94
Galinhas em postura	4156,31	+35,54	---	---	+151,12	-223,93	+97,70	-4369,33	-4513,78	0,93

Fonte: Do autor (2019).

O ajuste da equação estimada para frangos de corte foi de 0,80 (R^2). No presente trabalho, utilizaram-se dados de 4 alimentos distintos para determinar uma única equação por espécie, o que gera maior variabilidade de dados, em razão da heterogeneidade dos alimentos utilizados, o que, possivelmente, tenha resultado em um ajuste baixo do modelo. Zhao et al. (2008) ressaltam que o tamanho da amostra utilizado para realizar a análise de regressão, juntamente com a representatividade dessa amostra, são fatores que afetam a precisão do modelo de predição de EMAn.

Para frangas de reposição e galinhas em postura, os coeficientes de determinação (R^2) foram, respectivamente, de 0,94 e 0,93, o que indica que, para tais categorias de aves, foi possível obter um modelo com maior precisão em relação ao obtido para frangos de corte.

Outro fator a ser considerado é o grupo ou classificação dos alimentos utilizados nos ensaios, dos quatro alimentos utilizados, três (milho, farelo de trigo e o sorgo) são classificados como alimentos concentrados energéticos de origem vegetal, enquanto um (farelo de soja) é classificado como alimento concentrado proteico de origem vegetal. Por serem classificados em categorias diferentes, pode-se entender que os alimentos possuem composição química bem diferentes e, conseqüentemente, a equação de predição pode subestimar ou superestimar os valores de EMAn em função do peso das variáveis independentes que as compõem.

- Alimentos concentrados energéticos

Para valores de EMAn dos alimentos energéticos determinados com frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura, houveram correlações negativas (p -valor $<0,05$) com todas as variáveis independentes avaliadas (TABELA 6).

Considerando que o EE é um dos componentes que mais colaboram para o aumento nos valores de EMAn, espera-se que os seus valores se correlacionem sempre positivamente com os valores de EMAn. No entanto, foi observado, neste trabalho correlação negativa entre a variável EE e EMAn para as três categorias de aves estudadas. Resultado semelhante foi encontrado por Borges et al. (2003), ao estimarem equações de regressão para os valores de energia do grão de trigo e seus subprodutos com frangos de corte, segundo esses autores, o intercepto da equação matemática pode justificar esse resultado, já que não há uma explicação fisiológica para esse comportamento.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação estimados entre todas as variáveis da composição química e EMAn dos alimentos concentrados energéticos (milho, farelo de trigo e sorgo) para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura.

	Frangos de corte	Frangas de reposição	Galinhas em postura
	EMAn ¹	EMAn ¹	EMAn ¹
EMAn	1,00*	1,00*	1,00*
PB	-0,93*	-0,96*	-0,91*
EE	-0,35*	-0,43*	-0,50*
MM	-0,89*	-0,95*	-0,92*
FB	-0,92*	-0,97*	-0,94*
FDA	-0,91*	-0,95*	-0,92*
FDN	-0,92*	-0,97*	-0,94*
Ca	-0,57*	-0,66*	-0,71*
P	-0,92*	-0,98*	-0,95*

Fonte: Do autor (2019).

¹EMAn= energia metabolizável corrigida pelo balanço de nitrogênio; PB= proteína bruta; EE= extrato etéreo; FB= fibra bruta; FDA= fibra em detergente ácido; FDN= fibra em detergente neutro; Ca= cálcio; P= fósforo

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t (p-valor <0,05).

Após aplicação de *Stepwise*, durante a estimação da equação linear múltipla, observou-se que o melhor modelo para estimar os valores de EMAn para frangos de corte é o que contém as variáveis independentes EE, MM, FB, FDA e FDN, considerando os alimentos energéticos. Com essas variáveis o ajuste da equação foi de $R^2 = 0,87$ (TABELA 7).

Para frangas de reposição, o melhor ajuste ($R^2=0,97$) foi obtido quando se incluíram as variáveis independentes PB, EE, MM, FB, FDA, FDN e cálcio. Já, para galinhas em postura, o melhor ajuste ($R^2=0,94$) foi apresentado quando se consideraram as variáveis EE, MM, FB, FDN, FDA, cálcio e fósforo, para compor a equação de predição.

Rodrigues et al. (2002) ressaltaram que maiores ajustes são observados, quando se utiliza o maior número de variáveis para compor a amostra, no entanto, esses autores observam que equações contendo duas variáveis também podem estimar com precisão os valores de EMAn dos alimentos. Vale ressaltar que quanto maior o número de variáveis mais análises laboratoriais são necessárias.

Ao utilizar a meta-análise para determinar equações de predição para estimar EMAn de alimentos concentrados energéticos, Nascimento (2007) concluiu que o FDN e o FDA são variáveis importantes para serem consideradas para compor a equação. Esse autor relata que, ao retirar essas variáveis da equação, o R^2 passou de 0,81 para 0,75. A importância dessas duas variáveis fica evidente no presente trabalho, já que ambas apresentaram correlação alta com os valores de EMAn para as três categorias estudadas e foram selecionadas para compor o modelo de equação de predição para alimentos concentrados energéticos.

Tabela 7 - Equações de predição obtidas para estimar os valores de EMAn de alimentos energéticos para as diferentes categorias de aves (valores expressos com base na matéria seca).

Categoria	Constante	PB (%)	EE (%)	MM (%)	FB (%)	FDA (%)	FDN (%)	Ca (%)	P (%)	R²
Frangos de corte	1983,21	---	373,20	+746,01	-481,93	+192,46	-76,69	---	---	0,87
Frangas de reposição	-6584,70	+496,10	+952,50	+3314,20	-1728,50	+1345,50	-548,00	+8075,70	---	0,97
Galinhas em postura	5319,44	---	-152,65	-427,74	+408,26	-378,39	+181,19	-4630,37	-6227,05	0,94

Fonte: Do autor (2019).

Para que as equações predição sejam aplicadas a campo, de forma segura, é necessário que se realize a validação dessas equações com a categoria animal para as quais foram estimadas.

4 CONCLUSÕES

A equação geral definida para estimar EMAn de alimentos para frangos de corte foi $EMAn = 4048,731 - 14,087 PB - 196,498 FB$; para frangas de reposição $EMAn = 4238,899 - 17,02 PB + 120,368 MM - 924,087 \text{ cálcio} - 2680,438 \text{ fósforo}$ e; para galinhas em postura $EMAn = 4156,31 + 35,54 PB + 151,12 FB + 97,70 FDN - 223,93 FDA - 4369,33 \text{ cálcio} - 4513,78 \text{ fósforo}$.

Para alimentos energéticos a equação de predição definida para estimas EMAn para frangos de corte foi $EMAn = 1983,21 + 373,20 EE + 746,01 MM - 481,93 FB + 192,46 FDA - 76,69 FDN$; para frangas de reposição $EMAn = -6584,7 + 496,1 PB + 3314,2 MM + 952,5 EE - 1728,5 FB - 548,0 FDN + 1345,5 FDA + 8075,7 \text{ cálcio}$ e; para galinhas em postura $EMAn = 5319,44 - 427,74MM - 152,65EE + 408,26 FB + 181,19 FDN - 378,29 FDA - 4630,37 \text{ cálcio} - 6227,04 \text{ fósforo}$.

REFERÊNCIAS

- BORGES, F. M. O. et al. Comparação de métodos de avaliação dos valores energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 6, p. 710-721, 2003.
- BRUMANO, G. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de alimentos protéicos determinados com frangos de corte em diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2297-2302, nov./dez. 2006.
- BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002. 430 p.
- CALDERANO, A. A. et al. Composição química e energética de alimentos de origem vegetal determinada em aves de diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 320-326, mar./abr. 2010.
- CARRÉ, B.; JUIN, H. Partition of metabolizable energy, and prediction of growth performance and lipid deposition in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, n. 6, p. 1287-1297, 2015.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214 p.
- DONOHUE, M.; CUNNINGHAM, D. L. Effects of grain and oilseed prices on the costs of US poultry production. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 18, n. 2, p. 325-337, 2009.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3rd ed. New York: J. Wiley, 1998.
- ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, p. S33-50, 1992.
- ENTING, H. et al. Starch digestion rate affects broiler performance. In: AUSTRALIAN POULTRY SCIENCE SYMPOSIUM, 17., 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney: Poultry Research Foundation, 2005. p. 17-20.
- FREITAS, E. R. et al. Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 1, p. 107-115, jan. 2006.
- FURLAN, A. C. et al. Valores energéticos de alguns alimentos determinados com codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1147-1150, nov./dez. 1998.
- GALLIARD, T. Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of wholemeal flour: effects of bran and germ components. **Journal of Cereal Science**, London, v. 4, n. 2, p. 179-192, 1986.

HERWIG, E. et al. Assessing the effect of rate and extent of starch digestion on laying hen performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 7, p. 1-9, July 2019.

MASSUQUETTO, A. et al. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 27, n. 1, p. 51-58, 2018.

MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Agricultural Experimental Station Research Report**, New York, v. 7, p. 3-11, 1965.

MELLO, H. H. de C. **Determinação dos valores de energia metabolizável de alimentos com aves de diferentes idades**. 2007. 42 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MORENO, F. A. et al. Equivalência energética da peletização de dietas para frangos de corte. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 8., 2018, Campinas. **Anais...** Campinas, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190511/1/final9048.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

NAGATA, A. K. et al. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 668-677, 2004.

NASCIMENTO, A. H. do et al. Composição química e valores de energia metabolizável das farinhas de penas e vísceras determinados por diferentes metodologias para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 1409-1417, maio/jun. 2002.

NASCIMENTO, G. A. J. do. **Equações de predição dos valores aves utilizando o princípio da meta-análise**. 2007. 199 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9th ed. Washington: National Academy Press, 1994. 155 p.

PASQUETTI, T. J. et al. Adjustment of equations to predict the metabolizable energy of corn for meat type quails. **Ciências Agrárias**, Teresina, v. 36, n. 4, p. 2861-2870, 2015.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Software.

RODRIGUES, P. B. et al. Valores energéticos da soja e subprodutos da soja, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 1771-1782, jul./ago. 2002.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017.

SAKOMURA, N. K. et al. Efeito da idade dos frangos de corte sobre a atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e da soja integral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 924-935, 2004.

SANTOS, Z. A. de S. et al. Valor nutricional de alimentos para suínos determinado na Universidade Federal de Lavras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 232-237, jan./fev. 2005.

SHIN, H. S. et al. Foods for appetite control: can carbohydrates stimulate the ileal brake and enhance satiety? **Obesity Research & Clinical Practice**, Adelaide, n. 7, p. e23, 2013.

SIBBALD, J. R.; SLINGER, S. J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. **Poultry Science**, Champaign, v. 42, n. 2, p. 313-325, Mar. 1963.

SILVA, D. A. T. et al. Energy values of traditional ingredients and sugarcane yeast for laying hens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 273-278, 2014.

SILVA, R. B. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de subprodutos agroindustriais determinados com diferentes aves. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 269-275, nov. 2008.

SOUZA, R. M. **Equações de predição dos valores energéticos de alimentos para aves**. 2009. 123 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G. Nutrient digestibility and energy utilisation of diets based on wheat, sorghum or maize by the newly hatched broiler chick. **British Poultry Science**, Oxford, v. 49, n. 4, p. 429-435, 2008.

VANIER, L. Qualidade de arroz e mercados emergentes. **Labrãos Magazine**, Pelotas, v. 1, p. 2-4, 2017.

WU, S. B. et al. Net energy prediction and energy efficiency of feed for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 3, p. 1222-1234, 2019.

ZHAO, F. et al. Predicting metabolizable energy of normal corn from its chemical composition in adult pekin ducks. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 1603-1608, 2008.

ZHOU, Z. et al. The influence of the amylopectin/amylose ratio in samples of corn on the true metabolizable energy value for ducks. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 157, n. 1/2, p. 99-103, 2010.

ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DE MÉTODOS INDIRETOS PARA ESTIMAR O VALOR ENERGÉTICO DOS ALIMENTOS PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE AVES

Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.

RESUMO

Objetivou-se nesse trabalho comparar os valores de energia metabolizável de alimentos determinados com diferentes categorias de aves com valores preditos por diferentes métodos de predição. Para isso foram conduzidos ensaios de metabolismo para determinar os valores de energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMAn) de três lotes de milho, farelo de soja, farelo de trigo e sorgo para frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura. Foi realizada a análise bromatológica completa dos alimentos utilizados e os valores de composição química foram aplicados a três métodos de predição pra se estimar os valores de EMAn. Os métodos de predição avaliados foram equações de predição obtidas por metanálise, equações de predição obtidas através de Redes Bayesianas e através do emprego de uma calculadora desenvolvida através do uso de Redes Neurais Artificiais. O procedimento adotado para a validação das equações avaliadas foi o ajuste de modelo de regressão linear simples (modelo completo) dos valores observados sobre os valores preditos. As medições de erro de predição utilizadas, com base na diferença entre os valores observados e preditos, foram o desvio médio absoluto (MAD), erro médio absoluto (MAPE), Bias, erro quadrático médio (m.s.e). Para a seleção do melhor método de predição foi realizado o ranqueamento dos métodos considerando todas as medições de erro de predição. Nenhum dos modelos de predição avaliados mostrou-se eficiente para utilização à campo, sendo necessários estudos futuros para desenvolver métodos de predição que considerem um maior número de fatores influenciando os valores de EMAn.

Palavras-chave: Avicultura. Valores energéticos. Equações de predição.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the metabolizable energy values of feeds determined with different categories of birds with values predicted by different prediction methods. We conducted metabolism assays to determine the apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AMEn) values of three lots of corn, soybean meal, wheat bran, and sorghum for broiler chicken, replacement pullets, and laying hens. We conducted a complete bromatological analysis of the foods used and applied the chemical composition values to three prediction methods to estimate the AMEn values. The prediction methods evaluated were prediction equations obtained by meta-analysis, prediction equations obtained through Bayesian Networks and by employing a calculator developed using Artificial Neural Networks. We adopted the adjustment of the simple linear regression model (complete model) of the observed values over the predicted values to validate the evaluated equations. The prediction error measurements used, based on the difference between observed and predicted values, were the mean absolute deviation (MAD), mean absolute error (MAPE), Bias, and mean square error (m.s.e). We ranked the methods considering all prediction error measurements to select the best prediction method. None of the prediction models evaluated was efficient for field use, and further studies are necessary to develop prediction methods that consider a larger number of factors influencing the AMEn values.

Keywords: Poultry farming. Energetic values. Prediction equations.

1 INTRODUÇÃO

A dieta das aves é composta por uma diversidade de alimentos e coprodutos de alimentos, os quais são combinados, durante o processo de formulação de rações, para a elaboração de dietas precisas e balanceadas, que atendam às exigências nutricionais das aves e proporcionem o melhor desempenho zootécnico e econômico.

O principal componente dos custos de produção de alimentos para aves é a energia (CERRATE et al., 2019), a qual afeta diretamente o crescimento e o desempenho animal (ALVARENGA et al., 2015; DUARTE et al., 2007; GONZALES, 2002). Assim, é muito importante conhecer precisamente o conteúdo energético dos alimentos que irão compor a ração das aves, já que isso permite ao nutricionista formular rações sem excesso ou deficiência energética.

A energia metabolizável dos alimentos pode ser determinada diretamente, por meio de ensaios metabólicos *in vivo*. Esse tipo de ensaio é considerado a forma mais precisa de determinação dos valores de energia, porém é onerosa, trabalhosa e demanda tempo, o que se torna um entrave para sua aplicação à campo. Em razão disso, estudos para desenvolver formas indiretas de prever os valores de energia dos alimentos tem se tornado cada dia mais comuns.

Dentre as formas indiretas de prever a energia metabolizável dos alimentos, o uso de modelagem matemática e recursos computacionais, baseando-se na composição química dos alimentos, tem se destacado como uma alternativa promissora, uma vez que essa técnica seria uma forma mais simples, rápida e barata de se obter esses valores com precisão (MARIANO et al., 2013, 2014; WU et al., 2019).

Contudo, considerando que a energia é resultado da metabolização dos nutrientes pelo organismo do animal (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1994), pode-se dizer que os valores de energia são dependentes da interação entre composição química dos alimentos e a capacidade do animal em metabolizar esses nutrientes (SILVA et al., 2008). A composição química dos alimentos é influenciada pelas características edafoclimáticas do local onde foi cultivado, genética das cultivares, formas de armazenamento e processamento dos grãos (NAGATA et al., 2004). Já a capacidade de metabolizar os nutrientes, pelo animal, pode variar em função da idade, sexo, linhagem, condições de saúde e finalidade zootécnica das aves (BRUMANO et al., 2006; FREITAS et al., 2006; FURLAN et al., 1998; MELLO, 2007; SAKOMURA et al., 2004).

Em razão dos inúmeros fatores que afetam a energia metabolizável dos alimentos é claro que é adequada a extrapolação de valores de energia dos alimentos e de métodos de predição desenvolvidos com uma categoria animal para outras categorias. Além disso, Cerrate et al. (2019) afirmam que a densidade nutricional dos alimentos atuais é diferente da encontrada anos atrás, o que torna necessária a atualização dos valores de energia dos alimentos encontrados na literatura atual. Assim, faz-se necessário atualizar os dados de valores energéticos dos alimentos e avaliar os métodos de predição existentes para diferentes categorias de aves.

Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de comparar os valores de energia metabolizável de alimentos determinados com diferentes categorias de aves com valores preditos por equações de predição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaios metabólicos

Para determinar os valores de energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMAn) de três diferentes lotes de milho (milho 1, 2 e 3), três lotes de farelo de soja (farelo de soja 1, 2 e 3), três lotes de farelo de trigo (farelo de trigo 1, 2 e 3) e três lotes de sorgo (sorgo 1, 2 e 3) foram realizados três ensaios biológicos, com frangos de corte em crescimento, galinhas em postura e frangas de reposição. Os ensaios foram conduzidos no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, à altitude de 910 m, nas coordenadas 24°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 29/2018 (ANEXO A).

2.1.1 Animais e condições experimentais

No ensaio de metabolismo I, foram utilizados 390 frangos de corte Coob[®]500, com 21 dias de idade e peso médio de 0,713±0,035 Kg. Os animais foram adquiridos em incubatório comercial, com um dia de idade e criados em galpão convencional de alvenaria, sob piso com cama de maravalha, recebendo uma ração referência formulada de acordo com as exigências recomendadas por Rostagno et al. (2017). Posteriormente, aos 14 dias de idade, as aves foram pesadas, homogeneizadas pelo peso e transferidas para uma sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 24 horas por dia. Para compor a parcela experimental, foram utilizadas 5 aves/gaiola.

No ensaio de metabolismo II, foram utilizadas 240 frangas de reposição Hy-line Brown, com 13 semanas de idade e peso médio de 0,950±0,047 Kg. Os animais foram adquiridos em idade pré-experimental e receberam ração referência (TABELA 1) formulada, de acordo com as exigências recomendadas por Rostagno et al. (2017). As aves foram alojadas, em sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 15 horas por dia. Para compor a parcela experimental foram utilizadas 3 aves/gaiola.

Já no ensaio de metabolismo III, foram utilizadas 156 galinhas em postura Hisex Brown, com 52 semanas de idade e peso médio de 2,000 ±0,100 Kg. Os animais foram

adquiridos em idade pré-experimental e receberam ração referência (TABELA 1) formulada de acordo com as exigências recomendadas pelo manual da linhagem. As aves foram alojadas em sala de metabolismo com ambiente controlado por dispositivo digital de controle de temperatura (25°C), recebendo luz artificial 15 horas por dia. Para compor a parcela experimental, foram utilizadas 2 aves/gaiola.

2.1.2 Delineamento experimental e instalações

As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e foram alojadas em gaiolas metabólicas (50cm de largura, 50 cm de profundidade e 50 cm de altura e equipada com um comedouro do tipo calha, um bebedouro tipo pressão e uma bandeja de alumínio sob o piso), onde receberam as rações experimentais (TABELA 1). Foram utilizadas 6 repetições de cada parcela experimental.

As aves receberam uma ração referência (TABELA 1), formulada de acordo com as exigências nutricionais de cada uma das categorias de aves utilizadas, e 12 rações teste em que os alimentos teste substituíram a ração referência em 30% para o farelo de soja e 40% para o milho, farelo de trigo e sorgo (MATTERSON; POTTER; STUTZ, 1965).

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.

Ingredientes (%)	Continua		
	Frangos de corte	Galinhas em postura	Franga de reposição
Milho grão	59,60	61,06	64,50
Farelo de soja (45%)	34,70	20,76	13,30
Farelo de trigo	-	4,15	18,50
Óleo de soja	2,00	2,69	1,00
Fosfato Bicálcico	1,50	1,10	1,00
Calcário calcítico	0,95	9,13	1,25
Sal comum	0,48	0,38	0,32
DL-metionina 99%	0,29	0,20	-
L-lisina HCL 78%	0,22	0,12	-
L-treonina	0,07	-	-

Suplemento mineral	0,05 ^a	0,10 ^b	0,05 ^b
Suplemento Vitamínico	0,05 ^c	0,10 ^d	0,05 ^d
Cloreto de colina 60%	0,04	0,10	-
Anticoccidioano ^e	0,05	-	0,05
Antibiótico ^f	0,005	-	-
Phosmor TT ^g	-	0,005	-
Total	100,00	100,00	100,00
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2997	2850	2900
Proteína bruta (%)	20,80	15,06	13,99
Metionina + Cistina digestível (%)	0,85	0,63	0,42

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada da ração referência.

Ingredientes (%)	Conclusão		
	Frangos de corte	Galinhas em postura	Franga de reposição
Lisina digestível (%)	1,17	0,73	0,55
Fósforo disponível (%)	0,39	0,30	0,31
Cálcio (%)	0,83	3,80	0,79
Sódio (%)	0,21	0,16	0,15

^aSuplementado por kg de ração (frangos de corte): 55 mg de Zn; 0,18 mg de Se; 0,70 mg de I; 10 mg de Cu; 78 mg de Mn; 48 mg de Fe. ^cSuplementado por kg de ração (frangos de corte): 0,48 mg de ácido fólico; 8,70 mg de ácido pantotênico; 0,018 mg de biotina; 1,5 mg de butilhidroxi-tolueno (BHT); 11,1 mg de niacina; 6000 UI de vitamina A; 0,8 mg de vitamina B1; 12,15 UI de vitamina E; 8,10 µg de vitamina B12; 3,6 mg de vitamina B2; 1,80 mg de vitamina B6; 1500 UI de vitamina D3; 1,44 mg de vitamina K3. ^eSalinomicina. ^fAvilamicina. ^gEnzima fitase 10.000 FTU.

2.1.3 Procedimentos experimentais

Para os ensaios de metabolismo, foi adotado o método tradicional de coleta total de excretas (SIBBALD; SLINGER, 1963) nos três ensaios de metabolismo.

As rações e água foram fornecidas à vontade, por um período de 10 dias, sendo sete dias de adaptação às gaiolas e à alimentação (período pré-experimental) e três dias de coleta total de excretas (período experimental). As rações experimentais foram fornecidas às aves três vezes ao dia, para evitar desperdício.

A coleta foi realizada uma vez ao dia, iniciando-se sempre às oito horas da manhã. No período de coleta, as bandejas foram previamente revestidas com plástico para evitar perdas de excretas. As rações e as sobras foram pesadas e registradas, respectivamente, no início e no final do período experimental, para a determinação do consumo de cada parcela, durante a fase experimental.

As excretas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificados e armazenadas em freezer, à temperatura de -5°C , até o final do período de coleta, quando foram descongeladas, pesadas e homogeneizadas. Em seguida, foram retiradas alíquotas de 300 gramas para as análises laboratoriais posteriores. Essas amostras foram submetidas a uma pré-secagem em estufa de ventilação forçada (55°C), durante 72 horas. Posteriormente, foram novamente pesadas para a determinação da matéria seca a 55°C e moídas em moinho analítico básico modelo IKA A 11 e, então, encaminhadas ao Laboratório Multiusuário de Pesquisa Animal do DZO/UFLA.

2.1.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

Os alimentos testados, as rações (referências e testes) e as amostras obtidas, por meio da coleta total de excretas foram encaminhadas para análises dos teores de matéria seca (MS), e nitrogênio (N), seguindo as técnicas descritas em INCT-Ciência Animal (DETMANN et al., 2012). Também foram determinados os valores de energia bruta (EB) em bomba calorimétrica (modelo C200, IKA[®], Stauten, Alemanha).

Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os valores de energia metabolizável aparente (EMA) utilizando-se as equações propostas por Matterson, Potter e Stutz (1965) e ajustados para a retenção de nitrogênio (EMAn):

$$\text{EMA} = \frac{\text{EB}_{\text{INGERIDA}} - \text{EB}_{\text{EXCRETADA}}}{\text{MS}_{\text{INGERIDA}}}$$

$$\text{EMAn da RT ou RR} = \frac{\text{EB}_{\text{INGERIDA}} - (\text{EB}_{\text{EXCRETADA}} + 8,22 \times \text{BN})}{\text{MS}_{\text{INGERIDA}}}$$

$$\text{EMAn do alimento} = \text{EMAnRR} + \frac{\text{EMAnRT} - \text{EMAnRR}}{\text{g/g de substituição}}$$

em que:

RT = ração teste;

RR = ração referência;

EB = energia bruta;

Para cada alimento, foram determinados ainda os teores de extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), fibras em detergente ácido e neutro (FDA e FDN), extrativo não nitrogenado (ENN), matéria mineral (MM), cálcio (Ca) e fósforo (P). Para o milho, foi determinado o amido, para o sorgo, foi realizada a quantificação de taninos e para o farelo de soja as análises de atividade ureática e solubilidade da proteína em KOH.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Pesquisa Animal do DZO-UFLA, conforme as técnicas descritas pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal-INCT (DETMANN et al., 2012).

2.2 Modelos selecionados para predição da EMAn de alimentos para aves

Os valores de composição química dos alimentos determinados em laboratório foram utilizados para estimar os valores de EMAn com o emprego de equações de predição obtidas por metanálise, equações de predição obtidas através de Redes Bayesianas e por meio do emprego de uma calculadora desenvolvida, pelo Uso de Redes Neurais Artificiais.

As equações de predição utilizadas obtidas por metanálise foram propostas por Nascimento et al. (2009):

- a) Equação geral 1 para alimentos concentrados de origem vegetal (NASCIMENTO et al., 2009):

$$\text{EMAn} = 4101,33 + 56,28\text{EE} - 232,97\text{MM} - 24,86\text{FDN} + 10,42\text{FDA}$$

- b) Equação geral 2 para alimentos concentrados de origem vegetal (NASCIMENTO et al., 2009):

$$\text{EMAn} = 4095,41 + 56,84\text{EE} - 225,26\text{MM} - 22,24\text{FDN}$$

As equações de Nascimento et al. (2009) são equações gerais, que podem ser aplicadas para qualquer alimento concentrado de origem vegetal. Para a determinação dessas equações, esses autores consideraram na formação dos grupos, considerando os fatores que influenciam os valores de energia dos alimentos, assim foram considerados os efeitos da idade dos animais, do sexo e da metodologia adotada na determinação *in vivo* dos valores de energia metabolizável.

As equações utilizadas, através de Redes Bayesianas (RB) foram propostas por Alvarenga (2019). Essas equações são aplicadas para cada alimento ou grupo de alimentos:

- c) Específica para alimentos energéticos, milho ou coproduto do milho, categoria frangos de corte (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 3658,16 - 2,41 PB - 11,25 EE + 83,41 MM + 16,76 FB$$

- d) Específica para alimentos energéticos, milho ou coproduto do milho, categoria galos (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 3321,82 + 51,31PB + 39,42EE - 377,11MM + 113,92FB$$

- e) Específica para alimentos energéticos, outros alimentos, categoria frangos de corte (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 4335,88 - 50,91PB + 35,40EE - 67,35MM - 87,06FB$$

- f) Específica para alimentos energéticos, outros alimentos, categoria galos (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 4133,39 - 89,45PB + 100,32EE - 5,50MM - 96,37FB$$

- g) Específica para alimentos proteicos, soja ou coproduto de soja, categoria frangos de corte (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 2951,05 + 0,09PB + 37,96EE + 5,04MM - 17,6FB$$

- h) Específica para alimentos proteicos, soja ou coproduto de soja, categoria galo (ALVARENGA, 2019):

$$EMAn = 518,54 + 26,25PB + 47,10EE + 184,42MM + 69,00FB$$

Alvarenga (2019) propôs modelos de redes bayesianas híbridas para prever os valores de EMAn, os quais foram considerados como variáveis de entrada a composição química dos alimentos (PB, MM, EE e FB), a categoria dos alimentos (concentrados energéticos e concentrados proteicos), grupo de alimentos (milho, farelo de soja e seus coprodutos) e categoria de aves (pintos e galos). Para a elaboração das equações, esse autor utilizou o banco de dados catalogados por Nascimento et al. (2009, 2011).

Para a metodologia baseada no emprego de redes neurais, o aplicativo denominado *AMEn Predictor* (FIGURA 1), proposto por Mariano et al. (2016), foi selecionado para estimar EMAn.

Figura 1 – *AMEn Predictor*.

Fonte: Google Play (2019).

O aplicativo *AMEn Predictor* (MARIANO et al., 2016) compila equações de predição baseadas em um comitê de redes neurais propostas por Mariano et al. (2013), as quais, para a determinação dos valores de EMAn, consideraram sete fatores para entrada dos dados: composição química (PB, EE, MM, FB), a classificação do alimento (Alimento concentrado energético ou alimento concentrado proteico), o ingrediente (milho, soja, coprodutos de milho ou soja e outros alimentos) e categoria animal utilizada no bioensaio (pintos ou galos). Para o desenvolvimento do aplicativo, Mariano et al. (2013) utilizaram o banco de dados coletado por Nascimento et al. (2009).

Os dados de composição química dos alimentos selecionados foram inseridos no aplicativo *AMEn Predictor*, sendo selecionadas as opções conforme a classificação do alimento (concentrado proteico ou concentrado energético; milho ou coproduto do milho; soja ou coproduto da soja; outros alimentos) e empregaram-se as duas possibilidades quanto à categoria animal (frangos de corte ou galo). Assim, estimaram-se os valores de EMAn para a

categoria de predição pintos e para a categoria de predição galos de todos os alimentos avaliados.

O procedimento adotado para a validação das equações avaliadas, foi o ajuste de modelo de regressão linear simples (modelo completo) dos valores observados sobre os valores preditos, segundo Detmann et al. (2005). Após verificados os pressupostos do modelo de regressão linear simples, as estimativas dos parâmetros de regressão foram testadas sob as hipóteses:

$$\begin{array}{ll} H_0: \beta^0 = 0 & H_0: \beta^1 = 1 \\ H_a: \beta^0 \neq 0 & H_a: \beta^1 \neq 1 \end{array}$$

Em caso de não rejeição de ambas as hipóteses de nulidade, optou-se pela similaridade entre valores preditos e observados.

As medições de erro de predição utilizadas, com base na diferença entre os valores observados e preditos, foram as mesmas utilizadas na validação e foram calculadas com as seguintes expressões:

MAD – Desvio médio absoluto (MARIANO et al., 2014)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |di - \hat{y}_i|}{n};$$

MAPE – Erro médio porcentual absoluto (MARIANO et al., 2014)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{di - \hat{y}_i}{di} \right|}{n} \times 100,$$

Com $di \neq 0$;

Bias (MARIANO et al., 2014)

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (di - \hat{y}_i)}{n};$$

m.s.e. – Erro quadrático médio (FELIPE et al., 2015)

$$m.s.e. = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (di - \hat{y}_i)^2}{n};$$

em que d_i é o i -ésimo valor observado (ou desejado), \hat{y}_i é o i -ésimo valor predito, n é o número de valores observados e \bar{d}_i é a média dos n valores observados.

Para a seleção do melhor método de predição, foi realizado o ranqueamento dos métodos/equações. Para isso, foram atribuídas pontuações para as equações que apresentaram valores preditos semelhantes aos observados, assim, a pontuação mínima recebida foi de 1 e a máxima de 6 pontos.

Para cada um dos valores de erro (MAD, MAPE e m.s.e), foi atribuída pontuação máxima para os menores valores. Quanto mais próximo de 1 foi o valor do coeficiente de determinação R^2 , maior a pontuação atribuída. Já para Bias, receberam maior pontuação os menores valores (valores mais próximos de 1). Ao final, os pontos atribuídos a cada equação foram somados, sendo considerada a mais indicada, ou seja, o método de predição mais acurado é aquele que apresente maior pontuação.

Para todos os procedimentos estatísticos empregados, adotou-se $\alpha = 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se *Software R* (R CORE TEAM, 2019) e os *scripts* das análises estatísticas utilizadas constam no Anexo C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas variações nas composições químicas dos lotes de alimentos utilizados nos ensaios de metabolismo I, II e III (TABELA 2). A composição química dos alimentos é influenciada por diversos fatores, como da variabilidade genética das cultivares, características de clima e solo do local onde foram cultivados, fertilidade do solo, tratos culturais adotados, processamento dos grãos, forma de armazenamento, entre outros (NAGATA et al., 2004; SCOTTA et al., 2016).

Tabela 2 - Composição química e energia bruta dos alimentos, expressos na matéria natural.

Alimento	Lote	MS %	EB Kcal/Kg	PB %	EE %	MM %	FB %	FDA %	FDN %	Cálcio %	Fósforo %
Milho	1	88,37	3682	8,90	3,78	1,54	2,00	3,78	10,67	0,15	0,22
Milho	2	87,58	3711	7,15	3,77	2,12	2,54	3,90	10,77	0,15	0,23
Milho	3	86,34	3676	8,07	2,11	2,32	2,06	3,66	11,43	0,16	0,23
Farelo de soja	1	89,52	3943	43,95	1,56	5,00	4,77	8,43	13,43	0,26	0,58
Farelo de soja	2	89,83	4013	43,97	1,55	5,20	5,00	8,12	14,00	0,24	0,58
Farelo de soja	3	89,31	3942	44,43	1,53	5,22	5,05	8,06	13,40	0,27	0,54
Farelo de trigo	1	89,16	3856	15,47	3,65	4,40	9,44	14,09	38,89	0,17	0,94
Farelo de trigo	2	88,60	3779	14,11	3,77	5,22	9,43	13,06	40,40	0,20	0,93
Farelo de trigo	3	88,78	3868	14,23	3,54	5,00	9,65	13,55	39,76	0,19	0,96
Sorgo	1	87,32	3768	9,20	3,00	2,33	3,65	6,33	14,00	0,06	0,27
Sorgo	2	87,74	3701	7,88	3,00	2,05	2,54	6,33	14,55	0,06	0,27
Sorgo	3	87,29	3543	9,54	2,89	2,00	2,55	5,77	14,44	0,06	0,28

Fonte: Do autor (2019).

Para uma mesma categoria de aves, os valores de EMAn observados para os lotes de alimentos foram próximos, no entanto, ao considerar os valores determinados para todas as categorias, é possível observar maior variação. Esse resultado é esperado, já que os valores de EMAn foram determinados para aves pertencentes a diferentes categorias zootécnicas, com idades distintas e, conseqüentemente, com desenvolvimento anatômico e fisiológico diferentes o que afeta, diretamente, o aproveitamento dos nutrientes e o valor energético dos alimentos (TABELAS 3 e 4).

Tabela 3 - Valores de EMAn determinados em ensaios metabólicos para as diferentes categorias de aves, valores expressos em kcal/kg na matéria natural (MS).

Alimentos	Frangos de corte	Frangas de reposição	Galinhas em postura
Milho 1	3467	3527	3343
Milho 2	3693	3747	3219
Milho 3	3343	3513	3359
\bar{x} Milho	3501	3596	3307
Farelo de soja 1	2676	2367	2134
Farelo de soja 2	2494	2369	2344
Farelo de soja 3	2223	2324	2370
\bar{x} Farelo de soja	2464	2353	2283
Farelo de trigo 1	1837	1854	1805
Farelo de trigo 2	2166	2056	2021
Farelo de trigo 3	1903	1716	1807
\bar{x} Farelo de trigo	1969	1875	1878
Sorgo 1	3218	3577	3540
Sorgo 2	3503	3615	3306
Sorgo 3	3336	3461	3473
\bar{x} Sorgo	3352	3551	3440

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4 - Valores estimados de EMAn através do aplicativo AMEn Predictor e através das equações determinadas através de Redes Bayesianas, valores expressos em kcal/kg na matéria natural (MS).

Continua

Alimento		AMEn Predictor		RB ¹		Equação geral	
		Pinto	Galo	Pinto	Galo	Eq 1 ⁽²⁾	Eq 2 ⁽³⁾
Milho	1	3749	3713	4250	4045	4220	4216
Milho	2	3750	3727	4359	3799	4103	4103
Milho	3	3761	3733	4451	3682	3977	3983
\bar{x} Milho		3753	3724	4353	3842	4100	4101
Far. de soja	1	2549	2653	3301	3348	3103	3082
Far. de soja	2	2536	2616	3286	3395	3021	3007
Far. de soja	3	2539	2623	3304	3435	3048	3033
\bar{x} Farelo de soja		2541	2631	3297	3393	3057	3041
Far. de trigo	1	2687	1924	2870	2447	2761	2745

Tabela 4 - Valores estimados de EMAn através do aplicativo AMEn Predictor e através das equações determinadas através de Redes Bayesianas, valores expressos em kcal/kg na matéria natural (MS).

Conclusão

Alimento		AMEn Predictor		RB ¹		Equação geral	
		Pinto	Galo	Pinto	Galo	Eq 1 ⁽²⁾	Eq 2 ⁽³⁾
Far. de trigo	2	1972	1184	2911	2609	2516	2523
Far. de trigo	3	1989	1722	2884	2543	2577	2575
\bar{x} Farelo de trigo		2216	1610	2888	2533	2618	2614
Sorgo	1	3476	3033	4007	3719	3945	3928
Sorgo	2	3489	3513	4196	3958	3986	3967
Sorgo	3	3504	3496	4120	3795	4008	3996
\bar{x} Sorgo		3490	3347	4108	3824	3980	3964

Fonte: Do autor (2019).

⁽¹⁾RB=Redes Bayesianas (ALVARENGA, 2019)

⁽²⁾Eq 1=Equação Geral 1 (NASCIMENTO et al., 2009)

⁽³⁾Eq 2=Equação Geral 2 (NASCIMENTO et al., 2009)

Para o milho, os valores de EMAn obtidos *in vivo* variaram de 3219 kcal/kg de MS, para galinhas em postura, a 3747 kcal/kg de MS, com frangas em reposição. Para o farelo de soja, o menor valor de EMAn observado foi de 2134 kcal/kg de MS para galinhas em postura e o maior valor foi observado para frangos de corte, 2676 kcal/kg de MS. Para o farelo de trigo, as frangas de reposição apresentaram menor valor *in vivo*, enquanto os frangos de corte apresentaram maior valor observado, os quais foram respectivamente de 1716 e 2166 kcal/kg de MS. Para o sorgo, o menor valor de EMAn observado foi para frangos de corte, 3218 kcal/kg de MS, e o maior para frangas de reposição, 3615 kcal/kg de MS.

Dos alimentos estudados, o sorgo foi o que apresentou a menor variação entre os valores obtidos, considerando todos os lotes e categorias de aves, a qual foi de 34 kcal/kg de MS. A maior variação foi observada para o farelo de soja, a qual foi de 542 kcal/kg de MS. O farelo de soja é um coproduto resultante do intenso processamento da soja *in natura*, que é feito com o objetivo principal de se extrair o óleo de soja, utilizado na alimentação humana (BELAVER; SNIZEK JUNIOR, 1999). Quaisquer variações que ocorram, durante o processamento do farelo de soja, poderão resultar em variações na sua composição química, afetar a inativação de componentes antinutricionais e afetar os valores energéticos. Assim, pode-se afirmar que dentre os alimentos avaliados o farelo de soja é o mais susceptível a variações nos valores de EMAn.

O uso de métodos indiretos para predizer os valores de energia dos alimentos utilizados na alimentação das aves é uma importante ferramenta que auxilia a formulação de rações adequadas às exigências nutricionais dos animais. Considerando os valores médios preditos, em relação aos valores médios observados para cada categoria de aves, observa-se que o valor médio de energia metabolizável do sorgo determinado com frangos de corte apresentou -5 kcal/kg de MS em relação ao valor médio dos alimentos determinados pelo *AMEn Predictor* para a categoria de predição galos. Considerando que o aplicativo possui em sua composição a categoria de predição pintos, esperava-se que menor variação fosse observada entre os valores obtidos *in vivo* para frangos de corte e os valores preditos com pintos, por serem categorias correspondentes. Como valores mais próximos foram obtidos para a categoria galos, sugere-se que o frango de corte atual possui capacidade em aproveitar os nutrientes mais semelhantes aos galos que eram utilizados no passado e que compuseram o banco de dados utilizados para desenvolver o aplicativo.

A maior variação observada foi de 1100 kcal/kg de MS quando se compara a média de EMAn para o farelo de soja obtida *in vivo* e através das Redes Bayesianas para a categoria galos valores médios determinados com galinha em postura.

Foram realizadas as estimativas dos parâmetros intercepto e coeficiente angular entre os valores energéticos estimados pelos diferentes métodos de predição e os determinados *in vivo*, bem como os valores de probabilidade para a hipóteses de nulidade (TABELA 5). As relações entre os valores observados e os valores preditos são demonstradas, por meio de gráficos (FIGURAS 2 a 6).

Tabela 5 - Estimativas de parâmetros, níveis descritivos de probabilidade para as hipóteses de nulidade para as regressões entre valores observados e preditos, dos valores de EMAn de alimentos e estimados.

Continua

AMEn Predictor categoria pintos				
Alimento	Intercepto (β_0)		Coeficiente de inclinação (β_1)	
	Estimativa	P-valor ¹	Estimativa	P-valor ²
Milho	31810,7293	0,4649	-7,5514	0,4611
F. de soja	-1716,4197	0,9472	1,6067	0,9525
F. de trigo	2863,6474	0,0119*	-0,3864	0,0081*
Sorgo	6383,3709	0,6722	-0,8412	0,6702
AMEn Predictor categoria galos				
Alimento	Intercepto (β_0)		Coeficiente de inclinação (β_1)	
	Estimativa	P-valor ¹	Estimativa	P-valor ²
Milho	4638,6181	0,8702	-0,3143	0,8631
F. de soja	603,9209	0,9481	0,6701	0,9255
F. de trigo	3308,3971	0,0003*	-0,8081	0,0006*
Sorgo	3409,4518	0,0020*	0,0114	0,0024*

Tabela 5 - Estimativas de parâmetros, níveis descritivos de probabilidade para as hipóteses de nulidade para as regressões entre valores observados e preditos, dos valores de EMAn de alimentos e estimados.

Conclusão

AMEn Predictor categoria pintos				
Redes Bayesianas categoria pinto				
Alimento	Intercepto (β_0)		Coeficiente de inclinação (β_1)	
	Estimativa	P-valor ¹	Estimativa	P-valor ²
Milho	4191,0317	0,2386	-0,1661	0,1625
F. de soja	15070,2724	0,5231	-3,8530	0,4986
F. de trigo	-39705,5129	0,0492*	14,4418	0,0532
Sorgo	2913,2597	0,28339	0,1301	0,1971
Redes Bayesianas categoria galos				
Alimento	Intercepto (β_0)		Coeficiente de inclinação (β_1)	
	Estimativa	P-valor ¹	Estimativa	P-valor ²
Milho	3362,0526	0,0688	0,0275	0,0482
F. de soja	5627,8486	0,3044	-0,9612	0,2315
F. de trigo	-5911,3928	0,2020	3,1261	0,2403
Sorgo	2857,3500	0,1585	0,1543	0,1171
Equações Gerais (Todos alimentos)				
Equação	Intercepto (β_0)		Coeficiente de inclinação (β_1)	
	Estimativa	P-valor ¹	Estimativa	P-valor ²
Equação 1	-659,7572*	0,010	1,01262	0,8575
Equação 2	-657,2250*	0,009	1,1045	0,8346

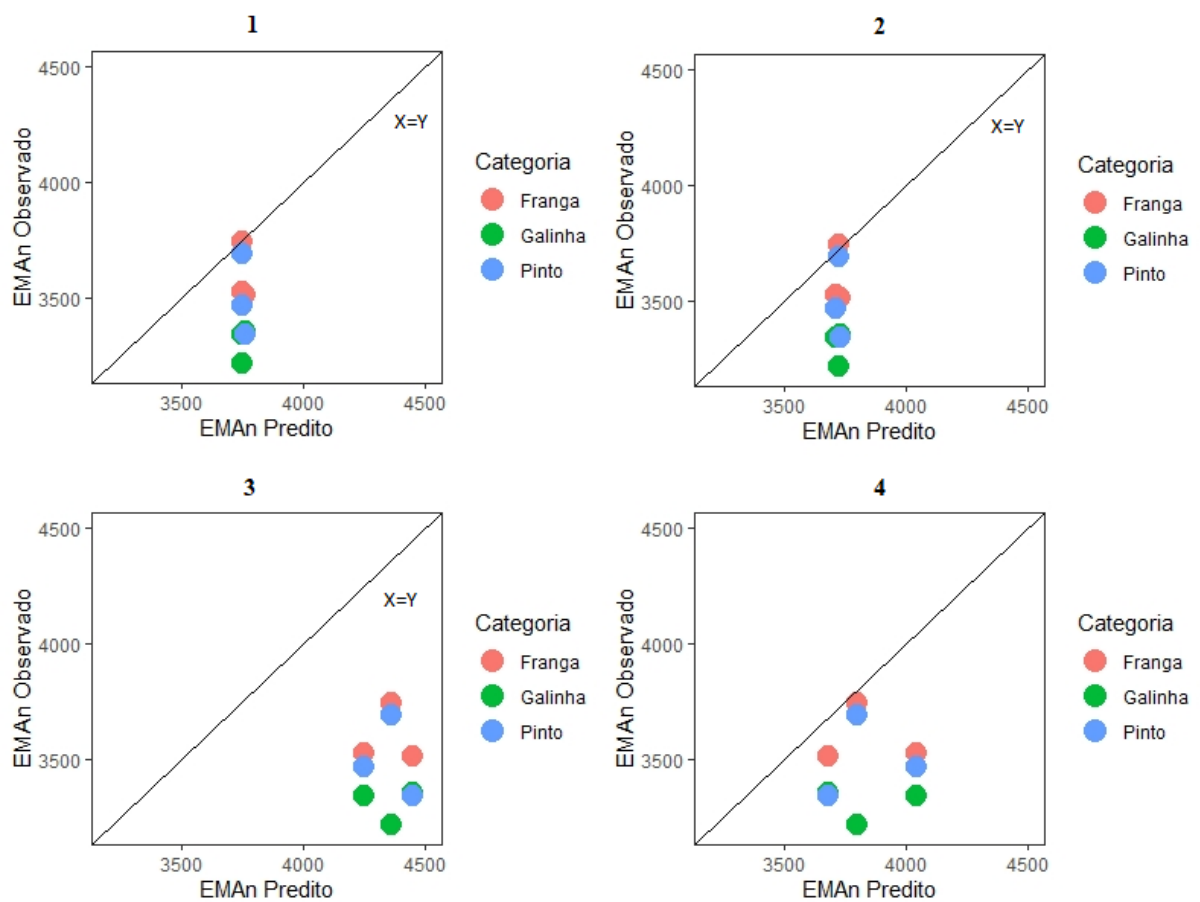
Fonte: Do autor (2019).

¹H₀: $\beta_0 = 0$; H_a: $\beta_0 \neq 0$

²H₀: $\beta_1 = 1$; H_a: $\beta_1 \neq 1$

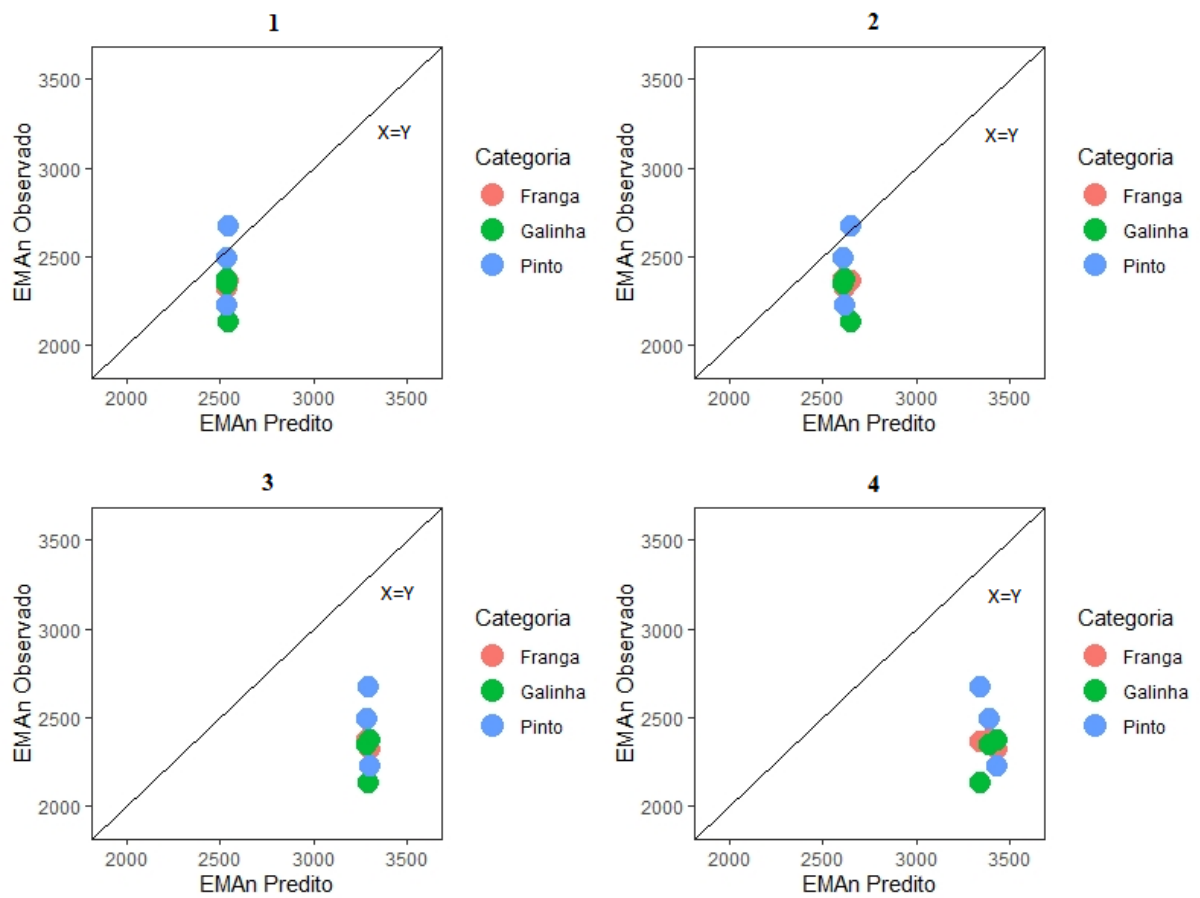
*p-valor<0,05

Figura 2 - Relação entre os valores de EMA observados para o milho e valores preditos através do (1) *AMEn Predictor* - frangos de corte; (2) *AMEn Predictor* - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.



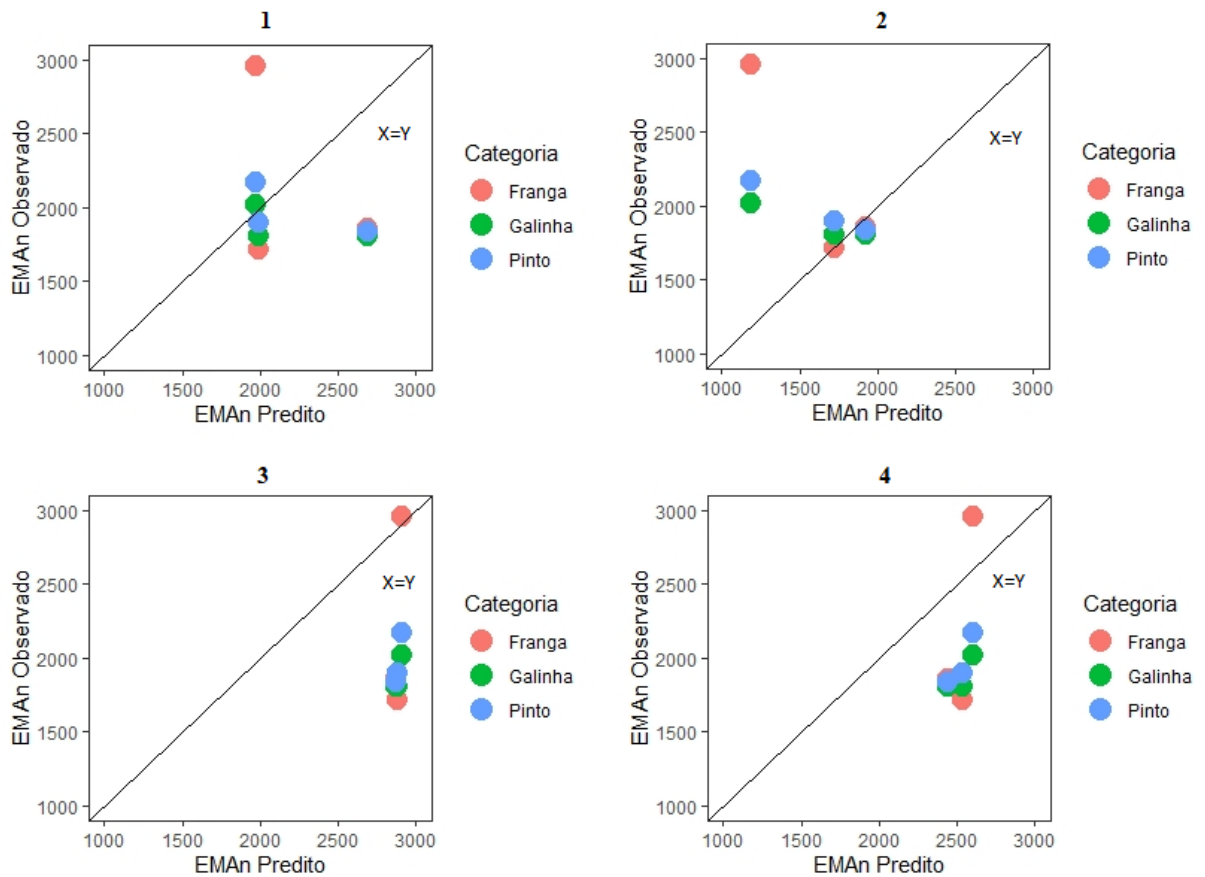
Fonte: Do autor (2019).

Figura 3 - Relação entre os valores de EMA observados para o farelo de soja e valores preditos através do (1) *AMEn Predictor* - frangos de corte; (2) *AMEn Predictor* - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB - galos.



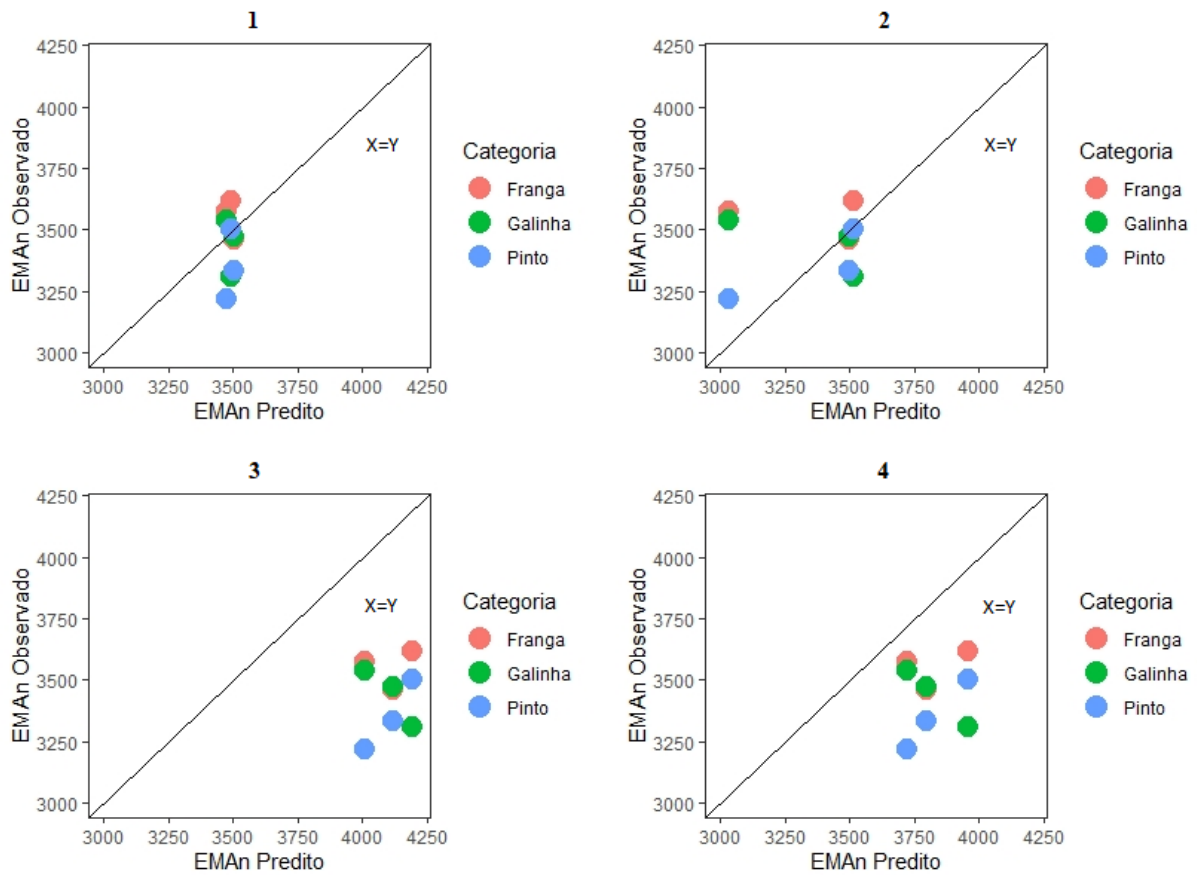
Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 - Relação entre os valores de EMA observados para o farelo de trigo e valores preditos através do (1) *AMEn Predictor* - frangos de corte; (2) *AMEn Predictor* - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB - galos.



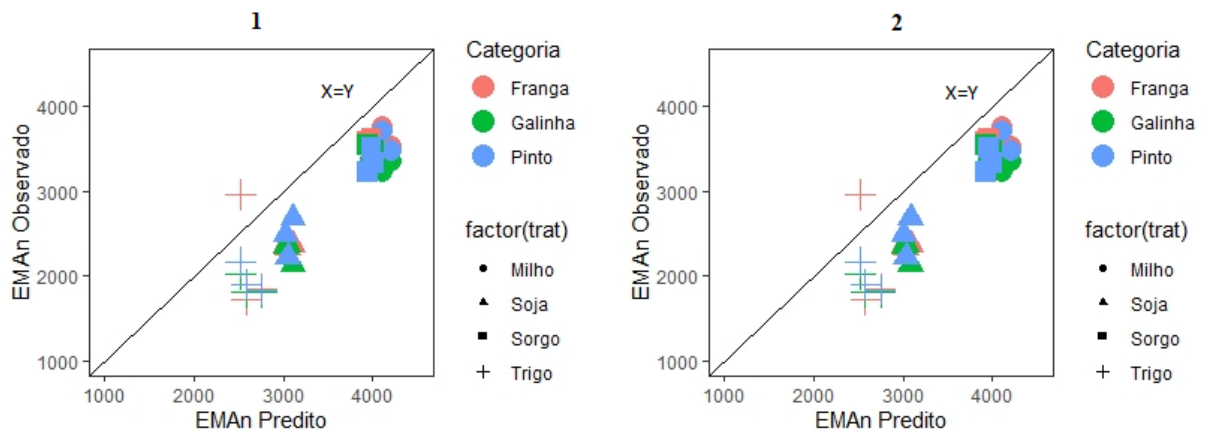
Fonte: Do autor (2019).

Figura 5 - Relação entre os valores de EMA observados para o sorgo e valores preditos através do (1) *AMEn Predictor* - frangos de corte; (2) *AMEn Predictor* - galos; (3) RB - frangos de corte e; (4) RB – galos.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 6 - Relação entre os valores de EMA observados para o alimentos e valores preditos através de (1) Equação geral 1; (2) Equação geral 2.



Fonte: Do autor (2019).

Para o *AMEn Predictor*, categoria de predição pintos, não foi aceita a proposta de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$) para prever o valor energético do farelo de trigo, ou seja, o método de estimação não representou bem os valores obtidos, por meio do ensaio de metabolismo.

Para o *AMEn Predictor*, categoria de predição galos, foram aceitas as propostas de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$) somente na previsão de valores energéticos para milho e farelo de soja. Para o farelo de trigo e sorgo, esse método não foi eficiente na previsão de EMAn. Considerando que os valores observados de energia dos alimentos foram determinados com diferentes categorias de aves, pode-se atrelar a não correspondência aos valores preditos há diversas causas, como ao fato da categoria de predição adotada no *AMEn Predictor* ter sido galos, que são animais adultos, com trato gastrointestinal já desenvolvido e que não se encontram em fase de crescimento e sim em idade reprodutiva. O valor de energia dos alimentos não é influenciado apenas pela composição química, mas também pela capacidade de digerir, absorver e utilizar os nutrientes pelo animal, pelo estado de saúde, idade e condições fisiológicas das aves (WU et al., 2019). No presente estudo, os alimentos utilizados na determinação *in vivo* e utilizada para estimar os valores, por meio do *AMEn Predictor* foram os mesmos, ou seja, não houve variação dentro do lote na composição química, no entanto, houve diferença quanto à categoria de aves utilizadas resultando em diferentes valores de EMAn *in vivo* para o mesmo alimento.

Independente da categoria de predição adotada (pintos ou galos) o *AMEn Predictor*, não foi eficiente para estimar os valores de energia do farelo de trigo. Hughes e Choct (1997), ao determinarem EMAn do farelo de trigo para galinhas em postura observaram que existem variações individuais nos valores de EMAn para essa categoria de aves. No presente trabalho,

além das variações que podem ocorrer, em razão das diferentes composições químicas do farelo de trigo, a não correspondência entre os valores obtidos com frangos de corte, frangas de reposição e galinhas em postura com os valores preditos para pintos e galos pode ocorrer, em razão das diferenças fisiológicas e metabólicas existentes entre as categorias de aves. Essas diferenças fazem com que os valores obtidos com as diferentes categorias resultem na dispersão dos dados (FIGURA 4), levando a não aceitação da hipótese de nulidade.

Os valores obtidos e preditos de EMAn do farelo de trigo para frangos de corte foram superiores aos obtidos e preditos, por meio do *AMEn Predictor* para as demais categorias, ou seja, apesar de mais jovens os frangos de corte apresentaram maiores valores de EMAn (FIGURA 4). Esses resultados contradizem estudos recentes apresentados por Meireles (2016), no qual esse autor enfatiza as diferenças no aproveitamento dos nutrientes e no valor de energia dos alimentos para animais de diferentes idades, em decorrência do aumento de digestibilidade dos nutrientes. Esse autor observou que aves mais velhas tendem a apresentar maiores valores de EMAn dos alimentos, os quais foram 4,26% maiores aos de aves jovens.

A predição inadequada dos valores de EMAn para o sorgo, quando considerados os valores obtidos *in vivo* e os preditos, por meio do *AMEn Predictor*, pode estar associado à amplitude de dispersão dos dados, em função das diferentes categorias adotadas na obtenção dos dados, no ensaio de metabolismo (FIGURA 5). É possível observar que os valores obtidos (TABELA 4) apresentaram uma variação considerável entre as categorias adotadas no experimento a campo, com desvio padrão médio de 99 kcal/kg de MS.

Outro ponto a ser considerado é que o número de trabalhos realizados com farelo de trigo e sorgo são, em comparação aos realizados com milho e farelo de soja, já que esses são os dois principais alimentos empregados na alimentação de aves no Brasil. O número de trabalhos encontrados, na literatura, que podem ter composto a meta-análise no desenvolvimento do *AMEn Predictor* pode justificar a adequação ou não adequação dos valores preditos, por meio do aplicativo para os diferentes alimentos e categorias de predição.

Foram aceitas as propostas de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$) para as equações determinadas, por meio de RB, por ambas as categorias de predição (pinto e galo) para o milho, farelo de soja e sorgo. Isso significa que os valores preditos foram semelhantes aos obtidos *in vivo*, ou seja, as RB para as duas categorias de predição foram eficientes para prever os valores de EMAn do milho, farelo de soja e do sorgo. Já, para o farelo de trigo, foi aceita a posposta de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$), quando adotada a categoria de predição galos e rejeitada a proposta de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$), ao se adotar a categoria de

predição pintos, ou seja, apenas os valores preditos, por meio das RB, categoria de predição galos, representaram, adequadamente, os valores obtidos *in vivo*.

Para o farelo de trigo, os valores preditos por meio das RB, quando adotada a categoria de predição pintos foi superior em 981 kcal/kg de MS a média dos valores obtidos *in vivo*. Os valores preditos por esse método e categoria de predição também foram muito superiores aos apresentados nas Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos (1810 kcal/kg de MS), que é a principal referência encontrada na literatura nacional (ROSTAGNO et al., 2017), o que indica que pode haver uma superestimação nos valores de EMAn preditos por meio das RB.

Foram rejeitadas as propostas de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$; $H_0: \beta_1 = 1$) para as equações gerais 1 e 2, considerando todos os alimentos estudados, ou seja, os valores obtidos *in vivo* para todos os alimentos e categorias foram diferentes aos estimados, por meio das equações. Alvarenga et al. (2011), ao avaliarem as equações gerais propostas por Nascimento et al. (2009), para estimar os valores de EMAn de alimentos proteicos para frangos de corte, observaram que essas equações foram eficientes na previsão dos valores e indicaram a equação $EMAn = 4101,33 + 56,28EE - 232,97MM - 24,86FDN + 10,42FDA$ como a mais aplicável. No entanto, esses autores avaliaram a aplicação das equações propostas por Nascimento et al. (2009), para a mesma categoria animal para a qual elas foram obtidas, assim a rejeição da hipótese de nulidade pode ser associada à inclusão de valores obtidos *in vivo* com as categorias frangas de reposição e galinhas em postura.

Nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 a reta representa os pontos em que $X=Y$, ou seja, quanto mais semelhantes são os valores observados dos valores preditos mais próximos à reta esses valores se encontram.

É possível observar, nas Figuras 2, 3, 4 e 5, que os valores observados para uma mesma categoria de aves tendem a ficar mais próximos, formando subgrupos na dispersão dos gráficos. Esse comportamento indica que o aproveitamento dos nutrientes e, consequentemente, da energia, varia entre as categorias de aves.

Já, na Figura 6, é possível observar que os diferentes pontos plotados sofrem influência das diferentes categorias de aves e dos diferentes alimentos. Os valores de EMAn do farelo de trigo, observados para a categoria frangos de corte foram superiores aos de frangas de reposição e galinhas em postura e foram subestimados quando preditos pelas duas equações gerais propostas por Nascimento et al. (2009). Valores observados superiores para frangos de corte podem ser justificados em função de mudanças fisiológicas, ocasionadas pelo melhoramento genético de frangos, que resultam em maiores valores de EMAn, para frangos

de corte, quando comparados a animais de idade superior (THOMAS; RAVINDRAN; RAVINDRAN, 2008).

Os parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia dos métodos de predição (TABELA 6) indicam quais os métodos de predição são os mais precisos para cada alimento. Menores valores de MAD, MAPE e m.s.e., Bias próximo de zero e R^2 próximo de um, indicam que os valores preditos foram mais próximos aos observados.

Tabela 6 - Parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia dos métodos de predição de valores energéticos de alimentos para aves.

Método/Categoria de predição	Alimento	R²	m.s.e	MAD	MAPE	Bias
<i>AMEn Predictor</i> (pintos)	Milho	0,0634	108521,70	285,4444	8,4692	-285,4444
AMEn Predictor (galos)	Milho	0,0002	92445,33	260,8889	7,7484	-256,4444
Redes Bayesianas (pintos)	Milho	0,0070	819571,00	885,4444	25,8168	-885,4444
Redes Bayesianas (galos)	Milho	0,0006	188151,40	374,1111	11,0222	-374,1111
<i>AMEn Predictor</i> (pintos)	Farelo de soja	0,0037	51404,11	202,7778	8,8226	-174,5556
AMEn Predictor (galos)	Farelo de soja	0,0055	90552,56	269,0000	11,7466	-263,8889
Redes Bayesianas (pintos)	Farelo de soja	0,0438	886856,00	930,2222	39,8176	-930,2222
Redes Bayesianas (galos)	Farelo de soja	0,0556	1077145,00	1025,8890	43,8869	-1025,889
Redes Bayesianas (galos)	Farelo de trigo	0,3370	381504,40	602,8889	31,6222	-525,7778
<i>AMEn Predictor</i> (frangos de corte)	Sorgo	0,0058	17939,56	109,7778	3,2489	-42,0000
Redes Bayesianas (frangos de corte)	Sorgo	0,0064	455885,10	660,0000	19,2976	-660,0000
Redes Bayesianas (galos)	Sorgo	0,0149	164322,80	376,3333	11,0527	-376,3333

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 7 - Ranqueamento das predições de acordo com os parâmetros de adequabilidade do ajuste e acurácia dos métodos de predição de valores energéticos de alimentos para aves.

Predição	Alimento	R²	m.s.e	MAD	MAPE	Bias	Σ
-----------------	-----------------	----------------------	--------------	------------	-------------	-------------	----------

<i>AMEn Predictor</i> (pintos)	Milho	4	3	3	3	4	17
<i>AMEn Predictor</i> (galos)	Milho	1	4	4	4	3	16
RB (pintos)	Milho	3	1	1	1	1	7
RB (galos)	Milho	2	2	2	2	2	10
<i>AMEn Predictor</i> (pintos)	Farelo de soja	1	4	4	4	4	17
<i>AMEn Predictor</i> (galos)	Farelo de soja	2	3	3	3	3	14
RB (pintos)	Farelo de soja	3	2	2	2	2	11
RB (galos)	Farelo de soja	4	1	1	1	1	8
RB (galos)	Farelo de trigo	4	4	4	4	4	20
<i>AMEn Predictor</i> (pintos)	Sorgo	2	4	4	4	4	18
RB (pintos)	Sorgo	3	2	2	2	2	11
RB (galos)	Sorgo	4	3	3	3	3	16

Fonte: Do autor (2019).

Pode-se observar que, de uma maneira geral, mesmo os menores valores de MAD, MAPE e m.s.e obtidos, neste trabalho e os valores de Bias e R^2 indicam que o ajuste e a acurácia podem ainda não ser adequadas na prática para todas as categorias de aves. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de os dados utilizados pertencerem a três categorias de aves diferentes (pintos, frangas de reposição e galinhas), assim, os animais apresentam idades, sexo e finalidades zootécnicas distintas e todos esses fatores influenciam, diretamente, nos valores de energia dos alimentos (FURLAN et al., 1998; MELLO, 2007).

Os valores de Bias negativos, indicam que todos os métodos avaliados superestimaram os valores de EMAn dos alimentos, o que pode ser justificado, em decorrência das diferenças na digestibilidade dos alimentos, pelas diferentes categorias de aves. Apesar de ainda serem escassos estudos com diferentes categorias de aves, é possível encontrar, na literatura, resultados que demonstram que há interação significativa entre os alimentos e as categorias/espécies. Ou seja, o aproveitamento dos nutrientes e, conseqüentemente, a EMAn dos alimentos diferem entre as diferentes categorias/espécies de aves (MONTENEGRO, 2016; OLIVEIRA, 2015, 2016). Dos métodos selecionados, aplicados aos alimentos e categorias de aves avaliados, obteve-se valor de Bias positivo apenas para o *AMEn Predictor*, para a categoria de predição pintos, quando se estimaram os valores de EMAn, para o farelo de trigo. Assim, o Bias indica que os valores de EMAn do farelo de trigo, quando estimados por esse método, ficaram subestimados, conforme pode ser visto na Figura 6.

Ao determinarem valores de energia metabolizável aparente para galinhas poedeiras em pico de produção, por diferentes metodologias, Barzegar et al. (2019) observaram que os resultados obtidos, pela substituição parcial da ração referência pelo alimento teste, não foram representativos para as condições de produção de ovos, sendo que os alimentos proteicos foram os que apresentaram maiores discrepâncias nos valores obtidos. Assim, esses autores obtiveram conclusões consistentes aos resultados do presente trabalho, sugerindo ainda que além da necessidade de se determinar valores de energia metabolizável específicos para galinhas em postura, há também a necessidade de se desenvolver e adaptar métodos *in vivo* exclusivos para essa categoria de aves.

A partir dos resultados dos critérios de adequabilidade obtidos e as Figuras 2, 3, 4, 5 e 6, é possível observar que, apesar do teste de hipótese indicar que os valores observados e preditos são semelhantes em média, o ajuste dos modelos para a predição de EMAn, independentemente da categoria de aves ainda não pode ser considerado ideal, o que torna pouco segura a sua aplicação desses métodos a campo.

O ranqueamento das predições, em função dos critérios de adequabilidade, auxilia a tomada de decisão quanto ao método mais adequado para ser adotado na predição do EMAn dos alimentos, independentemente da categoria de aves, indicando qual o método é mais preciso. Os métodos de predição que obtiveram maior pontuação para o milho, farelo de soja e para o sorgo foi o *AMEn Predictor*, para a categoria de predição pintos, já, para o farelo de trigo, o único método que se mostrou adequado foi o de RB, categoria de predição galos. Esses resultados reforçam trabalhos encontrados, na literatura, que indicam que o uso de redes neurais na predição de valores de energia é considerado um método promissor (PERAI et al., 2010).

No entanto, nenhum dos modelos de predição apresentou acurácia para que seja seguro o seu uso a campo como ferramenta de predição de valores energéticos. Esses resultados indicam que, apesar do potencial apresentado por esses métodos de predição, principalmente, em razão da facilidade em aplicá-los, a confiabilidade dos dados gerados por eles ainda não é adequada.

Assim, ressalta-se a necessidade de inovações e adequações no que diz respeito à predição de valores de energia de alimentos mais acurados para aves.

4 CONCLUSÕES

Nenhum dos modelos de predição avaliados demonstrou ser seguro, para ser aplicado a campo para a estimação dos valores de EMAn de alimentos.

Sugere-se que, em estudos futuros, realizados para se desenvolver métodos de predição, sejam levados em consideração a categoria do alimento, a categoria de aves, a idade dos animais e composição química dos alimentos, bem como a utilização de um banco de dados composto por ensaios metabólicos mais recentes, que garantam a utilização de aves, geneticamente, atuais e de alimentos empregados, atualmente, na alimentação dessas aves.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. R. et al. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 168, n. 3/4, p. 257-266, 2011.
- ALVARENGA, R. R. et al. Validation of prediction equations of energy values of a single ingredient or their combinations in male broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 28, n. 9, p. 1335-1344, 2015.
- ALVARENGA, T. C. **Redes bayesianas na predição de valores energéticos de alimentos para aves**. 2019. 101 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- BARZEGAR, S. et al. Metabolizable energy of corn, soybean meal and wheat for laying hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 11, p. 5876-5882, Nov. 2019.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JUNIOR, P. N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA, 1999. 1 CD-ROM.
- BRUMANO, G. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de alimentos protéicos determinados com frangos de corte em diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 2297-2302, 2006.
- CERRATE, S. et al. Predicting nutrient digestibility and energy value for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 9, p. 3994-4007, Sept. 2019.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214 p.
- DETMANN, E. et al. Simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva em novilhos mestiços suplementados a pasto, por intermédio do sistema in vitro de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 2112- 2122, nov./dez. 2005.
- DUARTE, K. F. et al. Efeito dos níveis de energia e programas de alimentação sobre a qualidade de carcaça e desempenho de frangos de corte abatidos tardiamente. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 39-47, 2007.
- FELIPE, V. P. S. et al. Using multiple regression Bayesian networks and artificial neural networks for prediction of total egg production in European quails based on earlier expressed phenotypes. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, n. 4, p. 772-780, 2015.
- FREITAS, E. R. et al. Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 1, p. 107-115, 2006.

FURLAN, A. C. et al. Valores energéticos de alguns alimentos determinados com codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1147-1150, nov./dez. 1998.

GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

GOOGLE PLAY. Disponível em:

<https://play.google.com/store/?utm_source=latam_Med&utm_medium=hasem&utm_content=Feb0217&utm_campaign=Evergreen&pcampaignid=MKT-DR-latam-br-1002290-Med-hasem-py-Evergreen-Feb0217-Text-Institucional&gclid=Cj0KCCQiA2ITuBRDkARIsAMK9Q7OVzIBM9qjA-kYtkgjXrDiv6ziZJecd7b_N4cl3wzPz7qvfAeuFyToaAkoieALw_wcB&gclsrc=aw.ds>.

Acesso em: 10 mar. 2019.

HUGHES, R. J.; CHOCT, M. Low-ME wheat or low-ME chickens?: highly variable responses by birds on the same low-ME wheat diet. **Australian Poultry Science Symposium**, Sydney, v. 9, p. 138-141, 1997.

MARIANO, F. C. M. Q. et al. **AMEn Predictor**. 2016. Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.amenpredictor>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

MARIANO, F. C. M. Q. et al. Neural network committee to predict the AMEn of poultry feedstuffs. **Neural Computing and Applications**, London, v. 25, n. 7/8, p. 1903-1911, 2014.

MARIANO, F. C. M. Q. et al. Prediction of the energy values of feedstuffs for broilers using meta-analysis and neural networks. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 9, p. 1440-1445, 2013.

MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Agricultural Experimental Station Research Report**, New York, v. 7, p. 3-11, 1965.

MEIRELES, A. C. de S. **Equações de predição para energia metabolizável da soja semi-integral extrusada para frangos de corte em diferentes idades**. 2016. 61 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MELLO, H. H. de C. **Determinação dos valores de energia metabolizável de alimentos com aves de diferentes idades**. 2007. 42 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MONTENEGRO, S. D. **Valores energéticos da raspa integral de mandioca e do sorgo para diferentes espécies e categorias de aves**. 2016. 55 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

NAGATA, A. K. et al. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 668-677, 2004.

NASCIMENTO, G. A. et al. Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando meta-análise. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 1, p. 222-230, 2011.

NASCIMENTO, G. A. J. do 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**, Viçosa, MG, v. 38, n. 7, p. 1265-1271, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9th ed. Washington: National Academy Press, 1994. 155 p.

OLIVEIRA, D. H. **Valores energéticos da farinha de carne e ossos e do óleo de soja para diferentes espécies e categorias de aves**. 2016. 44 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

OLIVEIRA, E. C. **Valores energéticos do milho e do farelo de soja para aves de diferentes categorias zootécnicas**. 2015. 39 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

PERAI, A. H. et al. A comparison of artificial neural networks with other statistical approaches for the prediction of true metabolizable energy of meat and bone meal. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 7, p. 1562-1568, 2010.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Software.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017.

SAKOMURA, N. K. et al. Efeito da idade dos frangos de corte sobre a atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e da soja integral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 924-935, 2004.

SCOTTA, B. A. et al. Determinação da composição química e dos valores de energia metabolizável de alguns alimentos proteicos para frangos de corte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 17, n. 4, p. 501-508, 2016.

SIBBALD, J. R.; SLINGER, S. J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. **Poultry Science**, Champaign, v. 42, n. 2, p. 313-325, Mar. 1963.

SILVA, R. B. et al. Composição química e valores de energia metabolizável de subprodutos agroindustriais determinados com diferentes aves. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 269-275, nov. 2008.

THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G. Nutrient digestibility and energy utilisation of diets based on wheat, sorghum or maize by the newly hatched broiler chick. **British Poultry Science**, Oxford, v. 49, n. 4, p. 429-435, 2008.

WU, S. B. et al. Net energy prediction and energy efficiency of feed for broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 98, n. 3, p. 1222-1234, 2019.

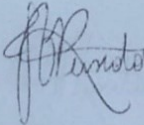
**ANEXO A – Certificado de aprovação pela Comissão de Ética no uso de Animais
(CEUA)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS
 Cx.P.3037 - Lavras – MG – 37200-000 – (35) 3829-5182 cba@ufla.br

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Valores de energia metabolizável de alimentos para diferentes espécies e categorias de aves determinadas *in vivo* e através de métodos indiretos", protocolo nº 029/18, sob a responsabilidade de Paulo Borges Rodrigues e Evelyn Cristina de Oliveira, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto homem), para fins de ensino e/ou pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas edificadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da Pró-Reitoria de Pesquisa/UFLA, em reunião de 04/05/2018.

Vigência da autorização: de 06/05/2018 a 06/05/2019
 Finalidade: () Ensino (x) Pesquisa Científica
 Espécie/linhagem/raça: Ave / Coob 500; Hisex Brown (galinha de postura e franga de reposição) e *Coturnix coturnix japonica*
 Número de animais aprovados: Coob 500 - 390; Hisex Brown - 468; *Coturnix coturnix japonica* - 780
 Peso/Idade: Coob 500 (840g/21 dias); Hisex Brown (galinha de postura: 2000g/52 semanas; franga de reposição: 1700g/12 semanas); *Coturnix coturnix japonica* (155g/170 dias)
 Sexo: macho e fêmea
 Origem dos animais (documento apresentado pelo pesquisador responsável e arquivado pela CEUA): Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da UFLA - Responsável: Prof. Edison José Fassani. Comércio e Representante Agropecuária Lavras Ltda. - Praça Santo Antônio, 044, Centro - Lavras, MG. Rivelli - Rua Leão José, 257, Nossa Senhora do Rosário - Mateus Leme, MG.



Prof. Juliano Vogas Peixoto
 Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais CEUA

Universidade Federal de Lavras
 Pró-Reitoria de Pesquisa /Comissões Permanentes
 Campus Universitário -
 Caixa Postal 3037 / CEP 37200 000 – Lavras, MG - Brasil
 Tel.: +55 (35) 3829 5182
 cba@nintec.ufla.br - www.prp.ufla.br

ANEXO B – Rotina R para obter equações de predição

```

#Estimar equações de predição para as diferentes categorias de aves
#Limpar qualquer banco de dados dentro do R previamente existente
rm(list=ls())

#Definindo diretório
setwd("~/Evelyn/Doutorado/Tese/dados")
dados <- read.table("dados.txt",header=T)

#Verificar dados
str(dados)

#####Normalidade – Teste de Shapiro Wilk
aov.dados <- aov(dados_observados ~ Categoria_aves, data=dados)
anova.dados <- anova(aov.dados)
res.dados <- aov.dados$residuals
shapiro.test(res.dados) # Shapiro-Wilk H0: residuos seguem a distribuicao normal

#####Homogeneidade de variancias - Teste de Bartlett
require(graphics)
plot(dados_observados ~ Categoria, data=dados)
bartlett.test(dados_observados ~ Categoria, data=dados)

#Verificar correlação entre todos os pares de variáveis
#Pacote utilizado agricolae
library(agricolae)
analysis<-correlation(dados[,8:16],method="pearson")
analysis

#Modelo de regressão 1 - todas as variáveis
summary(lm(eman ~ pb + mm + ee+ fb + fdn + fda + calcio + fosforo, data = dados))

# Ajuste do modelo de regressão linear ponderada, utilizando os fatores de ponderação calculados e,
aplicando o procedimento stepwise para seleção das variáveis significativas para o modelo
library(MASS)
reg.aj<-lm(eman ~ pb + mm + ee + fb + fdn + fda + calcio + fosforo, data = dados)
summary(reg.aj)
reg <- stepAIC(reg.aj, scope = list(upper = ~ pb + mm + ee + fb + fdn + fda + calcio + fosforo, lower
= ~1), direction = "both")
summary(reg)
reg$anova

#Retirando as variáveis que não apresentaram correlação significativa
reg.aj<-lm(eman ~ pb + mm + fb + fdn + fda + fosforo, data = dados)
summary(reg.aj)
reg <- stepAIC(reg.aj, scope = list(upper = ~ variavel 1 + variavel 2 + variavel n, lower = ~1),
direction = "both")
summary(reg)
reg$anova

#Modelo final
summary(lm(eman ~ variavel 1 + variavel 2 + variavel n, data = dados))

```

ANEXO C – Rotina R para avaliar os métodos de predição

```

#Estimar equações de predição para as diferentes categorias de aves
#Rotina para avaliar os métodos de predição para cada alimento
#Limpar qualquer banco de dados dentro do R previamente existente
rm(list=ls())

#Definindo o diretório
setwd("~/Evelyn/Doutorado/Tese/Analises/dados")
dados<-read.table('dados.txt', h=T)
str(dados) #ver estrutura dos dados
dados$Lote<-as.factor(dados$Lote) #Definindo lote como fator
dados

#####Normalidade – Teste de Shapiro Wilk
aov.dados <- aov(dados_observados ~ Categoria_aves, data=dados)
anova.dados <- anova(aov.dados)
res.dados <- aov.dados$residuals
shapiro.test(res.dados) # Shapiro-Wilk H0: residuos seguem a distribuicao normal

#####Homogeneidade de variancias - Teste de Bartlett
require(graphics)
plot(dados_observados ~ Categoria, data=dados)
bartlett.test(dados_observados ~ Categoria, data=dados)

##Testando hipóteses  $b_0 = 0$  e  $b_1 = 1$ 
valid.reg<- function(X, Y){
  reg1<- lm(Y ~ X)
  tab.reg<- summary(reg1)$coefficients
  saida<- data.frame(Estimativa = tab.reg[,1],
                    Erro.padrao = tab.reg[,2])
  tc.b0<- saida$Estimativa[1]/saida$Erro.padrao[1]
  tc.b1<- (saida$Estimativa[2]-1)/saida$Erro.padrao[2]
  saida$t.calc<- c(tc.b0, tc.b1)
  saida$valor.p<- format(2*(1-pt(abs(saida$t.calc), length(Y)-2)), digits=5)
  saida$Estimativa<- round(saida$Estimativa, 6)
  saida$Erro.padrao<- format(saida$Erro.padrao, digits=5)
  saida$t.calc<- format(saida$t.calc, digits=5)
  return(saida)
}

##### Analise de regressão#####
valid.reg(dados$metodo_predicao, dados$dados_observados)

# Plotar gráfico
library(ggplot2)
ylim<- c(1500,4000)
xlim<- c(1500,4000)
plot<-ggplot(dados, aes(metodo_predicao, dados_observados))+
  geom_point(aes(colour = factor(Alimento), size=3))+
  scale_x_continuous(name="EMAn Predito", limits=xlim) + # Aqui se ajusta o eixo x
  scale_y_continuous(name="EMAn Observado", limits=ylim)+ # Aqui se ajusta o eixo y
  geom_abline(intercept = 0, slope = 1)+ # reta onde Y=X
  theme_bw() +

```

```

theme(panel.grid.major = element_blank(),
      panel.grid.minor = element_blank(),
      panel.background = element_rect(colour = "black"),
      plot.title = element_text(hjust = 0.5))+
ggtitle("1")+
scale_size(guide=FALSE)+
scale_colour_discrete(name="Alimento")+
guides(colour = guide_legend(override.aes = list(size=5)))
plot

##### Critérios estatísticos #####
analise <- function (dados) {
  #Calculando o R2
  # Regressao simples
  reg.01<-lm(dados_observados ~ metodo_predicao , data = dados)
  # Analise de variancia da regressao
  anova(reg.01)
  summary(reg.01) # intercepto, inclinacao e p-valores

#####Calculando o MAD#####
MAD <- sum(abs(dados$Estimado - dados$Observado))/length(dados$Estimado)
MAD

#Calculando o MAPE
MAPE <- 100 *(sum(abs((dados$Observado - dados$Estimado)/dados$Observado))/
length(dados$Estimado))
MAPE

#####Calculando o MSE#####

MSE<- sum((dados$Observado - dados$Estimado)^2)/length(dados$Observado)
MSE

#####Calculando Bias#####
BIAS <- sum((dados$Observado - dados$Estimado))/length(dados$Observado)
BIAS

####Normalidade dos erros do modelo
erro=dados$Observado-dados$Estimado
#qqnorm(erro)
ST=shapiro.test(erro)
PVALORNORM=ST[[2]]

list(R2=R2,MAD=MAD,MAPE=MAPE,MSE=MSE,BIAS=BIAS,
PVALORNORM=PVALORNORM)
}
#####
# Rodar a função analise para cada modelo (com seus respectivos estimados)
# Método estimação
conjteste_mod1=as.data.frame(cbind(dados$metodo_predicao, dados$dados_observados))
colnames(conjteste_mod1) <- c("Estimado", "Observado")
Critérios=analise(conjteste_mod1)
Critérios

```