

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**EFEITO DO NÍVEL E FONTE DE FIBRA SOBRE A CONCENTRAÇÃO E A  
UTILIZAÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE DIETAS PARA FRANGOS  
DE CORTE EM CRESCIMENTO**

Marson Bruck Warpechowski  
Zootecnista (UFSM)  
Mestre em Zootecnia (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Doutor em Zootecnia

Porto Alegre, RS, Brasil  
Março de 2005

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Alexandre de Mello Kessler pela amizade e confiança de longa data;

Ao meu orientador na França Jean Noblet pelas muitas demonstrações de amizade, confiança e compreensão, e pelo exemplo de trabalho de equipe;

À minha esposa Elenize e a todos colegas, bolsistas, estagiários e funcionários que auxiliaram muitas vezes voluntariamente nos trabalhos práticos desta tese, sem os quais o trabalho não se realizaria;

À minha co-orientadora Andréa Ribeiro, pela amizade e auxílios oportunos durante o desenvolvimento deste trabalho e aos meus co-orientadores Jaap Van Milgen e Bernard Carré, pela orientação e treinamento técnicos e pela consideração, simpatia e disponibilidade;

Aos vários amigos funcionários do INRA, em especial a Serge Dubois e a Yolande Jaguelin-Pieraud, além de Pascal, Francis, Yves, Benoit e Joelle Gomez, pelo auxílio no treinamento técnico e pela simpatia, amizade e agradável convivência;

Aos colegas com quem convivi na UFRGS, em especial André Ebert, Lilian, Luciano, Simone, João Dionísio, Christine, Lisiane, Lika, Cátia, Maitê, Ludimila, Luis Felipe, Sandro, Luiz Fernando, Jair, Vinícius, Cíntia, Bernardo, Liliane, Carlos, Pedro, Daniel, Germano, Rogério, Laurício, Maurício, Carol, Carolzinha, Emílio, Rodrigo e tantos outros, pela amizade, coleguismo e pela rica convivência;

Aos colegas e pesquisadores com quem convivi no INRA, em especial a Maela, Sofia, Remi, Jean-Yves, Sébastien, Ludovic, Nicolas, Anne e Paulo, pela amizade, simpatia e compreensão, tornando meu estágio mais rico e prazeroso;

Aos amigos Paulo Lovatto e Maria de Lourdes Ciocca pela inspiração e estímulo para a realização desse projeto;

À Nação Brasileira e ao Governo Federal do Brasil por se permitirem a manutenção de programas de formação técnico-científica do nível do programa de formação de doutores com estágio no exterior mantidos pela CAPES e CNPq;

Ao UMRVP/INRA (atual UMR-SENAH), na pessoa do Dr. Jean Noblet, e ao SRA/INRA, na pessoa do Dr. Bernard Carré, por colaborarem com realização deste estágio de pesquisa disponibilizando tempo, recursos e infraestrutura para o presente trabalho em cooperação;

À Novo Nordisk do Brasil, pela doação de enzimas utilizadas neste trabalho.

Às muitas pessoas maravilhosas com quem tive oportunidade de manter contato no Brasil e na França durante este período, minha sincera admiração.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Elenize, minha esposa e companheira de todas as horas e também a meus pais, irmãos e cunhado(a)s, que sempre acreditaram na minha capacidade e me estimularam a progredir.

– // –

*"Il était finistérien, ce qui voulait dire en transit entre deux mondes, balancé entre celui des étoiles et celui des blés. Riverain, il l'était, riverain de l'infini, pensionnaire des tempêtes et des pluies, mais tout nostalgique de soleil et de paix."*

Xavier Grall (Landiviseau, Bretagne, FR. 1930-1981)

*"Paisagens de sombra e luz,  
como é que pude perdê-las?"*

*Ficaram as cinco estrelas  
fazendo o Sinal da Cruz!"*

Jayme Caetano Braum

(São Luiz Gonzaga, Rio Grande do Sul, BR. 1924-1999)

# **EFEITO DO NÍVEL E FONTE DE FIBRA SOBRE A CONCENTRAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE EM CRESCIMENTO<sup>1</sup>**

Autor : Marson Bruck Warpechowski

Orientador no Brasil: Alexandre de Mello Kessler

Orientador na França: Jean Noblet

Co-orientadores: Andréa Machado Leal Ribeiro, Jacob Van Milgen e Bernard Carré

## **SINOPSE**

A utilização de ingredientes fibrosos pode resultar efeitos deletérios sobre a energia metabolizável (EM) e líquida (EL) da dieta para frangos que dependem do nível, fonte e estrutura macromolecular da fibra. No presente trabalho foram desenvolvidos dois experimentos com frangos em crescimento, com os objetivos de avaliar os efeitos do nível e fonte de fibra sobre a disponibilidade e partição da EM, testar diversas medidas da fibra em equações de predição da concentração dietética de EM e EL e avaliar e aperfeiçoar metodologias de estudo da partição metabólica da energia. No experimento I, utilizando abate comparativo e regressão múltipla com frangos ISA em gaiolas individuais, foram observados efeitos significativos do nível e fonte de fibra sobre a disponibilidade e eficiência de retenção da EM ( $K_0$ ). As melhores medidas isoladas do efeito da fibra foram a parede celular insolúvel em água e a fibra total da dieta, e as melhores equações de predição obtidas para a EM e a EL contiveram combinações de uma medida da quantidade de fibra, como as fibra bruta, detergente ácido ou uma das citadas anteriormente, com as medidas de viscosidade e/ou de retenção de água. No experimento II, utilizando calorimetria indireta e modelagem com frangos Ross alojados em grupo, foi demonstrado que o efeito do nível de fibra sobre o  $K_0$  em dietas com baixa viscosidade pode estar relacionado com o aumento no efeito térmico do alimento (ETA) de curto prazo. A perda de calor total (61% dos 360 kcal EM/kg<sup>0,75</sup> consumidos) e partida em metabolismo basal (52%), atividade física (19%) e ETA total (29%) e de longo prazo (16%), não foram alterados pelo nível de fibra. O peso do trato gastrointestinal das aves aumentou com o aumento no nível de fibra nos dois experimentos. Foram obtidos coeficientes médios para a EL de manutenção de 97,5 e 115,2 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia, respectivamente para os experimentos I e II, e o  $K_0$  variou de 0,638 (alta fibra de trigo e far. soja) a 0,708 (controle milho e far. soja) no experimento I, e foi de 0,706 (dieta normal) e 0,714 (alta fibra) no experimento II.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. Março, 2005.

# EFFECT OF THE LEVEL AND SOURCE OF DIETARY FIBER ON THE DIETARY MEABOLIZABLE ENERGY CONCENTRATION AND UTILIZATION IN GROWING BROILERS<sup>1</sup>

Author: Marson Bruck Warpechowski

Advisor in Brazil: Alexandre de Mello Kessler

Advisor in France: Jean Noblet

Co-advisores: Andrea Machado Leal Ribeiro, Jacob Van Milgen and Bernard Carré

## ABSTRACT

Utilizing fibrous ingredients can result in deleterious effects on metabolizable (EM) and net (EL) dietary energy for broilers that are related to the fiber level, source and macromolecular structure. In the present work, two balance trials were performed with growing broilers, to evaluate the effects of fiber level and source on EM availability and utilization; to test several fiber measures in EL and EM prediction equations; and to evaluate and improve the use for broilers of an existing methodology for investigation of metabolizable energy partitioning. In trial I, using comparative slaughter and multiple regression techniques with individually logged ISA broilers, were observed significant effects of fiber level and source on availability and retention efficiency of ME ( $K_0$ ). The best isolate measures on the fiber effect were the water insoluble cell wall and the total dietary fiber, and the best prediction equations obtained for EM and EL contained combination of a fiber content measure, as crude fibre or acid detergent fiber or one of the least cited ones, with the measures of viscosity and/or fiber water holding capacity. In trial II, using indirect calorimetry and modeling techniques with Ross broilers logged in groups, was showed that the effect of fiber level on  $K_0$  with low viscosity diets can be related to increased short term thermic effect of feed. The overall heat loss (61% of the 360 kcal EM/kg<sup>0,75</sup> intake) and that partitioned in basal metabolism (52%), physical activity (19%) and overall (29%) and long term thermic effect of feed (16%), were not affected by the high fiber diet consumption. Bird's gastrointestinal weight was proportionally increased with the increase in the fiber level in both trials. Mean net energy maintenance coefficients were 97,5 and 115,2 kcal/kg<sup>0,75</sup>/day, respectively for the trials I and II, and the  $K_0$  was changed from 0,638 (wheat-soybean meal high fiber diet) to 0,708 (control corn-soybean meal diet) in trial I, and was 0,706 (normal diet) and 0,714 (high fiber diet) in trial II.

---

<sup>1</sup> Doctoral thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. March, 2005.

## SUMARIO

1. Introdução .....	1
2. Revisão bibliográfica .....	5
2.1. Sistemas de energia em avicultura.....	5
2.1.1. Energia digestível e metabolizável.....	7
2.1.2. Energia líquida .....	15
2.1.2.1. Determinação da EL pelo método de abate comparativo .....	16
2.1.2.2. Determinação da EL por calorimetria .....	17
2.2. Quociente respiratório como medida do metabolismo .....	18
2.3. Partição da energia metabolizável em animais em crescimento .....	20
2.3.1. Termorregulação .....	21
2.3.2. Incremento Calórico .....	22
2.3.2.1. Atividade física.....	23
2.3.2.2. Efeito térmico do alimento .....	26
2.3.3. Necessidade energética de manança.....	29
2.3.3.1. Produção de calor basal e energia líquida de manança.....	30
2.3.3.2. Energia metabolizável de manança .....	31
2.3.4. Métodos de expressão da energia de manança .....	33
2.3.5. Eficiência energética para manança e deposição tecidual.....	36
2.4. Fibra da dieta e valor energético dos alimentos para aves .....	38
2.4.1. Fibra em grãos e subprodutos de cereais .....	39
2.4.2. Fibra em grãos e subprodutos de leguminosas .....	40
2.4.3. Quantificação das frações fibrosas .....	40
2.4.4. Propriedades físico-químicas de frações fibrosas .....	43
2.4.4.1. Capacidade de hidratação .....	43
2.4.4.2. Viscosidade.....	44
2.4.4.3. Capacidade tamponante e de troca catiônica .....	45
2.4.5. Efeito da fibra sobre a disponibilidade e utilização da energia em dietas para aves.....	46
2.5. Predição do valor energético através da composição química e de propriedades físico-químicas de frações da dieta .....	48
2.5.1. Predição da energia metabolizável .....	48
2.5.2. Predição da energia líquida .....	53
3. Experimento 1: Predição da energia metabolizável e líquida de dietas para frangos de corte através da caracterização da fração fibrosa .....	59
3.1. Introdução .....	59
3.2. Material e métodos .....	61
3.2.1. Dietas e arraçoamento .....	62
3.2.2. Aves e manejo experimental .....	63
3.2.3. Variáveis e cálculos.....	64
3.2.4. Análises laboratoriais.....	65
3.2.5. Análises estatísticas.....	67
3.3. Resultados .....	69
3.3.1. Medidas preliminares .....	69
3.3.2. Balanço de energia e proteína .....	72
3.3.3. Energia líquida e eficiência de retenção energética .....	76

3.3.4.	Equações de predição da EM e da EL .....	81
3.3.5.	Comparação da predição de desempenho e retenção a partir da EM e da EL .....	87
3.4.	Discussão.....	87
3.4.1.	Efeito da fibra sobre o desempenho e o peso relativo do trato gastrointestinal.....	87
3.4.2.	Efeito da fibra sobre o balanço de energia e sobre o balanço e retenção de proteína .....	90
3.4.3.	Efeito da fibra sobre a retenção da energia metabolizável e a energia de manutenção .....	94
3.4.4.	Predição da energia disponível através da composição química e propriedades físico-químicas da fibra das dietas.....	99
3.4.4.1.	Equações de predição da energia metabolizável aparente .....	101
3.4.4.2.	Equações de predição da energia líquida.....	104
3.4.4.3.	Predição do desempenho e da retenção corporal.....	106
3.5.	Conclusões .....	107
4.	Experimento 2: Utilização da energia e produção de calor por frangos de corte sob dieta com alto nível de fibra .....	109
4.1.	Introdução .....	109
4.2.	Material e métodos .....	111
4.2.1.	Dietas e animais .....	111
4.2.2.	Equipamentos, medidas e análise laboratorial.....	113
4.2.3.	Medidas da morfologia gastrointestinal.....	116
4.2.4.	Cálculos.....	116
4.2.5.	Análises estatísticas.....	120
4.3.	Resultados .....	120
4.3.1.	Dietas, desempenho animal e digestibilidade de nutrientes .....	120
4.3.2.	Produção de calor de jejum e de atividade física: relação com o peso metabólico.....	124
4.3.3.	Efeito da dieta com alta fibra sobre a produção de calor e o balanço de energia e proteína .....	124
4.3.4.	Fibra da dieta e morfologia gastrointestinal .....	128
4.4.	Discussão.....	129
4.4.1.	Efeitos da dieta com alta fibra sobre o desempenho e digestibilidade de nutrientes .....	129
4.4.2.	Determinação da produção de calor basal e partição da perda de calor.....	133
4.4.3.	Efeito da dieta com alta fibra sobre a produção de calor e o metabolismo da energia .....	137
4.5.	Conclusões .....	143
5.	Considerações finais .....	146
5.1.	Considerações sobre o sistema de modelos para a predição da cinética e partição da produção de calor utilizado no experimento II ..	146
5.2.	Simulação de validação das equações de predição obtidas e comparação de metodologias experimentais utilizadas nos dois experimentos .....	151
5.2.1.	Determinações de energia metabolizável .....	152
5.2.2.	Determinações de energia líquida .....	158

6. Conclusões gerais .....	161
7. Perspectivas .....	163
8. Referências bibliográficas.....	165
9. Apêndices.....	180



## INDICE DE TABELAS

TABELA 2.1. Valores médios calculados estequiometricamente para a reação de oxidação biológica de carboidratos (CHOs), proteína e gordura por aves .....	19
TABELA 2.2. Efeito da composição da dieta sobre o quociente respiratório de frangos de corte em crescimento alimentados à vontade .....	20
TABELA 2.3. Coeficientes (a) e expoentes (b) para a relação entre a energia líquida de manutenção e o peso metabólico determinados por calorimetria segundo o tipo de ave, idade e sexo de acordo com diversos autores .....	36
TABELA 2.4. Eficiências médias na utilização de energia metabolizável abaixo da manutenção e para a deposição de gordura e proteína acima da manutenção e o incremento calórico correspondente em aves. ....	37
TABELA 2.5. Equações de predição da energia metabolizável aparente corrigida para retenção nula de nitrogênio para frangos de corte obtidas por Carré et al. (1984) e Carré & Brillouet (1989) .....	51
TABELA 2.6. Efeito da composição da dieta sobre a eficiência de retenção da energia com suínos e frangos em crescimento .....	56
TABELA 2.7. Duplas de equações de predição da EMn e da EL obtidas por Carré et al. (2002) .....	57
TABELA 3.1. Composição e propriedades físico-químicas das dietas experimentais .....	70
TABELA 3.2. Medidas de desempenho e percentagem de trato gastrintestinal dos frangos conforme a dieta experimental e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3).....	73
TABELA 3.3. Resultados do balanço de metabolismo e retenção de proteína conforme a dieta experimental e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3) .....	74
TABELA 3.4. Peso corporal médio e partição da energia metabolizável de acordo com a dieta e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3) .....	77
TABELA 3.5. Eficiência de utilização da energia metabolizável, estimativas da necessidade de energia de manutenção e teor de energia líquida obtidas com as dietas experimentais .....	78
TABELA 3.6. Efeito dos níveis de consumo utilizados na regressão sobre a estimativa da eficiência de retenção da energia e da necessidade de energia de manutenção .....	81
TABELA 3.7. Correlações entre as variáveis da composição e propriedades físico-químicas das dietas experimentais .....	82
TABELA 3.8. Equações de regressão múltipla obtidas para predição da energia metabolizável (kcal/kg matéria seca) .....	85
TABELA 3.9. Equações de regressão múltipla obtidas para predição da energia líquida (kcal/kg matéria seca) .....	85

TABELA 3.9. Equações de regressão múltipla obtidas para predição da energia líquida (kcal/kg matéria seca) .....	86
TABELA 3.10. Correlação de valores preditos de EM e EL com as variáveis de desempenho e retenção energética .....	87
TABELA 4.1. Composição e características das dietas experimentais (padronizadas para 87 % matéria seca) .....	121
TABELA 4.2. Efeito do nível de fibra na dieta e da idade dos frangos sobre o desempenho e a digestibilidade/metabolizabilidade dos nutrientes e da energia .....	123
TABELA 4.3. Efeito do nível de fibra na dieta e da idade dos frangos no balanço de energia e proteína .....	125
TABELA 4.4. Componentes da partição da produção de calor em percentagem do consumo de energia metabolizável e da produção de calor total .....	128
TABELA 4.5. Efeito do nível de fibra na dieta sobre a morfologia do trato gastrointestinal (10 aves por dieta) .....	129
TABELA 5.1. Validação de equações de predição da energia metabolizável obtidas no Experimento I utilizando os resultados obtidos no Experimento II .....	157
TABELA 5.2. Validação de equações de predição da energia líquida obtidas no Experimento I utilizando os resultados obtidos no Experimento II .....	160

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Modelo da partição da energia em frangos em crescimento .....	6
FIGURA 2.2. Partição da produção de calor de suínos em crescimento recebendo quatro refeições diárias. PCJ, produção de calor de repouso em jejum; PCR, produção de calor de repouso alimentado; PCAF, produção de calor da atividade física; ETA, efeito térmico do alimento; ETAcP, ETA de curto prazo; ETAlp, ETA de longo prazo. Adaptado de Noblet (2000).....	29
FIGURA 2.3. Relação entre a retenção de corporal de energia medida por calorimetria indireta e o consumo de energia metabolizável medido com poedeiras leves sob diferentes níveis de arraçoamento. Adaptado de Li et al. (1991) .....	34
FIGURA 3.1. Relação entre o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDPB) determinado por colheita de excreta e o coeficiente de retenção da proteína bruta (CRPB) determinado por análise das carcaças de acordo com o nível de consumo de energia metabolizável. Os triângulos representam o nível 1 (manutenção) e os quadrados representam os níveis 2 e 3 (70 e 90 % do consumo à vontade) .....	75
FIGURA 3.3. Equações ajustadas para a predição da energia líquida (ELm) e metabolizável de manutenção (EMm) em função do peso metabólico. Coeficientes e expoentes obtidos com todos os pontos experimentais. DPR, desvio padrão residual (P<0,01).....	80
FIGURA 4.1. Programa diário de iluminação e arraçoamento durante o período de medição. O mesmo manejo de luz e de alimentação foi utilizado no período de adaptação .....	112
FIGURA 5.1. Cinética do peso metabólico (PM), do consumo de oxigênio (O <sub>2</sub> ), da produção de gás carbônico (CO <sub>2</sub> ), do quociente respiratório (QR), da atividade física e do consumo de alimento de um grupo de 6 frangos sob 4 períodos 0,5 h de acesso ao alimento iniciando às 9, 12, 15 e 18 h, seguidos de um período de jejum de 22 h (Experimento II).....	151

## RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>CA</b>	conversão alimentar
<b>CDPB</b>	coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta
<b>CH</b>	capacidade de hidratação
<b>CHPCIA</b>	capacidade de hidratação da parede celular insolúvel em água
<b>CRPB</b>	coeficiente de retenção da proteína bruta
<b>CT</b>	capacidade tamponante
<b>CTC</b>	capacidade de troca catiônica
<b>DGM</b>	diâmetro geométrico médio
<b>DPR</b>	desvios padrão residual
<b>EB</b>	energia bruta
<b>ED</b>	energia digestível
<b>EE</b>	extrato etéreo
<b>EEA</b>	extrato etéreo após digestão ácida
<b>EED</b>	extrato etéreo digestível
<b>EL</b>	energia líquida
<b>ELcor</b>	energia líquida corrigida para PCJ e PCAF padronizados
<b>ELm</b>	energia líquida de manutenção
<b>ELp</b>	energia líquida de produção
<b>EM</b>	energia metabolizável
<b>EMA</b>	energia metabolizável aparente
<b>EMAn</b>	energia metabolizável aparente corrigida para balanço nulo de N
<b>EMc</b>	energia metabolizável consumida
<b>EMm</b>	energia metabolizável de manutenção
<b>EMR</b>	energia metabolizável real
<b>EMV</b>	energia metabolizável verdadeira
<b>EMVn</b>	energia metabolizável verdadeira corrigida para balanço nulo de N
<b>ENND</b>	extrativo não nitrogenado digestível
<b>ERg</b>	retenção de energia na forma de gordura
<b>ERp</b>	retenção de energia na forma de proteína
<b>ERT</b>	energia retida total
<b>ETA</b>	efeito térmico do alimento
<b>ETAcP</b>	efeito térmico do alimento de curto prazo
<b>ETAlp</b>	efeito térmico do alimento de longo prazo
<b>ETAm</b>	efeito térmico do alimento de manutenção
<b>FB</b>	fibra bruta
<b>FDA</b>	fibra em detergente ácido

## RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

(continuação)

<b>FDN</b>	fibra em detergente neutro
<b>FID</b>	fibra insolúvel da dieta
<b>FSD</b>	fibra solúvel da dieta
<b>FSDN</b>	fibra solúvel em detergente neutro
<b>FTD</b>	fibra total da dieta
<b>GPM</b>	ganho de peso médio
<b>HCEL</b>	hemicelulose
<b>IC</b>	incremento calórico
<b>ICm</b>	incremento calórico de manutenção
<b>Km</b>	eficiência de utilização da energia metabolizável baixo da manutenção
<b>K0</b>	eficiência de retenção da energia metabolizável
<b>Kg</b>	eficiência de retenção da energia metabolizável como gordura
<b>Kp</b>	eficiência de retenção da energia metabolizável como proteína
<b>MS</b>	matéria seca
<b>NEM</b>	nível de oferecimento de energia metabolizável
<b>PB</b>	proteína bruta
<b>PBD</b>	proteína bruta digestível
<b>PCAF</b>	produção de calor da atividade física
<b>PCAFm</b>	produção de calor da atividade física de manutenção
<b>PCAFpad</b>	produção de calor da atividade física padronizada
<b>PCIA</b>	parede celular insolúvel em água
<b>PCJ</b>	produção de calor de repouso em jejum
<b>PCJpad</b>	produção de calor de repouso em jejum padronizada
<b>PCR</b>	produção de calor de repouso alimentado
<b>PCT</b>	produção de calor total
<b>PM</b>	peso metabólico
<b>PNA</b>	polissacarídeos não amiláceos
<b>PNA<sub>s</sub></b>	polissacarídeos não amiláceos solúveis
<b>PV</b>	peso vivo
<b>QR</b>	quociente respiratório
<b>TETA</b>	tempo médio do efeito térmico do alimento de curto prazo
<b>TGI</b>	trato gastrintestinal
<b>VAP</b>	viscosidade aplicada potencial
<b>VAR</b>	viscosidade aplicada real

## 1. INTRODUÇÃO

O valor energético é o principal fator determinante do custo de ingredientes para formulação de rações para frangos de corte. Assim, o conhecimento preciso da disponibilidade da energia nos alimentos e do aproveitamento da mesma pelos animais é de grande interesse para a produção avícola. Em decorrência disso, os sistemas para a descrição, medição e predição do valor energético têm sido continuamente revisados e melhorados, à luz de novas metodologias e tecnologias disponíveis, de situações de mercado de insumos e produtos, ou mesmo de restrições ambientais e legais.

Dos sistemas de descrição da energia biodisponível nos alimentos, o sistema de energia metabolizável (EM) foi mundialmente adotado para aves dada a facilidade de sua medição com esses animais de pequeno porte uricotélicos e com excreção cloacal. Entretanto, o sistema EM apresenta confundimento de variáveis relacionadas ao alimento e ao animal que o está consumindo, que ainda persiste mesmo com a utilização da correção para o balanço corporal de nitrogênio. O sistema de energia líquida (EL) corrige estas distorções, permitindo uma descrição muito mais próxima da real energia biodisponível dos alimentos, motivo pelo qual é periodicamente apresentado como alternativa à EM. Mas em geral sua determinação é mais trabalhosa, necessita equipamentos de alto custo e os métodos tradicionais de medição apresentam uma variação grande de resultados. Entretanto, a implementação

de equipamentos específicos, aliada ao uso de ferramentas de modelagem pelo Instituto de Pesquisas Agronômicas da França (INRA), solucionaram os problemas de medição e permitiram o desenvolvimento do sistema EL para suínos atualmente adotado pela União Européia.

Por outro lado, a facilidade de determinação da EM com aves permitiu o acumulo rápido de dados tanto para a utilização em equações de predição através do fracionamento químico quanto para o uso de valores médios através de tabelas de composição nutricional de alimentos. O uso de valores médios incorre no risco de erro, uma vez que a composição de cada ingrediente pode mudar de lote a lote, enquanto que a precisão das equações de predição depende da adequabilidade das variáveis de composição utilizadas para descrever o ingrediente ou a dieta avaliados. Entretanto, uma grande diversidade de fatores afeta a utilização dos nutrientes dos diversos alimentos, de forma que o fracionamento químico tradicionalmente utilizado não apresenta a mesma eficiência em todas as situações e para todos os alimentos. Dentre as frações dos alimentos a fibra da dieta tem despertado interesse uma vez que apresenta correlação negativa com a digestibilidade de diversos nutrientes e da energia. Como essa fração permanece presente até o final do trato gastrintestinal, pode interagir de diversas formas com os outros componentes da dieta e interferir em fenômenos intraluminais. Além disso tende a modular a composição e o desenvolvimento da microbiana gastrintestinal, a qual interage com o hospedeiro na utilização da energia da dieta. Esses efeitos resultam em menor precisão na predição do valor energético de alimentos que possuam maior teor de fibra ou quando essa fração apresenta atividades antinutricionais

específicas. Sendo assim, a importância das variáveis relacionadas à fração fibrosa aumenta quando são utilizados ingredientes alternativos ao milho e ao farelo de soja, ou mesmo na ocorrência de variações na qualidade destes ingredientes, como é comum em relação ao nível de casca no farelo de soja. Atualmente, com o aumento na produção nacional de aves e de suínos, observa-se uma crescente demanda pelo milho, principal ingrediente para as dietas desses animais no Brasil. Concomitantemente, a crescente demanda nacional e internacional pela soja aumenta o interesse comercial de seu plantio em detrimento de outras culturas de verão. Isso faz com que a oferta do milho não acompanhe a sua crescente demanda. Nesta situação, aumenta a importância dos ingredientes energéticos alternativos ao milho em dietas para monogástricos. Dentre esses, podemos destacar como potencialmente utilizáveis os subprodutos ou rejeitos de cereais utilizados na indústria alimentar humana, como o farelo e o resíduo da limpeza do arroz, o farelo de trigo e a cevada rejeito de cervejaria, além de cereais de inverno, como a aveia, o centeio e especialmente o tritcale.

O presente trabalho teve como objetivos: a) estudar as relações da fibra com a disponibilidade da energia para frangos de corte, levando em consideração o sistema de energia (EM e EL) e a metodologia para sua determinação (abate comparativo e calorimetria indireta); e b) identificar medidas *in vitro* relacionadas à fração fibrosa que sejam mais adequadas para uso em equações de predição da energia em dietas formuladas com diferentes ingredientes e com ampla variação no nível e fonte de fibra.



Este trabalho foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia (DZ-UFRGS), em Porto Alegre, e o *Institut National de Recherche Agronomique* da França (INRA), na *Station de Recherche Porcine* (SRP-UMRVP), em Saint-Gilles, Rennes, e na *Station de Recherches Avicoles* (SRA), em Nouzilly, Tours, com suporte financeiro das instituições brasileira e francesa e com bolsa de doutorado PIDCT/PDEE fornecida pela CAPES.

Foram realizados dois experimentos com animais, um realizado no Brasil utilizando o abate comparativo, apresentado no Capítulo 3, e outro realizado na França utilizando calorimetria indireta e modelagem, apresentado no Capítulo 4. Parte das análises laboratoriais do experimento realizado no Brasil foram realizadas nos laboratórios de nutrição do UMRVP e da SRA.

Nos Capítulos 2, 5 e 6 são apresentadas respectivamente a revisão bibliográfica geral, as considerações finais e as conclusões gerais do trabalho e cooperação.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Sistemas de energia em avicultura**

A medição e os sistemas de expressão da energia dos alimentos tem sido alvo regular de revisão e discussão, dada a importância da correta avaliação do valor energético dos alimentos para os sistemas de produção. Os conceitos e a terminologia das medidas do valor energético de alimentos foram publicados pelo NRC (1981) e revisões específicas para aplicação dos conceitos em aves domésticas foram publicadas por Sibbald (1982), pelo NRC (1994) e por Penz et al. (1999). Também uma discussão da aplicação de métodos rápidos de determinação *in vivo* da energia metabolizável foi publicada por McNab (2000), e outras importantes revisões focadas nos sistemas de predição *in vitro* foram publicadas por Carré e Rozo (1990) e Carré (1993) e no próprio NRC (1994), além de diversos outros trabalhos. Também tem sido foco recorrente de pesquisa e discussão a aplicação para aves do sistema de energia produtiva, efetiva ou líquida (Groote, 1974, 1975, citado por MacLeod, 2000; Sibbald, 1982; Emmans, 1994; Pirgozliev e Rose, 1999; MacLeod, 2000, 2002; Carré et al., 2002; Sakomura, 2004). Tendo esses trabalhos como base, serão abordados neste texto aspectos relacionados à digestão, metabolismo e utilização da energia em aves domésticas, em especial para frangos de corte, e aos sistemas adotados para sua expressão e predição, bem como as diferentes metodologias adotadas para sua determinação.

Na FIGURA 2.1 é apresentado um esquema da partição da energia ingerida por frangos em crescimento, elaborado à partir das indicações teóricas e empíricas obtidas na presente revisão, e cuja explicação e discussão é apresentada no decorrer do texto a seguir.

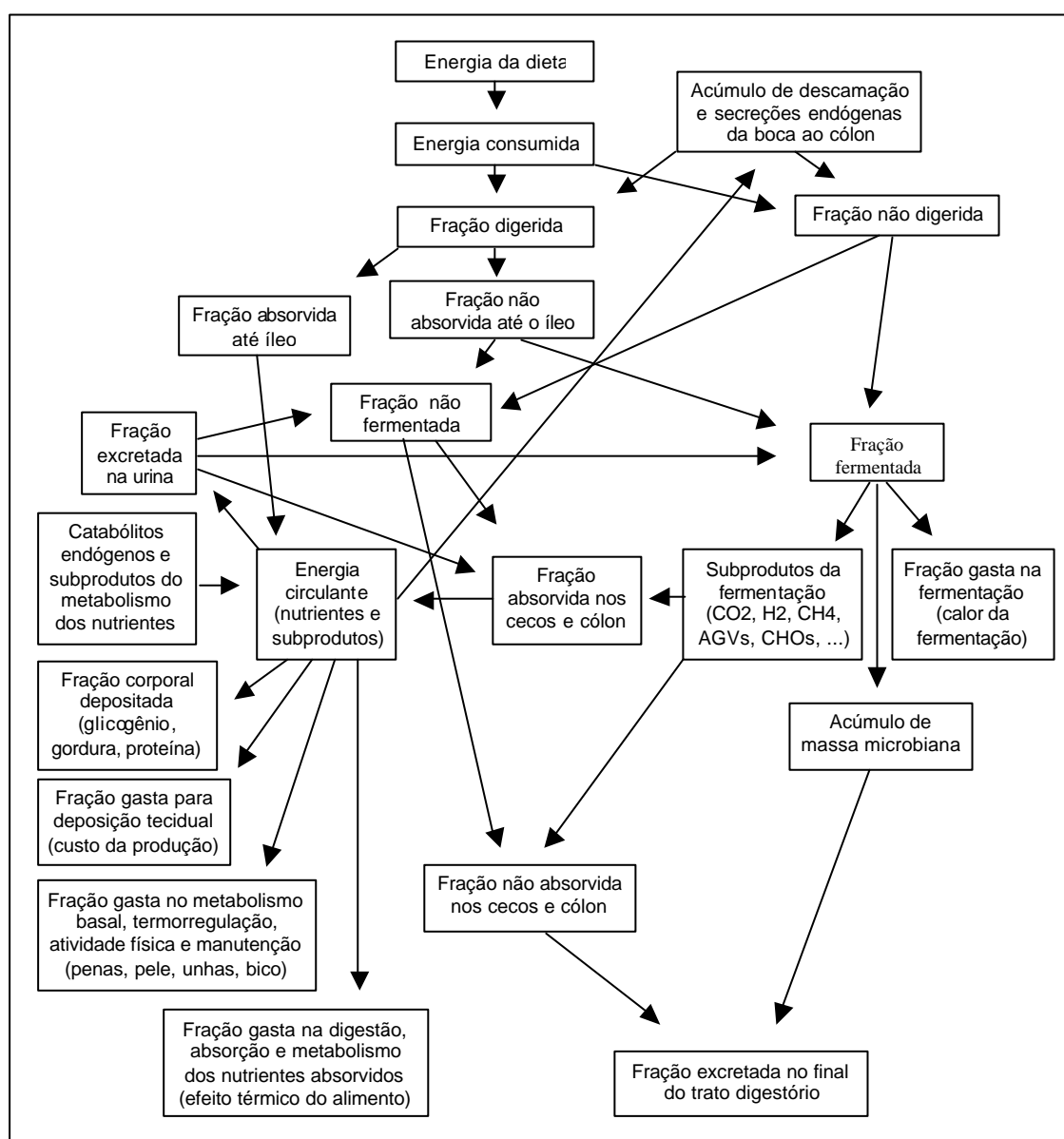


FIGURA 2.1. Modelo da partição da energia em frangos em crescimento

### **2.1.1. Energia digestível e metabolizável**

A energia bruta do alimento (EB), medida por combustão em bomba calorimétrica, depende do número de ligações com átomos de carbono. Entretanto, essa energia não está toda disponível para ser usada pelo animal que consome determinado alimento. Quando descontamos da EB de um alimento a energia que não é digerida pelos animais, ou seja, que é perdida nas fezes, temos então a energia digestível (ED). O sistema de ED é baseado na suposição de que toda energia de certa quantidade de alimento que desapareceu durante a passagem pelo trato gastrintestinal (TGI) foi absorvida e utilizada pelo animal. Entretanto, parte do que é absorvido pode ser diretamente excretado pela urina, ou pode ser metabolizado e gerar resíduos que podem também ser excretados por essa via. Embora possa haver pequenas perdas de açúcares, aminoácidos e lipídeos através da urina, a excreção urinária é especialmente importante devido à excreção de resíduos do processo de oxidação das proteínas, que é incompleto (Sibbald, 1982; Griminger & Scanes, 1986). Para os aminoácidos serem oxidados metabolicamente, é necessária sua desaminação, e a(s) amina(s) resultante(s) precisam ser eliminadas, o que é feito através da formação e excreção renal de compostos nitrogenados, sendo que o ácido úrico representa em torno de 4/5 do total desses compostos excretados na urina pelas aves (Griminger & Scanes, 1986). Quando se subtrai da ED essa perda de energia urinária, obtém-se o valor de energia metabolizável (EM), que é facilmente medido com aves, uma vez que apresentam excreção cloacal, com urina e as fezes

misturadas. Esse é um dos grandes motivos do sistema de energia metabolizável ser o mais utilizado na nutrição avícola.

Por outro lado, uma parte do alimento que desaparece no trato digestivo dos animais foi fermentada pela microbiota, e não realmente digerida, e a energia perdida nos gases resultantes dessa fermentação pode também ser subtraída da ED para o cálculo do valor e EM. A perda de energia na forma de metano é considerável em suínos, especialmente com animais adultos e consumindo dietas com maior teor de fibra (Le Goff et al., 2002a; 2002b). Em frangos de corte a proporção da EM perdida dessa forma é de pouca importância (Sibbald, 1982; Jorgensen et al., 1996a). De acordo com o trabalho de Jorgensen et al. (1996a), o resultado da fermentação no trato digestivo de frangos de corte é principalmente  $H_2$  e não  $CH_4$ , e o valor total de energia perdido dessa forma ( $H_2$ ) não ultrapassa 4 % da EM ingerida por frangos em crescimento, mesmo com dietas com alto teor de fibra.

A massa microbiana produzida durante a fermentação também pode ser considerada uma contaminação na determinação da EM na excreta. Zander (1986), utilizando ácido diaminopimélico como indicador, observou aumento da massa microbiana da excreta de poedeiras com o aumento no nível de diluição da dieta com palha de trigo. Aumento na contagem de microorganismos na excreta de frangos também foi relacionado à presença na dieta de arabinoxilanas de trigo (Choct et al., 1992) e de carboximetilcelulose (Smits et al., 1998). Entretanto, Sibbald (1982) considera que a massa microbiana é uma fração negligenciável da excreta de monogástricos e que seria difícil de justificar a sua separação no sistema de energia para esse tipo de animal como

é feito em alguns casos para ruminantes. Esse autor ainda afirma que mesmo que os microorganismos utilizem resíduos indigestíveis para seu crescimento e reprodução, o erro associado ao resíduo fecal da massa microbiana é pequeno e insignificante.

Além disso, nem toda a energia que é recuperada na excreta tem origem no alimento consumido ou na massa microbiana desenvolvida, sendo que parte dela é uma fração não digerida das secreções e da descamação do epitélio do trato digestivo durante os processos de deslocamento, digestão e absorção. Essa fração é chamada de perda digestível endógena, que, de acordo com Sève (1994), pode ser dividida em perda endógena digestível basal, cuja magnitude depende do animal considerado (espécie, estágio fisiológico, etc.), e em perda endógena digestível específica, que depende da quantidade, composição e características físico-químicas do alimento ingerido. Da mesma forma, a perda de energia na urina pode ser dividida em perda urinária endógena basal e específica (Sibbald, 1982). A consideração da perda de energia endógena basal na excreta (Sibbald, 1976), através de colheita de excreta de aves em jejum ou consumindo glicose ou dextrose, gera duas formas de expressão da EM: a energia metabolizável aparente (EMA, sem correção para perda endógena basal) e a energia metabolizável verdadeira (EMV, com correção para a perda endógena basal). Outra forma de determinação da perda endógena é a sua quantificação como intercepto da regressão entre a excreção e o consumo de alimento (Bourdillon et al., 1990a, 1990b). Uma extensa discussão sobre as perdas endógenas digestiva e metabólica de nitrogênio está registrada em Sibbald (1982) e importantes

considerações sobre os métodos de determinação da perda endógena de energia foram publicada por MacNab (2000).

O gasto de energia na formação e excreção de ácido úrico é uma consequência da não deposição da proteína consumida, motivo pelo qual Sibbald e Morse (1983) desenvolveram uma correção aos valores de EM para uma condição de balanço nulo de nitrogênio. Como a deposição de proteína é dependente da idade dos animais, do balanceamento de aminoácidos e da relação proteína: energia, a correção permitiria a comparação da energia de alimentos determinada em situações diferentes. Essa correção é calculada pela energia teórica necessária para gerar a quantidade de ácido úrico excretada (8,22 kcal/g N, NRC, 1994), que é então adicionada ao valor de EM medido, gerando a energia metabolizável corrigida para balanço nulo de N (EMAn ou EMVn). Entretanto, a correta utilização desse conceito pressupõe a separação do nitrogênio proveniente da urina na excreta de frangos, o que pode ser feito por determinação direta de ácido úrico e uréia na excreta de aves intactas ou pela colheita de urina utilizando cateterismo ou colostomia (Rotter et al., 1989; Karasawa & Maeda, 1992, 1995).

A determinação da digestibilidade ileal de nutrientes através de colheita da digesta ileal por método de abate ou por implantação de cânula, ou a determinação da digestibilidade na excreta após ligadura cecal ou cecectomia, tem sido métodos utilizados para evitar o efeito da fermentação microbiana cecal, o que aumenta a precisão das determinações, especialmente com dietas de baixa digestibilidade ou com alta fibra (Kessler & Thomas, 1981; Crissey & Thomas, 1987; Johnson, 1992; Scott, 1998; Ragland et al., 1999; Farrel, 1999).

Entretanto, a representatividade dos dados obtidos com animais cecectomizados e canulados para aplicação na nutrição de animais intactos tem sido criticada devido a alterações em funções fisiológicas do trato gastrointestinal (Laplace, 1972), como já foi registrado quanto à passagem da digesta (Warpechowski e Ciocca, 2002; 2005).

A estimativa da taxa de metabolismo protéico das aves através da quantificação da excreção de compostos nitrogenados é dificultada pela complexidade com que o nitrogênio é utilizado por esses animais. Nas aves intactas, a reciclagem do nitrogênio envolve a condução de urina por antiperistaltismo em direção aos cecos, onde ocorre fermentação de ácido úrico, uréia e resíduos nitrogenados não digeridos. Parte da amônia resultante pode ser absorvida e reciclada novamente através da urina e todo o sistema é influenciado pela composição da dieta, em especial pela concentração e qualidade da proteína (McNab, 1973; Sibbald, 1982; Karasawa & Maeda, 1992, 1995; Son et al., 2000, 2001).

A quantificação da perda endógena total (basal mais a específica), tem sido realizada nas determinações de digestibilidade de aminoácidos com ratos (Krawielitzki et al., 1977, apud Lange et al., 1990) e suínos (Lange et al., 1990; Lahaye et al., 2003) utilizando nitrogênio radioativo, o que resulta para estes autores no conceito de digestibilidade “real”, como distinção do conceito de digestibilidade verdadeira. Embora a quantificação da perda endógena total em galinhas já tenha sido investigada utilizando N radioativo para determinação na excreta (Zander et al., 1986) e homoarginina para determinação na digesta ileal



(Angkanaporn et al., 1997), não foi encontrado registro na literatura do uso da terminologia digestibilidade real para aves.

O conceito de digestibilidade real poderia ser utilizado no sistema de EM, considerando-se como energia metabolizável real (EMR) a energia metabolizável subtraída da perda endógena total. Embora não seja chamado de EMR, o método de referência europeu de determinação da EMAn (Bourdillon et al., 1990a e 1990b) utiliza a correção para a perda endógena na excreta estimada como o intercepto da regressão entre a EMA consumida e excretada. A estimativa da perda endógena por análise de regressão já tem sido utilizada também para a determinação da digestibilidade ileal verdadeira de aminoácidos (Short et al., 1999) e da proteína (Warpechowski et al., 2002b).

De acordo com Sibbald (1982), a relação entre a energia endógena na excreta e a energia consumida é curvilínea, o que explica porque a estimativa da perda endógena por regressão resulta em valores normalmente maiores do que a perda endógena basal medida com animais em jejum ou consumindo alimentos livres de proteína e 100% digestíveis. Podemos considerar que essa diferença é devida ao fato das aves estarem consumindo determinada dieta, eliminando-se o efeito da quantidade consumida, e portanto a metodologia EMR resultaria em valores também aditivos e mais exatos que a EMV. Entretanto, na avaliação do método de referência europeu, Bourdillon *et al.* (1990a) observaram maiores valores de excreção endógena obtidos com galos em jejum ou sob dieta de glicose que os valores obtidos por regressão de consumo, discordando das considerações anteriores.

O trabalho interlaboratorial realizado por Bourdillon *et al.* (1990a) demonstrou que a variação entre laboratórios na determinação da perda endógena aumenta a variabilidade no método EMV e que a correção da perda endógena para uma situação de balanço nulo de nitrogênio torna os valores de EMAn e EMVn muito próximos, além de anular o efeito do consumo. Mesmo assim, a diferença entre laboratórios foi significativa com qualquer dos sistemas de energia avaliados, embora tenha sido muito menor para as medidas de EMAn do que para as análises de nitrogênio (Kjeldahl) e matéria seca, por exemplo. A maior repetibilidade na EMAn foi atribuída a robustez da determinação da EB por bomba calorimétrica, que foi a medida com menor variação entre laboratórios. Devido a isso, Bourdillon *et al.* (1990a) consideraram indispensável a medida EB nas equações de predição da EM através de análise proximal.

Apesar de comentarem a grande variação de metodologia e pequenas adaptações de cada laboratório, autores como McNAB (2000) e MacLeod (2002) classificam as metodologias de determinação da EM de ingredientes *in vivo* em três tipos principais:

- A) Ensaio de metabolismo tradicionais, que envolvem o uso de dieta basal com a aplicação da técnica de substituição (de amido ou glicose pelo ingrediente testado) ou de diluição (da dieta basal com o ingrediente testado). Nesse método o consumo é normalmente igual ou próximo do à vontade, e são tomadas precauções para diminuir o efeito do consumo da dieta basal no período pré-experimental sobre

a excreta colhida no período experimental (marcador, padronização do consumo, jejum curto, etc.);

- B) Ensaios rápidos, com consumo controlado (geralmente tempo de acesso restrito, podendo ou não haver treinamento prévio das aves) e aplicando jejum pré-experimental para limpeza do trato gastrointestinal e colheita de excreta até a excreção completa dos resíduos da quantidade de alimento ingerido (normalmente 24-48h). Em geral é necessária a utilização de uma dieta basal e do método de substituição ou diluição. A quantificação da excreção endógena tem grande consequência no valor determinado, devido ao consumo restrito de alimento;
- C) Ensaios rápidos, semelhantes aos métodos do tipo B, mas com alimentação forçada através de cânula esofagiana. Não necessita obrigatoriamente de uso do método de substituição/diluição para determinação de valores para alimentos, que muitas vezes são testados sem qualquer processamento. Da mesma forma que os métodos do tipo B, a excreção endógena basal tem grande influência no valor determinado.

Embora McNAB (2000) não tenha citado estas metodologias, o uso de aves modificadas cirurgicamente em qualquer dos tipos de método citados, ou a determinação da digestibilidade ileal da energia por método de abate, são variações de métodos suficientemente importantes para serem citados separadamente, conforme foi discutido anteriormente. No uso de animais com trato modificado, deve-se levar em consideração os efeitos destas

modificações sobre a fisiologia do trato gastrintestinal e suas consequências sobre os processos de digestão e metabolismo (Laplace, 1972; Karasawa & Maeda, 1992, 1995; Son et al., 2000, 2001; Warpechowski & Ciocca, 2002; 2005). Já na determinação da EM através de abate e colheita de digesta de segmentos do trato digestivo, devem ser observados cuidados com a representatividade e equilíbrio dinâmico da passagem do indicador, local e metodologia de abate e colheita de segmentos do trato digestivo (Warner, 1981; Warpechowski et al. 2002a, 2002b)

### **2.1.2. Energia líquida**

A energia líquida também tem sido referida como energia produtiva (Fraps & Carlile, 1939, citados por Sibbald, 1982) e energia efetiva (Emmans, 1994). O sistema EL leva em consideração também a perda de energia na forma de calor durante os processos de digestão, absorção, metabolismo e fermentação do alimento consumido, devido a ineficiência dos processos metabólicos. Essa perda energética, chamada de efeito térmico do alimento (ETA), somada à energia gasta na atividade física específica (relacionada ao consumo daquele alimento), é chamada incremento calórico (IC). O IC é considerado uma característica do alimento consumido e, portanto, indisponível para uso pelo animal que o consome. A energia metabolizável subtraída do IC está então disponível para ser usada pelo animal como energia líquida de manutenção (ELm) e de produção (ELp).

Importantes revisões específicas sobre a aplicação do sistema de energia líquida para avicultura foram publicadas por Sibbald (1982), Pirgozliev

& Rose (1999) e MacLeod (2000, 2002). Também uma recente revisão foi publicada por Sakomura (2004), tratando da utilização desses conceitos para a predição e partição da EM nos termos de manutenção, crescimento e produção, e de sua aplicação em programas de alimentação.

De acordo com Sibbald (1982), os métodos de determinação da EL incluem o abate comparativo, a produção de calor corporal ou a predição teórica a partir da EM. A discussão a seguir será focada nestes três métodos.

#### **2.1.2.1. Determinação da EL pelo método de abate comparativo**

De acordo com a revisão de Sibbald (1982), a metodologia de abate comparativo para determinação da EMm, utilizada especialmente com animais em crescimento, foi descrita inicialmente, por Fraps e Carlile, em 1939, e Hill e Anderson, em 1958 (citados por Sibbald, 1982). O método se baseia no abate de animais testemunhas no início do experimento, a manutenção de animais sob pelo menos dois níveis de consumo por um certo período de tempo em que é feito o balanço de energia metabolizável (normalmente uma ou duas semanas para frangos), e o abate dos animais experimentais para a determinação da composição corporal e retenção de energia por diferença com os dados dos animais testemunhas (Sibbald, 1982; Blaxter, 1989). A ELM é obtida como o intercepto da regressão linear entre a energia corporal retida (ERT) e a energia metabolizável consumida (EMc), ou é utilizado um valor de referência, no caso de apenas um nível de consumo de energia. A energia líquida é então calculada como a soma da ELM e da ERT.

A aplicação de um método de determinação da EL através de abate comparativo é descrita no Capítulo 3 deste trabalho.

#### **2.1.2.2. Determinação da EL por calorimetria**

A técnica da calorimetria direta, ou seja a medição da produção de calor em sistema adiabático semelhante a uma bomba calorimétrica foi substituída nos primórdios da pesquisa em bioenergética pela calorimetria indireta, mais precisa e mais facilmente manejável para pesquisa com animais e humanos (Blaxter, 1989).

Pode-se classificar as câmaras respiratórias utilizadas para a calorimetria em câmaras de circuito fechado, em que a mudança na concentração dos gases de um volume fixo de ar é analisada ao longo do tempo, e a de circuito aberto, em que a alteração na concentração de gases é medida pela relação entre os valores do ar que entra e sai da câmara. Esta última tem sido adotada predominantemente por permitir períodos mais longos de determinação e a adaptação do tamanho da câmara para diversas situações relativas aos tipos de medição e de animal a ser utilizado. Alguns equipamentos são indispensáveis, como analisadores de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, controladores do volume e fluxo de ar, e controle e medição de umidade e temperatura.

Os trabalhos revisados têm sido realizados utilizando desde máscaras respiratórias (Berman & Snapir, 1965) e dessecadores (Kuenzel & Kuenzel, 1977), até câmaras respiratórias com registro computadorizado de um grande número de dados. Dentre estes, podemos citar a determinação da perda gasosa de nitrogênio e metano, a medição e controle da temperatura

corporal, a medição concomitante do balanço de energia metabolizável (incluindo medição do consumo de alimento, água e excreta), e até a medição da atividade física, através de radar Doppler (equipe liderada pelo Dr. MacLeod, em Edimburgo, Escócia) ou de captadores de força (equipe liderada pelo Dr. Noblet, no INRA de Saint-Gilles, França). Além disso, a modelagem tem sido um instrumento utilizado cada vez com maior frequência, permitindo mesmo a partição da produção de calor devido a diversos fatores simultaneamente. Como exemplo podemos citar o modelo proposto por Aerts et al. (2000) para predição do efeito da luminosidade e da temperatura sobre a produção de calor em frangos, e a utilização para frangos de corte (Van Milgen et al., 2001b; Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004) de modelos dinâmicos da partição da produção de calor inicialmente desenvolvidos para suínos (Van Milgen et al., 1997).

Um sistema de medição e partição da produção de calor através de calorimetria direta e modelagem é descrito no Capítulo 4 do presente trabalho.

## **2.2. Quociente respiratório como medida do metabolismo**

Uma medida biologicamente importante obtida com calorimetria indireta é o quociente respiratório (QR), ou seja, a relação entre o volume de  $\text{CO}_2$  produzido e de  $\text{O}_2$  consumido pelo animal. Como pode ser observado pelos dados de exemplo da TABELA 2.1, o QR é diferente para cada substrato, pois depende da proporção entre C, H e O da molécula oxidada. Devido a isso, o QR pode ser uma medida muito explicativa, variando com o estado do animal (nutrido x em jejum), com a composição corporal e do alimento consumido,

com o nível de alimentação, e ainda com a atividade física do animal e a temperatura ambiente.

TABELA 2.1. Valores médios calculados estequiometricamente para a reação de oxidação biológica de carboidratos (CHOs), proteína e gordura por aves\*

1000g CHOs	+ 745 L O <sub>2</sub>	= 599 g H <sub>2</sub> O	+ 745 L CO <sub>2</sub>	+ 3780 kcal
1000g Gordura	+ 1990 L O <sub>2</sub>	= 1055 g H <sub>2</sub> O	+ 1419 L CO <sub>2</sub>	+ 9400 kcal
1000g Proteína	+ 921 L O <sub>2</sub>	= 523 g H <sub>2</sub> O	+ 669 L CO <sub>2</sub>	+ 4320 kcal + 480g ác. Úrico

\*As equações resultam em quocientes respiratórios de 1,0, 0,71, e 0,73, respectivamente para os carboidratos, gorduras e proteína. Adaptado de Kessler et al. (2004)

Li et al. (1991), mediram a produção de calor e a troca de gases de poedeiras em jejum e sob diversos níveis de consumo (com a quantidade total oferecida uma única vez pela manhã). O QR apresentado pelas aves em jejum foi o mais baixo e aproximadamente constante ao longo do dia, enquanto que para as aves alimentadas o valor máximo alcançado para o QR aumentou proporcionalmente com o aumento no nível de alimentação, que foi oferecida em percentagens de 25, 50, 75 e 100 do consumo à vontade. Com exceção das aves alimentadas à vontade que apresentaram o QR mais alto e aproximadamente constante, o padrão da cinética do QR ao longo do dia foi semelhante para os outros níveis de consumo, com aumento rápido imediatamente após a refeição até um platô superior, seguido de uma diminuição com menor inclinação até um platô assintótico inferior. Esse platô inferior foi alcançado com tempo inversamente proporcional ao nível de alimentação, e foi mais próximo do QR de jejum quanto menor foi a quantidade de alimento consumida.



A cinética do QR obtida por Li et al. (1999) apresentou formato semelhante ao de uma curva de distribuição  $Q^2$  ou gama, sendo que a altura e o comprimento da curva aumentaram com o nível de alimentação, refletindo respectivamente o intervalo de tempo em que havia alimento no trato digestivo (alimento a ser consumido no comedouro e taxa de passagem) e a fração alcançada da taxa máxima de digestão/metabolismo de nutrientes e de deposição tecidual de acordo com o nível de consumo.

Os dados apresentados na TABELA 2.2, provenientes de estudos realizados no INRA com frangos em crescimento (Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004), são um exemplo de como o QR varia também de acordo com a composição do alimento consumido, refletindo os dados teóricos apresentados na TABELA 2.1.

TABELA 2.2. Efeito da composição da dieta sobre o quociente respiratório de frangos de corte em crescimento alimentados à vontade

Referência	dieta controle	baixa proteína	alta gordura
Noblet et al. (2003)	1,01	1,06	
Warpechowski et al. (2004)	1,09		0,98

### **2.3. Partição da energia metabolizável em animais em crescimento**

De acordo com Sakomura (2004), dos diversos modelos utilizados para a predição da energia para aves, os baseados na partição da energia metabolizável têm sido os mais promissores para aplicação imediata. A seguir serão discutidos brevemente os termos da partição da energia e suas formas de medição considerando a sua utilização ou importância na escolha das

metodologias utilizadas nos experimentos descritos posteriormente (Capítulos 3 e 4).

Além dos termos gerais já citados anteriormente, o custo energético com a termorregulação também é um fator importante na partição da energia, afetando a produção de calor e o comportamento dos animais homeotérmicos, devendo por isso ser considerada como parte do modelo ou ser uma fonte de variação com efeito controlado. Por isso o uso da energia para a termorregulação será o primeiro termo abordado.

### **2.3.1. Termorregulação**

Devido à importância do efeito da temperatura sobre o consumo de alimento e sobre o custo de manutenção, este é um assunto bastante estudado, sendo que alguns importantes modelos têm sido publicados, como o publicado por Aerts et al. (2000), que descreve a alteração da produção de calor segundo alterações na temperatura e intensidade de luz, e os modelos desenvolvidos na UNESP de Jaboticabal (Sakomura, 2004), que descrevem a alteração na necessidade de energia metabolizável de manutenção segundo variações na temperatura ambiente e empenamento das aves.

Em geral, a produção de calor é mínima na situação de conforto térmico (Blaxter, 1989), sendo que os animais alteram o comportamento e atividade física, bem como a taxa metabólica, em situações de estresse pelo calor e pelo frio. Quanto a atividade física, em temperatura abaixo da faixa de conforto as aves produzem calor por tremor muscular (Hohtola, 2002), enquanto em temperaturas altas o recurso é o aumento da evapotranspiração

através do aumento da frequência respiratória. A frequência respiratória pode aumentar em até 10 vezes em frangos estressados pelo calor (Mather et al., 1980, citados por Wiernusz & Teeter, 1993).

Devido às alterações ao longo do crescimento nas características de empenamento, tamanho, volume e composição corporal, além das alterações no metabolismo e na maturidade das funções fisiológicas, a temperatura de conforto diminui com a idade dos frangos do nascimento à maturidade sexual, como acontece em geral com todas as espécies homeotérmicas. Apesar disso, alguns autores ao estudarem a taxa de metabolismo dos animais tem utilizado temperaturas fixas, como Kuenzel & Kuenzel (1977), que trabalharam com 24 °C ao medir a produção de calor de jejum (PCJ) em diversas idades de frangos e poedeiras. Esta metodologia foi escolhida com o objetivo de diminuir as fontes de variação, o que é discutido por diversos autores, como Johnson & Farrel (1985), Rogers et al. (1991), Li et al. (1991) e Koh e MacLeod (1999a, 1999b), uma vez que os valores de PCJ podem ter sido superestimados em situação de estresse térmico e o consumo também pode ter sido alterado na medição da produção de calor total. Assim, na maioria dos trabalhos atuais se procura fornecer temperaturas que atendam o conforto térmico segundo a idade, peso e empenamento dos animais.

### **2.3.2. Incremento Calórico**

O IC é inicialmente o aumento na produção de calor associado ao consumo de determinado alimento. O termo vem da diferença de calor produzido por um animal entre os estados alimentado e em jejum, a qual

depende da quantidade de consumo e da natureza do alimento ingerido (Sibbald, 1982; Blaxter, 1989). Parte dessa produção de calor é decorrente da ineficiência dos processos de metabolismo dos nutrientes absorvidos (pelo animal hospedeiro e pela flora microbiana digestiva); outra parte é decorrente dos processos mecânicos e químicos necessários para a ingestão, mistura, movimentação, digestão, fermentação e absorção do alimento e nutrientes; e ainda uma terceira fração é associada à diferença de atividade física entre os estados alimentado e em jejum. Embora parte da atividade física do animal alimentado pode ser considerada inerente à ingestão de determinado alimento (relacionada com a taxa de ingestão, número de refeições e ao consumo de água, entre outros), a possível diferença de comportamento entre os dois estados fisiológicos, bem como as variações individuais e associadas aos equipamentos utilizados e métodos de determinação podem gerar confundimento entre o efeito da atividade física e de outros fatores de interesse. Daí a importância da quantificação e separação da produção de calor relativa à atividade física do efeito térmico do alimento propriamente dito.

#### **2.3.2.1. Atividade física**

A atividade física produz calor porque envolve trabalho muscular com gasto de ATPs, produzidos através da oxidação de substratos energéticos (Blaxter, 1989). Por outro lado, parte do trabalho muscular que é realizado pela utilização da glicólise anaeróbica (especialmente com fibras musculares glicolíticas do tipo II), pode não ser detectado imediatamente pela troca de gases em calorimetria indireta, embora subsequentemente o equilíbrio de substratos oxidados e reduzidos entre tecidos deva resultar em troca de gases

proporcional à atividade física anaeróbica realizada. Isso pode incluir parte do trabalho muscular realizado nos processos de mistura e movimentação do bolo alimentar, uma vez que o tecido muscular do tubo digestivo é constituído predominantemente de fibras musculares do tipo II (Duke, 1982). Esse tipo de trabalho muscular é considerado em outro termo da partição da produção de calor, discutido subseqüentemente (item 2.3.2.2).

Alguns tipos de atividade física, como a associada com o consumo de alimento, podem chegar a perdas significativas de energia, sendo fator importante na eficiência de uso de certos alimentos. Essa perda é utilizada por alguns autores para explicar parte da diferença no valor energético de dietas fareladas e peletizadas, uma vez que a produção de calor ligada ao consumo pode ultrapassar 5% da EM consumida à vontade (MacLeod et al., 1993). Esse efeito deve ser levado em conta quando se compara dietas ou alimentos com diferentes densidades, processamentos e tamanhos de partícula. Além disso existem outros fatores de interação entre o consumo de alimento, como a relação entre a termorregulação, o comportamento e o consumo.

Em situações de estresse por hipertermia, normalmente há diminuição no consumo de alimento, especialmente os de alto incremento calórico, enquanto a atividade física ligada à frequência respiratória tende a aumentar, por outro lado, no estresse pelo frio normalmente há aumento no consumo de alimento (e a atividade física relacionada ao consumo), mas que pode ser menor com dietas de alto incremento calórico (Li et al., 1991; Koh & MacLeod, 1999a). O nível de consumo pode também influenciar na atividade física, que para poedeiras pode representar perdas de 5 % da EM consumida à

vontade até 18 % da EM consumida em nível de manutenção (Li et al., 1991; MacLeod et al., 1993). Entretanto, essas estimativas foram baseadas em dados de comportamento e não foi considerada a atividade física ligada diretamente ao consumo de alimento.

Quando da medição da produção de calor de jejum, deve-se também levar em conta o tipo de gaiola, sendo provável que animais em gaiolas individuais apresentem menos atividade que animais em gaiolas coletivas, dependendo do espaço disponível. Trabalhos como o realizado por Berman & Snapir (1965), utilizando máscaras respiratórias com observação nos períodos de repouso acordado são exemplos de uso de observação do comportamento e medição em curtos períodos. Os possíveis efeitos do período de medição sobre os valores medidos de PCJ serão discutidos posteriormente (item 2.3.3.1).

Além de medição em períodos de repouso por simples observação, outros métodos têm sido utilizados para a separação ou quantificação da atividade física: a utilização de radar Doppler (Koh e MacLeod, 1999a) para determinação da produção de calor com atividade zero por regressão; e a utilização de captadores eletrônicos de força e a partição dos diferentes termos da produção de calor por modelagem (Van Milgen et al. 2000; Noblet et al., 2001; Warpechowski et al., 2004). O valor de PCJ separado da atividade física por meio de modelagem tem sido chamado de PCJ livre de atividade física (Van Milgen et al., 1997). Por outro lado, parte da atividade física observada durante o jejum pode ser considerada inerente ao animal, sendo que a soma dessa atividade física “basal” e do metabolismo basal pode ser considerada na

energia de manutenção (item 2.3.3). A determinação da PCJ com a padronização dos resultados de PCJ/24h para uma situação de 50% do tempo deitado e 50% do tempo em pé, método utilizado para animais de grande porte (Blaxter, 1989), não tem sido registrada para aves, provavelmente devido à dificuldade de determinação dessas condições com esses animais.

### **2.3.2.2. Efeito térmico do alimento**

Como citado anteriormente, a determinação do ETA é tradicionalmente feita por diferença entre a PCR e a PCJ, ambos medidos em períodos de repouso para evitar o efeito da atividade física (Blaxter, 1989).

O ETA varia de acordo com o nível de consumo de energia (Li et al., 1991; Koh & MacLeod, 1999b) e a composição química do alimento ingerido (Blaxter, 1989; MacLeod, 2002). A perda de calor ou ineficiência do metabolismo de cada grande grupo químico é diferente e MacLeod (2002) afirma que, com base no valor de EM, a eficiência de uso de gordura e de proteína é respectivamente 20 % superior e 20 % inferior que de carboidratos. Parte dessa diferença de eficiência de utilização pode ser explicada estequiometricamente, uma vez que o grau de oxidação das moléculas lipídicas é menor que dos carboidratos e que para a utilização da cadeia carbônica da proteína (semelhante a dos carboidratos) é necessária a desaminação e excreção do nitrogênio na forma de ácido úrico (exemplo na TABELA 2.1). Além disso, o balanceamento de aminoácidos, a relação energia:proteína e o nível de consumo de energia também alteram o ETA, pois

parte desse efeito é decorrente da deposição corporal de proteína e gordura (Musharaf & Latshaw, 1999).

Por outro lado, componentes não digestíveis, como a fibra da dieta, podem alterar o ETA. Sarmiento-Franco et al. (2000) observaram diferença no IC de galos consumindo dois alimentos fibrosos, o que foi atribuído a diferenças no ETA devido a efeitos fisiológicos e mecânicos diferentes de cada fonte de fibra sobre o trato digestivo das aves. Jorgensen et al. (1996a) também observaram diferenças devido ao nível e fonte de fibra sobre a produção de calor de frangos, efeito parcialmente atribuído a diferenças no ETA. Com suínos, está bem estabelecido o aumento do ETA devido ao consumo de fibra digestível, associado á fermentação no intestino grosso (Chabeauti et al., 1991; Shi & Noblet, 1993; Noblet & Le Goff, 2001; Le Goff, 2002a, 2002b)

Os métodos tradicionais de determinação do ETA não permitem a distinção das principais causas ou eventos associados ao ETA de determinado alimento, uma vez que são determinações médias de períodos de tempo longos (médias diárias), enquanto alguns eventos tem curta duração, como os associados a ingestão e digestão do alimento, como bem mostram os trabalhos de Li et al., 1991 e Koh & MacLeod, 1999a, 1999b).

Entretanto, o uso de equipamentos e de metodologias específicas têm permitido a quantificação do ETA com maior precisão e mesmo a sua partição nos efeitos de curto e longo prazo com suínos alojados individualmente (Van Milgen et al., 1997). Embora parte dessa mesma metodologia tenha sido já aplicada para determinar o ETA com frangos de



corte (Van Milgen et al., 2001b; Noblet et al., 2003, Warpechowski et al., 2004), não foram encontrados na literatura registros da partição do ETA nos termos de curto e longo prazo para aves.

A FIGURA 2.2, adaptada do trabalho de Noblet (2000), demonstra a partição da energia perdida na forma de calor por suínos em crescimento em ambiente termoneutro de acordo com a metodologia descrita por Van Milgen et al. (1997). O efeito térmico do alimento é dividido em duas frações, chamadas ETA de curto prazo (ETAcp) e de longo prazo (ETAlp). O ETAlp é determinado como a diferença entre a produção de calor basal (PCJ), em repouso sob jejum prolongado, com a produção de calor de repouso em condição pós-absortiva (PCR), e é resultante de um ajuste metabólico para situações de disponibilidade ou não de alimento. O ETAlp inclui provavelmente a manutenção da estrutura enzimática celular para a deposição tecidual (com maior taxa de substituição protéica), além de alterações morfológicas e fisiológicas no trato digestório e vísceras, bem como alteração na população e atividade da flora microbiana intestinal. Já o ETAcp está relacionado com a composição e quantidade de alimento consumido em determinada refeição. Essa perda de calor é consequência dos processos físicos e químicos envolvidos na apreensão, mastigação e movimentação de bolo alimentar, da secreção de sucos digestivos, da absorção, metabolismo e excreção de nutrientes, e do calor produzido durante a fermentação no intestino grosso. A aplicação dessa mesma metodologia para partição do ETA com frangos de corte, através da utilização de tempos restritos de alimentação em grupo ao

longo do dia, é descrita e discutida posteriormente no presente trabalho (Capítulos 4 e 5).

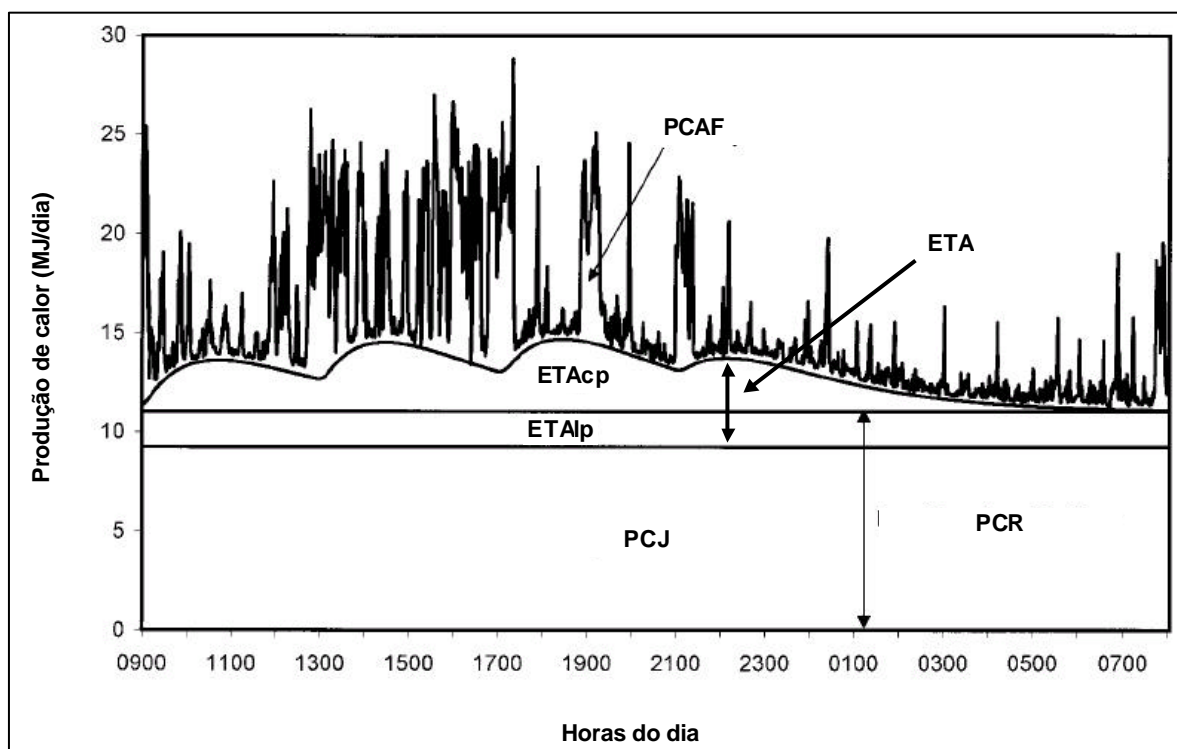


FIGURA 2.2. Partição da produção de calor de suínos em crescimento recebendo quatro refeições diárias. PCJ, produção de calor de repouso em jejum; PCR, produção de calor de repouso alimentado; PCAF, produção de calor da atividade física; ETA, efeito térmico do alimento; ETAcP, ETA de curto prazo; ETAlp, ETA de longo prazo. Adaptado de Noblet (2000).

### 2.3.3. Necessidade energética de manutenção

A energia de manutenção é um termo importante de todos os sistemas de determinação da necessidade energética baseados em modelos de partição (Sakomura, 2004). As determinações de energia líquida baseadas na produção de calor e em abate comparativo necessitam de uma correta medição desse

termo. A correta medição e predição da energia de manutenção é importante também no desenvolvimento de planos de alimentação, especialmente para reprodutores e poedeiras.

#### **2.3.3.1. Produção de calor basal e energia líquida de manutenção**

A produção basal de calor de um animal homeotérmico é resultado da oxidação de substratos para gerar a energia necessária para a manutenção dos processos de sobrevivência, tais como o funcionamento dos órgãos vitais e do sistema nervoso, a reciclagem basal de proteínas e manutenção dos tecidos e a manutenção da temperatura corporal, além de outras atividades (Blaxter, 1989).

De acordo com Blaxter (1989), o metabolismo basal é uma terminologia adotada inicialmente para humanos, que corresponderia a taxa de gasto de energia em uma condição que atenda diversos critérios: repouso muscular completo antes e durante o período de medição, estágio pós-absortivo após um consumo equivalente ao nível de manutenção, temperatura ambiente dentro da faixa de termoneutralidade e completa ausência de fatores de estresse (completa adaptação ao ambiente de medição, saúde física e psicológica). Devido à dificuldade de se obter essas condições mesmo com humanos, a medida mais comumente utilizada da produção de calor basal com animais é a taxa metabólica de jejum (PCJ), mesmo que algumas vezes utilizando a nomenclatura metabolismo basal (Blaxter, 1989). Outra medida importante relacionada ao metabolismo basal dos animais é a energia de manutenção, normalmente baseada no sistema de energia metabolizável (energia

metabolizável de manutenção, EMm), como será tratado posteriormente (Item 2.3.3.2).

Em geral, quando se utiliza a medição da produção de calor diretamente (calorimetria direta) ou calculada pelo consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub> (calorimetria indireta), a produção de calor em jejum é feita com animais em jejum, durante períodos variáveis conforme a espécie animal (tamanho corporal e capacidade de consumo de alimento) e em temperatura ambiental de conforto ou em temperatura fixa de 24 °C. A condição de repouso muscular é um dos maiores problemas na medição com animais, de forma que diversos métodos têm sido utilizados para seu controle, como a estimativa através da observação do comportamento, a medição em períodos curtos de repouso (Kuenzel & Kuenzel, 1977) ou a determinação e quantificação da atividade física (MacLeod, 2002; Van Milgen et al., 2001b; Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004) durante os períodos de medição da produção de calor em jejum.

### **2.3.3.2. Energia metabolizável de manutenção**

A energia de manutenção é a energia necessária para as atividades de sobrevivência, incluindo o consumo de alimento, e é conceituada como a quantidade de energia necessária para manter um balanço nulo de energia (Sakomura, 2004). Entretanto, essa definição é aceitável para animais adultos, mas não para animais em crescimento, para os quais a EMm é definida como a energia necessária para manter um equilíbrio dinâmico da reciclagem de proteína e gordura, a manutenção da temperatura corporal e um nível “normal” de atividade locomotora (Chwalibog, 1985 e 1991, citados por Sakomura, 2004)

Conforme Sibbald (1982) e Blaxter (1989), a energia metabolizável de manutenção (EMm) pode ser calculada como:

$$EMm = PCJ + ICm;$$

Onde ICm é o incremento calórico de manutenção, ou seja o calor da atividade física de manutenção (PCAFm) e o efeito térmico associados ao consumo de determinado alimento na quantidade necessária para o balanço nulo de energia (ETAm).

Como o ETA é uma característica do alimento, a EMm é diferente para cada alimento. Para corrigir as distorções do consumo de diferentes alimentos, podemos utilizar o conceito da energia líquida de manutenção (ELm), em que teremos:

$$ELm = PCJ + PCAFm; \text{ ou } ELm = EMm - ETAm$$

A determinação da energia de manutenção necessita a quantificação da taxa de produção de calor (ineficiência), através de calorimetria, ou da taxa de deposição corporal de energia (eficiência), através de abate comparativo, e da sua relação com o consumo de determinado alimento. Independentemente do método utilizado, é necessária a utilização de pelo menos dois níveis de consumo, de forma a montar a equação relacionando a produção de calor ou a retenção corporal com o consumo de alimento. Em geral se utiliza um nível de consumo próximo ao à vontade além de jejum (calorimetria) ou de um ou mais níveis de consumo abaixo do nível à vontade (abate comparativo).

Outra forma de determinar a EMm é por regressão múltipla entre o consumo de energia e a deposição de proteína e gordura (Kielanowski,1965), o que, segundo Sakomura (2004), torna a estimativa mais eficiente.

Utilizando os dados do experimento de Li et al. (1991), em que a produção de calor foi medida com poedeiras sob diferentes níveis de consumo, é possível demonstrar o cálculo da EMm (FIGURA 2.3). A retenção corporal de energia é medida como o balanço entre a energia metabolizável consumida e a produção de calor, resultando numa equação linear cujos termos tem significado biológico. O intercepto é a perda de energia corporal quando o consumo de alimento é zero, ou seja, a PCJ. Já o coeficiente associado ao consumo de EM representa a eficiência com que a EM consumida é utilizada para a retenção de energia corporal ( $k_0$ ). A EMm pode ser então calculada como o consumo e EM quando a retenção é zero, que para os dados de Li et al. (1991) é:  $EMm = ELm/k = 114,7/0,843$ , ou seja: 136,1, valor semelhante ao ponto exatamente em cima do eixo do consumo, onde a retenção é nula.

#### **2.3.4. Métodos de expressão da energia de manutenção**

O método de expressão das estimativas do metabolismo basal e da energia de manutenção tem sido historicamente motivo de controvérsia, e pode ter grande efeito na correta avaliação das necessidades energéticas dos animais assim como na determinação do valor energético dos alimentos por alguns tipos de ensaios de metabolismo. Em geral procura-se estabelecer uma relação com o peso vivo, uma vez que este é o fator de maior importância na sua determinação. As unidades utilizadas nos experimentos revisados variam de taxas como unidade de energia/g/h até unidade de energia/kg/dia, sendo esta última a mais utilizada nos modelos de predição do consumo pela partição da energia consumida.

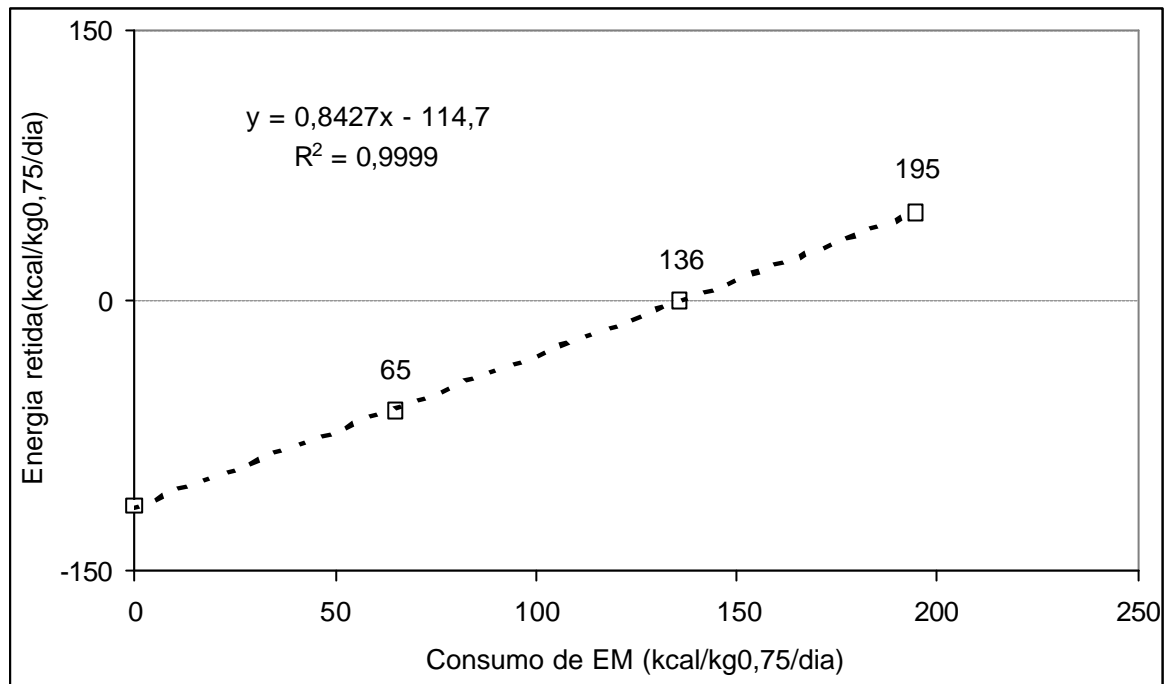


FIGURA 2.3. Relação entre a retenção de corporal de energia medida por calorimetria indireta e o consumo de energia metabolizável medido com poedeiras leves sob diferentes níveis de arraçoamento. Adaptado de Li et al. (1991)

Embora alguns autores utilizem a relação linear ou polinomial com o peso vivo (PV), como Petersen (1970) e Pym & Farrel (1977), a maioria dos autores tem adotado relações não lineares, como a utilização do Log (PV) ou principalmente a sua forma equivalente, com a utilização do conceito de peso metabólico (PM), ou seja, a utilização do peso vivo elevado a um expoente menor que 1. O cálculo do coeficiente e do expoente para o peso metabólico pode ser feito com a equação linearizada através da função logarítmica:

$$\log(\text{PCJ}) = a + \log(\text{PV})$$

Ou diretamente por análise de regressão não linear:

$$\text{PCJ} = a \cdot \text{PV}^b$$

Embora a expressão do metabolismo basal como uma função do peso metabólico ( $a \cdot PV^b$ ) tenha sido a maneira adotada majoritariamente, uma grande diversidade de coeficientes e expoentes têm sido publicados, especialmente após a disponibilidade de ferramentas computacionais que permitem a execução de análise de regressão não linear (Rogers et al., 1991). A adoção para aves do expoente 0,75 para o peso metabólico, que é o padrão interespecies preconizado por Kleiber, em 1961 (Kleiber, 1972), tem sido discutida devido à publicação de trabalhos mostrando diferenças entre espécies (Thoney et al., 1976; Siregar & Farrel, 1980), entre sexos (Thoney et al., 1976; Rogers et al., 1991), entre tipos (poedeiras vs. frangos de corte) (Kuenzel & Kuenzel, 1977), entre linhagens de um mesmo tipo (Pym & Farrel, 1977) e entre fases do crescimento (Kuenzel & Kuenzel, 1977; Johnson & Farrel, 1985).

Na TABELA 2.3 é apresentada uma pequena revisão de valores publicados para expressar a PCJ em função do peso metabólico segundo diversos autores. Apesar da aparente controvérsia, pode-se observar algumas tendências em comum, como a diminuição do expoente com o aumento na faixa de idade e aparentemente um expoente menor para machos que para fêmeas. Apesar da grande variação nesses valores, a grande diversidade de métodos de medição, de adaptações dos métodos aos laboratórios e de formas de cálculo devem ser levados em conta quando se avalia a diversidade de parâmetros obtidos na expressão do metabolismo basal em aves domésticas. Rogers et al. (1991), baseando-se na avaliação estatística de 294 dados da literatura obtidos com metodologia considerada pelos autores como confiáveis,



consideram difícil de justificar o ajuste ao peso metabólico em estudos com aves sem a devida confirmação estatística, defendendo simplesmente o uso de covariância para retirar o efeito do peso vivo.

TABELA 2.3. Coeficientes (a) e expoentes (b) para a relação entre a energia líquida de manutenção e o peso metabólico determinados por calorimetria segundo o tipo de ave, idade e sexo de acordo com diversos autores<sup>1</sup>

Tipo	idade	sexo	peso (kg)	a	b	r <sup>2</sup>	Referência
Dados de experimento próprio							
Poedeira	adultos	fêmeas	1,3-3,8	89,8	0,61	0,99	Berman & Snapir (1965) <sup>2</sup>
Poedeira	0-6	machos	0,04-0,5	178,8	1,00	0,98	Kuenzel & Kuenzel (1977)
Poedeira	0-8	machos	0,04-0,9	86,2	0,90	0,93	Kuenzel & Kuenzel (1977)
Frango	0-4	machos	0,04-0,5	159,6	1,02	0,99	Kuenzel & Kuenzel (1977)
Frango	0-8	machos	0,04-1,8	118,4	0,87	0,98	Kuenzel & Kuenzel (1977)
Frango	3-4	machos	1,0-1,6	117,0	0,60	0,97	Van Milgen et al. (2001)
Frango	3-6	machos	0,6-2,4	105,2	0,68	0,99	Noblet et al. (2003)
Frango	3-6	machos	0,7-2,6	101,1	0,71	0,99	Warpechowski et al. (2004)
Dados de revisão							
Geral	geral	misto	0,6-4,4	96,2	0,61	0,52	Johnson & Farrel (1985)
Geral	adultos	misto	-	96,9	0,60	0,51	Johnson & Farrel (1985)
Geral	jovens	misto	-	95,5	0,65	0,32	Johnson & Farrel (1985)
Frango	geral	misto	0,6-4,4	97,5	0,60	0,57	Rogers et al. (1991)
Frango	geral	machos	-	97,5	0,55	0,60	Rogers et al. (1991)
Frango	geral	fêmeas	-	95,1	0,66	0,57	Rogers et al. (1991)

<sup>1</sup>Considerando o modelo  $ELm = a \cdot PV^b$ , onde PV é o peso vivo em kg.

<sup>2</sup>Coeficiente calculado a partir do consumo de  $O_2$ /kg peso metabólico, considerando um quociente respiratório de jejum de 0,7.

### 2.3.5. Eficiência energética para manutenção e deposição tecidual

De acordo com Blaxter (1989) a eficiência de uso da energia metabolizável com consumo de energia abaixo da manutenção ( $k_m$ ) é maior do que a eficiência acima da manutenção ( $k_0$ ). Isso se explica pelo menor custo de processamento quando o substrato para a oxidação são gordura e proteína depositados do que quando o processamento de nutrientes ingeridos está combinado também com o custo de síntese e deposição tecidual, normalmente

acompanhado de uma maior taxa de reciclagem de proteína. As eficiências de uso dos nutrientes abaixo e acima da manutenção segundo a revisão de Blaxter (1989) são apresentadas na TABELA 2.4.

TABELA 2.4. Eficiências médias na utilização de energia metabolizável abaixo da manutenção e para a deposição de gordura e proteína acima da manutenção e o incremento calórico correspondente em aves.

Nutriente	Eficiência		Incremento Calórico	
	Abaixo da manutenção	Acima da manutenção	Abaixo da manutenção	Acima da manutenção
Carboidrato	0,95	0,77	0,05	0,23
Gordura	0,95	0,78	0,05	0,22
Proteína	0,80	0,55	0,20	0,45
Média	0,90	0,70	0,10	0,30

Adaptado de Blaxter (1989).

Devido à diferença no  $k$  entre consumos abaixo e acima da manutenção, a estimativa da energia de manutenção pode variar com os níveis de consumo adotados no experimento. No trabalho de Pym & Farrel (1977), em que a EMm de quatro diferentes linhagens de frangos de corte foi obtida por regressão com os níveis de consumo de energia, a EMm calculada apresentou valores maiores quando só foram utilizados pontos acima da manutenção.

Por outro lado, a eficiência energética da deposição de gordura ( $k_g$ ) geralmente é maior que a eficiência para a deposição de proteína corporal ( $k_p$ ) (Blaxter, 1989). Assim, o aumento na deposição relativa de gordura com o aumento no consumo de energia também pode explicar parcialmente as diferenças na eficiência geral entre níveis de consumo abaixo e acima da manutenção.

De acordo com Kielanowski (1965), o  $k_p$  e o  $k_g$  podem ser calculados por regressão entre o consumo de energia e a retenção de proteína e gordura. Utilizando essa metodologia, Boekholt et al. (1994), obtiveram valores de 0,66 para o  $k_p$  e 0,86 para o  $k_g$  utilizando três níveis de consumo de energia acima da manutenção e mantendo níveis adequados de consumo de proteína.

Petersen (1970) determinou as eficiências energéticas da deposição de proteína e gordura em frangos em crescimento através de calorimetria, utilizando uma regressão contendo uma equação quadrática para a energia de manutenção e mais dois termos lineares relacionados com a deposição de energia na forma de proteína e gordura. Os valores obtidos foram de 0,51 para o  $k_p$  e de 0,78 para o  $k_g$ , um pouco menores que os obtidos por Boekholt et al. (1994).

Por outro lado, o trabalho de Buyse et al. (1998) mostra que o  $k_p$  é diferente segundo a idade e o tipo de seleção genética das aves, o que é associado ao nível de consumo voluntário de energia. Esses autores encontraram valores de  $k_p$  variando de 0,30, para frangos de 6 semanas selecionados para alta taxa de crescimento, até 0,49 para frangos selecionados para a eficiência de conversão alimentar entre 3 e 6 semanas de idade.

#### **2.4. Fibra da dieta e valor energético dos alimentos para aves**

De acordo com Carré (1993), o termo “fibra” muito utilizado em nutrição animal é ambíguo e impreciso, uma vez que a definição é variável segundo o objetivo de sua determinação e existem muitas medidas diferentes, o que reflete essa variação. Por estes motivos, esse autor considera adequado

o uso da terminologia “parede celular” pois atende ao menos ao conceito botânico, e tem se apresentado útil nos sistemas de determinação de energia.

Segundo Bach Knudsen (2001), atualmente a maioria dos pesquisadores tem adotado uma de duas principais definições de fibra da dieta: (1) a definição química, que considera a soma de polissacarídeos não amiláceos e lignina - compreendendo celulose, hemicelulose, lignina e polissacarídeos não-amiláceos solúveis como as arabinoxilanas e beta-glucanas, além das pectinas; e (2) a definição fisiológica, que considera todos os componentes da dieta resistentes à degradação por enzimas endógenas de mamíferos (extensível às aves); constituindo esta última uma definição mais ampla que pode incluir oligossacarídeos de reserva e qualquer componente resistente á digestão enzimática endógena (amido resistente, proteína da parede celular, produtos da reação de Maylard, etc.).

#### **2.4.1. Fibra em grãos e subprodutos de cereais**

Os grãos de cereais contém quantidades variáveis de PNA, compostos predominantemente de arabinoxilanas, beta-glucanas e celulose, enquanto a quantidade de lignina e outras substâncias como o tanino, são relacionados com a estrutura da casca do grão dos cereais (Choct & Hugues, 2000). Assim, Milho e sorgo de baixo tanino contém menores quantidade de PNA, principalmente a fração solúvel, enquanto trigo, arroz, centeio e triticales contém quantidades consideráveis das frações solúvel e insolúvel. Os principais PNA solúveis encontrados nestes grãos são as arabinoxilanas, enquanto na aveia e na cevada são as beta-glucanas. Piccoli & Ciocca (1997),

estudando o teor de fibra total, solúvel e insolúvel em grãos de cereais de variedades brasileiras, observaram variação considerável nestas frações entre espécies e variedades da mesma espécie, mas que confirmam a ordenação descrita acima quanto ao nível de fibra nos cereais.

#### **2.4.2. Fibra em grãos e subprodutos de leguminosas**

A fibra solúvel do cotilédone dos grãos de leguminosas como a soja, diferencia-se dos PNA dos cereais por apresentar cadeias de menor peso molecular, os oligossacarídeos ou alfa-galactosídeos, como a rafinose, a estaquiose e a verbascose e por apresentar quantidades significativas de substâncias pécticas (Coon et al. 1990; Kadlec, 2001). Os efeitos deletérios sobre a energia da dieta são muitas vezes semelhantes aos causados pelos PNA solúveis de cereais, porém os mecanismos parecem ser diferentes, uma vez que a presença dos oligossacarídeos aumenta a taxa de passagem da digesta (Coon et al., 1990; Leske & Coon, 1999). Por outro lado, os oligossacarídeos das leguminosas são fermentados mais extensivamente no trato gastrointestinal de aves domésticas que os PNA solúveis de cereais (Carré et al., 1990).

#### **2.4.3. Quantificação das frações fibrosas**

De acordo com Asp & Johanson (1984) e Schweizer (1989), a fração fibrosa da dieta tem sido determinada por métodos gravimétricos, como a fibra bruta (FB) do método de Weende (resíduo após tratamento sequencial ácido e alcalino), e a fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) (Goering & Van

Soest, 1970), com modificações para hidrólise enzimática do amido (Van Soest et al. 1991); por métodos enzimico-gravimétricos, em que a fibra é obtida como o resíduo insolúvel após digestão com amilases e proteases, como a fibra total (FTD), solúvel (FSD) e insolúvel da dieta (FID) do método de ASP *et al.* (1983) e PROSKY *et al.* (1984), adotado com modificações pelo AOAC (1995), e ainda por métodos químicos, em que as frações de polissacarídeos são estimadas a partir da determinação de seus monômeros (Englyst & Cummings, 1988). Outros métodos incluem a parede celular insolúvel em água (PCIA) desenvolvido por Carré & Brillouet (1989), e a determinação da fibra solúvel em detergente neutro (Hall et al., 1997).

Destes métodos, a FB, que estima a celulose e a lignina resistentes à digestão sequencial ácida e alcalina, é a medida adotada ainda hoje para dietas de aves pelo NRC (1994), principalmente pela robustez e facilidade da sua determinação e pela quantidade de dados disponíveis. Entretanto, essa medida estima apenas uma pequena parcela da quantidade total de fibra indigestível na dieta de aves, e sua relação negativa com o valor de energia disponível decorre principalmente da sua correlação com a quantidade total de fibra insolúvel, devido ao efeito diluidor da mesma sobre a energia metabolizável (Ferreira, 1994). Entretanto, em sua maioria os efeitos fisiológicos e antinutricionais da fibra para monogástricos estão associados principalmente às frações não consideradas pela medida de FB, como as hemiceluloses, a pectina, os oligossacarídeos e os polissacarídeos não-amiláceos solúveis (PNAs) (Jeraci & Hovarth, 1989; Coon et al., 1990; Carré &

Rozo, 1990; Van Soest et al. 1991; McBurney & Beaulieu, 1993; Annison & Choct, 1994; Ferreira, 1994; Maisonnier et al., 2001a).

A FDA, que quantifica a lignina e a celulose, e a FDN que inclui também as hemiceluloses, são medidas comuns nos laboratórios e tabelas de composição de alimentos brasileiras, e têm sido adotadas para a caracterização de alimentos para suínos (EMBRAPA, 1991; NRC, 1998; Rostagno, 2000). Jeraci & Van Soest (1990) consideram a FDN uma medida eficiente da fibra insolúvel da dieta, portanto poderia ser uma medida importante para caracterização de dietas também para aves. Entretanto, a utilização dessa medida tem sido criticada por não incluir as pectinas e por solubilização excessiva de frações das hemiceluloses, motivo do desenvolvimento da metodologia para determinação da PCIA especificamente para a caracterização de dietas para aves domésticas (Carré et al., 1984; Carré & Brillouet, 1989; Carré, 1993).

A FTD (Prosky et al., 1984), e a fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) (Hall et al., 1997), por incluírem a fração de PNAs e as pectinas, parecem medidas promissoras para a caracterização da fibra da dieta para aves, entretanto muito poucos trabalhos têm sido realizados utilizando essas medidas, provavelmente em razão de serem métodos mais laboriosos, de maior custo e/ou com menor repetibilidade quando comparado com as outras medidas citadas anteriormente.

Por outro lado, medidas de propriedades físico-químicas têm sido utilizadas para caracterizar e classificar ingredientes em complementação de

medidas da quantidade de fibra, o que parece uma metodologia promissora, como será tratado logo a seguir.

#### **2.4.4. Propriedades físico-químicas de frações fibrosas**

Segundo Jeraci & Van Soest (1990) e Annison & Choct (1994), as principais propriedades físico-químicas da fibra da dieta relacionadas com efeitos fisiológico e antinutricionais são a capacidade de hidratação (CH), a viscosidade e as capacidades de troca catiônica (CTC) e tamponante (CT).

##### **2.4.4.1. Capacidade de hidratação**

A capacidade de hidratação, ou capacidade de retenção de água, é característica tanto da fibra solúvel quanto da insolúvel (Annison & Choct, 1994). A CH da fibra depende da presença de grupos hidrofílicos, da área de superfície da molécula, do espaço livre na estrutura intermolecular e, conseqüentemente, do tamanho de partícula, no caso da fibra insolúvel (Van Soest, 1994). Os polissacarídeos estruturais insolúveis, como xilanas e a celulose, com estrutura rígida e com seus grupos álcoois extensamente interligados por pontes de hidrogênio, se comportam como esponjas, de modo que a CH desses materiais é mais dependente do espaço intermolecular do que da superfície de contato com a água. Já os componentes da fibra solúvel, que em geral possuem estrutura muito ramificada, grande área superficial e grande quantidade de grupos hidrofílicos, podem reter grande proporção de água. Este efeito pode causar grande alteração às propriedades da digesta, como volume e resistência ao peristaltismo, diretamente relacionados com a



CTC e a viscosidade da digesta, principalmente no caso da fibra solúvel (Annison & Choct, 1994).

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas para a determinação da CH da fibra, e sua utilidade para aves também depende da medida de fibra utilizada. Carré et al. (1994), desenvolveu uma técnica de medição da capacidade de hidratação da PCIA (CHPCIA), que se mostrou relacionada com o consumo e excreção de água por frangos de corte e perus.

#### **2.4.4.2. Viscosidade**

A viscosidade é dependente de vários fatores, incluindo o tamanho das moléculas, o seu grau de ramificação, a presença de grupos carregados e a concentração de polissacarídeos (Annison & Choct, 1994). Os polissacarídeos não amiláceos (PNA) aumentam a viscosidade das soluções pela interação direta com a água. O pH também influencia na viscosidade. Segundo Bedford & Classen (1993), o aumento do pH multiplicou grandemente a viscosidade in vitro de uma dieta à base de centeio. Num trabalho posterior, esses autores encontraram um aumento de aproximadamente 27 vezes na viscosidade da digesta no intestino, em relação à moela, em frangos alimentados com uma dieta semelhante à do trabalho anterior (dados não publicados citados por Bedford & Classen, 1993).

A viscosidade e o maior volume do bolo alimentar causado pela retenção de água pela fibra podem afetar fisicamente os processos de digestão e absorção, pela proteção dos nutrientes absorvidos e/ou adsorvidos dentro da massa da digesta (Ferreira, 1994). Em decorrência, a viscosidade dos PNA solúveis tem sido relacionada com a depressão no desempenho de frangos

alimentados com dietas à base de trigo, centeio, cevada e arroz (Bedford & Classen, 1993; Annison & Choct, 1994; Adrizal & Ohtani, 2002a; Conte et al., 2003).

Por outro lado, a viscosidade apresenta uma relação não linear com a concentração do substrato na solução e as enzimas endógenas dos grãos alteram a estrutura macromolecular da fibra durante o processo de extração aquosa, o que dificulta a predição da viscosidade de dietas compostas a partir da determinação da viscosidade dos ingredientes (Carré et al., 1994). Devido à isso, Carré et al. (1994) desenvolveram metodologia para a determinação da viscosidade visando a linearidade e aditividade da medida. Para resolver o problema de linearidade, a medida de viscosidade no extrato é expressa como logaritmo e em relação à viscosidade do solvente, o que chamaram de viscosidade aplicada. Além disso, o método prevê a extração antes e após a desnaturação das enzimas endógenas da amostra em solução alcoólica concentrada, o que resulta respectivamente nas medidas viscosidade aplicada real (VAR), com maior relação com a viscosidade *in vivo*, e viscosidade aplicada potencial (VAP), com maior aditividade. A diferença entre as duas medidas pode também ajudar a prever a diminuição da viscosidade de ingredientes durante armazenamento descrita por Choct & Hugues (2000), e também avaliar a eficiência de diminuição da viscosidade de ingredientes e dietas pela adição de enzimas exógenas.

#### **2.4.4.3. Capacidade tamponante e de troca catiônica**

A capacidade tamponante e a CTC dependem do número de sítios ativos disponíveis para a troca de íons com o meio, como carboxilas, aminas e

hidroxilas alifáticas e aromáticas livres, as quais estão presentes principalmente na pectina, lignina e taninos (Jeraci & Van Soest, 1990). Outros componentes com estrutura macromolecular ramificada, que apresentam muitas extremidades com grupos químicos reativos livres, podem apresentar capacidade tamponante considerável, além de outras propriedades físico-químicas importantes (Annison & Choct, 1994). Em geral a fibra insolúvel de fontes leguminosas, como do feno de alfafa e do farelo de soja, apresenta maior CTC e CT que de subprodutos e grãos de cereais (McBurney et al., 1986; Warpechowski & Ciocca, 1997; Silva & Warpechowski, 2001).

A utilização dos valores absolutos dessas medidas na predição de efeitos antinutricinais da fibra esbarra na sua baixa aditividade quando são utilizadas misturas de ingredientes (Warpechowski & Ciocca, 1997). Entretanto, medidas de CT linearizadas podem ser usadas com sucesso para prever o comportamento de fermentação de misturas de alimentos ensilados (Giger-Reverdin et al., 2002).

#### **2.4.5. Efeito da fibra sobre a disponibilidade e utilização da energia em dietas para aves**

Embora a fibra da dieta seja normalmente considerada apenas pelo seu efeito diluidor da energia metabolizável, essa fração pode apresentar outros efeitos fisiológicos e nutricionais (Ferreira, 1994). A magnitude destes efeitos varia com a fonte, a composição, o nível e as propriedades físico-químicas da fibra, além da composição do restante da dieta (Van Soest et al., 1991; Annison & Choct, 1994; Bach Knudsen, 2001).

Os PNA solúveis exercem efeito prejudicial sobre a degradação do amido, da gordura e da proteína no intestino delgado (Choct & Annison, 1992; Annison & Choct, 1994). Este efeito está relacionado com a atividade microbiana, como já foi observado em relação às gorduras (Choct et al., 1992; Chau & Cheung, 1999), o amido (Choct et al., 1996) e as proteínas e aminoácidos (Zander, 1986; Parsons, 1984).

Da mesma forma, os oligossacarídeos e a pectina presentes em grãos de leguminosas, como a soja, exercem efeito supressivo na digestibilidade de nutrientes provenientes do próprio grão e também podem interagir negativamente na digestibilidade dos nutrientes dos outros ingredientes da dieta, como mostram os trabalhos de Parsons et al. (2000), Leske & Coon (1999) e Carré et al. (1990).

Aparentemente os frangos em crescimento são mais sensíveis a essas frações de fibra que outras espécies, como suínos. Miller et al. (1994), compararam o efeito do tipo de amido e da quantidade de beta-glicanas e de FDA sobre o conteúdo de energia metabolizável de cevada para frangos e suínos em crescimento e concluíram que o nível de FDA e o tipo de amido têm efeitos semelhantes sobre as duas espécies, mas que o nível de beta-glicanas afeta com mais intensidade a disponibilidade da energia para frangos.

Efeitos deletérios dependendo do nível e da origem da fibra na dieta também têm sido registrados em relação à eficiência de retenção da energia metabolizável. Jorgensen et al. (1996a), comparando o efeito do nível e fonte de fibra sobre a utilização da energia em frangos, observou aumento na produção de calor com conseqüente diminuição na eficiência da retenção de

energia com o aumento na fibra da dieta. O efeito foi maior com dietas a base de ervilha que a base de cereais como o trigo e a aveia. Hadorn & Wenk (1996) observaram que a diluição com casca de soja diminuiu a retenção da energia e da proteína da dieta por frangos, mas que a diluição com amido ou com farelo de milho teve efeito positivo sobre essas variáveis.

Sarmiento-Franco et al. (2000), trabalhando com galos sob alimentação forçada e calorimetria indireta, observaram maior eficiência de utilização da energia de farelo de trigo que de farelo de folhas de Chaia (uma planta comestível de origem mexicana), o que foi atribuído ao maior nível de FDA e à maior capacidade de hidratação da fibra das folhas de chaia. Entretanto, o alto nível de proteína desse ingrediente (~27%) pode ter confundido esses resultados.

## **2.5. Predição do valor energético através da composição química e de propriedades físico-químicas de frações da dieta**

O desenvolvimento de equações precisas de predição da energia disponível é de grande interesse em avicultura, uma vez que permite a estimativa prévia do valor energético para uso na formulação de rações, e ao mesmo tempo permite ajustar o valor energético dos ingredientes de acordo com a variação na sua composição e qualidade (Carré & Rozo, 1990).

### **2.5.1. Predição da energia metabolizável**

A predição da EM de alimentos por equações baseadas na composição química, energia de combustão e características físico-químicas

(densidade, viscosidade, etc.) têm sido buscadas pela possibilidade de uso na formulação de dietas sem a necessidade de avaliação *in vivo*. Uma listagem de equações baseadas em EB e em análises proximais do método de Weende estão publicadas no NRC (1994). Devido á alta correlação negativa da fibra com a disponibilidade da energia, e também devido a grande variedade de métodos desenvolvidos para sua quantificação, essa fração tem sido bastante estudada no desenvolvimento de equações de predição da energia.

Sibbald et al. (1980) realizaram um extenso e detalhado trabalho para desenvolvimento de equações de predição da EMV para galinhas a partir de 41 dietas preparadas em laboratório e mais amostras de 419 dietas comerciais recolhidas pelo Ministério da Agricultura do Canadá. As análises da composição proximal das dietas foram realizadas em um laboratório e as determinações de EB e EMV em outro. Separando ao acaso as dietas comerciais em três grupos, os autores utilizaram as equações de predição de cada grupo e das dietas comerciais para testar a variação nas equações de predição obtidas de acordo com as dietas e a eficiência de predição das dietas entre grupos. As equações obtidas utilizando 3 e 4 variáveis do método de Weende e carboidratos (amido mais açúcares), sem a utilização da EB, explicaram 52 a 85 % da variação nos valores de EMV, com uma diferença de até 20 pontos percentuais no  $R^2$  entre os grupos de dietas. As melhores equações desenvolvidas utilizando todas as dietas comerciais foram (n = 419):

$$EMV = 3951 + 54,4*EE - 88,7*FB - 40,8*cinzas (R^2 = 0,78, DPR = 19); e$$

$$EMV = -415 + 108,3*EE + 36,0*PB + 43,2*ENN (R^2 = 0,76, DPR = 21),$$

com os valores de energia em kcal/kg e as variáveis em % (na matéria seca).

Carré et al. (1984), utilizando 48 dietas preparadas para abranger a amplitude normalmente observada em dietas práticas, avaliaram a utilização diversas medidas da fração fibrosa na predição da EMAn e obtiveram melhores equações com a parede celular insolúvel (PCIA), que provou ser também uma medida mais completa (por incluir as pectinas) e robusta que as medidas de fibra tradicionais dos métodos de Weende e de Van Soest.

De acordo com a afirmação de Carré & Rozo (1990), a utilização da medida PCIA como variável preditora do valor energético de alimentos para aves foi um novo conceito com o mesmo impacto que a introdução da medida de amido: as duas mudanças, que aparecem com aproximadamente meio século de intervalo, respondem à mesma necessidade de adaptação de medidas químicas aos fenômenos digestivos observados nas espécies avícolas. No Brasil, entretanto, nem a determinação de amido nem medidas alternativas à fibra bruta foram até hoje adotadas como medidas de rotina nos laboratórios de análises de alimentos para animais monogástricos.

Na TABELA 2.5 são apresentadas algumas equações de predição da EM obtidas com frangos em crescimento por Carré et al (1984) e por Carré & Brillouet (1989), das quais as melhores equações apresentam a variável PCIA. Carré et al. (1984) também observaram que a utilização de um expoente para a variável PCIA diminuiu o desvio padrão residual e aumentou o coeficiente de determinação da equação baseada em EB, PB e PCIA. A equação resultante foi:

$$\text{EMAn} = 0,914 \cdot \text{EB} - 61 \cdot \text{PB} - 13 \cdot \text{PCIA}^{1,5} \quad (R^2 = 0,97, \text{DPR} = 47,8, n = 48)$$

De acordo com os autores, a necessidade de um expoente para a fibra, pode indicar uma relação não linear dessa variável com a disponibilidade da energia ou a presença de um fator antinutricional associado a esta fração que não foi quantificado pela simples determinação do teor de fibra no alimento. Isto motivou o desenvolvimento de medidas suplementares, relacionadas às atividades da parede celular na luz gastrintestinal, como a viscosidade e a retenção de água (Carré et al., 1994). Estas medidas, embora tenham sido relacionadas com a excreção de água (Carré et al., 1994) e a digestibilidade ileal de nutrientes (Maisonnier et al., 2001a), até o presente momento não foram testadas em equações de predição da energia.

TABELA 2.5. Equações de predição da energia metabolizável aparente corrigida para retenção nula de nitrogênio para frangos de corte obtidas por Carré et al. (1984) e Carré & Brillouet (1989)\*

Constante	EB	cinzas	PB	EE	FB	FDA	PCIA	R <sup>2</sup>	DPR	Referência
3469		-177,0		229,0			-206,0	0,96	53	Carré et al. (1984)
3235		-209,0		215,0		-348,0		0,93	72	Carré et al. (1984)
	0,913		-77,0		-458,0			0,93	69	Carré et al. (1984)
315	0,894		-61,0			-234,0		0,97	48	Carré et al. (1984)
	0,965		-56,0			-226,0		0,96	50	Carré et al. (1984)
3985		-53,1		47,0			-44,6	0,96	61	Carré & Brillouet (1989)

\*EB, energia bruta, PB, proteína bruta, EE, extrato etéreo, FB, fibra bruta, FDA, fibra em detergente ácido, PCIA, parede celular insolúvel em água. Os valores de energia, interceptos e desvios padrão residuais (DPR) forma transformados para kcal/kg. As demais variáveis são expressa em %.

Predições baseadas na densidade têm se mostrado úteis para predição de qualidade de grãos quando combinadas com outras variáveis e desenvolvida para uma mesma espécie e variedade (McCracken & Quintin, 2000). Também a viscosidade do extrato solúvel de ingredientes e dietas tem sido uma medida muito estudada tendo em vista a relação do nível de



polissacarídeos não amiláceos solúveis e da viscosidade *in vivo* com a digestibilidade de nutrientes e com o valor de EM, especialmente com dietas a base de cereais de inverno (Annison & Choct, 1994; Austin et al., 1999; Maisonnier et al., 2001a; Francesch et al., 2002).

Austin et al. (1999), em trabalho analisando 20 diferentes variedades de trigo, observaram que não houve correlação entre a EMA (frangos) e a quantidade total de PNA hidrossolúveis. Além disso a viscosidade *in vitro* se correlacionou negativamente com o nível total e solúvel de arabinoxilanas. Isto foi explicado por alterações na estrutura das cadeias de PNA por ação de hidrolases internas do grão durante o armazenamento. Esses autores usaram análise multivariada reduzindo 32 medidas para três termos (contendo 80 % da variação) correlacionados com a EMA. O primeiro e o segundo termo descrevem a proporção de arabinoxilanas resistentes à hidrólise por xilanases e a capacidade das cadeias hidrolisadas em ramificar pentoses, respectivamente, relacionados positivamente com a EMA, e um terceiro termo, relacionado negativamente com a EMA, que descreve a quantidade total de PNA presentes.

O trabalho de Austin et al. (1999) demonstrou que a viscosidade do extrato solúvel é correlacionada mais com a capacidade de interação das cadeias de polissacarídeos do que com a quantidade total dos mesmos, o que já havia sido afirmado por Annison & Choct (1994). Essa capacidade de interação entre cadeias depende da composição e da estrutura macromolecular dos polissacarídeos, mas também dos outros componentes presentes no meio, o que pode explicar a diferença de correlação alta entre a viscosidade *in vitro* e

a da digesta, onde estão presentes diversas outras substâncias, entre elas as proteínas e minerais. Devido a isso Austin et al. (1999) consideram as medidas tradicionais *in vitro* e *in vivo* não comparáveis. Por outro lado, apesar das medidas aditivas da viscosidade desenvolvidas por Carré et al. (1994) terem apresentado correlação negativa com a viscosidade *in vivo* e com a digestibilidade ileal de nutrientes (Maisonnier et al., 2001a), não foram encontrados registros na literatura de equações de predição envolvendo medidas de viscosidade.

### **2.5.2. Predição da energia líquida**

Em sua grande maioria, os modelos de predição da EL são baseados na eficiência de utilização dos nutrientes absorvidos, o que supõe um correto conhecimento da digestibilidade de cada nutriente e para cada alimento (Pirgozliev & Rose, 1999; MacLeod, 2002). Sendo assim, a predição acaba sendo feita à partir do conhecimento da energia metabolizável da dieta, corrigida para as eficiências de utilização os componentes digestíveis, como nos trabalhos de De Groote (1974, citado por Pirgozliev & Rose, 1999 e por MacLeod, 2002), Emmans (1994) e Carré et al. (2002).

Carré et al. (2002) consideram que a contribuição do sistema de energia líquida para a precisão da predição do valor de energia disponível para frangos é pequena, e que variabilidade animal e a necessidade de adequar o sistema de energia líquida para cada sistema de produção pode explicar a falta de interesse em sua adoção em substituição ao sistema de energia líquida. Apesar disso, e dada a grande dificuldade de realizar trabalhos de

determinação da EL com grande quantidade de dietas, esses autores recomendam a comparação de valores estimados de EL e EM a partir dos trabalhos registrados na literatura para predição dos dados de desempenho, de forma a avaliar a eficiência dos dois sistemas.

Entretanto outros autores como Pirgozliev & Rose (1999) e MacLeod (2002) são mais otimistas em relação ao uso do sistema EL para aves, baseando-se principalmente nas equações empíricas desenvolvidas por De Groote (1974/75, citado por Pirgozliev & Rose, 1999, e por MacLeod, 2002) e por Emmans (1994).

Além disso, alguns trabalhos demonstram maior eficiência do sistema EL, como o de Pirgozliev et al. (2001), que demonstraram que as diferenças em energia líquida de grãos estão correlacionadas com diferenças no desempenho de frangos em crescimento, e que observaram que estas diferenças não foram detectadas pelas determinações de energia metabolizável.

De Groote (1974/75, citado por Pirgozliev & Rose, 1999, e por MacLeod, 200, 2002) utilizando coeficientes de 0,9, 0,75 e 0,6 para gordura, carboidratos e proteína, calculou o k de diversos ingredientes, obtendo valores mais baixos para concentrados protéicos, e mais altos para ingredientes ricos em gordura, aumentando a diferença entre ingredientes em comparação com os valores de energia metabolizável. De acordo com Pirgozliev & Rose (1999) e MacLeod (2002) a equação para predição da EL obtida empiricamente por De Groote, baseada no valor de EM dos nutrientes e suas respectivas eficiências foi:

$$EL = 13,4 * PBD + 35,3 * EED + 13,0 * ENND,$$

onde PBD é proteína bruta digestível, EED, extrato etéreo digestível e ENND, extrativo não nitrogenado digestível (%).

A equação obtida por Emmans (1994), baseada no valor de EM aparente (EMA) e na proteína digestível foi:

$$EL \text{ (MJ/kg)} = 1,17 * EMA - 4,2 * PBD - 2,44$$

Nesta equação apenas o maior custo energético do metabolismo da proteína é considerado.

Pirgozliev & Rose (1999) realizaram uma extensa revisão sobre a predição da energia líquida, e concluíram que, em comparação com o sistema de EM, as predições de EL resultam em melhores estimativas da energia disponível dos alimentos para aves. Além disso, consideram que a composição da dieta tem efeitos sobre a energia líquida que não foram detectados pela determinação de EM nem pelas equações de predição revisadas. Devido a isso, acreditam que novos trabalhos que resultem em maior conhecimento da interação entre nutrientes e de seus efeitos no lúmen do trato digestivo devem permitir o desenvolvimento de equações mais precisas para a predição da EL para a avicultura.

De acordo com MacLeod (2002), os poucos trabalhos independentes testando o modelo desenvolvido por De Groote demonstraram melhor eficiência de predição da taxa de crescimento e da conversão alimentar em comparação com o sistema de EL, especialmente na fase inicial do crescimento de frangos. Esse autor argumenta que, embora haja controvérsias

da maior eficiência econômica na formulação de dietas com o sistema EL, a melhor precisão na predição do desempenho já justificariam sua adoção.

Carré et al. (2002), trabalhando com 28 dietas e abate comparativo de frangos dos 21 aos 35 dias de idade, e utilizando um valor de referência para a energia de manutenção de 120,4 kcal/kg PV<sup>0,6</sup>, obtiveram taxas de EL/EMAn de 0,77, 0,86 e 0,80 e de EL/EMA de 0,69, 0,85 e 0,78 respectivamente para proteína, lipídeos e amido. A diferença obtida neste trabalho para a eficiência de uso metabólico entre estes nutrientes, especialmente com o sistema EMAn, é menor do que a obtida por De Groot (1974, citado por Pirgozliev & Rose, 1999 e MacLeod, 2002) e também menores que as diferenças registradas para suínos em crescimento (Noblet et al., 1993). Carré et al. (2002) observam, porém, que os dados com suínos (Noblet et al., 1993) foram obtidos sob restrição alimentar, diferentemente dos seus resultados obtidos com alimentação à vontade. Embora trabalhos realizados com abate comparativo demonstrem diferença na eficiência de utilização de dietas isoenergéticas variando no nível de gordura (Brugalli, 2001), trabalhos recentes realizados com calorimetria indireta demonstram menor diferença na eficiência de retenção entre os grupos químicos para aves do que o esperado pelos resultados obtidos com suínos (TABELA 2.6) (Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004).

TABELA 2.6. Efeito da composição da dieta sobre a eficiência de retenção da energia com suínos e frangos em crescimento

Referência	espécie	dieta controle	baixa proteína	alta gordura
Noblet et al. (2003)	suínos	0,739	0,759	
	frangos	0,748	0,750	
Warpechowski et al. (2004)	frangos	0,714		0,720

Na TABELA 2.7 são apresentadas as duplas de equações de predição da EM e da EL obtidas por Carré et al. (2002). Esses autores observam que as equações de EL não introduziram novas variáveis nas equações de EM, o que consideram desfavorável à adoção do primeiro sistema.

TABELA 2.7. Duplas de equações de predição da EMn e da EL obtidas por Carré et al. (2002)\*

Dupla	Equações	R <sup>2</sup>	DPR
1	EMn = 0,165*PB + 0,309*EEA + 0,162*amido + 0,078*açúcares	0,90	0,33
	EL = 0,127*PB + 0,265*EEA + 0,129*amido + 0,056*açúcares	0,90	0,27
2	EMn = 0,172*PBD + 0,379*EEAD + 0,170*amidoD + 0,140*açúcaresD	0,98	0,15
	EL = 0,133*PBD + 0,324*EEAD + 0,136*amidoD + 0,100*açúcaresD	0,74	0,48

\*PB, proteína bruta, EEA, extrato etéreo após digestão ácida. As variáveis seguidas de "D" (Dupla de equações 2) são valores digestíveis. Os valores de energia e desvio padrão residual (DPR) estão expressos em MJ/kg e as demais variáveis em % (base na matéria seca).

Entretanto, nos diversos trabalhos revisados, variáveis *in vitro* que se relacionam com condições do lúmen do trato gastrointestinal não foram testadas na predição do valor energético de alimentos, apesar dos vários indícios de que possam ter relação quantificável com eventos nutricionais *in vivo*. Além disso, mesmo as equações desenvolvidas por Carré et al. (2002), que já havia comprovado a importância de medidas específicas de fibra para aves (Carré et al., 1984; Carré et al., 1994), foram baseadas somente nos componentes digestíveis da dieta, os quais explicam apenas parcialmente os efeitos sobre a digestão e o metabolismo. Os dados dessa revisão levam a crer que medidas apropriadas da fração fibrosa e de suas propriedades físico-

químicas podem ser úteis para explicar alguns fenômenos nutricionais e metabólicos que não têm sido explicados pelas variáveis utilizadas nas equações de predição da EM e da EL desenvolvidas até a presente data. Além disso, considerando a data em que muitas das metodologias descritas nesta revisão foram publicadas,

### **3. EXPERIMENTO 1: PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL E LÍQUIDA DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO DA FRAÇÃO FIBROSA**

#### **3.1. Introdução**

A acurácia da descrição da concentração de energia disponível nos ingredientes é essencial para a produção de dietas economicamente mais eficientes (Pirgozliev & Rose, 1999). Entretanto, eficiência de equações de predição depende do quanto as variáveis preditoras descrevem a variação no valor nutricional das dietas e alimentos ao qual são aplicadas. Carré & Rozo (1990) consideram difícil de se obter boa predição do valor de energia metabolizável de dietas formuladas com diferentes cereais a partir das medidas tradicionalmente utilizadas das frações digestíveis (proteína, gordura, amido e açúcares livres), especialmente por não levarem em conta os polissacarídeos não amiláceos solúveis (PNAS) e a pectina, que podem ser altamente digestíveis dependendo da idade das aves (Carré et al. 1990). Entretanto, essas frações também não são mensuradas pelas medidas tradicionalmente utilizadas da fração fibrosa, como a fibra bruta ou mesmo com as medidas fibras em detergente ácido e neutro (Carré, 1993; Bach Knudsen, 2001). A quantificação de PNAS tem sido utilizada para classificar grãos de cereais de alta e baixa energia (Farrel, 1999; Austin et al., 1999) e já foi demonstrado que medidas mais abrangentes do teor de fibra, como a parede celular insolúvel, que inclui o teor de pectina (Carré & Brillouet, 1989), são mais eficientes para a predição da energia metabolizável de dietas para frangos de corte (Carré et al.,



1984). Recentemente, Nunes et al. (2001) publicaram equações para descrição do valor energético para frangos do grão e subprodutos do trigo utilizando a FDN como medida de fibra, o que é uma novidade no Brasil.

Por outro lado, propriedades físico-químicas da fibra como a viscosidade e a retenção de água podem afetar fisicamente os processos de digestão e absorção, pela proteção dos nutrientes absorvidos e/ou adsorvidos dentro da massa da digesta (Ferreira, 1994; Annison & Choct, 1994). A viscosidade dos PNA solúveis é reconhecidamente relacionada com a depressão no desempenho de frangos alimentados com dietas à base de trigo, centeio, cevada e arroz (Bedford & Classen, 1993; Annison et al., 1993) e efeitos antinutricionais semelhantes são atribuídos à presença de pectina e oligossacarídeos de leguminosas com a soja (Irish & Balnave, 1993; Leske & Coon, 1999). Esses efeitos parecem não ser corretamente mensurados apenas pela determinação da quantidade de fibra, pois muitas vezes dependem da sua composição e estrutura macromolecular (Annison & Choct, 1994; Austin et al., 1999). O efeito tanto do nível quanto da fonte de fibra também foi registrado por Jorgensen et al. (1996a) quanto ao peso relativo do trato digestivo, a digestibilidade de nutrientes e a retenção de energia com frangos alimentados com dietas contendo fibra de ervilha, trigo e aveia. Hadorn & Wenk (1996) observaram aumento no balanço de energia e proteína de frangos com a diluição de uma dieta basal com 20 % de amido ou de farelo de milho e diminuição nesses parâmetros quando a diluição foi com casca de soja.

Estes resultados indicam inadequabilidade do sistema de energia metabolizável e das equações de predição da energia baseadas nas medidas

tradicionais para descrever a energia disponível de dietas formuladas com ingredientes alternativos ou com níveis não usuais de fibra. Apesar disso, poucos pesquisadores como Carré et al. (1984) e Nunes et al. (2001) têm registrado equações de predição da energia disponível baseadas em medidas de fibra alternativas à fibra bruta, e não foram encontradas registros de equações de predição utilizando variáveis como a viscosidade ou outras propriedades físico-químicas semelhantes. A interação com as enzimas endógenas dos grãos e a não linearidade da medida direta da viscosidade podem explicar a sua não utilização em equações aditivas, mas existem medidas da viscosidade expressas de forma linearizada e quantificadas após tratamento para desativação enzimática (Carré et al.; 1994), o que resulta em maior aditividade, mas mantendo relação com a viscosidade intestinal e a digestibilidade de nutrientes em frangos (Maisonnier et al., 2001a).

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o efeito da fonte e nível de fibra sobre a disponibilidade e a partição da energia em frangos de corte; e testar diferentes medidas da fibra da dieta e de suas propriedades físico-químicas para predição da energia metabolizável e líquida para esses animais.

### **3.2. Material e métodos**

O experimento com animais foi realizado no Laboratório de Ensino Zootécnico do Departamento de Zootecnia da UFRGS, em Porto Alegre. As análises laboratoriais foram realizadas nos laboratórios de nutrição do Departamento de Zootecnia da UFRGS, da *Station de Recherche Porcine*

(SRP-UMRVP-INRA), em Saint-Gilles, França e da *Station de Recherche Avicole* (SRA-INRA) em Nouzilly, França.

### **3.2.1. Dietas e arraçoamento**

Dezesseis dietas foram formuladas a base de subprodutos da soja e de cereais para ter concentrações similares de gordura e do nível mínimo de aminoácidos limitantes digestíveis, cálcio e fósforo disponível, de acordo com o NRC (1994) (TABELA 3.1). Os teores de aminoácidos total e digestível nos ingredientes foram calculados a partir das análises proximais utilizando as equações e coeficientes de digestibilidade propostos pelo NRC (1994). Uma mistura padrão de micro-minerais e vitaminas foi utilizada para todas as dietas, enquanto os níveis de macro-minerais foram equilibrados utilizando fontes comuns de cálcio, fósforo e potássio. As dietas foram planejadas para obter-se uma grande amplitude no nível, fonte e propriedades físico-químicas esperadas da fração fibrosa. A fibra da soja foi misturada ou não com cada fonte de cereal através da utilização de farelo de soja com casca e proteína isolada de soja. Todas as frações de cada cereal foram obtidas de um mesmo lote de cada grão. A dieta 1 foi o controle com baixa fibra (milho como única fonte de fibra) enquanto a dieta 2 foi o controle com nível normal de fibra (dieta tradicional a base de milho e farelo de soja). Outras duas dietas foram preparadas misturando-se o milho e o farelo de soja com dois ingredientes alternativos ao milho comumente utilizados no Brasil (farelo de arroz desengordurado, dieta 3, e farelo de trigo, dieta 4), formando duas dietas controle com alta fibra. As outras doze dietas foram preparadas para ter nível baixo (sem fibra da soja),

médio e alto de fibra utilizando as fontes arroz (dietas 5, 6 e 7) cevada (dietas 8, 9 e 10), trigo (dietas 11, 12 e 13) e triticale (dietas 14, 15 e 16). Para evitar o efeito do tamanho e densidade de partícula sobre o consumo, as dietas fareladas foram umedecidas (aproximadamente 50 % de água com temperatura de aproximadamente 45 °C ) e então peletizadas com espessura de 0,3 cm à temperatura de 55-65 °C. Os pélets resultantes foram secos em estufa de ar forçado a 60 °C por uma noite e os grânulos muito grandes foram quebrados para facilitar a ingestão.

### **3.2.2. Aves e manejo experimental**

Noventa e quatro frangos de corte da linhagem Ross foram alocados ao acaso aos tratamentos (5 aves/dieta para as dietas 13 e 14 e 6 para as demais) e mantidos em gaiolas metabólicas individuais equipadas com bandejas cobertas com plástico para colheita quantitativa de excreta, recebendo a dieta respectiva oferecida à vontade em comedouros individuais tipo calha. Às 21 h do terceiro dia de adaptação a ração foi retirada. As aves foram pesadas na manhã seguinte (com 21 dias de idade) e outras cinco aves provenientes do mesmo lote foram sacrificadas para estimar o conteúdo corporal inicial de proteína e energia.

Após limpeza das bandejas para colheita de excreta, as aves começaram a receber a ração diária dividida em duas porções iguais oferecidas às 12 e às 21 h. Foram utilizados três níveis de alimentação, calculados com base no peso metabólico ( $PM, kg^{0,75}$ ) e na energia metabolizável aparente calculada, de forma a atingir 150 (Nível 1, energia

metabolizável de manutenção teórica; Blaxter, 1989), 250 (Nível 2, intermediário) e 350 kcal/kg PM/dia (Nível 3, 90 % do consumo à vontade da dieta 2 no período pré-experimental). A quantidade de alimento foi ajustada diariamente considerando um ganho de peso linear entre os 21 e os 35 dias de idade. A taxa teórica adotada para o ganho de peso e o aumento de consumo de energia foi obtida de Brugalli (2001), e foi equivalente a um acréscimo diário de 14,07 kcal EM/kg PM na ração oferecida.

A excreta foi recolhida diariamente durante 14 dias (até os 35 dias de idade dos frangos). Durante todo o período a água foi oferecida à vontade em bebedouros tipo calha, com iluminação constante e temperatura da sala mantida em  $28 \pm 2$  °C. Na manhã do último dia, doze horas após a última refeição, todos os frangos foram pesados e sacrificados por deslocamento cervical. As penas foram removidas e quantificadas por diferença. O trato digestivo, do esôfago ao cólon, foi cuidadosamente limpo de resíduos de digesta e de gordura aderida e seu peso e das carcaças foram registrados, sendo ambos congelados juntos para posterior moagem e amostragem.

### **3.2.3. Variáveis e cálculos**

Além das variáveis de desempenho, foram avaliados o peso do trato gastrointestinal, a digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína bruta, a retenção corporal de energia, proteína e gordura, e os valores de energia metabolizável e líquida das dietas.

O peso do trato gastrointestinal foi expresso como % do peso corporal sem o conteúdo digestivo, os coeficientes de digestibilidade e

metabolizabilidade foram calculados com base na excreção total e expressos em %. A retenção de proteína e gordura foi determinada por diferença entre a composição corporal determinada no momento do abate e a composição corporal inicial, estimada através dos valores médios da composição das aves testemunhas e o peso inicial das aves teste. O consumo e a retenção de energia foram expressos como kcal/kg  $PV^{0,75}/\text{dia}$ .

O teor de energia metabolizável das dietas experimentais (EM, kcal/kg MS) foi calculado para cada ave com base no coeficiente de metabolizabilidade da energia, sendo o valor médio calculado apenas com os dados das aves que receberam os dois níveis mais altos de alimentação.

A energia líquida de manutenção (ELm, kcal/kg  $PV^{0,75}/\text{dia}$ ) e a eficiência de retenção da energia metabolizável ( $K_0$ ) foram determinadas para cada dieta através de regressão linear entre o consumo de EM (EMc, kcal/kg  $PV^{0,75}/\text{dia}$ ) e a energia retida total (ERT, kcal/kg  $PV^{0,75}/\text{dia}$ ). A energia metabolizável de manutenção (EMm, kcal/kg  $PV^{0,75}/\text{dia}$ ) foi calculada para cada dieta pela divisão da ELm pelo respectivo  $K_0$ .

O teor de energia líquida de cada dieta experimental (EL, kcal/kg MS) foi calculado pela multiplicação do valor de EM médio dos níveis 2 e 3 de consumo, pelo respectivo  $K_0$  obtido para a dieta.

#### **3.2.4. Análises laboratoriais**

Os ingredientes e as dietas experimentais foram analisados quanto aos teores de matéria seca (MS), cinzas, extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB,  $N \times 6,25$ ) e fibra bruta (FB), conforme indicações do AOAC (1995). Para

as dietas experimentais foram ainda feitas análises de energia bruta (EB) em bomba calorimétrica (PARR INSTRUMENTS CO., 1984), de amido pelo método polarimétrico de Ewer, conforme a terceira instrução da CEE (1999), de fibras em detergente neutro (FDN) (Van Soest et al, 1991) e ácido (FDA) (Goering & Van Soest, 1970), fibra total da dieta (FTD) (Prosky et al., 1984) e parede celular insolúvel em água (PCIA) (Carré & Brillouet, 1989). Também foram determinadas, de acordo com as metodologias descritas por Carré et al. (1994), as propriedades físico-químicas de capacidade de hidratação da PCIA (CHPC) e as medidas linearizadas de viscosidade aplicada potencial (VAP), após desativação enzimática, e real (VAR), sem desativação enzimática.

As carcaças congeladas foram cortadas em pedaços e moídas em moedor de carne industrial munido de peneira de 0,5 cm, até a obtenção de uma massa homogênea. Uma alíquota de aproximadamente 350 g foi retirada de cada carcaça, colocada para secar em estufa de ar forçado a 60 °C por 12 a 18 horas. As amostras secas foram moídas a 0,5 mm com moinho tipo faca e, após serem homogeneizadas junto com eventuais perdas de gordura, foram analisadas para matéria seca a 105 °C, cinzas a 500 °C, e proteína bruta (N x 6,25) pelo método de Kjeldahl, conforme recomendações do AOAC (1990). A gordura foi calculada por diferença e o conteúdo de energia corporal foi calculado a partir da composição química utilizando a equação de ZANIECKA (1967). Para a composição das penas foram utilizados valores fixos de 81% de proteína e 3,4 % de gordura (Pophal et al., não publicado).

### 3.2.5. Análises estatísticas

As variáveis de desempenho, o peso relativo do trato gastrointestinal e os coeficientes de digestibilidade, metabolizabilidade e retenção de proteína foram submetidos à análise de variância considerando o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM, N1, N2 e N3) como bloco, e como variáveis classificatórias o nível de fibra (Baixo, dietas 1, 5, 8, 11 e 14; Médio, dietas 2, 6, 9, 12 e 15; e Alto, dietas 3, 4, 7, 10, 13 e 16) e a fonte de fibra (controle - milho, Arroz, Cevada, Trigo e Triticale). O peso inicial foi utilizado como covariável na análise do ganho de peso, da conversão alimentar e do peso médio. O nível de consumo de manutenção (N1) foi omitido na análise da conversão alimentar.

Para a análise das variáveis de eficiência de utilização da energia metabolizável e da energia de manutenção, o bloqueamento para níveis de consumo de energia foi omitido, considerando apenas o nível e a fonte de fibra.

Para comparação entre níveis de fibra foram utilizados contrastes ortogonais de ordem linear e quadrática, testados pelo teste F, e para comparação entre fontes de fibra foi utilizado o teste de Student-Newman-Keuls. Para ambos os testes o nível de significância foi de 5 %. Também foi realizada uma análise de comparação de coeficientes e de interceptos na regressão entre a energia retida e a energia metabolizável consumida (kcal/kg PM/dia), para testar individualmente os efeitos da dieta, do nível e da fonte de fibra sobre a eficiência de retenção da energia metabolizável.

Para estimar o melhor expoente para o peso metabólico, os valores calculados individualmente para a ELM e a EMm (expressos como kcal/ave/dia) foram submetidos à análise de regressão não linear contra o peso



vivo (PV, kg), de acordo com o modelo ELM ou  $EMm = a \cdot PV^b$ , utilizando o método de Marquardt com um intervalo de confiança assintótico de 95% (ICA95%) para testar o expoente.

Para a determinação de equações de predição da EM e da EL das dietas, foi utilizada análise de regressão linear múltipla pelo método dos quadrados mínimos, tendo como variáveis independentes os resultados da composição química e as propriedades de VAP e CHPC. A VAR não foi utilizada por ser considerada uma medida de baixa aditividade. Foram selecionados os modelos com até quatro variáveis significativas ( $P < 0,10$ ) e com coeficiente de determinação maior que 85%. Para o cálculo das equações com intercepto nulo ( $P > 0,10$ ) foi utilizada análise de regressão não linear.

Para testar a predição direta da eficiência de utilização líquida da EM, os valores de  $K_0$  obtidos para cada dieta foram submetidos a regressão múltipla com as variáveis de composição e propriedades físico-químicas avaliadas, utilizando análise de regressão múltipla com *backward selection*, com nível de significância de 5 %.

Para comparar a capacidade das equações de EM e EL obtidas para predizer o efeito da composição da dieta sobre o desempenho e a retenção de energia pelas aves, a melhor equação obtida para a predição da energia em cada sistema foram utilizadas para calcular os respectivos valores de energia de cada dieta. Os valores obtidos foram submetidos à análise de correlação com as variáveis de ganho de peso, conversão alimentar e retenção de energia, de proteína e de gordura.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa StatGraphics Plus for Windows 4.1 (Manugistics, 1997).

### **3.3. Resultados**

#### **3.3.1. Medidas preliminares**

Na TABELA 3.1 são apresentadas a composição calculada e as variáveis analisadas nas dietas experimentais. As dietas formuladas cobriram uma grande amplitude no nível de fibra, com valores variando de 1,5 a 4 % para a FB e de 13 a 24 % na FTD. A amplitude na composição e nas propriedades físico-químicas da fração fibrosa também foi alta, como demonstra a variação na proporção entre frações de fibra de cada dieta e a amplitude de valores de viscosidade obtidos. Os níveis de proteína foram mantidos dentro de limites práticos (19,4 a 23 % MS) e o teor de gordura se manteve entre 3,5 e 4 %.

Na TABELA 3.2 São apresentados os resultados de desempenho e a massa relativa do trato gastrintestinal das aves de acordo com a dieta e o nível de arraçoamento oferecidos. As diferenças no consumo de matéria seca refletem as diferenças no teor de EM calculada das dietas e no nível de arraçoamento adotado. O ganho de peso das aves sob o nível alto de consumo foi abaixo do esperado, considerando-se uma restrição de 10% no consumo à vontade, com exceção para as dietas 1, 2 e 6.

TABELA 3.1. Composição e propriedades físico-químicas das dietas experimentais

Dietas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ingredientes (% da matéria natural)																
Soja (proteína)	15,24				14,17			14,55			10,06			11,44		
Soja (far. 45%)		26,77	25,87	20,12		24,64	26,07		20,51	19,58		15,09	9,90		19,12	14,00
Milho quebrado	78,26	68,85	23,49	42,01												
Arroz (integral)					57,30	55,60										
Arroz (quirera)			26,17				50,17									
Arroz (farelo des.)			20,10		21,33	15,08	18,63									
Cevada (farinha)								30,15	16,48	7,01						
Cevada (farelo)								48,23	53,26	62,06						
Cevada (casca)										5,76						
Trigo (farinha)											19,75	13,18				
Trigo (farelo)				33,11					3,45		64,61	65,57	84,31			
Triticale (farinha)														20,10	25,13	
Triticale (farelo)														62,61	49,78	80,35
Oleo de soja	0,26	0,27		0,77		0,33	1,01	2,31	1,85	1,72	1,88	1,73	1,57	1,35	1,44	0,81
NaCl	0,28	0,41	0,37	0,38	0,27	0,36	0,36	0,28	0,37	0,33	0,33	0,39	0,39	0,32	0,40	0,39
Calcário calcítico	1,47	1,37	1,24	1,56	1,62	1,48	1,40	1,78	1,68	1,91	1,54	1,76	1,84	1,86	1,72	1,88
Fosfato bicálcico	1,76	1,71	1,47	1,36	1,51	1,56	1,55	1,00	0,88	0,32	0,98	0,93	0,82	0,87	1,00	0,70
Carbonato de K	1,19				0,77			0,36			0,08			0,03		
Microingredientes <sup>2</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Cloreto de Colina	0,86				2,15			0,51			0,12			0,74		
DL-Metionina	0,11	0,09	0,22	0,12	0,16	0,17	0,13	0,15	0,23	0,18	0,15	0,28	0,24	0,18	0,29	0,39
Lisina-HCl	0,05		0,42	0,06	0,21	0,28	0,14	0,17	0,60	0,50		0,49	0,37		0,46	0,72
L-Treonina	0,03	0,03	0,16				0,04		0,18	0,13					0,09	0,12
L-Triptofano												0,07	0,06		0,08	0,13
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada (base na matéria seca)																
EMn calculada (kcal/kg)	3428	3232	3285	3209	3520	3384	3414	3521	3258	3082	3459	3256	3188	3425	3268	3172
Metionina dig. (%)	0,42	0,41	0,53	0,40	0,42	0,45	0,40	0,41	0,50	0,43	0,43	0,57	0,48	0,47	0,60	0,67
Met+Cis dig. (%)	0,64	0,65	0,78	0,75	0,68	0,71	0,67	0,64	0,74	0,66	0,95	1,07	0,99	0,89	0,99	1,10

TABELA 3.1. Continuação. Composição e propriedades físico-químicas das dietas experimentais<sup>1</sup>

Dietas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Composição calculada (base na matéria seca). Continuação																
Lisina dig. (%)	1,05	0,97	1,28	0,95	1,07	1,10	0,99	1,05	1,29	1,15	1,00	1,32	1,11	1,05	1,37	1,51
Triptofano dig. (%)	0,41	0,33	0,30	0,26	0,30	0,24	0,28	0,30	0,21	0,20	0,23	0,24	0,20	0,23	0,26	0,28
Treonina dig. (%)	0,62	0,66	0,87	0,68	0,69	0,71	0,77	0,60	0,78	0,69	0,76	0,73	0,72	0,72	0,79	0,84
Arginina dig. (%)	2,35	2,16	1,57	1,67	1,33	1,23	1,26	1,25	1,02	0,98	1,24	1,07	0,90	1,28	1,15	1,00
Cálcio (%)	1,19	1,20	1,09	1,20	1,19	1,20	1,19	1,16	1,13	1,12	1,07	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17
Fósforo disp. (%)	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,47	0,46	0,44	0,43	0,41	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44
Potássio (%)	0,75	0,77	0,89	0,80	0,82	0,83	0,83	0,78	0,91	0,92	0,76	0,95	0,95	0,77	0,91	0,96
Cloro (%)	0,46	0,32	0,39	0,32	0,38	0,33	0,33	0,40	0,41	0,38	0,31	0,42	0,40	0,45	0,41	0,45
Sódio (%)	0,22	0,23	0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,22	0,21	0,20	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21
Ac. Linoleico (%)	1,64	1,66	1,40	1,94	1,22	1,35	1,59	2,66	2,47	2,34	2,34	2,34	2,35	2,17	2,24	1,91
Valores analisados (base na matéria seca)																
EB (kcal/kg)	4546	4330	4460	4508	4396	4388	4387	4413	4497	4061	4353	4407	4145	4399	4389	4214
CZ (%)	5,78	6,14	6,12	5,43	6,58	6,58	6,10	5,55	5,59	7,63	4,98	5,36	5,96	4,95	5,65	5,54
PB (%)	22,40	22,00	21,81	20,85	23,06	20,89	19,43	21,11	20,54	20,14	22,92	21,51	20,91	21,19	20,03	21,04
EE (%)	4,05	3,92	3,83	4,05	3,78	3,75	3,72	3,71	3,84	3,79	3,97	4,01	3,70	3,95	4,00	3,58
Amido (%)	56,59	51,51	48,98	52,11	54,73	52,58	51,38	55,47	50,66	50,23	49,86	49,09	46,50	52,52	48,05	50,54
FB (%)	1,70	3,48	4,10	2,52	2,49	3,49	3,80	1,49	2,98	4,04	2,15	3,58	4,01	1,83	2,61	3,29
FDN (%)	10,05	15,94	16,15	17,02	8,00	11,40	15,60	5,49	10,93	15,08	12,01	15,48	18,92	10,36	11,47	15,48
FDA (%)	3,45	5,88	6,60	6,08	3,74	5,41	5,83	1,85	4,11	6,09	3,46	5,36	6,47	2,86	4,44	5,25
PCIA (%)	8,73	13,83	13,78	14,98	7,90	11,51	11,64	6,36	11,42	14,15	10,22	14,18	17,55	9,76	12,47	14,93
FTD (%)	14,74	19,22	20,36	20,88	15,44	18,28	19,30	13,19	18,88	19,44	16,57	20,49	24,79	16,63	18,88	21,70
CHPC (g/g)	8,48	8,62	7,27	8,64	5,67	8,29	9,86	7,01	10,35	7,21	6,24	8,51	6,94	7,82	7,00	6,52
VAP (ml/g)	0,25	0,54	0,77	4,41	0,29	0,70	0,75	1,67	2,22	2,98	3,80	3,82	3,97	2,97	3,59	4,39
VAR (ml/g)	0,46	0,67	0,81	1,28	0,39	0,59	0,62	1,36	1,46	1,63	1,68	1,89	1,37	2,32	2,55	2,54

<sup>1</sup>EB, energia bruta; EMn, energia metabolizável corrigida para balanço nulo de nitrogênio; EL, energia líquida; CZ, cinzas; EE, extrato etéreo; PB, proteína bruta; FB, fibra bruta; FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em detergente ácido; PCIA, parede celular insolúvel em água; FTD, fibra total da dieta, CHPC, capacidade de hidratação da PCIA; VAP, viscosidade aplicada potencial, VAR, viscosidade aplicada real. As metodologias de determinação estão descritas no material e métodos (item 3.2.4). <sup>2</sup>Suplemento vitamínico e mineral (0,30%) com níveis calculados segundo o NRC (1994) além de (%): Propionato de Ca (0,15), Hidróxi-Butil-Tolueno (0,01), Monteban (0,09), Bacitracina de Zn (0,015) e milho moído (qsp).

Em geral, o GPM e a CA pioraram linearmente com o aumento no nível de fibra ( $P=0,05$ ) e foram melhores para as dietas a base de milho e arroz e piores para as dietas a base de cevada ( $P=0,05$ ). A CA foi também consistentemente menor para o nível alto de consumo de energia ( $P=0,05$ ).

A percentagem de trato digestivo dos frangos aumentou linearmente com o aumento no nível de fibra da dieta consumida. Na comparação entre fontes, a % de TGI foi maior com as dietas à base de trigo e menor com as à base de arroz.

### **3.3.2. Balanço de energia e proteína**

Os resultados do balanço de matéria seca, energia e proteína, da retenção corporal de proteína e os valores determinados de EM das dietas experimentais são apresentados na TABELA 3.3.

A mais alta digestibilidade das dietas formuladas sem a fibra da soja (nível baixo de fibra) resultou em diminuição quadrática do CDMS com o aumento do nível de fibra ( $P=0,05$ ). O efeito do cereal utilizado não foi significativo ( $P=0,12$ ).

Os valores de digestibilidade da PB obtidos a partir da análise da excreta (CDPB) foram em média maiores que os valores de retenção de proteína obtidos a partir da análise das carcaças (CRPB) ( $P=0,01$ ). A relação entre as duas variáveis dependeu do nível de consumo, resultando em duas equações, uma para o nível baixo (próximo da manutenção) e outra para os níveis médio e alto (FIGURA 3.1). A diferença média entre as duas variáveis para os níveis 2 e 3 de consumo foi de 26% do CDPB.

TABELA 3.2. Medidas de desempenho e percentagem de trato gastrointestinal dos frangos conforme a dieta experimental e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3)

Fonte	Fibra	Dieta	Peso inicial (g)			CMS (g/dia)			GPM (g/dia)			Conversão alimentar			TGI (%)			
			N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	
Controle	Baixa	1	899	906	896	41,1	89,3	120,5 a	0,7	41,8	68,7 a	nc	2,14	1,75 bc	7,13	5,51	5,91 ab	
	Média	2	930	878	920	44,8	94,3	133,6	2,0	42,4	67,8	nc	2,22	1,97	7,88	5,96	6,42	
	Alta	3	845	833	838	41,7	87,4	124,3	7,6	44,8	63,8	nc	1,95	1,96	7,02	6,44	6,31	
	Alta	4	815	863	830	41,7	92,4	127,0	2,1	41,0	60,0	nc	2,25	2,12	7,7	6,34	7,25	
Arroz	Baixa	5	867	890	830	39,8	86,4	114,5 b	2,4	42,4	64,5 a	nc	2,04	1,78 c	6,7	5,88	6,02 b	
	Média	6	826	893	760	39,0	89,0	111,2	5,8	42,8	61,0	nc	2,08	1,83	7,09	6,06	6,16	
	Alta	7	866	832	889	40,8	82,8	125,8	2,4	36,5	64,3	nc	2,30	1,96	6,52	6,47	6,2	
Cevada	Baixa	8	822	840	859	38,4	82,8	115,2 b	0,0	39,0	59,6 c	nc	2,13	1,96 a	6,98	5,74	5,68 ab	
	Média	9	885	856	886	42,3	87,7	126,3	-1,2	40,7	63,2	nc	2,16	2,00	6,89	6,36	6,89	
	Alta	10	766	849	869	39,1	82,3	119,5	-3,0	24,6	45,3	nc	3,41	2,64	8,76	6,89	7,11	
Trigo	Baixa	11	873	838	826	40,7	84,6	116,1 a	-3,0	39,7	61,9 ab	nc	2,14	1,88 ab	8,11	6,22	6,94 a	
	Média	12	792	868	880	40,2	91,6	129,7	-1,7	44,1	66,6	nc	2,08	1,96	7,75	6,35	6,41	
	Alta	13	783	861	866	44,3	94,8	130,4	4,4	33,2	56,7	nc	2,86	2,30	7,08	7,07	7,51	
Triticale	Baixa	14	805	794	841	38,8	81,4	118,8 ab	2,2	37,1	63,4 bc	nc	2,20	1,89 ab	7,39	7,44	5,34 ab	
	Média	15	815	841	753	40,8	89,0	118,0	-2,1	38,3	54,4	nc	2,33	2,17	8,02	5,88	6,8	
	Alta	16	836	888	786	42,5	95,3	122,3	0,4	39,2	52,6	nc	2,43	2,33	7,38	6,68	6,6	
Fatores	Probab.																	
NEM			0,35				<0,01			<0,01			<0,01			<0,01		
Fonte			0,07				<0,01			<0,01			<0,01			<0,01		
Fibra <sup>3</sup>			0,32				L+			L-			L+			L+		
CV %			5,4				4,0			9,5			6,9			5,8		

<sup>1</sup>GPM, ganho de peso médio; CMS, consumo de matéria seca; TGI, trato gastrointestinal (% do peso corporal); nc, não considerado. <sup>2</sup>Letras distintas na coluna indicam diferença significativa entre fontes de fibra (Teste S-N-K, P<0,05). <sup>3</sup>L indica efeito linear e Q, efeito quadrático positivo (+) ou negativo (-) do nível de fibra (Teste F, P<0,05).

TABELA 3.3. Resultados do balanço de metabolismo e retenção de proteína conforme a dieta experimental e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3)<sup>1</sup>

Fonte	Fibra	Dieta	CDMS (%)			CDPB (%)			CRPB (%)			CME (%)			EM (kcal/kg) <sup>3</sup>			
			N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3				
Controle	Baixa	1	60,4	73,0	71,1	35,6	58,1	63,1	a	6,7	46,8	47,1	a	69,5	80,5	79,2	a	3630
	Média	2	63,1	72,0	73,2	40,3	57,6	61,4		10,9	45,1	46,1		71,5	77,4	79,0		3386
	Alta	3	62,3	66,1	62,6	48,5	56,6	56,1		18,9	42,0	42,7		72,8	73,9	69,5		3196
	Alta	4	61,7	65,2	66,6	38,6	56,0	57,1		8,5	41,2	42,3		70,9	73,8	72,4		3296
Arroz	Baixa	5	63,9	73,1	75,1	43,0	57,3	58,9	a	8,2	42,3	42,5	a	73,4	79,8	82,0	a	3556
	Média	6	57,9	65,0	65,6	32,6	55,3	56,5		9,7	41,9	42,4		70,2	74,1	74,2		3254
	Alta	7	67,7	64,9	64,2	53,7	55,9	63,9		18,6	42,5	45,9		75,5	73,8	71,9		3197
Cevada	Baixa	8	60,9	77,1	73,7	29,5	61,6	59,9	ab	7,2	45,6	44,3	b	67,4	82,2	79,3	b	3563
	Média	9	64,2	67,2	68,5	33,9	58,2	60,9		3,9	41,3	43,2		72,1	72,8	74,8		3318
	Alta	10	58,8	61,8	68,2	19,9	51,6	51,7		3,2	32,2	39,0		63,3	65,7	70,3		2761
Trigo	Baixa	11	66,4	70,3	74,3	33,1	50,3	57,5	b	3,9	37,6	42,2	b	72,9	77,4	79,4	b	3412
	Média	12	55,0	61,9	65,2	22,7	51,5	55,1		0,7	38,6	37,7		65,5	71,4	71,9		3157
Triticale	Alta	13	64,1	61,0	63,4	43,9	44,1	44,7		10,3	32,5	32,0		69,6	67,4	69,9		2847
	Baixa	14	61,9	68,1	73,3	26,6	51,7	57,3	ab	1,9	37,1	42,8	b	72,6	73,4	78,8	b	3348
	Média	15	60,2	63,7	64,3	31,6	54,5	59,4		6,0	41,0	42,4		69,6	68,6	71,0		3064
Alta	16	62,1	63,2	64,4	51,5	46,2	44,4		6,1	33,2	31,6		67,4	68,7	68,9		2900	
Fatores	Probab.																	
	NEM		<0,01			<0,01			<0,01			<0,01						
	Fonte		0,12			<0,01			<0,01			<0,01						
	Fibra <sup>3</sup>		Q-			0,89			0,24			L-						
	CV %		4,0			16,0			11,4			3,2						

<sup>1</sup>CDMS, coeficiente de digestibilidade da matéria seca; CDPB, coeficiente de digestibilidade da proteína bruta; CRPB, coeficiente de retenção da proteína bruta; CME, coeficiente de metabolizabilidade da energia; EM, energia metabolizável (base seca). <sup>2</sup>Letras distintas na coluna indicam diferença significativa entre fontes de fibra (Teste S-N-K, P<0,05). <sup>3</sup>Calculada com os níveis de consumo 2 e 3. <sup>4</sup>L indica efeito linear e Q, efeito quadrático positivo (+) ou negativo (-) do nível de fibra (Teste F, P<0,05).

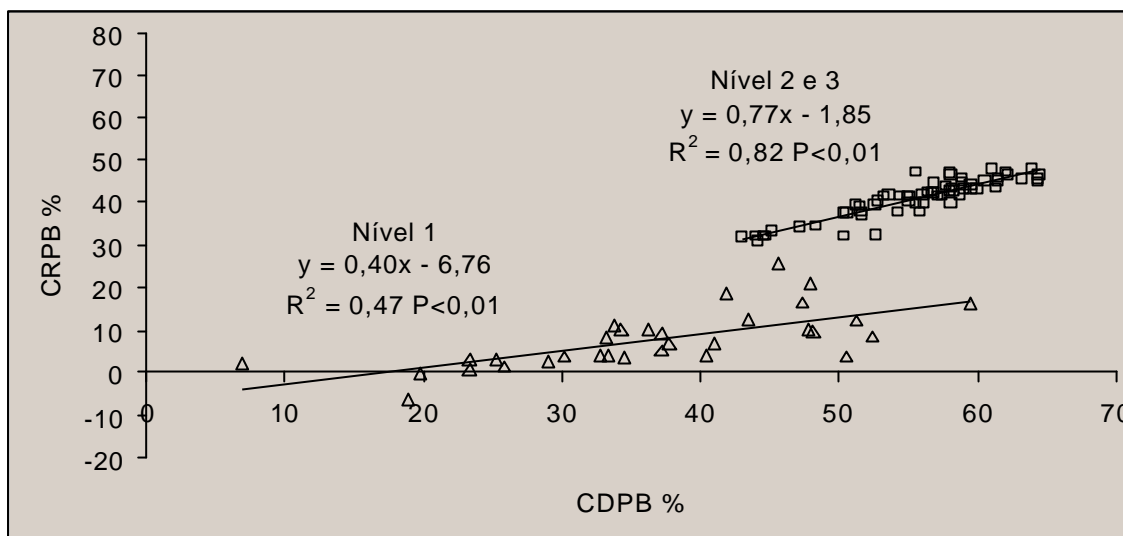


FIGURA 3.1. Relação entre o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDPB) determinado por colheita de excreta e o coeficiente de retenção da proteína bruta (CRPB) determinado por análise das carcaças de acordo com o nível de consumo de energia metabolizável. Os triângulos representam o nível 1 (manutenção) e os quadrados representam os níveis 2 e 3 (70 e 90 % do consumo à vontade)

A análise das variáveis CDPB e CRPB considerando todos os níveis de consumo de EM apresentou alto coeficiente de variação (CV% de 16 e 11, respectivamente), e o efeito do nível de fibra sobre esses parâmetros não foi significativo ( $P = 0,89$  e  $0,24$ , respectivamente). Entretanto a análise utilizando apenas os dados do nível 2 e 3 de consumo de EM revelou diminuição quadrática significativa do CDPB e do CRPB com o aumento no nível de fibra ( $P < 0,01$ ) e confirmou o melhor aproveitamento da proteína com as dietas do grupo controle e a base de arroz que para as outras dietas ( $P < 0,05$ ).

A digestibilidade aparente da energia apresentou alta correlação com digestibilidade da matéria seca ( $R^2 = 0,80$ ,  $P < 0,01$ ) e foi mais sensível aos fatores testados, apresentando relação linear negativa com o nível de fibra das



dietas ( $P=0,05$ ) e maiores valores para as dietas a contendo milho e arroz que para as demais dietas ( $P=0,05$ ).

Na TABELA 3.4 são apresentados o peso vivo médio no período de balanço e os resultados do consumo e retenção de energia com base no peso metabólico. O peso médio foi menor com as dietas com maior nível de fibra ( $P=0,05$ ) e maior com as dietas a base de milho e de arroz, em decorrência das diferenças no consumo real de energia metabolizável e no ganho de peso (TABELA 3.2).

Observou-se diminuição linear consistente no consumo e na retenção de energia total e na forma de proteína e de gordura com o aumento no nível de fibra das dietas ( $P=0,05$ ). Além disso, as aves consumindo as dietas do grupo controle apresentaram significativamente maiores valores para estes parâmetros que as que consumiram as outras dietas ( $P=0,05$ ). A retenção de energia como proteína foi também significativamente a menor com as dietas a base de triticales que a base de arroz ( $P=0,05$ ).

### **3.3.3. Energia líquida e eficiência de retenção energética**

Na TABELA 3.5 são apresentados os resultados da determinação da eficiência de utilização da energia metabolizável para retenção corporal, além das estimativas da energia líquida e metabolizável de manutenção e dos valores de energia líquida das dietas experimentais.

TABELA 3.4. Peso corporal médio e partição da energia metabolizável de acordo com a dieta e o nível de oferecimento de energia metabolizável (NEM: N1, N2 e N3)<sup>12</sup>

Fonte	Fibra	Dieta	PV médio			EMc			ERT			ERp			ERg							
			N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3					
Controle	Baixa	1	0,904	1,231	1,427	a	140,0	279,6	332,7	a	-4,4	93,2	133,3	a	3,7	44,6	54,3	a	-8,1	48,5	79,0	a
	Média	2	0,944	1,226	1,455		144,6	271,1	344,9		-2,5	100,3	137,1		6,2	44,7	57,1		-8,7	55,5	80,1	
	Alta	3	0,899	1,159	1,313		146,9	257,7	313,4		4,1	76,4	112,8		10,4	39,9	52,6		-6,4	36,4	60,2	
	Alta	4	0,829	1,162	1,267		153,4	274,8	347,2		5,8	86,9	130,9		4,8	39,5	52,3		1,0	47,4	78,6	
Arroz	Baixa	5	0,884	1,205	1,318	a	141,3	263,2	335,8	b	-3,7	80,0	127,0	b	4,6	40,8	50,8	b	-8,3	39,2	76,2	b
	Média	6	0,869	1,208	1,222		133,4	251,3	311,3		-3,0	72,8	118,1		4,9	37,6	47,3		-7,8	35,1	70,9	
	Alta	7	0,883	1,098	1,363		148,5	250,1	314,7		1,4	74,5	111,5		9,0	35,6	49,6		-7,6	38,9	61,9	
Cevada	Baixa	8	0,822	1,154	1,314	b	132,0	269,5	328,5	b	-8,5	85,8	121,5	b	3,8	39,9	48,9	bc	-12,3	45,9	72,6	b
	Média	9	0,878	1,150	1,352		151,2	258,7	338,8		-5,0	79,0	116,2		2,1	37,4	49,8		-7,1	41,6	66,4	
	Alta	10	0,746	1,020	1,206		125,4	216,4	296,3		-11,2	54,9	101,0		1,8	29,3	45,4		-12,9	25,6	55,5	
Trigo	Baixa	11	0,855	1,127	1,272	b	145,7	260,6	334,7	b	-6,7	76,2	122,1	b	2,3	37,1	52,2	bc	-9,0	39,1	69,8	b
	Média	12	0,782	1,181	1,334		139,8	254,4	331,1		-9,1	75,7	111,8		0,4	37,4	47,2		-9,5	38,4	64,5	
	Alta	13	0,814	1,087	1,256		149,2	249,0	318,4		-1,0	68,6	103,1		6,3	33,7	41,0		-7,3	34,9	62,1	
Triticale	Baixa	14	0,819	1,050	1,307	b	143,8	253,5	337,2	b	-6,8	73,6	120,5	b	1,0	34,4	49,1	c	-7,8	39,3	71,4	b
	Média	15	0,802	1,115	1,149		147,2	247,3	331,7		-7,0	76,2	113,8		3,3	37,6	50,3		-10,2	38,6	63,5	
	Alta	16	0,839	1,157	1,132		137,4	247,3	323,7		-13,4	73,1	106,7		3,5	33,3	41,3		-16,9	39,8	65,5	
Fatores	Probab.																					
NEM			<0,01			<0,01			<0,01			<0,01			<0,01							
Fonte			<0,01			<0,01			<0,01			<0,01			<0,01							
Fibra <sup>3</sup>			L-			L-			L-			L-			L-							
CV %			2,6			3,9			8,7			8,0			13,1							

<sup>1</sup>PV é o peso vivo médio do período, em kg, e EMc é energia metabolizável consumida; ERT, energia retida total; ERp, energia retida como proteína; ERg, energia retida como gordura, em kcal/kg PV<sup>0,75</sup>/dia. <sup>2</sup>Letras distintas na coluna indicam diferença significativa entre fontes de fibra (Teste S-N-K, P<0,05). <sup>3</sup>L indica efeito linear e Q, efeito quadrático positivo (+) ou negativo (-) do nível de fibra (Teste F, P<0,05).

TABELA 3.5. Eficiência de utilização da energia metabolizável, estimativas da necessidade de energia de manutenção e teor de energia líquida obtidas com as dietas experimentais<sup>12</sup>

Fonte	Fibra	Dieta	K <sub>0</sub>		ELm	EMm	R2	DPR	EL <sup>3</sup>
Controle	Baixa	1	0,699	a	101,3	144,9	0,986	8,5	2539
	Média	2	0,708		101,2	143,0	0,979	10,5	2397
	Alta	3	0,654		92,2	140,9	0,998	2,6	2091
	Alta	4	0,648		93,0	143,4	0,997	3,4	2137
Arroz	Baixa	5	0,674	b	98,5	146,2	0,999	2,4	2396
	Média	6	0,677		94,3	139,4	0,996	4,0	2202
	Alta	7	0,663		95,1	143,5	0,990	5,6	2119
Cevada	Baixa	8	0,666	bc	95,8	143,8	0,998	2,7	2372
	Média	9	0,654		99,9	152,7	0,976	9,8	2171
	Alta	10	0,657		91,6	139,3	0,993	4,9	1815
Trigo	Baixa	11	0,685	c	105,4	153,8	0,997	3,5	2338
	Média	12	0,641		95,4	148,9	0,986	7,4	2022
	Alta	13	0,638		94,6	148,2	0,985	6,6	1816
Triticale	Baixa	14	0,661	bc	100,5	152,0	0,995	5,3	2214
	Média	15	0,661		98,9	149,7	0,972	10,3	2024
	Alta	16	0,655		99,3	151,5	0,978	9,3	1901
Fatores	Probab.								
Fonte			<0,01		0,45	0,88			
Fibra <sup>4</sup>			L-		L-	0,18			
CV %			1,8		12,9	12,8			

<sup>1</sup>K<sub>0</sub>, eficiência de retenção da energia metabolizável; ELm, energia líquida de manutenção e EMm, energia metabolizável de manutenção (kcal/kg PV0,75/dia). EL, energia líquida (kcal/kg matéria seca). <sup>2</sup>Letras distintas na coluna indicam diferença significativa entre fontes de fibra (Teste S-N-K, P<0,05). <sup>3</sup>Média dos níveis de consumo de energia 2 e 3. <sup>4</sup>L indica efeito linear e Q, efeito quadrático positivo (+) ou negativo (-) do nível de fibra (Teste F, P<0,05).

Os coeficientes de retenção da energia foram afetados significativamente pelo nível de fibra das dietas, com efeito negativo linear para a ERT e a ERg e quadrático para a ERp (P=0,05). O efeito quadrático para a ERp foi devido a uma acentuação no efeito negativo da fibra com o nível mais alto dessa fração na dieta, especialmente para as dietas a base de trigo e triticale. Coerentemente, as dietas a base de trigo resultaram em média na

menor eficiência de retenção de energia total e na forma de gordura ( $P=0,05$ ), enquanto que com as dietas formuladas com triticales obteve-se a menor eficiência de retenção de energia na forma de proteína ( $P=0,05$ ). A ERT e a ERp foram as mais altas com as dietas do grupo controle, enquanto a ERg foi a mais alta com as dietas formuladas com arroz ( $P=0,05$ ). As dietas do grupo controle resultaram em ERg similar à obtida com as a base de arroz e as dietas a base de cevada apresentaram ERp similar à obtida com as dietas controle ( $P=0,05$ ).

Apesar dessas diferenças, a análise de regressão com comparação de interceptos (ELm) e inclinações (K) não detectou diferenças significativas entre dietas avaliadas isoladamente ou agrupadas segundo o nível ou a fonte de fibra ( $P>0,10$ ).

Os valores de ELm obtidos foram menores quanto menor o nível de fibra das dietas ( $P=0,05$ ), embora o efeito não tenha sido detectado com a EMm ( $P=0,18$ ), e não houve efeito significativo da fonte de fibra sobre esses parâmetros ( $P=0,45$  e  $0,88$ , respectivamente).

A análise de regressão não linear utilizando todos os dados experimentais resultou em expoente para o peso metabólico de  $0,772$  (ICA95% de  $0,728$  a  $0,816$ ,  $R^2 = 0,93$ ) para a ELm e de  $0,742$  (ICA95% de  $0,706$  a  $0,777$ ,  $R^2 = 0,95$ ) para a EMm (FIGURA 3.3), não diferindo do valor  $0,75$  que havia sido adotado para os cálculos. Os valores médios de todas as dietas e níveis obtidos com base no peso metabólico na potência  $0,75$  foram de  $97,5$  ( $R^2 = 0,93$ ; DPR =  $4,1$ ;  $P<0,01$ ) e  $146,3$  kcal/kg PM/dia ( $R^2 = 0,95$ ; DPR =  $4,9$ ;  $P<0,01$ ) respectivamente para a ELm e a EMm (TABELA 3.6).

Por outro lado, a estimativa dos coeficientes de eficiência energética e da necessidade de energia de manutenção foi dependente dos níveis energia utilizados na regressão (TABELA 3.6). Todos os coeficientes foram numericamente menores quando estimados apenas com os níveis 2 e 3 de consumo, e o  $K_0$  e a ELM foram numericamente maiores quando a regressão foi feita com os níveis 1 e 2. A utilização apenas dos pontos extremos de consumo (1 e 3) resultou em valores próximos aos obtidos com todos os níveis. Apesar disso, foi baixa a correlação obtida entre o EMc (kcal/kg PM) e o  $K_0$  ( $r = 0,28$ ,  $P = 0,29$ ), a EMm ( $r = 0,35$ ,  $P = 0,18$ ) e a ELM ( $r = 0,49$ ,  $P = 0,06$ ).

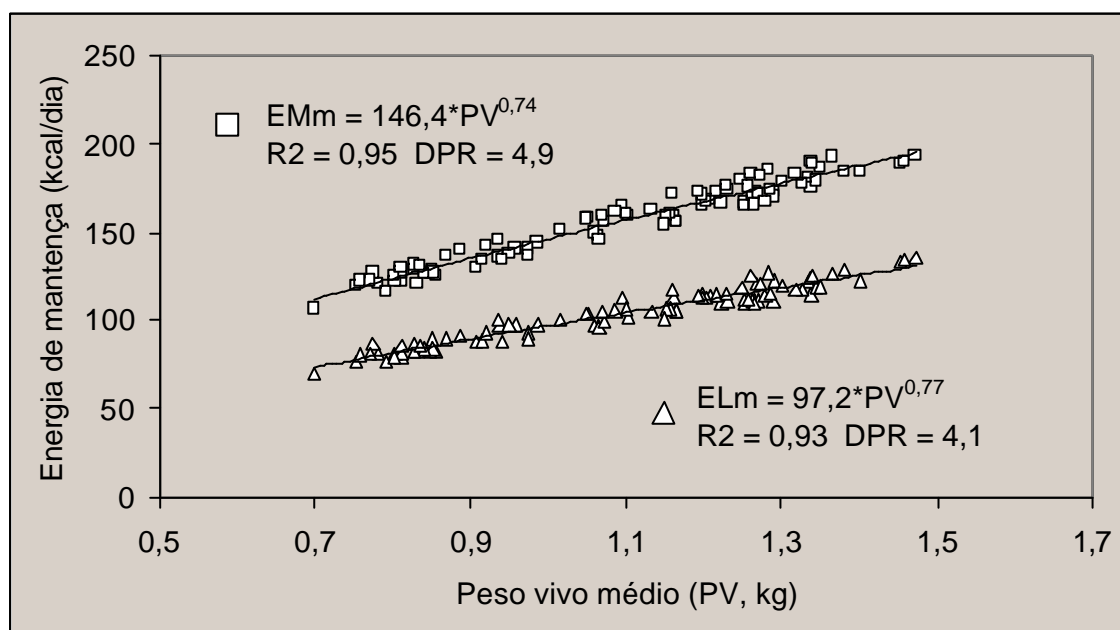


FIGURA 3.3. Equações ajustadas para a predição da energia líquida (ELM) e metabolizável de manutenção (EMm) em função do peso metabólico. Coeficientes e expoentes obtidos com todos os pontos experimentais. DPR, desvio padrão residual ( $P < 0,01$ )

TABELA 3.6. Efeito dos níveis de consumo utilizados na regressão sobre a estimativa da eficiência de retenção da energia e da necessidade de energia de manutenção<sup>1</sup>

Níveis utilizados	ELm	K <sub>0</sub>	EMm	R <sup>2</sup>	DPR
1,2 e 3	97,4	0,666	146,3	0,98	6,9
2 e 3	67,6	0,568	119,0	0,92	6,5
1 e 2	106,5	0,718	148,3	0,99	5,2
1 e 3	98,4	0,661	148,9	0,99	6,6

<sup>1</sup>K<sub>0</sub>, eficiência de retenção da energia metabolizável; ELm, energia líquida de manutenção; EMm, energia metabolizável de manutenção (kcal/kg PV<sup>0,75</sup>/dia); DPR, desvio padrão residual.

### 3.3.4. Equações de predição da EM e da EL

Na TABELA 3.7 são apresentados os coeficientes de correlação entre as diversas variáveis estudadas.

A EL e a EM se correlacionaram fortemente entre si e apresentaram correlação negativa forte com todas as medidas da fração fibrosa, negativa moderada a forte com as medidas de viscosidade e positiva moderada a forte com os teores de EB, proteína e amido. A EL apresentou correlações levemente superiores para as frações mais digestíveis (proteína e amido) enquanto a EM apresentou correlação levemente superior com as variáveis menos digestíveis (fração fibrosa), excetuando-se o EE e a FTD. que apresentaram correlações semelhantes com as duas medidas de energia disponível.

TABELA 3.7. Correlações entre as variáveis da composição e propriedades físico-químicas das dietas experimentais<sup>1</sup>

	EL	EM	EB	Cinzas	EE	PB	Amido	FB	FDN	FDA	HCEL	PCIA	FTD	CHPC	VAP
EM	0,97														
EB	0,67	0,77													
Cinzas	-0,24	-0,34	-0,48												
EE	0,37	0,38	0,54	-0,37											
PB	0,62	0,59	0,25	-0,19	0,27										
Amido	0,78	0,77	0,47	0,03	0,07	0,34									
FB	-0,68	-0,73	-0,51	0,55	-0,38	-0,37	-0,66								
FDN	-0,64	-0,68	-0,40	0,13	-0,04	-0,28	-0,70	0,77							
FDA	-0,62	-0,67	-0,37	0,45	-0,15	-0,32	-0,61	0,90	0,91						
HCEL	-0,60	-0,63	-0,39	-0,07	0,03	-0,23	-0,69	0,63	0,97	0,78					
PCIA	-0,77	-0,80	-0,49	0,14	-0,09	-0,35	-0,78	0,76	0,94	0,87	0,90				
FTD	-0,80	-0,80	-0,46	0,10	-0,21	-0,39	-0,81	0,78	0,91	0,85	0,87	0,97			
CHPC	0,08	0,11	0,42	-0,08	0,22	-0,46	0,06	0,17	0,19	0,19	0,16	0,10	0,12		
VAP	-0,62	-0,56	-0,36	-0,42	0,10	-0,25	-0,57	0,02	0,38	0,12	0,50	0,52	0,50	-0,21	
VAR	-0,53	-0,48	-0,31	-0,45	0,04	-0,31	-0,47	-0,12	0,07	-0,16	0,19	0,25	0,24	-0,24	0,82

<sup>1</sup>Em kcal/kg: EB, energia bruta; EM, energia metabolizável; EL, energia líquida. Em %: EE, extrato etéreo; PB, proteína bruta; FB, fibra bruta; FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em detergente ácido; HCEL, hemicelulose; PCIA, parede celular insolúvel em água; FTD, fibra total da dieta. Em g/g PCIA: CHPC, capacidade de hidratação da parede celular. Em ml/g: VAP, viscosidade aplicada potencial, VAR, viscosidade aplicada real. Todas variáveis expressas com base na matéria seca.

As medidas da fração fibrosa apresentaram forte correlação positiva entre si e forte correlação negativa com o teor de amido. As medidas de viscosidade se correlacionaram fortemente entre si e a VAP apresentou correlação moderada negativa com o teor de amido e positiva com hemicelulose a PCIA e a FTD. A EB apresentou correlação positiva moderada com o EE o amido e a CHPC, e negativa de moderada a fraca com as cinzas, as medidas de fibra e a viscosidade. Houve ainda uma correlação moderada positiva das cinzas com a FB e a FDA, e negativa com as medidas de viscosidade.

Na TABELA 3.8 são listadas as quinze equações de predição da EM que apresentaram coeficiente de determinação maior que 85%. Foram obtidas 10 equações com três variáveis e 5 com 4 variáveis, com  $R^2$  máximo de 94,4% (equação M2). A grande maioria das equações obtidas contém as variáveis EB e/ou PB associadas a uma medida da fração fibrosa e/ou com uma das propriedades físico-químicas. As equações M14 e M15 são as únicas que não contém nenhuma medida da quantidade de fibra. O EE e a hemicelulose não estão presentes em nenhuma equação selecionada. Baseado no  $R^2$ , as melhores equações obtidas foram as com quatro variáveis, de números M2 (EB, PB, FB e VAP), M4 (PB, FB, CHPC e VAP), M10 (EB, PB, PCIA e CHPC), M13 (EB, PB, FTD e CHPC) e M8 (EB, PB, FDA e VAP), com  $R^2 = 0,93$  e DPR = 80 kcal/kg. As melhores equações com três variáveis foram a M9 (EB, PB e PCIA) e M11 (EB, PB e FTD), com  $R^2 = 0,92$  e DPR = 82 kcal/kg e ainda a M15 (EB, amido, e PB), a M1 (EB, FB e VAP) e a M3 (cinzas, FB e VAP), com  $R^2 =$



0,89 e DPR = 96 kcal/kg. As demais equações apresentaram  $R^2 < 0,88$  e DPR  $> 100$  kcal/kg.

Na TABELA 3.9 São listadas as quatorze equações de predição da EL obtidas com  $R^2 > 85\%$ . Destas, 8 apresentaram 4 variáveis, e o maior  $R^2$  obtido foi de 94,8% (equação L6). A maioria das equações obtidas contém PB, VAP e uma medida da quantidade de fibra, das quais a FB foi a mais frequente. Obteve-se três equações contendo EE e nenhuma contendo FDN ou FDA. A única equação obtida sem uma das medidas de propriedade físico-química da fibra foi a de no. L9 (EB, PB e FTD), com  $R^2$  levemente superior a 85%. As melhores equações obtidas com 4 variáveis foram as de no. L6 (PB, FB, CHPC e VAP), L7 (PB, FB, HCEL e VAP), L4 (EB, PB, FB e VAP) e L2 (EE, PB, FB e VAP), com  $R^2 = 0,92$  e DPR = 70 kcal/kg, além da L11 (cinzas, PB, FTD e VAP) e a L14 (cinzas, amido, PB e VAP), com  $R^2 = 0,90$  e DPR = 80 kcal/kg. Com três variáveis, as melhores equações foram as de no. L3 (PB, FB e VAP), com  $R^2 = 0,90$  e DPR = 76 kcal/kg e L12 (PB, FTD e CHPC), com  $R^2 = 0,89$  e DPR = 76 kcal/kg.

A predição direta do  $K_0$  resultou em uma equação com três variáveis, baseada na FDT, na PCIA e na VAP ( $R^2 = 0,59$ , DPR = 0,015;  $P=0,01$ ). Dada a forte correlação entre a PCIA e a FTD (TABELA 3.7), foi testada como variável preditora a diferença entre a FTD e a PCIA (teoricamente relacionada com o nível de PNA solúveis), o que resultou em uma equação mais precisa que incluiu a FB:

$$K_0 = 0,800 - 0,0087*FB - 0,0140*(FTD-PCIA) - 0,0075*VAP$$

( $R^2 = 0,635$ , DPR = 0,014;  $P < 0,01$ )

TABELA 3.8. Equações de regressão múltipla obtidas para predição da energia metabolizável (kcal/kg matéria seca)<sup>1</sup>

No.	Constante	EB	Cinzas	Amido	PB	FB	FDN	FDA	PCIA	FTD	CHPC	VAP	R <sup>2</sup>	DPR
M1		0,8712				-141,21						-61,92	89,02	91
M2		0,5990			55,88	-140,37						-61,77	94,35	68
M3	4706		-127,73			-153,66						-110,42	88,64	96
M4	1237				103,12	-180,19					63,26	-60,64	93,95	73
M5	-2895	1,0522			88,36		-25,61						87,14	102
M6		0,9636						-83,39				-55,57	85,67	103
M7	-3033	1,0958			84,29			-62,80					86,17	106
M8	-1827	0,9099			71,40			-66,19				-44,54	92,66	80
M9	-1921	0,9144			77,79				-39,97				91,66	82
M10	-1570	0,6179			108,54				-44,57		44,59		93,88	73
M11	-1662	0,9510			71,67					-41,31			91,60	82
M12	5382		-194,33							-42,92		-84,79	85,95	107
M13	-1381	0,7059			97,92					-44,78	38,20		93,27	77
M14	2312		-215,67	46,54								-82,20	86,15	106
M15	-4729	0,9570		40,68	80,23								89,69	91

<sup>1</sup>Em kcal/kg: EB, energia bruta. Em %: PB, proteína bruta; FB, fibra bruta; FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em detergente ácido; PCIA, parede celular insolúvel em água; FTD, fibra total da dieta. Em g/g PCIA: CHPC, capacidade de hidratação da parede celular. Em ml/g: VAP, viscosidade aplicada potencial. Todas variáveis expressas com base na matéria seca.

TABELA 3.9. Equações de regressão múltipla obtidas para predição da energia líquida (kcal/kg matéria seca)<sup>1</sup>

No.	Constante	EB	Cinzas	EE	Amido	PB	FB	HCEL	PCIA	FTD	CHPC	VAP	R2	DPR
L1	1598			308,33			-143,97					-85,39	87,58	84
L2	695			241,86		51,20	-126,51					-76,92	92,13	70
L3	1516					57,79	-139,02					-73,59	90,00	76
L4		0,3168				59,56	-114,54					-64,21	92,16	67
L5	3237		-79,75				-129,49					-96,82	87,23	86
L6						106,33	-130,50				53,99	-56,50	94,78	55
L7	1662					50,03	-179,67	21,81				-91,14	92,19	70
L8						106,19			-46,56		60,11		86,99	83
L9	-1172	0,5833				70,33				-38,05			85,52	91
L10		0,3822				58,29				-36,15		-31,25	88,15	82
L11	2364		-114,41			56,39				-30,70		-67,54	89,74	80
L12						118,11				-47,23	68,53		89,11	76
L13			-130,46	345,36	34,56							-76,64	88,26	82
L14			-124,83		33,61	61,95						-63,56	89,56	77

<sup>1</sup>Em kcal/kg: EB, energia bruta. Em %: EE, extrato etéreo; PB, proteína bruta; FB, fibra bruta; HCEL, hemicelulose; PCIA, parede celular insolúvel em água; FTD, fibra total da dieta. Em g/g PCIA: CHPC, capacidade de hidratação da parede celular. Em ml/g: VAP, viscosidade aplicada potencial. Todas variáveis expressas com base na matéria seca.

### 3.3.5. Comparação da predição de desempenho e retenção a partir da EM e da EL

A correlação entre os valores preditos da EM, pela equação M2, e da EL, pela equação L6, com as variáveis de desempenho e retenção estão listados na TABELA 3.10. Embora com diferenças numericamente pequenas, as correlações demonstraram superior capacidade de predição do GPM e da retenção de energia, proteína e gordura pela EL calculada pela equação L6 que pela EM calculada pela equação M2. A capacidade de predição da CA foi maior para a medida de EM.

TABELA 3.10. Correlação de valores preditos de EM e EL com as variáveis de desempenho e retenção energética<sup>1</sup>

Equação	GPM	CA	ERT	ERp	ERg
M2	0,6952	-0,8004	0,7747	0,7793	0,7064
L6	0,7074	-0,7517	0,7995	0,7893	0,7377

<sup>1</sup>M2, ver TABELA 3.8; L6, ver TABELA 3.9; GPM, ganho de peso médio (g/dia); CA, conversão alimentar (g/g); ERT, energia retida total, ERp, energia retida como proteína, ERg, energia retida como gordura (kcal/kg<sup>0,75</sup>).

## 3.4. Discussão

### 3.4.1. Efeito da fibra sobre o desempenho e o peso relativo do trato gastrointestinal

Com exceção das dietas a base de arroz e milho, os valores de VAP das dietas foram relativamente altos, especialmente para as dietas a base de trigo e triticale. Estes valores estão dentro do esperado considerando as indicações da literatura para milho, trigo e cevada (Choct & Annison, 1992; Miller et al, 1994; Austin et al., 1999; Maisonnier et al., 2001a; Francesch et al.

2002). A diferença entre a VAP e a VAR, que estima a presença e atividade de enzimas endógenas de degradação da fibra (Carré et al., 1994), foi grande para as dietas contendo trigo e triticales e para as dietas de média e alta fibra de cevada. Essa diferença chegou a mais de três vezes o valor de VAR para a dieta 4, mista de trigo, milho e farelo de soja, indicando interação entre essas fontes na degradação da fibra por enzimas endógenas. Por outro lado, valores levemente superiores de VAR em relação à VAP, encontrados em algumas dietas com baixa viscosidade como a 1, 2, 3 e 5, são decorrentes de efeito das enzimas endógenas sobre a solubilidade da fibra insolúvel e/ou de erro da análise.

A amplitude da variação da composição das dietas experimentais está dentro da variação das dietas utilizadas por Sibbald et al. (1980); Carré et al. (1984) e Carré (2002), exceto pelo menor limite inferior das variáveis de fibra utilizadas no presente trabalho, associado às dietas de baixa fibra de cada fonte de cereal. Também é importante salientar a baixa amplitude na variação do EE das dietas no presente trabalho em relação aos registros da literatura citados. Nos trabalhos de Sibbald et al. (1980); Carré et al. (1984) e Carré (2002) não foram medidas a FTD e a viscosidade, entretanto, Francesch et al. (2002), comparando os valores de EM aparente e verdadeira de dietas a base de milho, centeio, trigo, cevada e suas combinações, observou que o total de PNA, o teor de beta-glicanas e de arabinosilanas, a FDA e a viscosidade estão fortemente correlacionadas com a diferença entre os valores determinados com os dois métodos.

Considerando que os níveis de oferecimento de ração foram calculados com base nos valores calculados de EM, a diminuição do ganho de peso com o aumento no nível de fibra das dietas e a diferença entre as fontes utilizadas foi um primeiro indício de baixa correspondência dos valores calculados e reais de EM das dietas e/ou de diferenças na eficiência de utilização da EM dessas dietas pelos frangos. O alto coeficiente de variação no ganho de peso apesar da retirada da variância de efeitos importantes como o nível de consumo e o nível e fonte de fibra, reflete a variação individual de frangos híbridos comerciais para o aproveitamento de ingredientes fibrosos (Choct et al. 1999; Maisonnier et al., 2001b)

O aumento no trato gastrintestinal e seus segmentos tem sido relacionado com o consumo de dietas fibrosas por frangos (Jorgensen et al., 1996; Hetland & Svihus, 2001), ratos (Zhao et al., 1995) e suínos (Jorgensen et al., 1996b). De acordo com diversos autores (Lee et al., 1971; Leeson et al., 1991; Warner, 1981; Hetland & Svihus, 2001) tanto o aumento no volume do trato digestório quanto o aumento na taxa de passagem estão associados ao aumento no consumo de dietas com alta fibra, ou baixa concentração calórica. Os resultados obtidos no presente experimento confirmam essas indicações, com aumento linear da % de TGI com o aumento no nível de fibra, e ainda demonstram efeito da fonte de fibra sobre esse parâmetro (TABELA 3.2). Jorgensen et al. (1996a) também observaram aumento no consumo voluntário de alimento e no peso e comprimento relativo do intestino delgado e cecos de frangos com dietas de alta fibra preparadas a partir da diluição de uma dieta basal com subprodutos fibrosos de ervilha, de trigo e de aveia.

Por outro lado, as dietas que apresentaram maior viscosidade (trigo, triticale e cevada) resultaram em maior % de TGI. O efeito da viscosidade e do nível de fibra sobre o tamanho do trato digestivo de frangos já foi registrado por Hetland & Svihus (2001), que observaram maior aumento na proporção do TGI devido à diluição da dieta com casca de aveia com dietas de alta viscosidade do que o observado com as mesmas dietas após a adição de enzimas, quando a viscosidade diminuiu. Da mesma forma, Iji (1999), baseando-se no aumento do proventrículo, moela e intestino delgado de frangos pela adição à dieta de goma arábica, guar ou xantanas, afirma que o efeito da fibra sobre o tamanho e peso relativo do trato digestivo é maior com fibras mais viscosas (guar e xantanas), e que esse efeito está associado ao aumento da profundidade das criptas e no volume celular da mucosa (taxa proteína:DNA), especialmente no jejuno.

#### **3.4.2. Efeito da fibra sobre o balanço de energia e sobre o balanço e retenção de proteína**

A diminuição da digestibilidade da matéria seca com o aumento no nível de fibra independentemente da fonte cereal utilizada é reflexo da baixa digestibilidade das frações fibrosas para frangos, resultando em diluição da fração digestível. Por outro lado, o efeito quadrático demonstrou que o farelo de soja apresentou uma digestibilidade significativamente menor que os componentes cereais. A presença dos oligossacarídeos e da pectina na soja tem sido apontada por diversos autores como o motivo principal da menor digestibilidade desse ingrediente (Coon et al., 1990; Carré et al., 1990; Leske et

al., 1991; Leske & Coon, 1999; Parsons et al., 2000). Ao contrário do efeito dos PNAs de alta viscosidade dos grãos de cereais, que resultam em menor taxa de passagem da digesta e maior fermentação intestinal (Choct et al., 1996), o mecanismo do efeito da fibra da soja está associado a um aumento na taxa de passagem, resultando em menor tempo para digestão e absorção dos nutrientes e também uma menor fermentação da fibra insolúvel de baixa taxa de fermentação, o que tende a aumentar a excreção de matéria seca indigerida (Shires et al., 1987; Coon et al., 1990; Leske & Coon, 1999). Mesmo assim, segundo Carré et al. (1990), os oligossacarídeos da soja são fermentados mais extensivamente no trato gastrintestinal de aves que os PNA solúveis de cereais.

Por outro lado, através do balanço de energia metabolizável foram detectadas as diferenças entre as fontes cereais sobre a metabolizabilidade da energia, demonstrando também que as dietas com maior viscosidade (a base de trigo, triticale e cevada) apresentaram menor coeficiente que as de menor viscosidade (do grupo controle – milho, e a base de arroz), resultados que estão de acordo com as indicações de Choct & Annison (1992), Bedford & Classen (1993), Austin et al. (1999), Maisonnier et al. (2001a), Hetland & Svihus (2001) e Adrizal & Ohtani (2002a).

A eficiência média de predição e aditividade da EM calculada para os ingredientes pelas equações recomendadas pelo NRC (1994), baseadas na EB e nas variáveis do método de Weende, foi relativamente alta, explicando 72 % da variação nas dietas (FIGURA 3.2). Entretanto, quando se observa a eficiência da predição agrupando-se as dietas quanto ao nível e a fonte de



fibra, observa-se que o erro aumenta nas dietas de alta viscosidade e/ou alto nível de fibra, ou quando a fibra da soja está ausente.

Estas diferenças confirmam o discutido anteriormente quanto aos efeitos das fontes e nível de fibra sobre a metabolizabilidade da energia, demonstrando que estes não são corretamente mensurados pelas medidas tradicionais da composição dos alimentos utilizadas para aves. Com indicações semelhantes, Nagata et al. (2004) observaram muito baixa eficiência de predição da EMAn de ingredientes energéticos para frangos pelas equações sugeridas pelas tabelas européias de valor energético de alimentos para aves (Jensen, 1989, citado por Nagata et al., 2004), baseadas em PB, EE e extrativo não nitrogenado (ENN), e por Rodrigues et al. (2001), baseadas em cinzas, amido, PB e FDN ou FB.

A diminuição do coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta com o aumento no nível de fibra está de acordo com os resultados de Jorgensen et al. (1996a), nos quais esse efeito foi observado independentemente da fonte (ervilha, trigo e aveia). Por outro lado, Hadorn & Wenk (1996) observaram diminuição da digestibilidade aparente da proteína bruta por frangos com a diluição de uma dieta basal com 20 % de casca de soja, mas quando a diluição na mesma proporção foi com amido ou casca de milho o efeito foi inverso. Considerando que os resultados de Jorgensen et al. (1996a), Hadorn & Wenk (1996) e os do presente experimento tratam da digestibilidade aparente, é razoável supor influência da perda endógena nos coeficientes obtidos, uma vez que essa perda depende do nível (Zander et al.,

1986) e do tipo de fibra (Parsons et al., 1984), bem como do nível de proteína na dieta (Angkanaporn et al., 1997; Warpechowski et al., 2002b).

Por outro lado, o efeito quadrático negativo do nível de fibra observada na análise do coeficiente de retenção da proteína realizada com os dados dos níveis médio e alto de consumo de energia, demonstra também um possível efeito metabólico sobre a excreção de nitrogênio, provavelmente associado ao diferente nível de consumo de EM e de proteína digestível entre dietas, além do efeito da fibra propriamente dito. De qualquer forma, efeito negativo do nível de fibra sobre a retenção de N também foi observado por Jorgensen et al. (1996a) e Hadorn & Wenk (1996), sendo que estes últimos autores observaram também diferença entre o efeito da casca da soja (negativo) e da casca de milho (tendência de efeito positivo), similarmente ao que havia sido obtido com o coeficiente de digestibilidade aparente.

Hadorn & Wenk (1996) também observaram que o balanço superestimou a retenção de nitrogênio, com diferenças que variaram de em torno de 14,5 % a mais com as dietas diluídas com fibra até em torno de 24,5 % com as dietas controle e diluída com amido. Estes dados estão de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, em que a diferença aumentou linearmente com o aumento nos coeficientes (FIGURA 3.1). De acordo com Quiniou et al. (1995) e Kessler et al. (2003), a diferença entre a retenção e o balanço de proteína para suínos é decorrente da perda de nitrogênio na colheita de fezes e urina nos experimentos de balanço, enquanto na avaliação da retenção corporal por abate comparativo as perdas de N devidas à perda de pelos e descamação da pele é menor. Em aves, devido à troca de penas, essa

perda em abate comparativo pode ser ampliada dependendo da idade e época do ano. Kessler et al. (2003), desenvolvendo equações de predição da retenção da proteína a partir do balanço e de variáveis associadas ao consumo e à concentração de proteína na dieta, fezes e urina de leitões, observou que o consumo de EM foi a variável preditora mais importante. No presente trabalho, houve efeito do nível de fibra sobre a retenção e balanço de proteína, sendo que o consumo de energia também variou com o nível de fibra (TABELAS 3.3 e 3.4). Dessa forma o efeito da fibra e do consumo de energia podem estar confundidos, como parece demonstrar a diferença muito maior entre o CDPB e o CRPB para as aves sob o consumo de manutenção. Além disso, devido aos valores muito baixos de ingestão, excreção e retenção de proteína das aves neste nível de consumo de energia, os erros de análise e as perdas de N decorrentes da colheita de excreta tendem a ser proporcionalmente maiores.

#### **3.4.3. Efeito da fibra sobre a retenção da energia metabolizável e a energia de manutenção**

O erro no valor de EM das dietas acumulado por duas semanas causou uma grande variação no consumo médio expresso em relação ao peso metabólico, com valores em média mais altos do que o planejado para as aves sob o nível médio de consumo e mais baixos para as aves sob os níveis de manutenção e alto de consumo de energia (257, 142 e 328 kcal/kg PM, respectivamente). Exceção para a dieta 10, com casca de cevada, em que todos os níveis de consumo foram mais baixos do que o planejado (TABELA 3.4).

A diminuição da retenção de energia com o aumento no nível de fibra está de acordo com os resultados obtidos por Hadorn & Wenk (1996) e Jorgensen et al. (1996). Por outro lado, embora a menor retenção de energia total e como proteína e gordura para as dietas a base de cevada, trigo e triticale possa ser atribuída ao menor consumo de energia e à maior viscosidade dessas dietas, o mesmo efeito com as dietas a base de arroz não pode ser explicado da mesma forma. Adrizal & Ohtani (2002b) observaram que a adição de xilanases não melhorou a digestibilidade da proteína e da gordura, e nem elevou o valor de EM de dietas para frangos a base de arroz. Esses resultados discordam de trabalhos que mostram que o efeito deletério da fibra dos cereais é decorrente de sua viscosidade (Choct & Annison, 1992; Bedford & Classen, 1993; Austin et al., 1999; Choct & Hughes, 2000), e indicam que o efeito da fibra de arroz pode ocorrer através de mecanismos diferentes. Adrizal & Ohtani (2002a) observaram que, embora o efeito de adição de enzimas não fosse efetivo, a adição de sais biliares à dieta à base de farelo de arroz aumentou a digestibilidade da gordura para frangos.

Em adição ao efeito negativo sobre a EM, a diminuição linear do  $K_0$  com o nível de fibra demonstrou ainda um efeito linear da fibra sobre o incremento calórico (TABELA 3.5). Isto está de acordo com as indicações de Sarmiento-Franco et al. (2000), testando dois ingredientes fibrosos com galos, que observaram tendência a maior incremento calórico com o ingrediente com maior nível de fibra, e com as observações de Jorgensen et al. (1996), que observaram maior produção de calor com a inclusão de fibra de ervilha, de trigo ou de aveia na dieta de frangos em crescimento. Por outro lado, a taxa de

retenção da EM consumida foi menor com o alto nível de fibra de ervilha, mas não foi detectada diferença entre a dieta controle e as com inclusão de fibra de trigo e de aveia. Hadorn & Wenk (1996) registraram valores de  $K_0$  de 0,712, 0,654, 0,726 e 0,696 respectivamente para uma dieta basal e essa dieta diluída com casca de soja, casca de milho e com amido; entretanto, não foi detectada diferença significativa entre estes valores, embora as diferenças na retenção de energia confirmassem o efeito das dietas sobre a eficiência de uso da EM dessas dietas.

A diminuição no valor estimado de ELM com o aumento no nível de fibra não foi coerente com o aumento proporcional de peso do trato gastrointestinal, que, segundo Tess et al. (1984) e Jorgensen et al. (1996), deve causar aumento no custo de energético de manutenção. Por outro lado, os valores estimados podem ter sido influenciados pelo nível de consumo de energia, como mostra a análise complementar comparando os valores médios obtidos de acordo com os níveis utilizados na regressão (TABELA 3.6). Por outro lado, o custo de manutenção pode ser alterado como efeito de um longo período de restrição alimentar, como mostra o trabalho de MacLeod et al. (1993), que obteve coeficientes de produção basal de calor menores quanto menor o nível de alimentação de matrizes de corte. Se isso está correto, o efeito verificado do nível de fibra pode ter sido causado indiretamente pela diferença de consumo de energia das aves que receberam as dietas com baixa, média e alta fibra, uma vez que a diferença entre os valores de EM calculados e medidos aumentou com o nível de fibra (FIGURA 3.2 e TABELAS 3.1 e 3.3). Entretanto, a restrição alimentar normalmente resulta em menor

proporção de gordura na carcaça (Boekholt et al., 1994; Warpechowski et al., 1999), o que deveria aumentar a PCJ devido à menor eficiência energética da utilização da proteína que da gordura (MacLeod, 1997; Musharaf & Latshaw, 1999) ou porque a produção de calor basal é uma função da massa de tecido magro (Tess et al., 1984).

Por outro lado, a maior dificuldade na determinação do metabolismo basal com animais por calorimetria é a interferência da atividade física (Blaxter, 1989), e essa afirmativa pode ser verdadeira também para experimentos de abate comparativo. Além das diferenças individuais, podemos inferir diferenças na atividade física dos animais devidas às condições impostas pelo próprio desenho experimental. Trabalhos como os de LI et al. (1991) e Koh & MacLeod (1990a, 1990b), demonstram que a atividade física ligada ao consumo é uma fração muito importante do custo energético total de aves alojadas em gaiolas. Se considerarmos que a maior atividade física ligada ao consumo de alimento diminui (desvia para a atividade) a energia disponível para retenção de forma proporcional ao aumento no consumo, a inclinação da curva de regressão ( $K$ ) diminui, trazendo o intercepto ( $-ELm$ ) mais próximo de zero. Se, baseando-se nas observações de Zhang et al. (1994) para grãos de cevada, considerarmos uma provável diminuição da densidade da dieta com o aumento no nível de fibra insolúvel (não mensurado), um possível maior custo energético ligado à atividade de ingestão das dietas com maior nível de fibra causaria diminuição na inclinação das curvas ( $K_0$ ), resultando em menores estimativas de  $ELm$ .

Outros trabalhos com abate comparativo têm demonstrado efeitos controversos do nível energético da dieta sobre as estimativas de  $ELm$  e  $EMm$ .

Leczneski (1997), trabalhando com frangos de corte sob 8 níveis de consumo de energia, variando da manutenção ao consumo à vontade, obtiveram valores de ELM de 110,9 e 68,4 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia e K<sub>0</sub> de 0,711 e 0,552 respectivamente para dietas a base de milho, farelo de soja e óleo com baixo (2800 kcal/kg) e alto nível energético (3200 kcal/kg). Efeito inverso foi obtido por Brugalli (2001), trabalhando com frangos sob 7 níveis de oferecimento de energia (57 a 108 % do nível recomendado para a linhagem), que observou menores valores de ELM com a suplementação de uma dieta basal com amido (106,5 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia) que com amido+óleo (112,5 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia), enquanto a EMm não foi afetada por essas fontes (137 kcal/kg<sup>0,75</sup>/dia). Por outro lado, quando a EMm é estimada a partir de valores fixos de ELM e os valores obtidos de K<sub>0</sub> para cada dieta, como no trabalho de Hadorn & Wenk (1996), a EMm varia proporcionalmente ao K<sub>0</sub>, embora não se tenha a estimativa de efeitos sobre o metabolismo basal.

A diferença na EMm entre níveis de fibra no presente experimento não foi significativa (P = 0,18) e não houve efeito também da fonte de fibra (P = 0,88), o que não está de acordo com as diferenças observadas de K<sub>0</sub> e ELM, e que pode ser parcialmente explicado pela alta colinearidade entre essas variáveis, como demonstrado pelos dados apresentados na TABELA 3.6.

O melhor expoente encontrado para o peso metabólico, de 0,77, está dentro da amplitude registrada na literatura consultada para expoentes do PM de frangos machos em crescimento, que variam de 0,60 (Van Milgen et al., 2001b) a 0,87 (Kuenzel & Kuenzel, 1977). De acordo com Rogers et al. (1991), não é apropriada a utilização do peso vivo elevado a uma potência para

expressar variáveis fisiológicas sem a devida justificativa estatística. No presente trabalho a utilização dessa metodologia é justificada pela significância estatística da relação da energia de manutenção como função do peso metabólico ( $R^2 = 0,93$ ,  $P < 0,01$ ) e pela necessidade de ajuste das variáveis analisadas devido à variação no peso médio, resultante dos diferentes consumos de energia. Dada a não diferença do expoente obtido em relação ao expoente 0,75 preconizado para um peso metabólico inter-espécies por Kleiber (1961, citado por Kleiber, 1972), esse expoente foi adotado para permitir comparação com resultados da literatura e do experimento seguinte (Capítulo 4).

#### **3.4.4. Predição da energia disponível através da composição química e propriedades físico-químicas da fibra das dietas**

A forte correlação positiva observada entre a EM e a EL (TABELA 3.7) está de acordo com o efeito do consumo de EM sobre a energia retida pelas aves no presente experimento, conforme discutido anteriormente, e também está de acordo com a escolha de modelos de predição da EL baseados na EM e nos componentes digestíveis da dieta registrada na literatura (De Groote, 1974, citado por Pirgozliev & Rose, 1999 e por MacLeod, 2002; Emmans, 1994; Carré et al.; 2002).

A correlação da EM com a EB foi semelhante ao obtido por Carré et al. (1984), entretanto, ao contrario dos dados do presente trabalho, esses autores obtiveram correlação mais forte da EM com o EE que com o amido, e não observaram correlação da EM com a PB. Os valores de EE da dietas



experimentais foram praticamente constantes (TABELA 3.1), de forma que a aditividade dos componentes na dieta podem explicar essa discordância. Por outro lado, a correlação negativa da EM com as medidas da fração fibrosa foi bem mais intensa do que o obtido por Carré et al. (1984) o que pode ser explicado pelo planejamento das dietas no presente experimento para alcançar uma grande variação no nível, composição e propriedades físico-químicas da fibra. A correlação da EM com a FTD foi semelhante ao observado com a PCIA, e não foram encontrados registros na literatura sobre este aspecto.

Embora as indicações de Carré et al. (1994) e Maisonnier et al. (2001) de que os efeitos deletérios da viscosidade são importantes a partir de valores de VAR = 2 ml/g, não foram encontrados registros de sua correlação com a EM ou equações de predição usando medidas de viscosidade como variáveis preditoras. Utilizando os dados publicados por Francesch et al. (2002, foi calculada a correlação entre os valores da EMAn e da VAR registrados por estes autores para 12 dietas a base de milho, trigo, cevada, centeio e suas combinações, resultando em  $r = -0,57$ , valor mais alto do que o observado no presente experimento, mas semelhante ao observado com a medida VAP. A maior correlação da EM com a VAP que com a VAR é oportuna, uma vez que a medida VAP é considerada uma medida aditiva da viscosidade (Carré et al. 1994; Maisonnier et al., 2001).

A similaridade das correlações entre a EL e as variáveis medidas, em relação ao obtido com a EM está de acordo com a alta correlação das duas medidas de energia, e as leves diferenças também estão de acordo com uma maior dependência da EL da digestibilidade das frações preditoras.

#### **3.4.4.1. Equações de predição da energia metabolizável aparente**

Provavelmente devido à baixa variação no EE das dietas, esta variável não estava presente em nenhuma das equações obtidas com  $R^2 = 0,85$  (TABELA 3.8). A presença da PB com coeficiente positivo na maioria das equações, assim como a presença de uma medida de fibra com coeficiente negativo, estão de acordo com as equações obtidas por Sibbald et al.(1980) e Carré et al. (1984). A presença de EB confirma as considerações de Bourdillon et al. (1990a, 1990b), de que a EB é uma medida importante na predição da EM, especialmente pela sua alta reprodutibilidade.

Considerando as equações com uma medida de fibra mais EB e PB, as melhores medidas de fibra foram, em ordem decrescente do  $R^2$ , a PCIA (M9), a FTD (M11), a FDN (M5) e a FDA (M7), sendo que essa combinação com a FB resultou em  $R^2 < 0,85$ . Sibbald (1980), testando as variáveis do método de Weende e utilizando mais de 400 dietas práticas, obteve equações de predição da EMV com  $R^2$  de no máximo 0,78, com a combinação de EE, FB e cinzas. Isto está de acordo com as afirmações de Carré et al. (1984) e Carré (1993) sobre a maior eficiência da PCIA para a predição da fibra insolúvel (e indigestível) da dieta para aves, e demonstra também uma similaridade desta medida com a FTD, o que ainda não havia sido testado.

Por outro lado, foi observado que as medidas de propriedades físico-químicas da fibra testadas, VAP e CHPCIA, foram muitas vezes um quarto termo que aumentou a precisão de equações com três termos, como para as equações M9 e M10 (PCIA e CHPCIA), M11 e M13 (FTD e CHPCIA), e M7 e

M8 (FDA e VAP). Além disso, a presença do termo VAP tornou a combinação EB, PB e FB a de melhor  $R^2$  (M2), e a complementação com a CHPCIA eliminou a necessidade do termo EB (M4). Ainda com a combinação FB e VAP, salienta-se a boa precisão das equações M1 (com EB) e M3 (com cinzas).

A visível complementaridade das variáveis de fibra e de propriedades físico-químicas, ou seja, a combinação de uma medida da quantidade de fibra com uma medida de sua atividade é fisiologicamente coerente, tendo em vista a relação dos efeitos antinutricionais da fibra com sua fonte, estrutura macromolecular e atividade *in vitro*, conforme os resultados e afirmações de diversos autores (Van Soest et al., 1991; Carré, 1993; Bedford & Classen, 1993; Annison et al., 1993; Ferreira, 1994; Annison & Choct, 1994; Austin et al., 1999; Bach Knudsen, 2001; Maisonnier et al., 2001a).

Austin et al. (1999) já haviam demonstrado que a variação na EMA de grãos de trigo sob longos períodos de armazenamento é explicada por três componentes principais relacionados com: a proporção de arabinoxilanas resistentes à hidrólise pelas xilanases endógenas; a capacidade das cadeias hidrolizadas em ramificar pentoses; e o teor total de PNA nos grãos. De acordo com Annison & Choct (1994), a viscosidade e a capacidade de hidratação das cadeias de polissacarídeos estão altamente relacionadas com o tamanho das cadeias e a sua ramificação, que são respectivamente representadas pelo primeiro e o segundo termo da análise realizada por Austin et al. (1999).

Esses resultados podem explicar a correlação positiva do teor de PCIA com o erro padrão da equação de predição da EMAn baseada na EB, a PB e a PCIA, obtida por Carré et al. (1984), correlação que foi eliminada pela

adição de um expoente (1,5) para a medida da fibra. Os autores consideraram que a necessidade do expoente para a PCIA, além de demonstrar uma relação não linear dessa fração com a disponibilidade da energia, poderia indicar a presença de um fator antinutricional associado a esta fração que não foi quantificado pela simples determinação do teor de fibra no alimento. As equações M9 e M10 demonstram que a utilização da CHPCIA pode eliminar a relação não linear da fibra com a energia observada por Carré et al. (1984) e é uma equação de fácil implementação prática, uma vez que a CHPCIA pode ser obtida como método sequencial da determinação da PCIA (Carré et al., 1994). As medidas VAP e VAR (Carré et al., 1994) foram desenvolvidas com o objetivo de complementar a medida de PCIA (Carré & Brillhouet, 1989), estimando ao mesmo tempo a quantidade e a atividade dos PNA solúveis. Entretanto, ao menos com a medida VAP, a combinação dessas variáveis não resultou em boa predição da EM ( $R^2 < 0,85$ ), como foi observado com a CHPCIA. Isso se repetiu com as variáveis FDN e FTD, esta última com uma combinação com a VAP resultando em um  $R^2 = 0,86$  (M12). Por outro lado a VAP se mostrou um ótimo complemento de medidas de frações de menor digestibilidade, como a FB e a FDA, que são medidas comumente realizadas nos laboratórios brasileiros.

A equação M15, utilizando EB, PB e amido, é equivalente à equação M11, contendo EB, PB e FTD, considerando os valores praticamente fixos de EE das dietas e a aditividade dos termos, tendo a M11 se apresentado levemente superior em precisão e exatidão.

#### 3.4.4.2. Equações de predição da energia líquida

Embora o  $R^2$  da melhor equação de predição da EL (0,95, equação L6) tenha sido levemente superior ao da melhor equação obtida para a predição da EM (0,94, M2), em geral a percentagem da variação explicada pelas equações de predição da EM (TABELA 3.8) obtidas com a mesma combinação de variáveis foram levemente superiores à observada com as equações para a EL (TABELA 3.9).

Além disso, as equações baseadas na combinação de EB, FB, VAP e CHPCIA estão entre as três melhores para os dois sistemas (M2 e M4, TABELA 3.8; L6 e L4, TABELA 3.9). Por outro lado, as variáveis EE e hemicelulose, que não haviam sido utilizadas nas equações para a EM, apareceram em equações de predição da EL com  $R^2 = 0,85$ , enquanto as variáveis FDN e FDA não foram utilizadas nas equações com essa faixa de precisão.

A similaridade entre as combinações de equações para a predição da EM e da EL está de acordo com o observado por Carré et al. (2002), de que as equações do sistema de EL não incluíam nenhuma nova variável para a predição da deposição protéica e da eficiência de conversão alimentar, o que indicaria que o sistema de EM seria equivalente ao de EL na predição o desempenho. Entretanto, isto não está de acordo com o obtido por Pirgozliev et al. (1999), que observaram variações na retenção e desempenho de aves consumindo diversas variedades de trigo que foram explicadas pela variação na EL mas não foram detectadas pela variação na EM.

As equações de predição da EL disponíveis na literatura revisada não incluem variáveis da quantidade de fibra (De Groot, 1974, citado por Pirgozliev & Rose, 1999; Emmans, 1994; Carré et al., 2002), e no presente experimento, mesmo as duas equações obtidas que não continham medidas da quantidade de fibra, a L13 e a L14, contiveram a medida de viscosidade. A viscosidade e a capacidade de hidratação, assim como outras propriedades físico-químicas, podem variar entre alimentos com o mesmo nível de fibra, e estão relacionadas com a composição e estrutura macromolecular da fibra, variando portanto, com sua fonte, além de outros fatores (Annison & Choct, 1994; Austin et al., 1999). Sendo assim, pode-se inferir que a viscosidade e a capacidade de hidratação sejam medidas que expliquem as diferenças de retenção de energia entre fontes de fibra, conforme observado no presente trabalho e suportado pela literatura (Jorgensen et al., 1996; Hadorn & Wenk, 1996), e entre variedades de um mesmo grão (Pirgozliev et al., 1999).

A predição direta do  $K_0$  se mostrou menos eficiente que a predição da EL. Além disso, a diferença FTD – PCIA, embora esteja teoricamente relacionada com o teor de fibra solúvel, não é uma forma adequada de estimar essa fração, visto que se tratam de métodos com objetivos diferentes. Por outro lado, esses resultados podem indicar que a medição da fração solúvel seja importante na predição da EL e da taxa EL/EM, o que está de acordo com os registros na literatura sobre os efeitos deletérios da fibra solúvel de cereais (Annison & Choct, 1994, Miller et al., 1994; Austin et al., 1999, Pirgozliev et al., 1999) e da soja (Leske & Coon, 1999; Irish & Balnave, 1993)

#### **3.4.4.3. Predição do desempenho e da retenção corporal**

MacLeod (2000) descreve que Fisher & Wilson (1974, citados por MacLeod, 2000) observaram em experimento de desempenho que dos 39 % da variação no crescimento de frangos de 0-28 dias que não era explicada pela EM, 18 % podia ser explicada pelo cálculo dos valores dietéticos de EL utilizando as equações de De Groote (1974, citado por MacLeod, 2000). Além disso, a variação não explicada na conversão alimentar diminuiu de 27 para 8 %. Também Pirgozliev et al. (1999) observaram que a EL explicava variações na conversão alimentar e na retenção corporal que não eram detectadas pela variação na EM de diferentes variedades de trigo. A correlação comparativamente mais estreita da EL que da EM com o crescimento e deposição tecidual é explicável, uma vez que a EM é uma medida da energia que não foi perdida na excreta das aves, seja de origem alimentar fecal (digestibilidade) ou urinária (metabolizabilidade), enquanto a EL é uma medida da energia disponível para o crescimento, produção e manutenção das funções vitais (Sibbald, 1982).

Embora com menor magnitude do que o esperado pelas indicações da literatura, os resultados obtidos no presente experimento confirmam uma maior correlação da EL que da EM com as variáveis de crescimento e deposição corporal de energia, proteína e gordura. Por outro lado, a maior correlação obtida da conversão alimentar com a EM do que com a EL, que não está de acordo com a literatura citada (Sibbald, 1982; Pirgozliev et al., 1999; MacLeod, 2000), pode ter sido consequência das condições experimentais, com as aves recebendo quantidades restritas de alimento e com uma grande

variação na concentração de fibra nas dietas, o que aumenta a proporção da variação na CA devida à variação na digestibilidade propriamente dita.

As equações desenvolvidas para a predição da EM e da EL no presente trabalho, contendo as medidas de propriedades físico-químicas de VAP e CH da fibra, se baseiam em indicações de aditividade dessas variáveis (Carré et al., 1994; Warpechowski & Ciocca, 1997; Maisonnier et al., 2001), mas é recomendável a avaliação dessa aditividade e da validade das equações obtidas utilizando dietas práticas e nas condições de laboratório e de campo brasileiras.

### **3.5. Conclusões**

Os resultados do presente trabalho confirmam o efeito deletério da fibra da dieta sobre a disponibilidade da energia para o crescimento de frangos de corte, bem como as diferenças entre fontes de fibra no efeito sobre essas variáveis.

Com o aumento do nível de fibra na dieta, o ganho de peso, a retenção corporal de energia, proteína e gordura, a concentração de EM e EL da dieta e a relação EL/EM diminuem linearmente, enquanto que a percentagem de trato digestivo e a conversão alimentar aumentam linearmente;

Em comparação com dietas baseadas em milho, as dietas baseadas em cevada, trigo e tritcale resultam em pior desempenho e menor retenção proporcional de energia, proteína e gordura, enquanto que as dietas a base de arroz resultam em valores intermediários entre esses dois grupos;



As medidas do teor de fibra são úteis para prever os efeitos do nível de fibra, enquanto que as medidas de propriedades físico-químicas podem explicar as variações entre fontes que são independentes do nível de fibra;

As medidas da quantidade de fibra que melhor explicam esses efeitos são a PCIA e a FTD, mas a combinação de medidas da quantidade de fibra com as propriedades físico-químicas de VAP e CHPCIA permitem o uso de medidas como a FB e a FDA com eficiência similar ou superior.

A partir da comparação dos valores preditos pelas melhores equações obtidas em cada sistema, é possível concluir que as variáveis de ganho de peso e retenção corporal estão mais relacionadas com o teor de EL da dieta, enquanto que a conversão alimentar de dietas com grande variação no nível de fibra pode estar mais relacionada com a concentração de EM.

Sugere-se a validação da aditividade das variáveis VAP e CHPCIA através de ensaios de laboratório e a validação e calibração das equações de predição obtidas através de ensaios laboratoriais de desempenho e em ensaios de campo utilizando dietas práticas comerciais.

## **4. EXPERIMENTO 2: UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E PRODUÇÃO DE CALOR POR FRANGOS DE CORTE SOB DIETA COM ALTO NÍVEL DE FIBRA**

### **4.1. Introdução**

A fibra apresenta efeitos deletérios bem conhecidos sobre a energia metabolizável de dietas para frangos (Carré et al. 1984; Ferreira, 1994; Annison & Choct, 1994) e suínos (Noblet & Le Goff, 2001). Além disso, existem trabalhos que indicam efeito do nível e da fonte de fibra sobre a retenção de energia metabolizável e a produção de calor em aves (Jorgensen et al., 1996a; Hadorn & Wenk, 1996; Sarmiento-Franco et al., 2000).

Em suínos, o aumento no efeito térmico do alimento (ETA) com o aumento de certos tipos de fibra na dieta, parece ser devido especialmente no ETA de longo prazo (ETA<sub>lp</sub>), efeito provavelmente associado ao aumento da fermentação microbiana no intestino grosso (Le Goff et al., 2002a; 2002b). Devido a isso, os efeitos da fibra sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável de dietas para suínos é diferente para animais em crescimento e animais adultos (Noblet & Le Goff, 2001).

Estudos recentes com abate comparativo (Carré et al. 2002) e calorimetria indireta (Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004), têm indicado que as diferenças de eficiência de utilização metabólica da energia para os grandes grupos de nutrientes (amido, gorduras e proteínas) é menor para aves do que o esperado pela diferença obtida com suínos (Van Milgen et al., 2001a).

Por outro lado, a utilização de equipamentos e sistemas de modelagem desenvolvidos para descrever a partição da produção de calor com suínos (Van Milgen et al., 1997) tem se mostrado satisfatória para frangos de corte (Van Milgen et al., 2001b; Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004). Entretanto, alguns termos obtidos com suínos alojados individualmente, como a partição do ETA nos efeitos de curto e longo prazo, não puderam ser determinados nesses experimentos, com frangos em grupo alimentados à vontade. Além disso, o período de jejum utilizado nesses trabalhos para a determinação da produção de calor de jejum (PCJ) têm sido o mesmo que o utilizado com suínos (24h), apesar do menor tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal dessas aves (Laplace, 1972; Warner, 1981) e da alta taxa metabólica de frangos de corte de linhagens selecionadas para alta taxa de crescimento.

O objetivo principal do presente trabalho foi estudar o efeito do consumo de dieta com alta fibra sobre a produção de calor e a utilização da energia metabolizável em frangos de corte. Os objetivos secundários foram a avaliação de um sistema de tempos programados de alimentação em grupo desenvolvido para permitir a determinação dos parâmetros de curto e longo prazo do efeito térmico do alimento, e testar a utilização de um tempo mais curto de jejum na determinação da produção de calor basal através de modelagem.

## **4.2. Material e métodos**

O experimento foi realizado na *Station de Recherche Porcine* (SRP-UMRVP-INRA), em Saint Gilles, França. Parte das análises laboratoriais foi realizada no laboratório de nutrição da *Station de Recherche Avicole* (SRA-INRA) em Nouzilly, França.

### **4.2.1. Dietas e animais**

A composição e as características físico-químicas das dietas experimentais são apresentadas na TABELA 4.1.

A dieta 1 (nível normal de fibra) foi baseada em farelo de soja, milho e trigo, formulada para níveis e relações adequadas de energia e aminoácidos limitantes (NRC, 1994). A dieta 2 (alta fibra) foi preparada pela diluição da primeira com uma mistura de casca de soja, farelo de milho e farelo de trigo. Os níveis de aminoácidos limitantes da dieta 2 foram ajustados para o valor estimado de energia metabolizável da dieta e considerando uma completa compensação no consumo de alimento (+17%), para um consumo de energia constante e para um mesmo consumo de todos os nutrientes (proteína, aminoácidos, amido, açúcares, vitaminas e minerais), exceto fibra. As duas dietas foram preparadas com ingredientes finamente moídos (duas vezes para os ingredientes fibrosos), de forma a evitar o efeito do tamanho de partícula, e foram oferecidas como pelets de 3 mm. Os valores da composição nutricional dos ingredientes para a formulação das dietas experimentais foram obtidos das tabelas francesas de composição nutricional de alimentos para animais (Sauvant et al., 2002)

Seis grupos de quarenta frangos machos da linhagem Ross foram obtidos de granjas comerciais com aproximadamente 10 dias de idade. Cada grupo foi dividido em dois subgrupos com peso vivo (PV) similar que foram alojados em gaiolas coletivas em sala com temperatura e umidade controladas. As aves foram mantidas sob 16h/dia de luz artificial e a temperatura foi programada para 28, 26, 24 e 22 °C, respectivamente para a primeira até a quarta semana experimental (aproximadamente da segunda à quinta semana de idade das aves). Os comedouros foram equipados com um sistema de abertura e fechamento automático conectado a um relógio programado para abrir os comedouros em quatro períodos diários de 35 min. A água foi oferecida à vontade. A FIGURA 4.1 mostra a programação diária de iluminação e alimentação. Durante o período pré-experimental todos os frangos receberam uma mistura de 1:1 das duas dietas experimentais e foram adaptados ao sistema de iluminação e arraçãoamento por tempo restrito. Cada sub-grupo de cada grupo foi designado para receber uma das dietas experimentais, iniciando uma semana antes do período de medição.

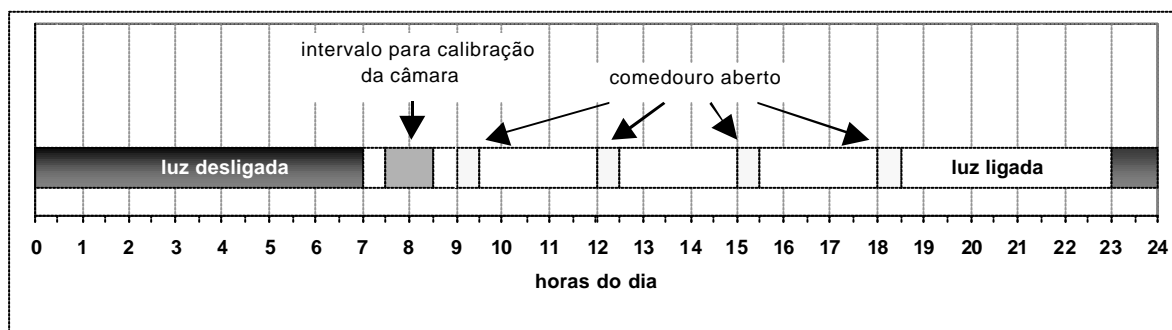


FIGURA 4.1. Programa diário de iluminação e arraçãoamento durante o período de medição. O mesmo manejo de luz e de alimentação foi utilizado no período de adaptação

#### **4.2.2. Equipamentos, medidas e análise laboratorial**

Como havia uma única câmara respiratória disponível, as medidas foram realizadas com frangos de 4 (primeiro subgrupo) ou 5 semanas de idade (segundo subgrupo). A distribuição dos subgrupos para as dietas experimentais foi feita de modo a se obter 3 repetições/idade/dieta, totalizando doze períodos de balanço.

A câmara respiratória de circuito aberto tinha aproximadamente 2 m<sup>3</sup> e foi equipada com uma gaiola metabólica de 100 cm de comprimento por 60 cm de largura, para determinação simultânea da metabolizabilidade da dieta e do balanço de energia. A gaiola metabólica foi montada sobre sensores de força (Tipo 9104A; Kistler, Winterthur, Suíça), que produziam um sinal eletrônico considerado proporcional à atividade física dos animais. O comedouro e o reservatório de água foram colocados sobre células eletrônicas de leitura de peso, o que permitiu a determinação do tempo de ingestão e a quantidade de alimento ingerido durante os períodos em que o comedouro permanecia aberto, bem como do consumo de água. A temperatura na câmara respiratória foi mantida em 24 (frangos de 4 semanas de idade) ou 22°C (frangos de 5 semanas de idade), e a umidade relativa foi programada para 70%. Os cuidados e o uso dos animais foram realizados de acordo com o Certificado de Autorização para Experimentação com Animais Vivos (No. 04739, outorgado a Jean Noblet pelo Ministro da Agricultura da França).

Durante os períodos de balanço e de medição da produção de calor no estado alimentado, o programa de luz e de arraçoamento foi o mesmo do adotado no período pré-experimental, com quatro refeições diárias (FIGURA 4.1). Para cada um dos doze períodos de medição, os frangos do grupo selecionado foram pesados no início da manhã e uma amostra de 8 (quatro semanas) ou 6 frangos (cinco semanas de idade) com peso vivo semelhante foram escolhidos e mantidos na câmara respiratória por seis dias. Na manhã do sétimo dia as aves foram pesadas e mantidas na câmara sem acesso à alimentação por mais sete horas para a medição da produção de calor e da atividade física em estado de jejum.

As perdas de  $N_2$  (como amônia) no ar da câmara respiratória foram recuperadas ou na água condensada no sistema de ar condicionado ou como amônia fixada por refluxo de uma alíquota do ar de saída da câmara em uma solução de ácido sulfúrico (Noblet et al., 1993). Amostras de alimento foram colhidas e congeladas no momento de preencher o comedouro (uma vez ao dia) e o total acumulado no período de medição foi analisado para matéria seca. As amostras de cada dieta foram misturadas no final do experimento. As excretas acumuladas nos seis dias de medição foram recolhidas, pesadas, homogeneizadas, sub-amostradas e analisadas para matéria seca. Uma amostra foi liofilizada para as análises subseqüentes.

As dietas e excretas foram analisadas para matéria seca, cinzas, proteína bruta ( $N \times 6,25$ ; método de Dumas), extrato etéreo e fibra bruta, conforme o AOAC (1990), além de fibra em detergente neutro (Van Soest et al., 1991), fibra em detergente ácido e lignina (Van Soest & Wine, 1967), fibra total

da dieta (TDF) (Prosky et al., 1984), parede celular insolúvel (Carré & Brillouet, 1989), amido polarimétrico (CCE, 1999), viscosidade aplicada potencial (VAP) e real (VAR) (Carré et al., 1994). O diâmetro geométrico médio (DGM) das partículas das dietas fareladas antes da peletização foi determinado conforme descrito por Zanotto & Bellaver (1996). As análises das amostras de alimento foram realizadas em triplicata, com exceção do DGM (duplicata) e das medidas FTD, VAP e VAR (uma determinação). Todas as análises na excreta foram realizadas em duplicata, com exceção da FTD (uma determinação).

A concentração de  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CH_4$  foi medida continuamente na câmara respiratória. O  $O_2$  foi medido com um analisador paramagnético (Oxymat 6; Siemens, Hamburg, Alemanha), enquanto  $CO_2$  e  $CH_4$  foram medidos com dois analisadores de absorção infravermelha (Unor 6N; Maihak AG, Hamburg, Alemanha).

O sinal dos sensores de força e o peso do comedouro e do reservatório de água foram medidos 50-60 vezes por segundo. Quando o peso de cada objeto foi detectado como instável, os tempos correspondentes de início e fim do período de instabilidade, bem como a alteração de peso correspondente, foram registrados.

As medidas de concentração de gás, o sinal dos sensores de força e o peso do reservatório de água e comedouro foram concatenados (média) a cada 10 segundos e estocados em um microcomputador para análise posterior. O objetivo das medidas simultâneas foi relacionar as variações instantâneas na concentração de  $CO_2$  e  $O_2$  com a atividade física dos frangos e os eventos de alimentação na câmara.



#### **4.2.3. Medidas da morfologia gastrintestinal**

O efeito da dieta no peso e comprimento de segmentos do trato digestivo foi avaliado utilizando 20 frangos provenientes do último grupo. Os frangos foram pesados e separados ao acaso em dois subgrupos, cada um designado para receber uma das dietas experimentais. Da mesma forma que os outros animais experimentais, esses frangos foram mantidos no mesmo sistema de luz e alimentação por três semanas, recebendo a dieta experimental designada nas duas últimas semanas, e então foram pesados e sacrificados por deslocamento cervical. Para a medição do comprimento e peso, a moela e os intestinos foram cuidadosamente limpos do conteúdo e de qualquer tecido adiposo e conjuntivo aderidos. A moela foi pesada com o proventrículo e o intestino delgado foi dividido em duodeno + jejuno (do piloro até o divertículo de Meckel) e íleo (do divertículo de Meckel até a junção ileo-ceco-cólica). Os cecos foram considerados juntos e foram pesados antes e depois do esvaziamento, para medição do conteúdo por diferença. O comprimento dos cecos foi a soma dos dois segmentos. Os resultados foram expressos como g ou cm por kg de peso corporal.

#### **4.2.4. Cálculos**

Os coeficientes de digestibilidade e de metabolizabilidade para a energia e as diferentes frações químicas foram calculados de acordo com procedimentos padrão (Noblet & Shi, 1993). A produção diária de calor foi

calculada a partir do consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ , L/dia) e produção de  $CO_2$  ( $VCO_2$ , L/dia), de acordo com a fórmula de Brouwer (1965), considerando HP (kcal/dia) =  $3,866 \cdot VO_2 + 1,2 \cdot VCO_2$ . A energia retida (ERT) correspondeu à diferença entre a EM consumida e a produção de calor. A energia retida como proteína (ERp) foi calculada a partir do balanço de nitrogênio usando a o coeficiente 5.5725 kcal/g PB (Znaniacka, 1969), enquanto a energia retida como gordura (ERg) correspondeu à diferença entre a ERT e a ERp.

A cinética de consumo de  $O_2$  e produção de  $CO_2$  pelos frangos foi estimada usando um sistema de equações diferenciais desenvolvido previamente para suínos em gaiola individual, descrito por Van Milgen et al. (1997). Neste sistema, a concentração de  $O_2$  e  $CO_2$  na câmara respiratória são modelados levando em conta aspectos físicos da troca de gases (volume, molaridade, diluição na câmara, pressão, fluxo de ar, temperatura e umidade relativa) e o consumo de  $O_2$  e a produção de  $CO_2$  pelos animais. O objetivo é ajustar variáveis do modelo relacionadas à troca de gases pelos animais de forma a minimizar a diferença entre os valores preditos e medidos da concentração de  $O_2$  e  $CO_2$  ao longo do período de medição. O modelo é descrito como uma série de equações diferenciais, que são integradas numericamente usando o programa ACSL Optimize (Aegis Simulation, 1999). As variáveis dependentes no modelo foram a concentração de  $O_2$  e  $CO_2$  na câmara respiratória, enquanto as variáveis independentes incluem o tempo, o nível de atividade física (sinais do sensor de força) e a quantidade de alimento consumido. Na prática o modelo produz estimativas da troca de gases devidas ao repouso alimentado (PCR, L/h), à atividade física (PCAF, L/unidade de

força), e ao efeito do consumo de alimento de curto prazo (ETAc<sub>p</sub>, L/g). O ETAc<sub>p</sub> possui um componente associado a uma produção de calor de curta duração (ingestão) e outros que resultam em uma produção de calor mais contínua (digestão, absorção e metabolismo). Essa dinâmica foi resolvida matematicamente pelo uso de um modelo de dois compartimentos que resulta em uma distribuição gama, baseado no tempo de ingestão e quantidade de alimento ingerido (taxa de ingestão). Um parâmetro complementar calculado é o tempo médio da distribuição gama (TETA, h), que está associado à duração do evento. Um outro modelo similar, excluindo o parâmetro ETAc<sub>p</sub>, é utilizado para estimar a troca de gases relacionada ao repouso em jejum (PCJ, L/h). Este modelo considera separadamente a PCAF e uma dinâmica com um ponto de partida com metabolismo de repouso alimentado residual que declina assintoticamente para um platô de produção de calor em jejum. Após a modelagem, os volumes de gás calculados são utilizados para calcular os coeficientes respiratórios e os valores unitários de produção de calor (kcal/h ou kcal/kg) para cada medida (PCR, PCJ, PCAF e ETAc<sub>p</sub>) através da equação de Brouwer (1965), excluindo a correção para N e CH<sub>4</sub>. Assume-se que os animais no estado alimentado possuem uma produção de calor basal constante (kcal/d), e que a PCJ (kcal/kg peso metabólico) medida no período de jejum é aplicável para estimar a produção de calor basal dos frangos do mesmo sub-grupo nos dias anteriores em estado alimentado. A diferença entre a produção de calor em repouso alimentado (PCR, kcal/dia), e a estimativa respectiva da produção basal de calor (PCJ, kcal/dia) foi considerada como o efeito térmico do alimento em longo prazo (ETA<sub>lp</sub>, kcal/dia), que se considera estar associado

com eventos fisiológicos de longo prazo como o metabolismo de crescimento e a fermentação no intestino grosso. Para o cálculo do ETAc<sub>p</sub> diário (kcal/dia), multiplica-se o valor unitário da medida (kcal/g) pelo consumo diário de alimento. O efeito térmico total do alimento (ETA, kcal/dia) foi calculado como a soma do ETAc<sub>p</sub> e o ETAl<sub>p</sub>. Por fim, a produção de calor diária associada à atividade física (PCAF, kcal/dia) é calculada como o produto da produção de calor unitária (kcal/unidade de força) e a força total detectada durante o dia. Após todas as medidas de produção de calor foram calculadas em função do número de frangos na câmara (kcal/ave/dia) e do peso médio durante o período de balanço, convertido em peso metabólico (kcal/kg peso metabólico/dia).

O conteúdo de energia metabolizável (EM) das dietas foi calculado como a diferença entre o consumo e a excreção de energia bruta, e o teor de energia líquida (EL) foi calculado como:

$$EL = EMc - (PCAF + ETA); \text{ ou: } EL = PCJ + ERT$$

Um valor de EL corrigido (EL<sub>cor</sub>) foi calculado da mesma forma, mas a partir de valores padronizados de PCAF (PCAF<sub>pad</sub>) e PCJ (PCJ<sub>pad</sub>), utilizando a seguinte fórmula:

$$EL_{cor} = PCJ_{pad} + ERT + [(PCAF - PCAF_{pad}) * (100 - ETA\%)/100],$$

onde ETA% é o efeito térmico total do alimento em percentagem do consumo de energia metabolizável. Este ajuste foi feito assumindo que a diferença de energia gasta com atividade física é convertida em energia retida com eficiência de 100 – ETA%.

#### **4.2.5. Análises estatísticas**

Com o fim de estimar o melhor expoente para o peso metabólico, a PCJ (kcal/ave/dia) foi calculada em função do peso vivo (PV, kg) de acordo com o modelo  $PCJ = a \cdot PV^b$ , usando o método de Marquardt com intervalo de confiança assintótico de 95% para testar o expoente. O mesmo modelo foi utilizado para calcular a PCAF (kcal/ave/dia) em função do peso metabólico, e os valores obtidos foram utilizados como PCJpad e PCAFpad para substituir parcelas perdidas e para o cálculo da ELcor.

Os resultados de desempenho, de digestibilidade, do balanço de energia e proteína e de produção de calor foram submetidos a uma ANOVA com delineamento completamente casualizado, levando em conta os fatores Dieta, Idade e Grupo. A interação Dieta x Idade não foi considerada para permitir o bloqueamento por Grupo. Para análise dos resultados de morfologia gastrintestinal, foi utilizado um delineamento experimental completamente casualizado, com a Dieta como única fonte de variação (10 frangos por dieta).

As análises foram realizadas usando o programa StatGraphics Plus for Windows 4.1 (Manugistics, 1997).

### **4.3. Resultados**

#### **4.3.1. Dietas, desempenho animal e digestibilidade de nutrientes**

A reformulação da dieta controle com a inclusão dos ingredientes fibrosos resultou em uma dieta com aproximadamente o dobro do nível de fibra (TABELA 4.1). A diferença nas medidas mais indigestíveis, como a ADF e FB, foram maiores (56-59 %) que a diferença em medidas mais abrangentes, como

a FTD e a PCIA (36-47 %). O aumento nas medidas de viscosidade foi de aproximadamente 80 %, mas mesmo assim a viscosidade real da dieta alta em fibra não ultrapassou 2 ml/g. A diferença proporcional entre a VAP e a VAR foram semelhantes nas duas dietas (~40%), demonstrando que o aumento das frações fibrosas das mesmas fontes presentes na dieta controle manteve um perfil e atividade semelhante das enzimas endógenas da dieta.

TABELA 4.1. Composição e características das dietas experimentais (padronizadas para 87 % matéria seca)

	unidades	Dieta Normal	Alta fibra
Composição de ingredientes			
Farelo de soja (46 % PB)	%	32,12	20,10
Milho	%	15,32	15,08
Trigo	%	24,74	20,20
Amido de milho	%	20,00	11,71
Óleo de colza	%	3,25	2,25
Melado	%	0,75	0,75
Farelo de trigo	%	0,00	8,70
Farelo de milho	%	0,00	8,70
Casca de soja	%	0,00	8,70
Fosfato bicálcico	%	1,20	1,19
Carbonato de Ca	%	1,25	1,25
NaCl	%	0,26	0,25
L-Lisina	%	0,22	0,27
DL-Metionina	%	0,30	0,25
L-Treonina	%	0,09	0,10
Microingredientes <sup>1</sup>	%	0,50	0,50
Composição analisada <sup>2</sup>			
Energia bruta	kcal/kg	4533	4509
Cinzas	%	5,9	6,1
Proteína bruta	%	19,3	16,8
Extrato etéreo	%	4,6	4,2
Fibra bruta	%	2,7	6,1
FDN	%	8,9	17,6
FDA	%	2,8	6,9
Hemicelulose	%	6,2	10,7
Lignina	%	0,4	0,7
FTD	%	12,2	19,1
PCIA	%	9,7	18,4
Amido	%	43,7	37,1

TABELA 4.1. Continuação: Composição e características das dietas experimentais (padronizadas para 87 % matéria seca)

	unidades	Dieta Normal	Alta fibra
Composição analisada <sup>2</sup>			
VAP	ml/g	1,42	2,58
VAR	ml/g	1,04	1,76
DGM	mm	355	307
Composição calculada			
EMA frangos crescimento	kcal/kg	2912	2476
Ca	%	0,95	1,00
P disponível	%	0,44	0,48
Sódio	%	0,22	0,19
Potássio	%	1,09	1,11
Cloro	%	0,32	0,33
Arginina	%	1,26	1,03
Lisina	%	1,17	1,00
Met. + Cis.	%	0,90	0,78
Treonina	%	0,82	0,71
Triptofano	%	0,28	0,24

<sup>1</sup>Suprindo o seguinte (por kg de dieta): vit. A, 10000 UI; Vit D3, 2000 UI; vit. E, 30 mg; vit B1, 1,5 mg; vit. K3, 2 mg; vit B2, 4 mg; vit. B6, 2,5 mg; vit. B12, 0,015 mg, pantotenato de Ca, 10 mg; ácido fólico, 0,4 mg; biotina, 0,2 mg; colina, 500 mg; niacina, 30 mg; Co, 0,6 mg; Cu, 20 mg; Fe, 50 mg; I, 1 mg; Mn, 85 mg; Se, 0,25 mg; Zn, 60 mg; BHT, 125 mg; Robenidina (Cycostat 66G, Alharma Inc., 2600 Antwerp, Bélgica), 500 mg; carbonato de Ca, q.s.p.

<sup>2</sup>FDN, fibra em detergente neutro; FDA, fibra em detergente ácido; Hemicelulose, FDN-FDA; FTD, fibra total da dieta; PCIA, parede celular insolúvel em água; Amido, método polarimétrico de Ewers; VAP, viscosidade aplicada potencial e VAR, viscosidade aplicada real; DGM, diâmetro geométrico médio das partículas das dietas antes da peletização.

Os resultados de desempenho e digestibilidade dos componentes da dieta são apresentados na TABELA 4.2. As aves sob a dieta com alta fibra consumiram mais alimento e atingiram ganho de peso semelhante ao das aves sob a dieta controle. Já a conversão alimentar piorou proporcionalmente com o aumento no consumo da dieta de alta fibra. O peso médio, o ganho de peso e consumo de alimento foram maiores com as aves de 5 semanas de idade, porem a diferença na conversão alimentar não foi significativa..

Não houve efeito da semana de idade na digestibilidade de nenhum dos componentes alimentares avaliados ( $P>0,20$ ). Entretanto a dieta de alta fibra resultou em significativa redução na metabolizabilidade da energia ( $P<0,01$ ) e na digestibilidade de todas as medidas ( $P<0,10$ ), com exceção para a PCIA, que apresentou digestibilidade semelhante para as duas dietas ( $P=0,66$ ), e para a FB ( $CV\%=220,7$ ) e a FDA ( $CV\%=55,9$ ), que não apresentaram resultados confiáveis. O DPR para os coeficientes de digestibilidade foi proporcionalmente alto para todas as medidas da fração fibrosa, com exceção da FTD ( $CV\%=6,4$ ). Apesar dos altos valores de digestibilidade observados para as frações fibrosas, não foi detectada produção significativa de metano durante os períodos de balanço.

TABELA 4.2. Efeito do nível de fibra na dieta e da idade dos frangos sobre o desempenho e a digestibilidade/metabolizabilidade dos nutrientes e da energia

Variáveis	Fibra			Idade (semanas)			DPR <sup>1</sup>
	Normal	Alta	Probab.	4	5	Probab.	
Desempenho <sup>2</sup>							
PV inicial, g	1089	1067	0,35	853	1303	<0,01	37
Consumo de MS, g/day	121,6	138,2	0,01	113,1	146,7	<0,01	6,2
Ganho de peso, g/day	72,7	72,3	0,93	65,2	79,8	<0,03	7,4
Conversão alimentar	1,68	1,91	0,02	1,75	1,84	0,20	0,10
Coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade (%) <sup>3</sup>							
Matéria seca	75,5	65,5	<0,01	70,6	70,4	0,63	0,5
Energia	78,0	68,5	<0,01	73,2	73,3	0,77	0,6
Proteína bruta	57,2	56,3	0,02	56,9	56,6	0,27	0,4
Extrato etéreo	86,6	83,4	<0,01	84,6	85,4	0,21	0,9
Fibra bruta	0,2	4,2	0,22	1,2	3,2	0,50	4,8
FDN	25,3	21,1	0,07	23,3	23,1	0,91	2,9
FDA	-10,7	-0,1	<0,01	-6,7	-4,0	0,20	3,0
Hemicelulose	41,5	34,6	0,07	38,7	37,3	0,64	4,8
Lignina	28,9	10,0	<0,01	19,2	19,7	0,91	6,1
PCIA	14,0	13,0	0,66	13,7	13,3	0,87	3,6
FTD	32,3	17,7	<0,01	25,0	25,0	0,99	1,6

<sup>1</sup>DPR, desvio padrão residual; <sup>2</sup>PV, peso vivo; MS, matéria seca; <sup>3</sup>Descrição das siglas na TABELA 4.1.



#### **4.3.2. Produção de calor de jejum e de atividade física: relação com o peso metabólico**

Um valor de PCJ (94,3 kcal/kg PM/dia; dieta 2, semana 4) e outra de PCAF (48,6 kcal/kg PM/dia, dieta 1, semana 5) demonstraram desvios muito altos da função exponencial do peso vivo e foram considerados parcelas perdidas (resíduos Studentizados de -4,17 e 3,84, respectivamente). Assim, os modelos respectivos foram ajustados utilizando apenas 11 pontos. O expoente obtido para o peso metabólico não foi diferente do valor clássico de 0,75 (Kleiber, 1961, citado por Kleiber, 1972), tanto para a PCJ quanto para a PCAF (estimativas de 0,76 e 0,65, e intervalos de confiança à 95% de 0,67 a 0,85 e de 0,47 a 0,82, respectivamente). Assim, a potência 0.75 foi adotada para o peso metabólico (PM). Os coeficientes calculados com esta potência foram 115.2 kcal/kg PM/dia para o PCJ ( $R^2 = 0,98$ , DPR = 3,9,  $P < 0,01$ ) e 40,6 kcal/kg PM/dia para PCAF ( $R^2 = 0,87$ , DPR = 3,0,  $P < 0,01$ ). Estes resultados foram usados como valores padronizados e para substituir parcelas perdidas (*outliers*) nos cálculos e análises estatísticas.

#### **4.3.3. Efeito da dieta com alta fibra sobre a produção de calor e o balanço de energia e proteína**

Os resultados do balanço de energia e proteína são apresentados na TABELA 4.3. Como já observado pelo peso vivo inicial e a taxa de ganho de peso (tabela anterior), o peso médio do período de balanço foi muito semelhante entre as duas dietas ( $P = 0,56$ ) e, em média, os frangos mais velhos foram em torno de 500 g mais pesados ( $P < 0,01$ ).

TABELA 4.3. Efeito do nível de fibra na dieta e da idade dos frangos no balanço de energia e proteína<sup>1</sup>

Variáveis	Fibra			Idade (semanas)			DPR
	Normal	Alta	Probab.	4	5	Probab.	
PV, g	1299	1284	0,56	1040	1543	<0,01	42
Balanço de energia e proteína (kcal/kg PM/dia)							
EMc	356,4	364,5	0,54	367,8	353,1	0,29	20,8
PCT	217,0	223,6	0,13	221,5	219,1	0,52	5,9
ERT	139,4	140,9	0,87	146,2	134,0	0,23	15,1
ERp	71,2	71,5	0,90	73,1	69,6	0,27	4,6
ERg	68,2	69,3	0,86	73,2	64,4	0,23	10,7
ERp/ERT	0,515	0,509	0,65	0,504	0,520	0,27	0,022
Componentes da produção de calor (kcal/kg PM/dia)							
PCJ	113,7	116,6	0,08	115,0	115,4	0,74	2,1
PCAF	40,5	41,6	0,39	41,3	40,9	0,75	2,1
ETA	62,8	65,4	0,55	65,3	62,9	0,57	6,8
ETAcp	28,9	31,2	0,05	32,5	27,6	<0,01	1,4
ETAlp	33,9	34,2	0,92	32,8	35,2	0,51	5,9
TETA (h)	4,1	4,0	0,81	4,2	3,9	0,15	0,3
Valor energético da dieta (kcal/kg MS)							
EM	3534	3088	<0,01	3309	3313	0,75	26
EL	2509	2184	<0,01	2349	2344	0,80	36
EL/EM	0,710	0,707	0,50	0,710	0,707	0,55	0,008
ELcor	2522	2179	<0,01	2357	2344	0,24	17
ELcor/EM	0,714	0,706	0,02	0,712	0,707	0,05	0,003
Quociente respiratório							
PCT	1,044	1,031	0,02	1,040	1,035	0,19	0,006
PCR	0,910	0,890	0,23	0,891	0,910	0,27	0,025
PCJ	0,666	0,693	0,52	0,672	0,688	0,70	0,067
ETA	2,232	1,978	0,19	2,041	2,169	0,47	0,279
ETAcp	2,376	2,286	0,15	2,225	2,437	0,02	0,088
ETAlp	2,123	1,813	0,29	1,944	1,992	0,86	0,436
PCAF alimentado	0,853	0,860	0,74	0,878	0,835	0,07	0,030
PCAF jejum	0,785	0,789	0,93	0,791	0,784	0,88	0,067

<sup>1</sup>DPR, desvio padrão residual; PM, peso metabólico ( $\text{kg}^{0,75}$ ); EM, energia metabolizável; PCT, produção de calor total; ERT, energia retida total; ERp, energia retida como proteína; ERg, energia retida como gordura; PCJ, produção de calor em repouso em jejum; PCAF, produção de calor da atividade física; ETA, efeito térmico da alimentação; ETAcp, ETA de curto prazo; ETAlp, ETA de longo prazo; TETA, tempo médio do ETAcp, EL, energia líquida; ELcor, EL corrigida para valores padronizados de PCJ (115,2 kcal/kg PM) e PCAF (41,4 kcal/kg PM); PCR, produção de calor em repouso alimentado.

O aumento no consumo de alimento permitiu aos frangos sob a dieta de alta fibra alcançarem o consumo de energia metabolizável observado com o consumo da dieta controle ( $P = 0,54$ ). A diferença entre semanas de idade sobre o EMc (kcal/kg PM) também não foi significativa ( $P = 0,29$ ).

Também não houve efeito significativo da dieta sobre a PCT ( $P = 0,13$ ) ou sobre os parâmetros de retenção corporal ( $P = 0,65$ ). O efeito da semana sobre esses parâmetros também não foi significativo.

A análise da PCJ utilizando o valor padrão para substituir a parcela perdida não demonstrou efeito significativo da dieta ( $P=0,08$ ). Entretanto, quando a análise estatística foi feita sem considerar os dados desse sub-grupo de frangos ( $n = 11$ ) nem o fator semana de idade ( $P = 0,74$ ), o DPR se tornou menor (1,9) e a significância da diferença entre dietas (3,2 kcal/kg PM/dia) se tornou maior ( $P = 0,052$ ).

Não foram observados efeitos significativos de dieta ou idade sobre os componentes da produção de calor ( $P = 0,39$ ), exceto para um pequeno aumento do ETAc<sub>p</sub> com a inclusão de fibra na dieta ( $P = 0,05$ ) e o decréscimo nesse parâmetro na quinta semana ( $P < 0,01$ ). Não houve efeito significativo da idade ( $P = 0,15$ ) ou da dieta ( $P = 0,81$ ) sobre o TETA (TABELA 4.3).

Os valores determinados de EM e EL das dietas não foram afetados pela idade das aves ( $P= 0,75$ ) e a menor metabolizabilidade da energia com a dieta de alta fibra resultou em uma redução de mais de 400 kcal/kg na EM e de mais de 300 kcal/kg na EL das dietas ( $P < 0,01$ ). As diferenças na taxa EL/EM ( $K_0$ ) devido à dieta e à idade foram muito pequenas ( $< 1\%$ ) e não foram significativas com os valores de NE não corrigidos ( $P = 0,50$ ). A correção da NE

para valores padronizados de PCJ e AHP resultou em uma determinação mais precisa (o DPR diminuiu de 37 para 17 kcal/kg PM/dia) e tornou estatisticamente significativo o efeito deletério do nível alto de fibra sobre a taxa EL/EM ( $P = 0,02$ ).

O consumo de EL foi similar com as duas dietas ( $P = 0,66$ ), especialmente considerando os valores de ELcor ( $P = 0,77$ ). Os valores de consumo de EL (por kg PM) nas semanas 4 e 5 também foram semelhantes ( $P = 0,18$ ).

Um quociente respiratório geral (PCT) significativamente menor foi observado com a dieta com alta fibra ( $P = 0,02$ ), mas esse efeito não foi detectado nos componentes da partição da produção de calor ( $P = 0,15$ ), apesar de algumas diferenças numérica bastante altas terem sido observadas no QR dos componentes da ETA (de 0,09 a 0,31 unidades). A alta variação observada no ETAlp ( $DPR > 0,4$ ) pode ser a causa para a falta de sensibilidade do modelo para detectar as diferenças como significativas. O valor mais alto de QR para a ETAc<sub>p</sub> com os frangos de 5 semanas ( $P = 0,02$ ) foi o único efeito de idade sobre o QR detectado como significativo.

Por outro lado, uma análise complementar do QR da PCAF levando em consideração o estado fisiológico (alimentado e em jejum), demonstrou que os valores foram significativamente maiores com os frangos alimentados ( $P < 0,01$ ,  $DPR = 0,051$ ).

Os componentes da produção de calor expressos como percentagem da EMc e da PCT são apresentados na TABELA 4.4. Não foram observados efeitos significativos da dieta ou da idade sobre as perdas de calor

relativas ao consumo de EM ( $P = 0,71$ ), com exceção para o ETAcP, que foi maior com a dieta de alta fibra ( $P = 0,03$ ) e com os frangos mais jovens ( $P < 0,01$ ). De forma semelhante, os componentes da perda de calor em proporção do total de calor produzido demonstrou apenas efeito significativo de idade no ETAcP ( $P = 0,01$ ); O efeito de dieta sobre o ETAcP expresso dessa forma foi marginalmente significativo ( $P = 0,06$ ).

TABELA 4.4. Componentes da partição da produção de calor em percentagem do consumo de energia metabolizável e da produção de calor total<sup>1</sup>

Variáveis	Fibra			Idade (semanas)			DPR
	Normal	Alta	Probab.	4	5	Probab.	
Relativo ao consumo de EM							
PCT	61,0	61,4	0,75	60,3	62,0	0,21	1,9
PCJ	32,0	32,1	0,92	31,4	32,7	0,20	1,6
PCAF	11,4	11,5	0,91	11,3	11,6	0,66	1,2
ETA	17,6	17,8	0,71	17,7	17,7	0,98	0,9
ETAcP	8,1	8,5	0,03	8,9	7,8	<0,01	0,2
ETAlp	9,5	9,3	0,74	8,9	9,9	0,18	1,1
Relativo à PCT							
PCJ	52,5	52,3	0,82	52,0	52,8	0,29	1,2
PCAF	18,7	18,7	0,98	18,7	18,7	0,97	1,4
ETA	28,9	29,0	0,92	29,4	28,5	0,54	2,3
ETAcP	13,3	13,9	0,06	14,7	12,6	<0,01	0,4
ETAlp	15,6	15,9	0,73	14,7	16,0	0,38	2,2

<sup>1</sup>Descrição das siglas na TABELA 4.3

#### 4.3.4. Fibra da dieta e morfologia gastrintestinal

Na TABELA 4.5 são apresentados os resultados sobre o peso e comprimentos proporcionais dos segmentos do trato gastrintestinal das aves. Os frangos sob a dieta com alta fibra apresentaram significativamente maior peso do intestino delgado ( $P = 0,03$ ), sendo o duodeno + jejuno o segmento

mais afetado ( $P = 0,03$ ) e o íleo, o menos alterado ( $P = 0,11$ ). Não houve efeito significativo sobre a moela ( $P = 0,56$ ) e o conteúdo cecal ( $P = 0,17$ ), embora os cecos tenham sido ligeiramente aumentados ( $P = 0,06$ ). Não houve efeito de dieta sobre o comprimento proporcional dos intestinos ( $P = 0,73$ ).

TABELA 4.5. Efeito do nível de fibra na dieta sobre a morfologia do trato gastrointestinal (10 aves por dieta)<sup>1</sup>

Variável	Fibra normal	Fibra alta	Probabilidade	DPR
Peso vivo, g	1713	1751	0,56	145
Peso dos segmentos (g/kg PV)				
Moela	8,8	9,3	0,45	2,0
Duodeno + Jejuno	19,7	21,7	0,03	1,9
Íleo	9,7	10,8	0,11	1,4
D+J+I	29,4	32,5	0,04	3,1
Cecos	3,5	4,0	0,06	0,6
D+J+I+C	32,9	36,5	0,03	3,3
M+D+J+I+C	41,7	45,8	0,05	4,2
Cecos cheios	5,8	7,1	0,07	1,5
Conteúdo cecal	2,2	3,1	0,17	1,2
Comprimento dos segmentos (cm/kg PV)				
Duodeno + Jejuno	59,6	59,5	0,98	4,9
Íleo	42,6	42,0	0,79	5,2
D+J+I	102,2	101,5	0,86	8,8
Cecos	21,9	22,1	0,73	1,7
D+J+I+C	124,1	123,6	0,92	9,8

<sup>1</sup>DPR, desvio padrão residual; PV, peso vivo; M é a moela, D, o duodeno, J, o jejuno, I, o íleo e C, os cecos.

#### 4.4. Discussão

##### 4.4.1. Efeitos da dieta com alta fibra sobre o desempenho e digestibilidade de nutrientes

O aumento de consumo de alimento para compensar a diminuição da concentração calórica com o aumento no nível de fibra na dieta é bem

conhecido com aves alimentadas à vontade (Lee et al., 1971; Leeson et al., 1991; Hadorn & Wenk, 1996; Jorgensen et al., 1996a). Sendo assim, o maior consumo da dieta com alta fibra (TABELA 4.2) que resultou em consumo similar de EM (TABELA 4.3) indica que não houve interferência do sistema de alimentação adotado sobre os parâmetros estudados. Isso também é confirmado pela similaridade observada entre dietas para o ganho de peso das aves com conseqüente piora proporcional no índice de conversão alimentar. Por outro lado, o consumo diário de ELcor foi de 254 e 257 kcal/kg PM ( $P = 0,77$ ,  $DPR = 13,6$ ), com diferenças numéricas ainda menores entre dietas do que o observado com a EM (TABELA 4.3), o que indica maior adequabilidade do sistema EL para a predição do consumo voluntário de frangos em crescimento.

A digestibilidade da proteína e da gordura diminuíram com o aumento na inclusão de fibra na dieta (TABELA 3.3), concordando com as indicações da literatura (Carré et al., 1984; Annison & Choct, 1994; Ferreira, 1994). Entretanto, dada a grande diferença nos níveis de fibra entre as dietas, a diminuição na digestibilidade dos nutrientes foi numericamente pequena. A viscosidade da dieta apresenta correlação negativa com a digestibilidade de nutrientes (Choct & Annison, 1992; Carré et al., 1994; Smits et al., 1998; Heteland & Svihus, 2001; Maisonnier et al., 2001a; Francesch et al., 2002). Segundo as indicações de Maisonnier et al. (2001a), os efeitos deletérios da viscosidade ocorrem com valores de VAR maiores que 2, de forma que a viscosidade da dieta com alta fibra ficou dentro dos limites aceitáveis (VAR = 1,76).

Os valores calculados de EM superestimaram o valor de energia para a dieta controle em 187 kcal/kg MS, e subestimaram para a dieta com alta fibra em 242 kcal/kg MS. Devido a isto, a real diferença na EM entre as dietas foi de 14%. A relativamente alta digestibilidade das frações fibrosas como a FDN, a hemicelulose e a FDT observadas com ambas as dietas pode explicar em parte a subestimação da EM calculada para a dieta com alta fibra. Parte dessa alta digestibilidade pode ser creditada a um possível maior tempo de retenção da digesta devido ao sistema de alimentação adotado: o intervalo entre o final da última refeição da tarde e a refeição na manhã seguinte foi de aproximadamente 14 h (FIGURA 4.1) e períodos de jejum após doses de alimento tendem a aumentar o tempo de retenção no trato gastrointestinal (Sibbald, 1979; Warner, 1981), o que pode aumentar a digestibilidade dos componentes fibrosos. De acordo com Moran (1982), devido às particularidades na motilidade e anatomia dos cecos e cólon das aves, somente fluídos, solutos e partículas muito finas entram nestes segmentos. Além disso, segundo Duke (1986a, 1986b), a fração da digesta que entra nos cecos é retida 3-4 vezes mais tempo no trato gastrointestinal que o restante da digesta, uma vez que a evacuação dos cecos geralmente ocorre apenas uma a duas vezes por dia. Carré et al. (1990) e Jorgensen et al. (1996a), atribuem a mais extensa fermentação dos componentes solúveis da fibra ao maior tempo de retenção nos cecos, enquanto a baixa digestibilidade dos componentes insolúveis se deve principalmente ao curto tempo de retenção no intestino posterior. Embora a tendência de aumento no peso proporcional dos cecos com a dieta rica em fibra (TABELA 4.5), a diferença entre dietas para o



conteúdo cecal das aves não foi significativa, e os dados apresentaram grande variação (CV = 45%), o que pode ser atribuído a possíveis diferenças individuais no horário de evacuação cecal e ao eventual esvaziamento devido ao estresse da manipulação para pesagem e abate.

A FTD deve conter todos os componentes da parede celular vegetal, incluindo a pectina e os PNAs (Asp et al, 1983; Prosky et al, 1984), os quais normalmente apresentam alta digestibilidade em aves (Carré et al., 1990; Jorgensen et al. 1996a). Carré & Gomez (1994), trabalhando com galos adultos, obtiveram 80 % de digestibilidade da pectina solúvel com aves intactas e 60 % com aves cecectomizadas. Jorgensen et al. (1996a), que trabalharam com frangos no período da 2<sup>a</sup> à 6<sup>a</sup> semanas de idade, obtiveram digestibilidades respectivamente de 33, 19 e 16 % para o total de PNA de dietas com baixo, médio e alto nível de fibra de trigo. A diferença entre as frações FTD e FDN ou FTD e PCIA foram de aproximadamente 17 e 21 % para a dieta normal e de 4 e 8 % para a dieta com alta fibra. Uma vez que a FDN e a PCIA são estimativas da fibra insolúvel (Van Soest et al., 1991; Carré et al. 1984), essa diferença está relacionada com a presença de pectinas e PNA solúveis. Isso explica a maior digestibilidade da FTD obtida com a dieta 1 que com a dieta 2.

A alta digestibilidade para a FDN também já foi observada outras vezes, embora com animais mais velhos. Warpechowski & Ciocca (2005), trabalhando com galos de corte de 10 semanas intactos e cecectomizados sob alimentação restrita de uma dieta com alta fibra de cereais (30% FDN), observaram digestibilidade da FDN respectivamente de 35 e 21 %. Também

Moran & Evans (1977), comparando dietas com baixa e alta fibra para poedeiras Leghorn, obtiveram digestibilidades para a FDN respectivamente de 31 e 39 %, enquanto para a FDA o coeficiente não alcançou 3%, demonstrando que a fração mais digestível foi a de hemiceluloses. A fina granulometria das dietas também pode ter influenciado na digestibilidade da fibra insolúvel, considerando a capacidade das aves de selecionar líquidos e partículas muito pequenas para a fermentação cecal (Moran, 1982; Duke, 1986a, 1986b).

A não detecção de metano dentro dos níveis mínimos de precisão dos equipamentos utilizados está de acordo com as observações de Jorgensen et al. (1996a) de que em aves o principal gás produzido na fermentação intestinal é  $H_2$ , ao contrário do observado com suínos, em que a digestibilidade da fibra está altamente relacionada a produção de  $CH_4$  (Chabeauti et al., 1991; Shi & Noblet, 1993; Noblet & Le Goff, 2001; Le Goff, 2002a, 2002b).

#### **4.4.2. Determinação da produção de calor basal e partição da perda de calor**

O expoente e o coeficiente obtidos para o peso metabólico neste experimento foram mais altos do que os valores obtidos nos experimentos anteriores utilizando o mesmo sistema de modelagem. Van Milgen et al. (2001) obtiveram coeficiente de 117 kcal/kg PM, com o expoente do PM estatisticamente semelhante a 0,6, enquanto Noblet et al. (2003) e Warpechowski et al. (2004) obtiveram coeficientes mais baixos, de 105 e 101 kcal/kg PM, e com expoentes intermediários de 0,68 e 0,71, respectivamente. As diferenças na metodologia incluíram a medição durante 23 horas após a

retirada do alimento nos experimentos anteriores, com 1 a 2 horas de luz apagada, e a utilização de temperaturas fixas 24 °C (Van Milgen et al., 2001; Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004), enquanto no presente experimento o período de jejum foi de aproximadamente 21 h, com a medição da PCJ sendo realizada nas últimas 7 h, sem incluir o período noturno artificial, com ajuste da temperatura para a idade das aves (24 °C com 4 semanas e 22 com 5 semanas de idade). De acordo com o efeito esperado da termorregulação sobre a produção de calor, os resultados do presente trabalho deveriam ser menores do que os trabalhos anteriores em que foram utilizadas temperaturas fixas independentemente da idade e peso das aves (Blaxter, 1989; MacLeod, 1993; Sakomura, 2004). De acordo com MacLeod et al. (1993), quando são usadas temperaturas fixas em experimentos de calorimetria com frangos, as aves mais jovens tendem a aumentar sua taxa metabólica para a manutenção da termorregulação, o que resulta em expoentes menores para o peso metabólico. No caso de determinações da PCJ sem uma correta separação da PCAF, a comparação de valores ajustados para 24 h a partir de medições com períodos de noite artificial diferentes pode gerar confundimento devido à baixa atividade das aves durante a noite (Li et al., 1991; Koh & MacLeod, 1990a, 1990b). Entretanto, com o sistema de modelagem e a medição direta da atividade física utilizando captadores de força, a estimativa da PCJ é livre de atividade física, e portanto não afetada pelo tamanho do período noturno durante a medição. Descartando-se portanto um possível efeito da temperatura e do manejo de luz, outras possíveis explicações para os altos valores obtidos são os efeitos a longo prazo do

sistema de alimentação por tempo restrito (MacLeod et al., 1993) e/ou um possível efeito do ritmo circadiano sobre a produção de calor (Koh & MacLeod, 1999a). De acordo com o trabalho de MacLeod et al (1993), aves criadas sob períodos longos de alimentação restrita podem diminuir a produção de calor basal para ajustar o gasto de energia de manutenção. Por outro lado, a restrição do consumo de energia tende a alterar a composição corporal, diminuindo a percentagem de gordura na carcaça (Boekholt et al., 1994; Warpechowski et al., 1999), o que pode afetar a PCJ devido às diferentes eficiências de utilização da gordura e proteína corporal para manutenção (MacLeod, 1997; Musharaf & Latshaw, 1999). Independentemente da dieta, o consumo de EM (360 kcal/kg PM/dia) e a fração da energia ganha como gordura no presente experimento (49% da ERT) foram menores do que o observado em experimento anterior com alimentação à vontade (400 kcal/kg PM/dia e 52% da ERT) (Warpechowski et al., 2004), indicando um efeito do sistema de alimentação sobre a composição corporal que pode ter influenciado no coeficiente obtido para a PCJ.

A colheita de dados para a determinação da PCJ durante o período das 9 às 16 h poderia também resultar em maior valor ajustado para 24 h, baseando-se no trabalho de Koh & Macleod (1999a). Esses autores mediram a produção de calor em jejum e sob alimentação de frangos mantidos sob um esquema de 23 h de luz com o período de escuro fornecido após as 24 h, e observaram uma variação circadiano na cinética da produção de calor, com platô inferior logo após o período noturno e platô superior em torno das 9 h da manhã.

Devido ao levemente menor consumo de energia com o manejo alimentar adotado, a perda de calor total (61 % da EMc) (TABELA 4.4) e a perda de calor basal (32 % da EMc) foram proporcionalmente mais altas do que a média observada nos experimentos anteriores, cujos valores foram de aproximadamente 53 e 26 % do EMc à vontade (Van Milgen et al., 2001; Noblet et al., 2003; Warpechowski et al., 2004). Entretanto, os valores proporcionais de PCAF obtidos (11,5 % do EMc) estão dentro da variação observada nos experimentos anteriores, de 9,1 (Van Milgen et al., 2001) a 13,3 % da EMc (Noblet et al., 2003). Estes dados indicam uma relação positiva da atividade física diária com o consumo de alimento, o que está de acordo com as indicações de MacLeod et al. (1993), que estimaram valores respectivamente de 5, 15 e 18 % da PCT para a PCAF de frangas matrizes de corte sob níveis de oferecimento de ração de 30, 60 e 100 % do consumo à vontade.

Já o incremento calórico (PCAF + ETA) e o ETA obtidos no presente experimento (47,5 e 29 % da PCT) foram muito semelhantes aos valores obtidos nos experimentos citados anteriormente. A % da EMc perdida devido ao ETA é também semelhante ao observado com suínos em crescimento e terminação, entre 15,5 e 17 % da EMc (Le Goff et al., 2002a).

A partição do ETA mostrou que apenas o ETAc<sub>p</sub> foi dependente da dieta e da idade, com valores de 46 e 48 % do ETA, respectivamente para as dietas normal e com alta fibra e de 50 e 44 % do ETA, respectivamente para a 4<sup>a</sup> e a 5<sup>a</sup> semanas de idade dos frangos. O ETAl<sub>t</sub> foi menos dependente da dieta e representou respectivamente 50 e 56 % do ETA das aves na 4<sup>a</sup> e na 5<sup>a</sup> semana de idade. Os valores de ETAc<sub>p</sub> e ETAl<sub>p</sub> em % da EMc também foram

semelhantes ao observado com suínos em crescimento e terminação, inclusive também com maior variabilidade para o efeito de longo prazo (Le Goff et al., 2002a).

#### **4.4.3. Efeito da dieta com alta fibra sobre a produção de calor e o metabolismo da energia**

A ausência de efeito da dieta sobre a produção de calor total e sobre os parâmetros de retenção da energia não está de acordo com os resultados obtidos por Jorgensen et al. (1996a), que observaram aumento na PCT e diminuição na ERT (kcal/kg PV<sup>0,75</sup>) com o aumento no nível de fibra de ervilha ou de trigo na dieta de frangos alimentados à vontade. Já o aumento no nível de fibra de aveia diminuiu a PCT e não alterou a ERT (kcal/kg PV<sup>0,75</sup>). Também Hadorn & Wenk (1996), trabalhando com frangos alimentados à vontade de 8 a 42 dias de idade, observaram diminuição no balanço de energia com a diluição de uma dieta basal com 20 % de casca de soja, e aumento no balanço de energia com a diluição com 20 % de amido ou de casca de milho.

Esses trabalhos mostram que o efeito da fibra sobre a produção de calor e a retenção de energia é dependente de sua fonte. A mistura de fibras utilizadas na formulação da dieta 2 incluiu a casca de soja, o farelo de trigo e o farelo de milho, e devido principalmente à presença dos dois primeiros ingredientes, esperava-se um aumento na viscosidade da dieta, o que não foi observado. Sendo assim e baseado no observado com o balanço de energia metabolizável e de digestibilidade de nutrientes, a mistura de fibras incluídas na dieta 2 apresentou principalmente um efeito diluidor da EM, não influenciando

significativamente na produção de calor e tampouco na retenção de energia, o que foi devido ao consumo compensatório de EM atingido pelos frangos sob a dieta alta em fibra.

Além disso, com o maior consumo da dieta com alta fibra (~12%), e com as diferenças nos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes, as aves sob a dieta com alta fibra consumiram aproximadamente 3 e 4 % a menos de proteína e fibra total digestíveis, e em torno de 2, 39, 46 e 49 % a mais de EE, hemicelulose, FDN e PCIA digestíveis em comparação com as aves sob a dieta controle. Jorgensen et al. (1996a) observaram aumento significativo na excreção de ácidos láctico, acético e butírico com o aumento no nível de fibra na dieta, especialmente quando a fonte foi ervilha, embora a quantidade total não ultrapassasse 2 % do consumo de EM dos frangos. Entretanto, a excreção de ácidos orgânicos pode ser pequena devido à absorção desses produtos nos cecos. Carré & Gomez (1994), observaram aumento significativo na excreção de ácidos orgânicos com a inclusão de pectina na dieta de galos e, além disso, observaram também que a perda desses ácidos na excreta foi de 9 % da pectina digerida com galos intactos e de 62 % com galos cecectomizados, demonstrando grande capacidade de absorção cecal desses produtos.

A capacidade de absorção dos ácidos orgânicos produzidos na fermentação pode depender da idade das aves: Carré et al. (1995), estudando o efeito da diluição de dieta tradicional de milho e farelo de soja com grãos maduros de ervilha, observaram excreção de mais do que o dobro de ácidos orgânicos por frangos com três semanas de idade que por galos adultos. Observaram ainda que os frangos produziram menos 9, 14 e 16 % de energia a

partir de oligossacarídeos, PNA e ácido láctico na excreta em comparação com as aves adultas.

De acordo com as observações de Vergara et al. (1989), baseadas na retenção de indicador solúvel nos cecos, o desenvolvimento fisiológico destes segmentos em frangos acontece a partir da terceira semana de idade. Os frangos utilizados no presente experimento contavam 4 e 5 semanas de idade, e foram avaliados após um período de adaptação às dietas experimentais de uma semana, além de terem recebido uma mistura 1:1 das dietas experimentais na semana imediatamente anterior. Assim, apesar de não ter sido detectada diferença estatística no ETAlp, é razoável inferir que a maior ingestão de fibra digestível indica maior taxa de fermentação com a dieta de alta fibra, e que essa fermentação tenha gerado ácidos orgânicos disponíveis para absorção cecal. A derivação de energia a partir da fibra pode explicar a alta eficiência de utilização da EM com a dieta de alta fibra, que só foi significativamente menor que da dieta controle com a utilização de valores de ELcor. Mesmo assim, a diferença entre dietas não alcançou 2 pontos percentuais. O experimento de Hadorn & Wenk (1996) também não foi hábil para detectar diferenças de eficiência de utilização da EM entre dietas controle e diluída com amido, casca de milho ou casca de soja, embora o  $K_0$  desta última (0,654) fosse quase 6 pontos percentuais menor do que o da dieta controle (0,712).

Os resultados obtidos no presente experimento confirmam algumas observações recentes de que os efeitos da composição da dieta sobre a eficiência da utilização da energia metabolizável parecem ser menores em



frangos em crescimento do que o esperado pelos resultados obtidos com outras espécies, como mostram o experimento de Noblet et al. (2003), que observou aumento no  $K_0$  com o consumo de dieta com baixa proteína com suínos mas não em frangos, e os resultados de Warpechowski et al. (2004), que observaram uma diferença muito pequena no  $K_0$  entre dietas contendo 2,4 e 9,5 % de gordura.

Por outro lado, o maior ETAc<sub>p</sub> observado com a dieta de alta fibra demonstra um maior gasto energético nos momentos de ingestão e início da digestão dessa dieta, apesar do efeito não ser detectável considerando o ETA total. Esses resultados são diferentes dos obtidos com suínos em crescimento, com os quais não se observou efeito da fibra sobre o ETAc<sub>p</sub> (Le Goff et al., 2002a) e com suínos em terminação e porcas adultas, nos quais o consumo de fibra digestível resulta em aumento do ETAl<sub>p</sub>, efeito que é atribuído ao aumento da fermentação microbiana no intestino posterior (Le Goff et al., 2002a; 2002b).

Apesar das indicações do aumento da taxa de passagem da digesta com o aumento no teor de fibra insolúvel na dieta (Warner, 1981; Warpechowski & Ciocca, 2002), a similaridade no tempo médio do ETAc<sub>p</sub> pode ser explicável pela granulometria fina das dietas experimentais, uma vez que os efeitos da fibra sobre a passagem estão relacionados com o tamanho e dureza das partículas e sua retenção na moela (Ferrando et al., 1987). A ausência de efeito significativo da dieta e o relativamente pequeno tamanho observado na moela das aves utilizadas para as avaliações posteriores confirmam essas indicações (TABELA 4.5).

O aumento no peso relativo do trato gastrintestinal e do intestino delgado com o consumo da dieta de alta fibra está de acordo com o observado com frangos por Jorgensen et al. (1996a) e também com o observado com ratos (ZHAO et al., 1995) e suínos (Jorgensen et al., 1996b). Jorgensen et al. (1996a) observaram aumento no peso relativo do intestino delgado, cecos e cólon de frangos sob o consumo de dietas com alta fibra de ervilha, de trigo ou de cevada. Entretanto esses autores também observaram aumento significativo no comprimento do intestino delgado e dos cecos, efeito que não foi estatisticamente significativo no presente experimento.

O aumento no volume do trato gastrintestinal pode ser considerado como uma estratégia fisiológica relacionada ao aumento de consumo de matéria seca de dietas com menor valor calórico (Lee et al., 1971; Leeson et al., 1991). Por outro lado, dada a relação negativa da viscosidade da dieta com a digestão e absorção de nutrientes (Choct & Annison, 1992; Bedford & Classen, 1993; Annison & Choct, 1994; Carré et al., 1994; Maisonnier et al., 2001a, Austin et al., 1999; Francesch et al., 2002), um aumento no comprimento do intestino delgado poderia ser atribuído a uma compensação fisiológica para a diminuição da digestão e absorção com dietas com alta viscosidade. Um maior efeito da fibra sobre o tamanho do trato digestivo associado à alta viscosidade e diminuição da digestibilidade de amido foi registrado para frangos de corte recebendo dietas a base de cevada diluídas com casca desse cereal com ou sem adição de beta-glucanases por Hetland & Svihus (2001). Em vista disso, a relativamente baixa VAR da dieta fibrosa no presente experimento pode ser um motivo para que o efeito do alto nível de

fibra tenha sido maior para o peso que para o comprimento do intestino das aves. De acordo com IJI (1999), o efeito de fibras com alta viscosidade está associado ao aumento da profundidade das criptas e do volume das células da mucosa no jejuno, o que pode decorrer de um estímulo imunológico.

Por outro lado, segundo Jorgensen et al. (1996a), o aumento na proporção corporal de vísceras decorrente do consumo de dietas com alta fibra pode aumentar o custo energético de manutenção, uma vez que estes tecidos apresentam alta taxa de metabolismo e de reciclagem de proteínas. Em concordância com essa afirmação, as aves que consumiram a dieta com alta fibra no presente trabalho apresentaram tendência a uma maior PCJ (TABELA 4.3) ( $P=0,08$ ).

Baseando-se nas estimativas estequiométricas de Blaxter (1989) para a deposição de gordura a partir de carboidratos e gorduras, o significativamente menor QR geral observado com a dieta de alta fibra, assim como os valores numericamente inferiores do QR para a PCR, a ETA e seus termos de curto e longo prazo, também estão de acordo com os valores obtidos de digestibilidade das frações das dietas, indicando que com a dieta 2 uma maior proporção da energia depositada foi derivada a partir de gordura e/ou ácidos graxos voláteis.

O maior QR da PCAF com os frangos no estado alimentado também demonstra maior utilização de carboidratos como fonte de energia para o trabalho muscular (glicose proveniente da dieta e das reservas muscular e hepática) que no estado de jejum, quando a proporção da energia gasta na PCAF que foi proveniente da oxidação de lipídeos deve ter aumentado.

De acordo com trabalhos desenvolvidos com coelhos (Gierus & Rocha, 1997) e com suínos (Rosenvolt et al., 2001a, 2001b), o alto aporte sanguíneo de glicose e lactato devido ao consumo de dietas ricas em carboidratos digestíveis resulta em maior armazenamento de glicogênio muscular e um estímulo para a utilização das vias glicolíticas. Ao contrário, quando uma maior proporção da energia da dieta é proveniente de gordura ou de ácidos graxos provenientes da fermentação da fibra no intestino grosso, por exemplo quando da diluição da dieta com ingredientes fibrosos, o efeito é inverso (Gierus & Rocha, 1997; Rosenvolt et al., 2001a, 2001b). No presente experimento, com a colheita de dados do período de jejum sendo iniciada mais de 14 h após a última refeição das aves, um possível efeito da dieta sobre a disponibilidade de glicogênio muscular e hepático para a suprir a energia da PCAF de jejum não pode ser avaliado, considerando que essas fontes são as primeiras a serem utilizadas para suprir o trabalho muscular (Gierus & Rocha, 1997; Rosenvolt et al., 2001a, 2001b).

#### **4.5. Conclusões**

Os resultados do presente trabalho confirmam o efeito deletério da fibra sobre a disponibilidade de energia metabolizável da dieta para frangos em crescimento, e confirmam a capacidade desses animais de manter o consumo diário de energia através do aumento de ingestão de dietas com alta fibra.

A diminuição da eficiência de utilização da energia metabolizável com a dieta de alta fibra, embora detectável, foi pequena, considerando a alta

diferença no nível de fibra entre as dietas testadas (~50%) e as indicações da literatura sobre esse efeito para aves e outras espécies;

A baixa viscosidade da dieta fibrosa e a alta digestibilidade de diversas frações de fibra podem ter contribuído para uma menor diferença entre dietas para a eficiência de utilização da energia metabolizável pelos frangos;

O efeito térmico do alimento de curto prazo parece ser a variável mais afetada da produção de calor de frangos consumindo dietas de alta fibra;

O consumo de dietas com alto nível de fibra resulta em aumento do peso relativo do duodeno + jejuno, do intestino delgado e do trato gastrintestinal, e há indícios de que esse efeito possa resultar em aumento na produção de calor em jejum;

O sistema de arraçoamento com períodos restritos de oferecimento de alimento para frangos em grupo foi eficiente para a medição da partição do efeito térmico do alimento de curto e longo prazo com o sistema de modelagem e calorimetria indireta com medição da atividade física;

A utilização de período de medição de 7 h após período de jejum de 14 h foi suficiente para a determinação da produção de calor de jejum livre de atividade física de frangos através do sistema de modelagem e equipamentos empregados;

Tendo em vista o coeficiente numericamente superior obtido para esta medida em comparação com medidas obtidas anteriormente utilizando os mesmos equipamentos e sistema de modelagem, uma avaliação do efeito do

horário de medição seria conveniente para descartar um possível efeito do ritmo circadiano sobre a medição desse parâmetro.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1. Considerações sobre o sistema de modelos para a predição da cinética e partição da produção de calor utilizado no experimento II**

Com o sistema de arrazoamento adotado no Experimento II, os frangos alojados em grupo apresentaram um comportamento de consumo que, embora artificial, tornou possível a utilização de medidas ligadas aos eventos de ingestão de alimento que só eram possíveis anteriormente com animais alojados individualmente. Dessa forma, pela primeira vez o sistema de modelos de predição da produção de calor desenvolvido para suínos no INRA de Saint-Gilles, Rennes (Van Milgen et al., 1997) foi usado com frangos em sua totalidade.

Com o objetivo de avaliar a capacidade desse sistema para a descrição do metabolismo de crescimento de frangos nestas condições, bem como o de propor ajuste ao modelo para a variação de peso diária das aves, os dados de um grupo de animais sob a dieta controle do Experimento II foram utilizados para integrar as cinéticas de troca de gases, de atividade física e de consumo de alimento com a alteração no peso vivo médio ao longo de um certo período de medição.

Como explicado anteriormente, o sistema de modelos se baseia em dois modelos principais: um que descreve a troca de gases devido aos eventos de alimentação e atividade física, mais a troca de gases constante de um metabolismo de repouso alimentado; e outro que descreve a troca de gases

devido à atividade física mais a cinética de diminuição assintótica de um metabolismo de repouso alimentado para um metabolismo de jejum. Assim foram escolhidos o último dia de um período de medida do metabolismo alimentado (dia 6 de balanço) mais o período de medição do metabolismo de jejum (até as 16 horas do dia 7 de balanço), de forma a integrar os dois modelos. Todos os parâmetros, em quantidade por ave, foram ajustados ao peso metabólico das aves (na forma simplificada peso médio elevado a 0,75), e são apresentados em forma de curvas de cinética temporal na FIGURA 5.1. O período apresentado segue o padrão diário de alimentação e iluminação apresentado anteriormente na FIGURA 4.1, seguido de um período adicional de jejum de 7 h para a medição da PCJ. Os pontos são médias de 10 determinações a cada intervalo de 60 s, com similar intervalo para a cinética calculada de alteração no peso vivo médio, expresso em  $\text{kg}^{0,75}$ . O comportamento das curvas no gráfico apresentado é uma amostra consistente da cinética observada em todos os períodos de determinação e grupos de frangos do Experimento II.

Considerando o pequeno peso das aves, a alteração de peso diária (ganho e/ou perda) é proporcionalmente muito grande (67 g/dia para o lote considerado, na 4ª semana de idade, com peso médio de 1053 g), resultando para o grupo de frangos em uma alteração detectável nos valores médios diários de produção de calor, troca de gases e consumo voluntário. Assim, para os cálculos efetuados, foram assumidas as seguintes premissas:



- A) Como os animais estão em situação de tempo restrito de alimentação, o crescimento é uma consequência do padrão de consumo de alimento;
- B) O padrão de consumo (g/min) foi constante durante cada período de alimentação (premissa do sub-modelo bi-compartimental com distribuição gama);
- C) O efeito da alimentação no crescimento tem duração maior que o período de alimentação (o tempo médio de  $ETA_{cp}$  foi de 4 h, e foi observado um  $ETA_{lp}$  16 h após a última refeição das aves) e esse efeito é proporcional à quantidade de alimento disponível no trato gastrointestinal das aves (como pode ser observado na dinâmica do QR e das trocas de  $O_2$  e  $CO_2$ , o efeito das quatro refeições é acumulativo e decresce após a última refeição);
- D) O crescimento tem uma influência visível (e mensurável) sobre o QR. [De acordo com Blaxter (1989), o QR para a conversão estequiométrica de glicose em ácido palmítico é 8]. Os resultados de QR por termo da partição da produção de calor apresentados na TABELA 4.3 suportam esta premissa;
- E) O uso de reservas corporais durante o jejum causa diminuição no QR. O QR no jejum depende da proporção entre substratos corporais que estão sendo oxidados [De acordo com Blaxter (1989), em aves, o QR para a oxidação da glicose é 1, para a proteína é 0,73 e para a gordura é 0,71]. Os QR obtidos para os termos PCR,

PCJ, PCAF alimentado e PCAF em jejum (TABELA 4.3) estão dentro de valores que confirmam essa teoria;

- F) Sendo assim, o QR pode ser usado para estimar a condição fisiológica (crescimento e principal substrato utilizado no metabolismo de jejum);

O QR observado na FIGURA 5.1 aumenta cumulativamente com as refeições e em seguida diminui até um primeiro platô aproximadamente 4,5 h após a última refeição. Esse platô é mantido por aproximadamente 4 h, e então outro “ponto de quebra” acontece (durante o período noturno, em uma situação de muito baixa atividade física média) e então o QR inicia novamente a diminuir. Esse decréscimo é contínuo e assintótico até alcançar o platô inferior, de jejum.

Usando estas observações e as premissas descritas anteriormente, o peso vivo “instantâneo”, foi calculado usando um modelo de três linhas:

- a) Um crescimento linear a partir do início da alimentação (9:00 h) até o início no primeiro platô no QR (0:00 h);
- b) Um peso máximo constante durante a duração do platô superior do QR (0:00 – 4:00 h);
- c) Uma perda linear de peso do fim deste platô até o fim do período (4:00 - 16:00 h)

Os pesos iniciais e finais de cada segmento da curva foram obtidos da seguinte forma:

- a) O peso no início e no fim do período total foi medido;

- b) O peso na manhã do período de jejum (9:00 h) foi calculado através do peso na manhã do dia anterior mais o consumo e alimento no dia multiplicado pela conversão alimentar média do período de balanço de 6 dias;
- c) A taxa de perda de peso (g/min) entre o peso calculado na manhã do período de jejum (item anterior) (9:00 h) e o peso medido no final do período de jejum (16:00 h), foi usada para calcular por extrapolação o peso no final do período do platô superior do QR (4:00 h);
- d) Esse peso foi considerado o peso máximo, constante durante o período do platô superior no QR; e
- e) O crescimento do peso inicial medido até o peso máximo no início do platô do QR foi considerado linear.

Finalmente, os pesos calculados com intervalo de um minuto foram expressos em  $\text{kg}^{0,75}$  e utilizados para recalculer os valores dos parâmetros, por intervalo, conforme apresentado na FIGURA 5.1.

A automatização desses cálculos através da demarcação manual dos “pontos de quebra” do QR (a exemplo do que é utilizado para demarcar o início e fim de cada evento de ingestão de alimento) e da entrada dos dados de peso inicial e final de cada período de medida, permitiriam uma precisão ainda maior na determinação dos parâmetros, uma vez que o ajuste dos valores de entrada por intervalo aos valores calculados do peso metabólico em cada intervalo eliminaria o efeito do crescimento das aves sobre os parâmetros de partição da produção de calor estimados pelo modelo.

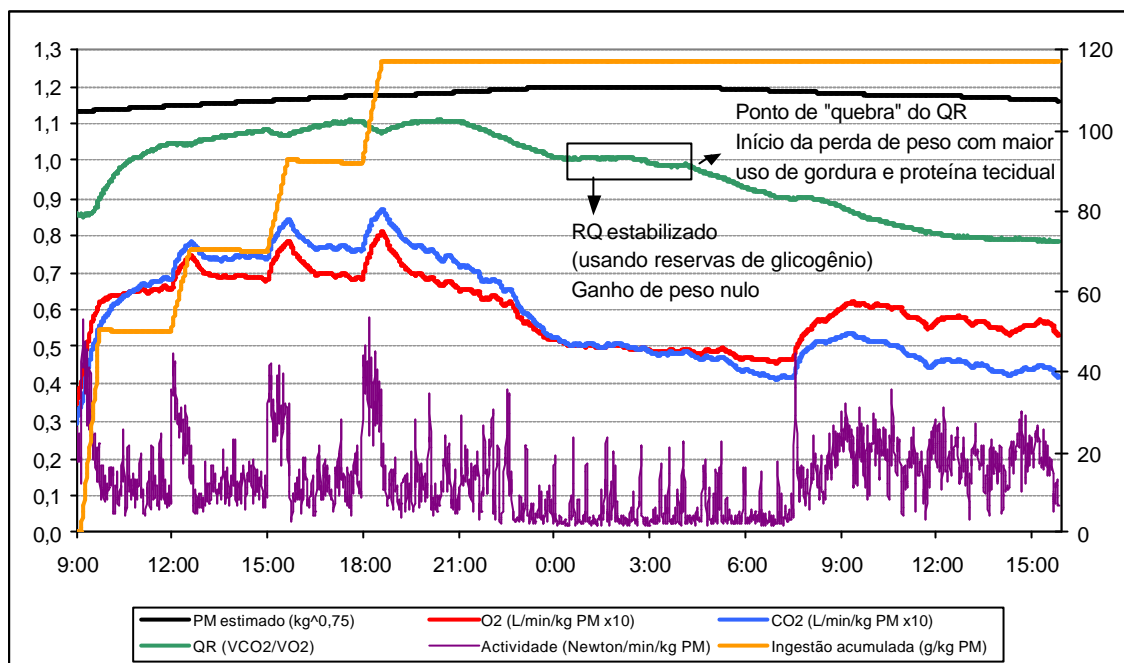


FIGURA 5.1. Cinética do peso metabólico (PM), do consumo de oxigênio (O<sub>2</sub>), da produção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), do quociente respiratório (QR), da atividade física e do consumo de alimento de um grupo de 6 frangos sob 4 períodos 0,5 h de acesso ao alimento iniciando às 9, 12, 15 e 18 h, seguidos de um período de jejum de 22 h (Experimento II).

## 5.2. Simulação de validação das equações de predição obtidas e comparação de metodologias experimentais utilizadas nos dois experimentos

Para simular um teste de validação das equações obtidas no Experimento I para a predição de valores de EM e EL para frangos, e ao mesmo tempo comparar as metodologias utilizadas para as determinações dessas medidas da energia disponível, as equações obtidas no Experimento I foram utilizadas para calcular e comparar os valores de EM e EL preditos e medidos das dietas utilizadas no Experimento II. Para os valores de EL foram utilizadas as estimativas de EL<sub>cor</sub>. As equações contendo a variável CHPCIA não foram utilizadas, uma vez que essa variável não foi mensurada nas dietas

do Experimento II. Os erros de cada predição foram calculados como a diferença entre os valores medidos e preditos e o desvio padrão residual foi calculado como o desvio padrão das duas diferenças obtidas. O erro médio entre as duas determinações indica a exatidão da predição, enquanto o DPR indica a sua precisão.

### **5.2.1. Determinações de energia metabolizável**

Na TABELA 5.1 são apresentados os valores de EM preditos pelas equações aplicáveis e os respectivos erros obtidos em relação aos valores medidos no Experimento II. Em geral, os erros de predição foram muito altos e não houve a correspondência esperada entre as eficiência de predição e a classificação das equações pelo coeficiente de determinação e DPR obtidos no Experimento I. A equação M2, baseada em EB, PB, FB e VAP, que apresentou o melhor R2 e o menor DPR no Experimento I, subestimou os valores de energia, especialmente para a dieta com alta fibra. Entretanto a equação M5, baseada em EB, PB e FDN, que não foi destacada pelo R2 no Experimento I, foi a que apresentou a estimativa mais exata da EM, e com uma variação de menos de 60 kcal/kg. As equações que mostraram melhor precisão foram as com apenas três variáveis: a M6 (EB, FDA e VAP), a M12 (cinzas, FTD e VAP) e a M14 (cinzas, amido e VAP), com DPR menor do que 45 kcal/kg. Destacaram-se também as equações M7 (EB, PB e FDA) e M8 (EB, PB, FDA e VAP), com grande exatidão e desvios padrões próximos de 100 kcal/kg, que são muito baixos considerando que apenas duas dietas foram testadas.

Parte dos erros de predição da EM pode ser atribuída às diferenças de manejo e eficiências de digestão de nutrientes entre experimentos. No Experimento I foram utilizados frangos ISA em gaiolas individuais sob alimentação restrita em torno de 250 e 340 kcal/kg PM/dia, enquanto que no Experimento II foram utilizados frangos Ross alojados em grupos e que, apesar do tempo restrito de alimentação, consumiram quantidades diárias maiores que o nível alto de consumo do Experimento I (360 kcal/kg PM/dia), resultando em valor próximo de 90 % do consumo à vontade em comparação com os resultados de experimentos anteriores (Van Milgen et al., 2001b; Noblet et al., 2003, Warpechowski et al., 2004). Esses erros podem ter sido agravados considerando o sistema de EM aparente utilizado, em que contribuem para a variação as possíveis diferenças na excreção perda endógena de energia e a variação individual na retenção de proteína, parcialmente induzida pela diferença entre dietas no consumo médio de EM das aves no Experimento I.

Francesch et al. (2002), comparando os métodos de EMAn e EMVn para a determinação de energia de dietas com altos níveis de fibra de diferentes fontes, observaram que a diferença entre os valores obtidos com os dois métodos varia de acordo com a composição química e de ingredientes da dieta, e que essa variação teve correlação positiva com os níveis de FDN, PNAs, beta-glicanas, pentosanas e com o logaritmo da viscosidade real. Os motivos dessa correlação foram atribuídos aos efeitos de diversas frações da fibra sobre a motilidade gastrintestinal e taxa de passagem da digesta, a secreção de enzimas endógenas e com a extensão com que as dietas com alta fibra podem ser digeridas nas condições dos dois métodos, devido

principalmente às diferenças no consumo de alimento e de energia, e no estado fisiológico dos animais testados.

Outra grande diferença entre as metodologias utilizadas nos dois experimentos do presente trabalho inclui a colheita diária de excreta no Experimento I, contra um acúmulo de 6 dias de excreta para uma única colheita no Experimento II. Uma possível perda de matéria orgânica na forma de gases e calor da fermentação da excreta na bandeja de colheita causaria um aumento na estimativa da EM. A não detecção de produção significativa de metano durante os períodos de balanço na câmara parecem indicar que não houve fermentação significativa da excreta durante esse período. Entretanto, Marounek et al. (1999) observaram que a baixa produção de metano na fermentação de carboidratos por inóculo cecal de frangos também ocorre em fermentações *in vitro*. Uma possível perda de matéria orgânica por fermentação com produção de  $H_2$  não foi mensurada. Já em relação á perda de nitrogênio volátil, na câmara respiratória utilizada no Experimento II havia recuperação do nitrogênio no ar e também da água de condensação, enquanto no Experimento I não houve controle dessa perda.

Por fim, outra fonte de variação que deve ser considerada é a diferença entre laboratórios na análise das dietas (excetuando-se as determinações de viscosidade, FTD e a PCIA, que foram analisadas no mesmo laboratório). Entretanto essa variação faz parte da avaliação dos modelos propriamente dita, sendo que os modelos que utilizam variáveis mais robustas devem apresentar maior repetibilidade.

A medida de precisão da predição (DPR) está diretamente relacionada à robustez da predição, ou seja, à maior independência em relação à erros laboratoriais e diferenças entre laboratórios. Na presente situação, a precisão está principalmente refletindo independência em relação ao nível de fibra na dieta, ou seja, uma melhor adequação as situações extremas de nível de fibra testadas. Isto significa que as equações que apresentaram baixa exatidão, mas com alta precisão, podem ser calibradas para diversas situações de utilização (ajuste da constante), uma vez que o erro apresentado não dependeu da composição da dieta e sim de variáveis associadas a outros fatores, como as aves e o manejo utilizado. Baseando-se nestas considerações, destacam-se as equações M5, M6, M12 e M14, que apresentaram DPR menor que 60 kcal, e em seguida a M11 (EB, PB e FDT), a M15 (EB, amido e PB) e a M7 (EB, PB, FDA), com DPR em torno de 80 kcal/kg. Essa avaliação altera a seleção de variáveis que melhor explicam os efeitos da fibra, sendo que a FDA e a FTD foram as que mais apareceram nas equações de menor DPR na validação, embora a melhor equação geral tenha sido a M5, baseada na FDN. Estes resultados contradizem o trabalho de Carré et al. (1984), que obteve melhores resultados com a medida PCIA que com a FDN. Entretanto é necessário considerar a alta digestibilidade das frações fibrosas observada no experimento II, que pode estar relacionada à uma fermentação posterior de carboidratos de alta taxa de fermentação residuais na excreta, como os PNA e pectinas. Carré et al. (1990) observaram que as pectinas e os PNAs solúveis podem ser totalmente fermentados em galos, entretanto, as frações insolúveis das pectinas e PNA, que possuem alta taxa de



fermentação (Van Soest et al., 1991), podem ter sido parcialmente fermentadas nas bandejas de colheita no experimento II. Isto explicaria a superioridade dos valores de EM obtidos neste experimento quando comparados com as previsões baseadas em medidas que incluem as frações insolúveis de alta fermentabilidade, onde se destaca a PCIA. Além disso, é necessário salientar que as análises de PCIA, FTD e VAP foram feitas em determinação única, enquanto as demais análises foram realizadas em duplicata ou triplicata (intens 3.2.4 e 4.2.2).

De qualquer forma, os resultados obtidos nessa simulação de validação das equações de previsão da EM confirmam a baixa adequabilidade da FB como medida da fibra da dieta para frangos (Carré et al., 1984; Carré, 1993; Ferreira, 1994; Bach Knudsen, 2001) e também confirmam a utilidade de medidas como a viscosidade para a previsão do valor de EM (Choct & Annison, 1992; Bedford & Classen, 1993; Annison & Choct, 1994; Carré et al., 1994; Maisonnier et al., 2001a, Austin et al., 1999; Francesch et al., 2002).

Por outro lado, a equação M15 (sem medidas de fibra) também apresentou um erro comparativamente baixo na previsão da EM, levando-se em conta a alta diferença no nível de fibra entre as dietas (TABELA 4.1). Dada a pequena diferença no teor de gordura tanto nas dietas utilizadas no desenvolvimento das equações (Experimento I) quanto para sua validação (Experimento II), a equação M15 contém as principais variáveis que explicam os componentes digestíveis das dietas, isto é, a energia, o amido e a proteína. A eficiência observada para essa equação parece confirmar um efeito principalmente diluidor da mistura de fibras utilizada na formulação da dieta 2

do Experimento II, o que está de acordo com a baixa viscosidade observada nessa dieta e a pequena diferença na eficiência de utilização da EM que foi observada entre as dietas com alta e baixa concentração em fibras.

Os resultados da simulação de validação das equações preditoras da EM, considerando as diferenças de condições experimentais entre os dois experimentos, demonstram a necessidade de validação para condições de campo de equações de predição obtidas em situações experimentais, que podem ser tão importantes quanto os parâmetros matemáticos para a escolha das equações de maior adequabilidade. Além disso torna-se necessário testar a viabilidade da calibração das equações de predição para situações de criação diferentes das experimentais.

TABELA 5.1. Validação de equações de predição da energia metabolizável obtidas no Experimento I utilizando os resultados obtidos no Experimento II (n = 2)\*

Equação	Dieta normal		Alta fibra		Erro médio	DPR
	Predição	Erro	Predição	Erro		
M1	3414	119,8	2754	334,0	226,9	151,43
M2	3420	114,1	2611	476,9	295,5	256,53
M3	3303	231,0	2524	564,5	397,7	235,82
M5	3567	-33,3	3037	50,9	8,8	59,50
M6	4012	-477,7	3525	-436,6	-457,2	29,06
M7	3600	-66,2	3041	47,2	-9,5	80,14
M8	3594	-60,2	3001	87,2	13,5	104,22
M9	3502	32,2	2859	229,0	130,6	139,17
M11	3654	-119,7	3102	-14,2	-67,0	74,56
M12	3499	35,4	3008	80,4	57,9	31,81
M14	3247	287,3	2741	346,9	317,1	42,21
M15	3426	107,8	2868	219,7	163,7	79,16

\*As equações 4, 10, 13 e 15 não puderam ser calculadas pela falta da análise da CHPCIA nas dietas do Experimento II.

### 5.2.2. Determinações de energia líquida

Na TABELA 5.2 são apresentados os valores de EL preditos pelas equações aplicáveis e os respectivos erros obtidos (diferença entre os valores medidos e preditos). Como a CHPCIA das dietas no Experimento II não foi determinada, algumas equações, incluindo a com melhor  $R^2$  (L6) não puderam ser comparadas, incluindo a única equação obtida com a PCIA (L8).

Mesmo assim, de forma semelhante ao observado com as equações de predição da EM, considera-se que os erros de predição da EL foram em média bastante altos, e não houve a correspondência esperada na ordem de classificação das equações quanto à precisão e exatidão: as equações L2, L4 e L7, consideradas com boa predição e exatidão no Experimento I, apresentaram alto DPR na validação. Entretanto, foram observados alguns pontos que indicam uma melhor extrapolação entre experimentos das conclusões gerais obtidas com as equações de predição da EL em relação ao obtido com a EM:

A) As melhores equações baseando-se no DPR da validação foram a L10, (EB, PB, FTD e VAP) e a L9 (EB, PB e FTD), além de confirmarem a validade das variáveis EB e PB, e a validade de uma medida completa da fibra da dieta, a FTD (na ausência de possibilidade de teste da PCIA), também está de acordo com a complementaridade da utilização da medida VAP para descrever o efeito da fibra sobre a biodisponibilidade da energia; e

B) Essas considerações também são suportadas pelas próximas equações com melhor DPR na validação, a L11 (cinzas, PB, FTD e VAP) e a L13 (cinzas, EE, amido e VAP), as quais são equivalentes, dada a aditividade de termos discutida anteriormente. Essas duas equações apresentam também

a mesma estrutura da equação L10, ou seja: uma estimativa da energia total (cinzas x EB), uma estimativa do conteúdo de carboidratos digestíveis (amido x FTD), uma estimativa da fração química com  $K_0$  diferente do de carboidratos (EE x PB) e a medida da atividade da fibra (VAP).

Além disso, esperava-se um maior erro com a validação das equações de EL que de EM, baseando-se no maior efeito da variação entre animais sobre os valores de EL que de EM (Carré et al., 2002). Somam-se às fontes de variação entre aos dois experimentos discutidas em relação à determinação da EM, a diferença de métodos de determinação da perda de calor basal (ELm e PCJ), a medição indireta da perda de calor e a quantificação da atividade física no Experimento II, que necessariamente resultam em maior precisão e exatidão das estimativas em relação à estimativa de retenção de energia por abate comparativo. Por outro lado, o número de dietas a serem testadas é bem mais limitado na situação do Experimento II que do Experimento I, o que torna os dois métodos complementares entre si.

TABELA 5.2. Validação de equações de predição da energia líquida obtidas no Experimento I utilizando os resultados obtidos no Experimento II (n = 2)

Equação	Dieta normal		Alta fibra		Erro médio	DPR
	Predição	Erro	Predição	Erro		
L1	2630	-108,1	1838	341,2	116,6	317,64
L2	2580	-57,8	1746	432,7	187,4	346,88
L3	2248	274,3	1437	741,6	507,9	330,41
L4	2298	224,4	1584	595,3	409,9	262,24
L5	2213	309,0	1557	622,1	465,5	221,41
L7	2223	299,5	1365	814,0	556,7	363,84
L9	2494	28,3	1981	198,4	113,3	120,31
L10	2463	59,0	1962	216,8	137,9	111,55
L11	2398	124,2	1882	296,7	210,4	121,94
L13	2651	-129,0	2137	42,2	-43,4	121,05
L14	2221	301,4	1680	498,6	400,0	139,48

\*As equações 6, 8 e 12 não puderam ser calculadas pela falta da análise da CHPCIA nas dietas do Experimento II.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

Em geral, os resultados obtidos confirmam que a fibra tem efeitos deletérios sobre a disponibilidade da energia da dieta e sobre a eficiência de utilização dessa energia por frangos de corte, e que estes efeitos dependem não só do nível como também da fonte de fibra, ou mais especificamente de suas propriedades físico-químicas. Além disso, foi possível observar que:

- A) A maior parte destes efeitos está relacionada a um efeito diluidor da energia metabolizável, devido à baixa digestibilidade da fibra, especialmente da fração insolúvel, e também devido aos seus efeitos sobre a digestibilidade dos outros nutrientes da dieta;
- B) Já os efeitos sobre a partição e utilização da energia metabolizável devido ao consumo e dietas com alta fibra incluem uma maior perda de calor durante a ingestão e digestão, e um provável aumento no custo de manutenção devido ao aumento na proporção corporal do trato digestivo;
- C) A utilização de medidas da fração fibrosa que incluam a pectina, como a parede celular insolúvel em água, e os polissacarídeos não amiláceos solúveis, como a fibra total da dieta, são importantes para a predição do efeito do nível de fibra, enquanto a utilização de medidas de propriedades físico-químicas da fibra, como a viscosidade e a capacidade de hidratação, são importantes para a predição do efeito do tipo e fonte de fibra;
- D) A associação das medidas de viscosidade e capacidade de hidratação com medidas da quantidade de fibra permite eficiente predição do efeito do nível e fonte de fibra, mesmo com a utilização de medidas menos abrangentes da quantidade de fibra para frangos, como a fibra bruta e a fibra em detergente ácido;

- E) A partir dos resultados observados com calorimetria indireta, com quantificação da perda de calor da atividade física, observou-se que o efeito do nível de fibra sobre a eficiência de retenção da energia é menor do que o observado com outras espécies, ao menos quando as aves podem regular o consumo de energia, e quando a dieta apresenta baixa viscosidade;
- F) Por outro lado, os resultados obtidos com abate comparativo demonstraram que o efeito da fibra sobre a eficiência de retenção da energia metabolizável pode ser maior, especialmente com dietas contendo a fibra de trigo, triticales e cevada, e que este efeito pode estar relacionado com a viscosidade desses materiais;
- G) As discordâncias na magnitude do efeito da fibra entre os resultados obtidos com calorimetria indireta e abate comparativo podem estar associadas à diferença de consumo de energia entre dietas no experimento com abate comparativo, e à medição da atividade física e a baixa viscosidade real da dieta fibrosa no experimento com calorimetria indireta.

## 7. PERSPECTIVAS

Apesar de avanços alcançados no presente trabalho no conhecimento dos mecanismos e na metodologia de avaliação e predição dos efeitos da fibra sobre a biodisponibilidade da energia para frangos em crescimento, muitos pontos restam para serem investigados para a completa aplicação das informações obtidas. Dentre estes, cabe listar:

- A) A quantificação do aumento do custo energético de manutenção devido ao aumento na proporção corporal do trato digestivo decorrente do consumo de dietas com alta fibra;
- B) A investigação do efeito de fibras de diferentes fontes e/ou com diferentes propriedades físico-químicas sobre a partição da produção de calor utilizando as ferramentas desenvolvidas para o Experimento II deste trabalho
- C) A avaliação dos efeitos da fibra sobre a retenção de energia por abate comparativo mas utilizando valores determinados previamente da energia metabolizável das dietas a serem testadas, de forma a conseguir maior controle do consumo de energia das aves, ou com a utilização de valores calculados da produção de calor basal para aves mantidas sob consumo à vontade das dietas a serem testadas.
- D) A avaliação da repetibilidade das medidas de fibra e das propriedades físico-químicas propostas, nas condições dos laboratórios brasileiros, bem como a avaliação de outras medidas não testadas, como a fibra solúvel da dieta e a fibra solúvel em detergente neutro, e as propriedades físico químicas de capacidade de troca catiônica e capacidade tamponante;



- E) A validação da aditividade das medidas de propriedades físico-químicas propostas em condições práticas para uso em formulação de dietas; e
- F) A validação e calibração das equações de predição obtidas, bem como a avaliação da eficiência dos sistemas de energia metabolizável e líquida para a predição do desempenho e retenção de nutrientes, utilizando dietas práticas e condições de campo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIZAL; OHTANI, S. Deffated rice bran-nonstarch polysaccharides in broiler diets: effect of supplements on nutrient digestibilities. **Journal of Poultry Science**, Tsukuba Norin-danchi, JP, v. 39, p. 67-76, 2002a.

ADRIZAL; OHTANI, S. Effects of rice bran-nonstarch polysaccharides and fiber-degrading enzymes on performance and nutrient digestibility in broiler chicks. **Journal of Poultry Science**, Tsukuba Norin-danchi, JP, v. 39, p. 109-117, 2002b.

AEGIS SIMULATION. **ACSL Optimize** (versão 2.4). AEGis Simulation, Inc., Huntsville, AL. 1999.

AERTS, J.M.; BERCKMANS, D.; SAEVELS, P.; DECUYPERE, E.; BUYSE, J. Modelling the static and dynamic responses of total heat production of broiler chickens to step changes in air temperature and light intensity. **British Poultry Science**, London, v.41, p.651-659, 2000.

ALMIRALL, M.; ESTEVE-GARCIA, E. Rate of passage of barley diets with chormium oxide: influence of age and poultry strain and effect of  $\beta$ -glucanase supplementation. **Poultry Science**, Champaign, v.73, p.1433-1440, 1994.

ANGKANAPORN, K.; RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W.L. Influence of caeectomy and dietary protein concentration on apparent excreta amino acid digestibility in adult cockerels. **British Poultry Science**, London, v.38, p. 270-276, 1997.

ANNISON, G.; CHOCT, M. Plant polysaccharides - their physiochemical properties and nutritional roles in monogastric animals. In: Lyons, T. P.; Jacques, K. A. (Eds.). *Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's Tenth Annual Symposium*. Nottingham: Nottingham University Press.1994, p.51-66.

ASP, N. -G.; JOHANSSON, C. -G.; HALLMER, H.; SILJESTRÖM, M. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fibre. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.31, p.476-482, 1983.

ASP, N.-G.; JOHANSSON, C.-G. Dietary fibre analysis. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Farnham Royal, v.54, n.9, p.735-751, 1984.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 16ed. Washington, 1995 . v.2, cap.2, p.5-9.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15ed., Arlington, 1990. 1117p.

AUSTIN, S.C.; WISEMAN, J.; CHESSON, A. Influence of non-starch polysaccharides structure on the metabolisable energy of U. K. wheat fed to poultry. **Journal of Cereal Science**, New York, v.29, p.77-88, 1999.

BACH KNUDSEN, K.E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v.90, p.3-20, 2001.

BEDFORD, M.R.; CLASSEN, H. L. An *in vitro* assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. **Poultry Science**, Champaign, v.72, p.137-143, 1993.

BERMAN, A.; SNAPIR, N. The relation of fasting and resting metabolic rates to heat tolerance in the domestic fowl. **British Poultry Science**, London, v.6, p.207-216, 1965.

BLAXTER, K.L. **Energy metabolism in animals and man**. Cambridge: University Press, 1989. 336 p.

BOEKHOLT, H.A.; VAN DER GRINTEN, P.H.; SCHREURS, V.V.M. et al. Effect dietary energy restriction on retention of protein, fat and energy in broilers chickens. **British Poultry Science**, London, v.35, p.603-614, 1994.

BOURDILLON, A.; CARRÉ, B.; CONAN, L.; DUPERRAY, J.; HUYGHEBAERT, G.; JANSSEN, W.M.M.A.; LECLERQ, B.; LESSIRE, M.; McNAB, J.; RIGONI, M.; WISEMAN, J. European reference method for the *in vivo* determination of metabolisable energy with adult cockerels: reproducibility, effect of food intake, comparison with individual laboratory methods. **British Poultry Science**, Champaign, v.31, p.557-565. 1990a.

BOURDILLON, A.; CARRÉ, B.; CONAN, L.; FRANCESCH, M.; FUENTES, M.; HUYGHEBAERT, G.; JANSSEN, W.M.M.A.; LECLERQ, B.; LESSIRE, M.; McNAB, J.; RIGONI, M.; WISEMAN, J. European reference method of *in vivo* determination of metabolisable energy in poultry: reproducibility, effect of age, comparison with predicted values. **British Poultry Science**, Champaign, v.31, p.567-576. 1990b.

BROUWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: BLAXTER, K.L. **Energy metabolism of farm animals**. London : Academic Press, 1965. p.441-443.

BRUGALLI, I. **Efeito da fonte, nível energético e relação de aminoácidos essenciais da dieta sobre a retenção e eficiência de retenção dos componentes corporais de frangos de corte**. 140f. 2001. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BUYSE, J.; MICHELS, H.; VLOEBERGHES, J.; SAEVELS, P.; AERTS, J.M.; DUCRO, B.; BERCKMANS, D.; DECUYPERE, E. Energy and protein metabolism between 3 and 6 weeks of age of male broiler chickens selected for growth rate or for improved food efficiency. **British Poultry Science**, London, v.39, p.264-272, 1998.

CARRÉ, B. The chemical and biological bases of a calculation system developed for predicting dietary energy values: a poultry model. In: FULLER, M.F.(Ed.). **In vitro digestion for pigs and poultry**. 2.ed. New York : CAB International, 1993. p.67-85.

CARRÉ, B.; BRILLOUET, J.-M. Determination of water-insoluble cell walls in feeds: interlaboratory study. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, Washington, v.72, n.3, p.463-467, 1989.

CARRÉ, B.; DEROUET, L.; LECLERCQ, B. The digestibility of cell-wall polysaccharides from wheat (bran or whole grain), soybean meal, and white lupin meal in cockerels muscovy ducks, and rats. **Poultry Science**, Champaign, v.69, p.623-633, 1990.

CARRÉ, B.; GOMES, J. Digestibility of water-soluble pectin and organic acid losses in intact or cecectomized adult cockerels. **Poultry Science**, Champaign, v.73, p.1881-1886, 1994.

CARRÉ, B.; GOMEZ, J.; CHAGNEAU, A.M. Contribution of oligosaccharide and polysaccharide digestion, and excreta losses of lactic acid and short chain fatty acids, to dietary metabolisable energy values in broiler chickens and adult cockerels. **British Poultry Science**, Champaign, v. 36, n. 4, p. 611-629, 1995

CARRÉ, B.; GOMEZ, J.; MELCION, J.P.; GIBOULOT, B. La viscosité des aliments destinés à l'aviculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau. **Productions Animales**, Paris, v.7, n.5, p.369-379, 1994.

CARRÉ, B.; LESSIRE, M.; JUIN, H. Development of the net energy system for broilers. In: EASTERN NUTRITION CONFERENCE, 2002, Guelph, Canada. **Proceedings...** Guelph: Animal Nutrition Association of Canada, 2002. p.140-149.

CARRÉ, B.; PREVOTEL, B.; LECLERCQ, B. Cell Wall content as a predictor of metabolisable energy value of poultry feedingstuffs. **British Poultry Science**, London, v.25, p.561-572, 1984.

CARRÉ, B.; ROZO, E. La prédiction de la valeur énergétique des matières premières destinées à l'aviculture. **Productions Animales**, Paris, v.3, n.3, p.163-169, 1990.

CHABEAUTI, E.; NOBLET, J.; CARRÉ, B. Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.32, p.207-213, 1991.

CHAU, C.-F.; CHEUNG, C.-K. Effects of the physico-chemical properties of three legume fibers on cholesterol absorption in hamsters. **Nutrition Research**, Los Angeles, v.19, n.22, p.257-265, 1999.

CHOCT, M.; ANNISON, G. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.67, p.123-132, 1992.

CHOCT, M.; ANNISON, G.; TRIMBLE, R.P. Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.122, n.12, p.2457-2465, 1992.

CHOCT, M.; HUGHES, B. The new season grain phenomenon: The role of endogenous glycanases in the nutritive value of cereal grains in broiler chickens. In: RURAL INDUSTRIES RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Publication 00/143**, oct. 2000. Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au>>. Acesso em: 17/10/2002

CHOCT, M.; HUGHES, J.; BEDFORD, M.R. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and cecal volatile fatty acid production in chickens feed wheat. **British Poultry Science**, London, v. 40, p. 419-422, 1999.

CHOCT, M.; HUGHES, R.J.; WANG, J.; BEDFORD, M.R.; MORGAN, A.J.; ANNISON, G. Increased small intestinal fermentation is partially responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chicken. **British Poultry Science**, London, v.37, p.609-621, 1996.

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES. Dosage de l'amidon. Méthode polarimétrique. Directive 1999/79/CE du 27 juillet 1999. **Journal Official des Communautés Europeenes**, Bruxelles, n.L209, p.23-27, 1999.

CONTE, A. J.; TEIXEIRA, A. S.; FIALHO, E. T.; SCHOULTEN, N. A.; BERTECHINI, A. G. Efeito da fitase e xilanase sobre o desempenho e as características Ósseas de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de arroz. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1147-1156, 2003.

COON, C.N.; LESKE, K.L.; AKAVANICHAN, O.; CHENG, T.K. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. **Poultry Science**, Champaign v.69, p.787-793, 1990.

CRISSEY, S.D.; THOMAS, O.P. Comparison of the sensitivities of growth and digestibility studies using intact, cecectomized, and cannulated roosters. **Poultry Science**, Champaign, v.66, p.866-874, 1987.

DUKE, G. E. Alimentary canal: anatomy, regulation of feeding, and motility. In: STURKIE, P. D. **Avian physiology**. 4. ed. New York : [s.n.], 1986a. p.269-288.

DUKE, G. E. Alimentary canal: secretion and digestion, special digestive functions, and absorption. In: STURKIE, P. D. **Avian physiology**. 4. ed. New York : [s.n.], 1986b. p.289-302.

DUKE, G.E. Gastrointestinal motility and its regulation. **Poultry Science**, Champaign, v.61, p.1245-1256, 1982.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. 3.ed. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1991. 97p. (EMBRAPA CNPSA. Documentos, 19).

EMMANS, G. C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 71, p. 801-821, 1994.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Improved method for measurement of dietary fiber as non-starch polysaccharides in plant foods. **Journal of the Association Official of Analytical Chemistry**, Arlington, v. 71, p. 808- 814, 1988.

FARRELL, D.J. *In vivo* and *in vitro* techniques for the assessment of the energy content of feed grains for poultry: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.50, n.5, p.881-888, 1999.

FERRANDO, C.; VERGARA, P.; JIMÉNEZ, M.; GAÑALONS, E. Study of the rate of passage of foods with chromium-mordanted plant cells in chickens (*Gallus Gallus*). **Quarterly Journal of Experimental Physiology**, Oxford, v. 72, p. 251-259, 1987.

FERREIRA, W.M. Os componentes da parede celular vegetal na nutrição de não-ruminantes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE NÃO-RUMINANTES; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31., 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 1994. p.85-113.

FRANCESCH, M.; BERNARD, K.; McNAB, J.M. Comparison of two direct bioassays using 3-week-old broilers to measure the metabolizable energy of diets containing cereal high in fibre: differences between true and apparent metabolizable energy values. **British Poultry Science**, London, v. 44, p. 580-587, 2002.

GIERUS, M.; ROCHA, J.B.T.. Forage substitution in a grain-based diet affects pH and glycogen content of Semimembranosus and Semitendinosus rabbit muscles. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.75, p.2920-2923, 1997

GIGER-REVERDIN, S.; DUVAUX-PONTER, C.; SAUVANT, D.; MARTIN, O.; PRADO, I. N.; MÜLLER, R. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 96, p. 83-102, 2002.

GOERING, H.G.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis**: apparatus, reagents, procedures and some applications. Washington: Agricultural Research Service, 1970. 20p. (Agriculture Handbook, 379).

GRIMINGER, P.; SCANES, C.G. Protein metabolism. In: STURKIE, P. D. **Avian physiology**. 4. ed. New York : [s.n.], 1986. p.326-344.

HADORN, R.; WENK, C. Effect of different sources of dietary fibre on nutrient and energy utilization in broilers 2. Energy and N-balance as well as whole body composition. **Archives wur Geflügelk**, [s.l.], v.60, n.1, p.22-29, 1996.

HALL, M.B.; LEWIS, B.A.; VAN SOEST, P.J.; CHASE, L.E. A simple method for estimation of neutral detergent-soluble fiber. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.74, p.441-449, 1997.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 42, p. 354-361, 2001.

HOHTOLA, E. Facultative and obligatory thermogenesis in young birds: a cautionary note. **British Poultry Science**, London, v.131, p.733-739, 2002.

IJI, P.A. The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v. 55, p. 375-387, 1999.

IRISH, G. G.; BALNAVE, D. Non-starch polysaccharides and broiler performance on diets containing soyabean meal as the sole protein concentrate. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 44, p. 1483-1499, 1993.

JERACI, J.L.; HORVATH, P.S. In vitro fermentation of dietary fiber by human fecal organisms. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.23, p.121-140, 1989.

JERACI, J.L.; VAN SOEST, P.J. Improved methods for analysis and biological characterization of fiber. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v.270, p.245-263, 1990.

JOHNSON, R.J. Principles, problems and application of amino acid digestibility in poultry. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v.48, p.233-246, 1992.

JOHNSON, R.J.; FARREL, D.J. Relationship between starvation heat production and body size in the domestic fowl. **British Poultry Science**, London, v.26, p.513-517, 1985.

JORGENSEN, H.; ZHAO, X.-Q.; BACK KNUDSEN, K.E.; EGGUN, B.O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.75, p.379-395, 1996.

JORGENSEN, H.; ZHAO, XIN-QUAN; EGGUN, B. O. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 75, p. 365-378, 1996b.

KADLEC, P. Carbohydrate chemistry. In: CARBOHIDRATES in grain legume seeds: Improving nutritional quality and agronomic characteristics. New York: CAB Publishing, 2001. p.15-60.

KARASAWA, Y.; MAEDA, M. Effect of colostomy on the occurrence of dietary (15N) urea in intestinal contents, blood, urine and tissues in chickens fed a low protein diet plus urea. **British Poultry Science**, London, v. 36, p.87-95, 1995.

KARASAWA, Y.; MAEDA, M. Effect of colostomy on utilization of dietary nitrogen in the fowl fed on a low protein diet. **British Poultry Science**, London, v.33, p.815-820, 1992.

KESSLER, A.M.; RIBEIRO, A.M.L.; WARPECHOWSKI, M.B.; SNIZEK JR, P.N. Estimation of swine body nitrogen retention by correcting values from nitrogen balance experiments. In: WORLD CONFERENCE OF ANIMAL PRODUCTION; Reunião da Associação Latinoamericana de Produção Animal, 2003, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

KESSLER, A.M.; WARPECHOWSKI, M.B.; BRUGALLI, I. Metabolismo energético em aves. In: CURSO DE FISIOLOGIA DA DIGESTÃO E METABOLISMO DOS NUTRIENTES EM AVES, Jaboticabal, 2004. **Anais...** São Paulo : Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, 2004. (no prelo)

KESSLER, J.W.; THOMAS, O.P. The effect of cecectomy and extension of the true metabolizable energy values of soybean meal, feather meal, fish meal, and blood meal. **Poultry Science**, Champaign, v.60, p.2639-2647, 1981.

KIELANOWSKI, J. Estimates of the energy cost of protein deposition in growing animals. In: SYMPOSIUM OF ENERGY METABOLISM, 3., London, 1965. **Proceedings**... London, 1965. p. 13-20.

KLEIBER, M. **Bionergetica animal**. New York : Acribia, 1972. 428 p.

KOH, K.; MACLEOD, M.G. Circadian variation in heat production and respiratory quotient in growing broilers maintained at different food intakes and ambient temperature. **British Poultry Science**, London, v.40, p.353-356, 1999a.

KOH, K.; MACLEOD, M.G. Effects of ambient temperature on heat increment of feeding and energy retention in growing broilers maintained at different food intakes. **British Poultry Science**, London, v.40, p.511-516, 1999b.

KUENZEL, W.J.; KUENZEL, N.T. Basal metabolic rate in gallus domesticus. **Poultry Science**, Champaign, v.56, p.619-627, 1977.

LAHAYE, L.; GANIER, P.; THIBAUT, J.N.; SÈVE, B. Impact du broyage des matières premières et du mode de granulation du régime sur les pertes endogènes iléales et la disponibilité des acides aminés chez le porc en croissance. **Journées de Recherche Porcine en France**, Paris, v.35, p.113-120, 2003.

LANGE, C.F.M.; SOUFFRANT, W.B.; SAUER, W.C. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the <sup>15</sup>N-isotope dilution technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.68, p.409-418, 1990.

LAPLACE J.P. Le transit digestif chez les monogastriques. I - Les techniques d'étude. **Annales de Zootechnie**, Champanelle, v. 21, p.83-105, 1972.

LE GOFF, G.; DUBOIS, S.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilisation of energy in growing and finishing pigs. **Animal Research**, Champanelle, v.51, p.245-259, 2002a.

LE GOFF, G.; LE GROUMELLE, L.; VAN MILGEN, J.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Digestibility and metabolic utilisation of dietary energy in adults sows: influence ad addition and origin of dietary fibre. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.87, p.325-335, 2002b.

LECZNIESKI, J.L. **Efeito da forma física e do nível de energia na ração sobre o desempenho, composição corporal e a utilização da energia em frangos**. 1997. 108f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

LEE, P.J.W.; GULLIVER, A.L.; MORRIS, T.R. A quantitative analysis of the literature concerning the restricted feeding of growing pullets. **British Poultry Science**, London, v.12, p. 413-437, 1971.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D.; CASTON, L.J. Diet dilution and compensatory growth in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.70, p.867-873, 1991.



LEESON, S.; SUMMERS, J.D.; CASTON, L.J. Response of broilers to feed restriction or diet dilution in the finisher period. **Poultry Science**, Champaign, v.71, p.2050-2064, 1992.

LESKE, K.L.; COON, C.N. Nutrient content and protein and energy digestibilities of ethanol-extracted, low alfa-galactoside soybean meal. **Poultry Science**, Champaign, v.78, p.1177-1183, 1999.

LESKE, K.L.; JEVNE, C.J.; COON, C.N. Effect of oligosaccharide additions on nitrogen-corrected metabolizable energy of soy protein concentrate. **Poultry Science**, Champaign, v.72, p.664-668, 1993.

LI, Y.; ITO, T.; YAMAMOTO, S. Use of limited daily access to food in measuring the heat production associated with food intake in laying hens. **British Poultry Science**, London, v.32, p.829-839, 1991.

MACLEOD, M. G. Effects of amino acid balance and energy:protein ratio on energy and nitrogen metabolism in male broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 38, p. 405-411, 1997.

MACLEOD, M. G. Modelling the utilization of dietary energy and amino acids by poultry. In: THEODOROU, M.K.; FRANCE, J. **Feeding systems and feed evaluation models**. New York: CAB Publishing, 2000. p. 393-412.

MACLEOD, M.G. Energy utilization: measurement and prediction. In: MCNAB, J.; BOORMAN, N. **Poultry feedstuffs: supply, composition and nutritive value**. III. Feedstuff quality: quantitative assessment. New York: CAB Publishing, 2002. p. 191-217.

MACLEOD, M.G.; SAVORY, C.J.; McCORQUODALE, C.C.; BOYD, A. Effects of long-term food restriction on energy expenditure and thermoregulation in broiler-breeder fowls (*Gallus domesticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, New York, v.106A, n.2, p.221-225, 1993.

MAISONNIER, S.; GOMEZ, J.; CARRÉ, B. Nutrient digestibility and intestinal viscosities in broiler chickens fed on wheat diets, as compared to maize diets with added guar gum. **British Poultry Science**, London, v.42, p.102-110, 2001a.

MAISONNIER, S.; GOMEZ, J.; CHAGNEAU, A. M.; CARRÉ, B. Analysis of variability in nutrient digestibilities in broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 42, p. 70-76, 2001b.

MANUGISTICS. **Statgraphics Plus for Windows**. (versão 4.1). Rockville, Maryland, 1997.

MAROUNEK, M.; SUCHORSKA, O.; SAVKA, O. Effect of substrate and feed antibiotics on in vitro production of volatile fatty acids and methane in caecal contents of chickens. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 80, p. 223-230, 1999.

McBURNEY, M.I.; ALLEN, M.S.; VAN SOEST, P.J. Praseodymium and cooper cation-exchange capacities of neutral-detergent fibres relative to composition and fermentation kinetics. **Journal Science Food Agriculture**, Mysore, v.37, p.666-672, 1986.

- McBURNEY, M.J.; BEAULIEU, K.E. The evolution of our understanding of the role of dietary fiber in human nutrition. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURER, 1993, Ithaca. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1993. p.37-46.
- McCRACKEN, K. J.; QUINTIN, G. Metabolisable energy content of diets and broiler performance as affected by wheat specific weight and enzyme supplementation. **British Poultry Science**, London, v.41, p.332-342, 2000.
- McNAB, J.M. Rapid metabolizable energy assays. In: D'MELLO, J.P.F. **Farm animal metabolism and nutrition: II Feed Evaluation Methodologies**. New York : CAB Publishing, 2000. p.307-315.
- MILLER, M.C.; FROSETH, J.A.; WYATT, C.L.; ULLRICH, S.E. Effect of starch type, total b-glucans and acid detergent fiber levels on the energy content of barley (*Hordeum vulgare* L.) for poultry and swine. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.74, p.679-686, 1994.
- MORAN Jr, E. T. **Comparative nutrition of fowl e swine: the gastrointestinal systems**. [S.l. : s.n.], 1982. 253 p.
- MORAN JR., E. T.; EVANS, E. Performance and nutrient utilization by laying hens feed practical rations having extremes in fibre content. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 57, p. 433-438, 1977.
- MUSHARAF, N.A.; LATSHAW, J.D. Heat increment as affected by protein and amino acid nutrition. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v.55, p.234-240, 1999.
- NAGATA, A.K.; RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.; BERTECHINI, A.G.; FIALHO, E.T. 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, n. 3, p. 668-677, 2004.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Pigs**. 10a.ed. Washington: National Academic Press, 1998. 93 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Poultry**. 9.ed. Washington : National Academy of Sciences, 1994.155 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutritional energetics of domestic animais and glossary of energy terms**. Ed. Rev. Washington: National Academic of Sciences, 1981
- NOBLET, J. Digestive and metabolic utilization of energy in swine: aplication to energy evaluation systems. **Journal Applied Animal Research**, Izatnagar, Índia, v.17, p.113-132, 2000.
- NOBLET, J.; LE GOFF, G. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.90, p.35-52, 2001.
- NOBLET, J.; SHI, X.S. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. **Livestok Production Science**, Amsterdam, v.34, p.137–152, 1993.

NOBLET, J.; VAN MILGEN, J.; CARRÉ, B.; DIMON, P.; DUBOIS, S.; RADEMACKER, M.; Van CAUWENBERGUE, S. Effect of body weight and dietary crude protein on energy utilization in growing pigs and broilers. In: Progress in research on energy and protein metabolism. **Rostock-Warnemünde**, [s.l.], p.205-208. 2003

NUNES, R.V.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; GOMES, P.C.; TOLEDO, R.S. Composição bromatológica, energia metabolizável e equações de predição da energia do grão e de subprodutos de trigo para pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 785-793, 2001.

PARR INSTRUMENTS CO. **Instrutions for the 1241 and 1242 adiabatic calorimeters**. Moline, 1984. 29p. (Parr Manual, 153).

PARSONS, C. M. Influence of caecectomy and source of dietary fibre or starch on excretion of endogenous amino acid by laying hens. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.51, p.541-548, 1984.

PARSONS, C.M.; ZHANG, Y.; ARABA, M. Nutritional evaluation of soybean meal varying in oligosaccharide content. **Poultry Science**, Champaign, v.79, p.1127-1131, 2000.

PENZ JR., A.M.; KESSLER, A.M.; BRUGALLI, I. Novos conceitos de energia para aves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1999, Campinas. **Anais...** Campinas: APINCO, 1999. p.1-24.

PETERSEN, B. Efficiency of protein and fat deposition in growing chickens determined by respiratory experiments. In: ENERGY METABOLISM OF FARM ANIMALS, 5., Visnau, Suissa, 1970. **Proceedings...**Visnau, Suíssa: European Association of Animal Production, 1970. p. 205-208.

PICOLLI, L.; CIOCCA, M. de L. S. Determinação de fibra total, insolúvel e solúvel em grãos de cereais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. **Anais...** . Juiz de Fora: SBZ, 1997. v.4, p.184-186.

PIRGOZLIEV, V.; ROSE, S.P. Net energy system for poultry feeds: a quantitative review. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v.55, p.25-36, 1999

PIRGOZLIEV, V.R., ROSE, S.P., KETTLEWELL, P.S.; BEDFORD, M.R. Efficiency of utilisation of metabolizable energy for carcass energy retention in broiler chickens fed different wheat cultivars. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 81, p. 99-106, 2001.

PROSKY, L.; ASP, N.-G.; FURDA, I.; DE VRIES, J.W.; SCHWEIZER, T.F.; HARLAND, B. The determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v.67, p.1044-1052, 1984.

PYM, R.A.E.; FARREL, D.J. A comparison of the energy and nitrogen metabolism of broilers selected for increased growth rate, food onsumption and conversion of food to gain. **British Poultry Science**, London, v.18, p.411-426, 1977.

QUINIYOU, N.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Effect of dietary crude protein level on protein and energy balances in growing pigs: comparison of two measurement methods. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 41, p. 51-56, 1995.

RAGLAND, D.; THOMAS, C.R.; ELKIN, R.G.; SHAFER, D.J.; ADEOLA, O. The influence of cecectomy on metabolizable energy and amino acid digestibility of select feedstuffs for white pekin ducks. **Poultry Science**, Champaign, v.78, p.707-713, 1999.

RODRIGUES, P. B.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; BARBOZA, W. A.; SANTANA, R. T. Valores energéticos do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1767-1778, 2001.

ROGERS, S.R.; PESTI, G.M.; JOHNSON, R.J. Influence of method of model fitting and gender on estimated parameters for the relationship between starvation heat production and body size in the domestic fowl. **Growth, Development & Aging-GDA**, Bar Harobour, v.55, p.5-10, 1991.

ROSENVOLD, K.; LAERKE, H.N.; JENSEN, S.K.; KARLSSON, A.H.; LUNDSTRÖM, K.; ANDERSEN, H.J. Strategic finishing feeding as a tool in the control of pork quality. **Meat Science**, Amsterdam, v.59, p.397-406. 2001b.

ROSENVOLD, K.; PETERSEN, J.S.; LAERKE, H.N.; JENSEN, S.K.; THERKILDSEN, M.; KARLSSON, A.H.; MOLER, H.S.; ANDERSON, H.J. Muscle glycogen stores and meat quality as affected by strategic finishing feeding of slaughter pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.79, p.382-391. 2001a.

ROSTAGNO, H.S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 141p.

ROTTER, B.A.; FROHLICH, A.A.; ROTTER, R.G.; MARQUARDT, R.R. Research note: estimation of apparent protein digestibility using uric acid-corrected nitrogen values in poultry excreta. **Poultry Science**, Champaign, v. 68, p. 327-329, 1989.

SAKOMURA, N.K. Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Santos, v.6, p.1-11, 2004.

SARMIENTO-FRANCO, L.; MACLEOD, M. G.; MCNAB, J. M. True metabolisable energy, heat increment and net energy values of two high fibre foodstuffs in cockerels. **British Poultry Science**, London, v. 41, p. 625-629, 2000.

SAUVANT D.; PEREZ J.M.; TRAN G. **Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage**. Paris: INRA Editions, 2002. 301p.

SCHWEIZER, T.F. Dietary fibre analysis. **Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie**, Kent, UK, v.22, n.2, p.54-59. 1989.

SCOTT, T.A.; SILVERSIDES, F.G.; CLASSEN, H.L.; SWIFT, M.L.; BEDFORD, M.R. Comparison of sample source (excreta or ileal digesta) and age of broiler chick on measurement of apparent digestible energy of wheat and barley. **Poultry Science**, Champaign, v.77, p.456-463, 1998.

SÈVE, B. Alimentation du porc en croissance: intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. **Production Animal**, Paris, v.7, p.275-291, 1994.

SHI, X.S.; NOBLET, J. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effects of diet composition. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.34, p.237-252, 1993.

SHIRES, A.; THOMPSON, J. R.; TURNER, B. V.; KENNEDY, P. M.; GOH, Y. K. Rate of passage of corn-canola meal and corn-soybean meal diets through the gastrointestinal tract of broiler and white leghorn chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 66, p. 289-298, 1987.

SHORT, F.J.; WISEMAN, J.; BOORMAN, K.N. Application of a method to determine ileal digestibility in broilers of amino acids in wheat. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.79, p.195-209, 1999.

SIBBALD, I.R. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs. **Poultry Science**, Champaign, v.55, p.303-308, 1976.

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

SIBBALD, I.R. Passage of feed through the adult rooster. **Poultry Science**, Champaign, v.58, p.446-459, 1979.

SIBBALD, I.R.; MOORSE, P.M. Provision of supplemental feed and the application of nitrogen correction in bioassays for true metabolizable energy. **Poultry Science**, Champaign, v.62, p.1587-1605, 1983.

SIBBALD, I.R.; PRICE, K.; BARRETE, J.P. True Metabolizable energy values for poultry of commercial diets measured by bioassay and predicted from chemical data. **Poultry Science**, Champaign, v. 59, p. 808-811, 1980.

SILVA, D.A.; WARPECHOWSKI, M.B. Determinação da capacidade de troca catiônica da fibra insolúvel de alimentos por método original e modificado. In: ZOOTECH'2001; CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECHNIA, 9.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECHNIA, 3., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABZ, 2001. p.33.

SIREGAR, A.P.; FARREL, D.J. A comparison of the energy and nitrogen metabolism of starved ducklings and chickens. **British Poultry Science**, London, v.21, p.203-211, 1980.

SMITS, C.H.M.; VELDMAN, A.; VERKADE, H.J.; BEYNEN, A.C. The inhibitory effect of carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid absorption in broiler chickens coincides with reduced bile salt concentration and raised microbial numbers in the small intestine? **Poultry Science**, Champaign, v.77, p.1534-1539, 1998.

SON, J.H.; KARASAWA, Y. Effect of removal of caecal contents on nitrogen utilisation and nitrogen excretion in caecally ligated chickens fed on a low protein diet supplemented with urea. **British Poultry Science**, London, v.41, p.69-71, 2000.

SON, J.H.; KARASAWA, Y. Effects of caecal ligation and colostomy on water intake and excretion in chickens. **British Poultry Science**, London, v.42, p.130-133, 2001.

SUMMERS, J.D.; SPRATT, D.; ATKINSON, J. L. Restricted feeding and compensatory growth for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.69, p.1855-1861, 1990.

TESS, M. W.; DICKERSON, G. E.; NIENABER, J. A.; FERRELL, C. L. The effects of body composition on fasting heat production in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 58, n. 1, p. 99-109, 1984.

THONNEY, M.L.; TOUCHBERRY, R.W.; GOODRICH, R.D.; MEISKE, J.C. Intraspecies relationship between fasting heat production and body weight: a reevaluation of  $W^{0.75}$ . **Journal of Animal Science**, Champaign v.43, n.3, p.692-704, 1976.

VAN DER KLIS, J. D.; VAN VOORST, A. The effect of carboxy methyl cellulose (a soluble polysaccharide) on the rate of marker excretion from the gastrointestinal tract of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.72, p.503-512, 1993.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.131, p.1309-1318, 2001a.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S. et al. Utilization of metabolisable energy in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.80, Suppl.1, p.170. 2001b.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S.; BERNIER, J. -F. Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.78, p.397-410, 1997.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Cambridge, v.74, p.3583-3597, 1991.

VERGARA, P.; JIMENEZ, M.; FERRANDO, C.; FERNANDEZ, E.; GOÑALONS, E. Age influence on digestive transit time of particulate and soluble markers in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 68, p. 185-189, 1989.

WARNER, A.C.I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Farnham Royal, series B, v.51, n.12, p.789-820, 1981.

WARPECHOWSKI, M. B.; CIOCCA, M. L. S. Effect of dietary insoluble fiber on retention time of solid and liquid phases of digest of intact, cecectomized and ileum fistulated broilers. **Poultry Science**, Savoy, v. 81, suppl. 1, p. 76, 2002.

WARPECHOWSKI, M. B.; FEDALTO, L. M.; GUARESCHI NETO, A. R.; BEDIN, S. R. Efeito da restrição alimentar quantitativa sobre o desempenho e as características da carcaça de suínos em terminação? **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 73-75, 1999.

WARPECHOWSKI, MB.; CARRÉ, B.; DUBOIS, S.; Van MILGEN, J.; NOBLET, J. Energy utilization and heat production in male broilers fed normal or high fat diets. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 1, 2004. (Errata: Prêmio Lamas – Nutrição). Não localizado.

WARPECHOWSKI, M.B.; CIOCCA, M. de L.S. Propriedades físico-químicas da fibra em detergente neutro de ingredientes isolados e misturados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. v.4, p.187-190.

WARPECHOWSKI, M.B.; CIOCCA, M.L.S. Cecectomy and ileal cannulation affect the gastrointestinal passage of solid and liquid phases in broilers. **Animal Research**, Paris, 2005. (no prelo)

WARPECHOWSKI, M.B.; KESSLER, A.M.; POPHAL, S.; EBERT, A.R.; RIBEIRO, A.M.L. Caracterização de método de abate para determinação da digestibilidade ileal de nutrientes em frangos de corte I. Avaliação do estado de equilíbrio dinâmico e da quantidade de digesta na porção terminal do íleo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002a. p.05sbz1402

WARPECHOWSKI, M.B.; KESSLER, A.M.; POPHAL, S.; EBERT, A.R.; RIBEIRO, A.M.L. Caracterização de método de abate para determinação da digestibilidade ileal de nutrientes em frangos de corte II. Digestibilidade aparente e verdadeira da proteína. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 12., 2002, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2002b. n.p.

WIERNUSZ, C.J.; TEETER, R.G. Feeding effects on broiler thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. **Poultry Science**, Champaign, v.72, p.1917-1924, 1993.

ZANDER, R. Influence of straw application as crude fibre source on N-excretion in colostomized broiler hens and bacterial activity in the intestine. **Archives Geflügelk**, [s.l.], v.50, n.2, p.68-73, 1986.

ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1996. p. 1–5. (Comunicado Técnico, 215)

ZHANG, W. J.; CAMPBELL, L. D.; STOTHERS, S. C. An investigation of the feasibility of predicting nitrogen-corrected true metabolizable energy (TMEn) content in barley from chemical composition and physical characteristics. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 74, p. 355-360, 1994.

ZHAO, X.; JORGENSEN, H.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre on body composition, visceral organ weight, digestibility and energy balance in rats housed in different thermal environments. **British Journal of Nutrition**, London, v. 73, p. 687-699, 1995.

ZNANIECKA, G. Calorific value of protein and fat of the chicken's body. In: BLAXTER, K.L.; KIELANOWSKI, J. **Energy metabolism of farm animals**. Newcastle: European Association of Animal Production : Oriel Press, 1967. p.407-408.



## **9. APÊNDICES**

APÊNDICE 01. Exemplo de planilha de controle de arraçoamento com ajuste diário da quantidade oferecida no experimento I

	Ração	EMA	Gaiola	33		6		54		49		93		21	
	1	3229	Repet	1		2		1		2		1		2	
	PS-Milho		Nível	1		1		2		2		3		3	
	<i>max</i>	<b>340</b>	EM/kgPM	basal	basal	basal	basal	70%	70%	70%	70%	100%	100%	100%	100%
	1o.	peso	dia 0	846	846	952	952	934	934	878	878	935	935	856	856
	2o.	peso	dia 7												
	3o.	peso	dia 14												
Quantidade de ração (gramas/refeição - 1 saquinho duas vêzes ao dia)															
saco	Dia	Semana	Data	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde
A	0	Domingo	17/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	38,3	38,3	36,5	36,5	51,1	51,1	47,8	47,8
B	1	Segunda	18/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	39,8	39,8	38,0	38,0	53,1	53,1	49,7	49,7
A	2	Terça	19/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	41,3	38,9	39,4	37,2	55,1	55,2	51,5	51,7
B	3	Quarta	20/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	39,4	40,4	37,6	38,6	56,3	57,3	52,7	53,7
A	4	Quinta	21/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	40,8	41,8	39,0	40,0	58,3	59,3	54,6	55,6
B	5	Sexta	22/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	42,3	43,3	40,3	41,3	60,4	61,4	56,5	57,5
A	6	Sábado	23/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	43,7	44,7	41,7	42,7	62,5	63,5	58,5	59,5
B	7	Domingo	24/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	45,2	45,2	43,1	43,1	64,6	65,6	60,4	61,4
A	8	Segunda	25/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	46,6	46,6	44,5	44,5	66,6	67,6	62,4	62,4
B	9	Terça	26/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	48,1	48,1	45,9	45,9	68,7	68,7	64,3	64,3
A	10	Quarta	27/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	49,5	49,5	47,3	47,3	70,8	70,8	66,2	66,2
B	11	Quinta	28/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	50,9	50,9	48,6	48,6	72,8	72,8	68,2	68,2
A	12	Sexta	29/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	52,4	52,4	50,0	50,0	74,9	74,9	70,1	70,1
B	13	Sábado	30/nov	20,5	20,5	22,4	22,4	53,8	53,8	51,4	51,4	77,0	77,0	72,1	72,1
A	14	Domingo	1/dez	20,5	20,5	22,4	22,4	55,3	55,3	52,8	52,8	79,1	79,1	74,0	74,0

**APÊNDICE 02. Composição corporal das aves testemunha no Experimento I**

Ave	A	B	C	D	E	Média
Peso vivo, g	870,8	903,2	800,2	901,3	892,1	873,5
Após depena, g	839,8	879,1	779,0	875,8	862,1	847,2
Trato gastrintestinal, g	63,8	69,2	64,2	64,9	63,8	65,2
Penas, %	3,56	2,67	2,65	2,83	3,36	3,01
Trato gastrintestinal, %	7,33	7,66	8,02	7,20	7,15	7,47
% MS 60 °C	33,47	33,73	28,00	31,67	30,59	31,49
% MS 105 °C	95,99	96,23	96,73	96,54	96,41	96,38
EB, kcal/g MS	6,580	6,325	6,405	6,477	6,524	6,462
Cinzas, % MS	7,75	9,44	8,72	8,22	7,96	8,42
PB, % MS	47,97	52,54	51,36	50,71	48,99	50,31
EE, % MS	44,28	38,02	39,92	41,07	43,05	41,27
MS Total, g	269,8	285,4	211,0	267,8	254,2	257,6
PB Total, g	153,0	168,3	124,5	155,2	147,4	149,7
EE Total, g	120,5	109,3	84,9	110,9	110,5	107,2
EB Total, kcal	1966,8	1948,2	1479,0	1889,7	1842,6	1825,2

APÊNDICE 03. Dados individuais de desempenho e composição de partes corporais ao abate das aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Peso vivo, g			Consumo MS, g	GP, g	CA	Partes ao abate, g			Partes ao abate, %		
			Inicial	Final	Média				Após depena	Carcaça	TGI	Penas	Carcaça	TGI
1	1	1	846,0	855,4	850,7	549,6	9,4	58,727	814,0	736,9	59,6	4,84	86,15	6,97
2	1	1	952,0	962,5	957,2	600,0	10,1	59,570	924,7	806,2	70,1	3,92	83,76	7,28
3	1	2	934,0	1597,9	1266,0	1279,9	597,7	2,141	1523,1	1245,9	92,7	4,68	77,97	5,80
4	1	2	878,0	1515,6	1196,8	1221,8	573,1	2,132	1420,7	1150,9	79,1	6,26	75,94	5,22
5	1	3	935,0	2011,3	1473,2	1786,9	989,4	1,806	1878,9	1553,0	124,2	6,58	77,21	6,18
6	1	3	856,0	1904,3	1380,1	1587,8	934,3	1,700	1800,2	1448,4	107,5	5,47	76,06	5,65
7	2	1	935,6	939,9	937,8	626,6	4,6	135,999	884,6	848,8	75,2	5,88	90,31	8,00
8	2	1	924,0	976,0	950,0	626,5	52,4	11,954	921,0	834,8	75,7	5,63	85,54	7,76
9	2	2	911,0	1671,8	1291,4	1380,1	602,2	2,292	1582,4	1104,1	100,8	5,35	66,04	6,03
10	2	2	845,0	1475,6	1160,3	1259,0	586,1	2,148	1376,9	1159,8	87,0	6,69	78,60	5,90
11	2	3	910,0	1992,7	1451,4	1841,3	942,5	1,954	1868,4	1442,4	130,5	6,24	72,38	6,55
12	2	3	929,0	1987,7	1458,4	1900,7	956,3	1,987	1861,1	1502,8	125,2	6,37	75,60	6,30
13	3	1	872,0	1009,5	940,8	598,3	133,9	4,468	966,7	854,7	67,6	4,24	84,67	6,70
14	3	1	818,0	895,8	856,9	569,9	77,8	7,320	837,5	752,1	65,7	6,51	83,96	7,33
15	3	2	763,0	1365,7	1064,4	1142,9	584,2	1,958	1286,8	1131,5	87,8	5,78	82,85	6,43
16	3	2	902,0	1605,0	1253,5	1303,0	669,5	1,946	1515,1	1304,0	103,4	5,60	81,25	6,44
17	3	3	793,0	1785,8	1289,4	1667,6	925,2	1,815	1671,4	1396,3	114,6	6,41	78,19	6,42
18	3	3	883,0	1791,9	1337,4	1813,4	860,3	2,108	1677,0	1426,4	111,3	6,41	79,60	6,21
19	4	1	801,0	819,8	810,4	577,5	19,8	29,165	782,4	745,2	65,1	4,57	90,90	7,94
20	4	1	828,0	865,9	846,9	589,9	39,2	15,041	820,5	764,2	64,5	5,24	88,26	7,45
21	4	2	950,5	1577,1	1263,8	1396,6	610,4	2,288	1479,5	1300,8	100,5	6,19	82,48	6,37
22	4	2	774,5	1346,2	1060,3	1191,8	537,9	2,216	1259,8	1068,7	84,9	6,41	79,39	6,31
23	4	3	824,0	1702,1	1263,0	1761,9	835,3	2,109	1596,1	1356,0	114,0	6,23	79,67	6,70
24	4	3	836,0	1706,2	1271,1	1794,6	844,8	2,131	1606,7	1386,2	133,2	5,83	81,24	7,81
25	5	1	953,0	1020,1	986,5	598,4	67,0	8,931	962,5	875,4	63,9	5,64	85,82	6,26

APÊNDICE 03. Continuação: Dados individuais de desempenho e composição de partes corporais ao abate das aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Peso vivo, g			Consumo MS, g	GP, g	CA	Partes ao abate, g			Partes ao abate, %		
			Inicial	Final	Média				Após depena	Carcaça	TGI	Penas	Carcaça	TGI
26	5	1	780,5	780,9	780,7	515,4	0,4	1271,943	728,4	694,1	55,7	6,72	88,89	7,13
27	5	2	890,0	1523,6	1206,8	1198,1	600,6	1,995	1431,3	1231,9	88,9	6,06	80,85	5,83
28	5	2	890,0	1516,9	1203,5	1219,8	585,2	2,084	1426,3	1206,1	89,9	5,97	79,51	5,93
29	5	3	840,0	1826,7	1333,4	1621,8	903,9	1,795	1724,8	1426,7	109,9	5,58	78,10	6,02
30	5	3	820,0	1783,5	1301,7	1584,8	901,7	1,766	1693,7	1433,4	107,5	5,03	80,37	6,03
31	6	1	794,5	867,6	831,1	526,6	67,8	7,782	824,6	677,9	58,6	4,96	78,13	6,75
32	6	1	857,0	956,8	906,9	564,9	95,5	5,916	897,1	761,2	71,1	6,24	79,56	7,43
33	6	2	923,0	1580,3	1251,7	1277,9	621,9	2,055	1493,5	1281,7	93,5	5,50	81,10	5,92
34	6	2	863,0	1465,8	1164,4	1213,3	575,7	2,108	1396,7	1207,8	90,9	4,71	82,40	6,20
35	6	3	800,0	1757,7	1278,8	1609,0	891,5	1,816	1659,4	1396,3	107,9	5,59	79,44	6,14
36	6	3	720,5	1609,3	1164,9	1503,3	816,3	1,842	1533,8	1269,7	99,5	4,69	78,90	6,18
37	7	1	900,0	928,4	914,2	591,1	27,1	21,785	870,6	754,5	60,8	6,22	81,27	6,55
38	7	1	831,0	872,5	851,7	552,0	40,2	13,730	820,9	719,7	56,7	5,91	82,49	6,50
39	7	2	914,0	1529,1	1221,6	1275,6	565,5	2,256	1443,9	1184,4	96,9	5,57	77,46	6,34
40	7	2	750,5	1196,8	973,7	1041,6	456,0	2,340	1132,0	1050,0	79,0	5,42	87,73	6,60
41	7	3	914,0	1887,5	1400,8	1806,7	921,3	1,961	1770,4	1509,8	114,6	6,20	79,99	6,07
42	7	3	864,0	1785,7	1324,8	1717,0	879,2	1,958	1656,9	1431,1	113,0	7,21	80,14	6,33
43	8	1	794,0	814,0	804,0	523,7	21,6	24,216	777,3	770,7	53,9	4,51	94,68	6,62
44	8	1	850,0	831,0	840,5	550,2	-21,2	-25,985	777,7	794,7	60,9	6,42	95,63	7,33
45	8	2	823,5	1490,7	1157,1	1140,3	579,2	1,969	1406,4	1078,2	89,7	5,65	72,33	6,02
46	8	2	857,0	1446,2	1151,6	1178,2	512,0	2,301	1365,5	1066,9	78,9	5,58	73,77	5,46
47	8	3	814,0	1754,7	1284,3	1591,4	874,7	1,819	1654,8	1391,8	98,2	5,69	79,32	5,60
48	8	3	903,0	1784,9	1343,9	1634,6	793,0	2,102	1684,2	1350,2	102,9	5,64	75,65	5,77
49	9	1	893,0	880,0	886,5	594,5	-14,1	-42,065	836,1	837,5	57,6	4,99	95,17	6,55
50	9	1	877,0	860,0	868,5	589,7	-18,7	-31,576	814,4	818,1	62,2	5,31	95,13	7,23
51	9	2	793,0	1309,7	1051,4	1161,4	510,2	2,276	1239,8	1110,9	83,9	5,34	84,82	6,41

APÊNDICE 03. Continuação: Dados individuais de desempenho e composição de partes corporais ao abate das aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Peso vivo, g			Consumo MS, g	GP, g	CA	Partes ao abate, g			Partes ao abate, %		
			Inicial	Final	Média				Após depena	Carcaça	TGI	Penas	Carcaça	TGI
52	9	2	918,0	1580,6	1249,3	1294,0	630,2	2,053	1487,2	1277,8	99,7	5,91	80,84	6,31
53	9	3	889,0	1788,7	1338,9	1763,3	852,6	2,070	1674,7	1414,9	123,4	6,37	79,10	6,90
54	9	3	882,0	1848,1	1365,1	1772,6	917,7	1,932	1728,4	1461,6	127,1	6,48	79,09	6,88
55	10	1	823,0	760,0	791,5	575,0	-68,8	-8,358	716,2	698,1	69,5	5,76	91,86	9,14
56	10	1	708,0	692,0	700,0	520,9	-15,8	-33,050	649,8	560,9	58,0	6,10	81,05	8,38
57	10	2	877,0	1254,3	1065,7	1200,8	368,4	3,260	1163,9	1018,4	85,9	7,21	81,19	6,85
58	10	2	820,0	1129,0	974,5	1103,8	319,2	3,561	1058,1	979,5	78,3	6,28	86,76	6,94
59	10	3	904,0	1623,7	1263,8	1740,9	667,1	2,610	1529,2	1251,7	114,9	5,82	77,09	7,08
60	10	3	834,0	1461,9	1147,9	1605,3	600,9	2,678	1372,7	1162,6	104,5	6,10	79,53	7,15
61	11	1	801,0	748,0	774,5	540,4	-60,3	-8,956	696,0	714,0	64,7	6,95	95,45	8,65
62	11	1	945,0	924,0	934,5	600,1	-23,5	-25,513	869,7	889,8	70,0	5,88	96,30	7,58
63	11	2	844,0	1474,1	1159,0	1184,0	589,7	2,008	1400,6	1176,7	95,6	4,98	79,83	6,49
64	11	2	831,0	1359,0	1095,0	1184,8	521,4	2,272	1281,2	1152,9	80,9	5,72	84,84	5,95
65	11	3	820,0	1746,3	1283,1	1606,4	895,5	1,796	1639,4	1406,3	118,0	6,12	80,53	6,76
66	11	3	832,0	1689,2	1260,6	1643,2	839,0	1,958	1593,5	1391,5	120,3	5,67	82,38	7,12
67	12	1	774,0	731,0	752,5	551,7	-50,0	-11,038	685,5	725,3	54,2	6,22	99,22	7,42
68	12	1	810,0	812,0	811,0	575,3	2,2	261,863	771,8	766,1	65,7	4,95	94,35	8,09
69	12	2	834,0	1429,5	1131,7	1244,4	598,2	2,080	1352,4	1233,6	90,6	5,39	86,30	6,34
70	12	2	901,0	1557,8	1229,4	1319,9	637,1	2,072	1485,6	1294,0	99,0	4,63	83,07	6,36
71	12	3	880,0	1754,5	1317,3	1819,8	898,4	2,026	1650,2	1527,4	124,6	5,94	87,06	7,10
72	12	3	879,0	1821,5	1350,3	1812,0	965,8	1,885	1706,6	1601,4	104,2	6,31	87,92	5,72
73	13	1	747,5	853,0	800,3	618,5	102,2	6,049	801,2	697,4	56,1	6,07	81,76	6,58
74	13	1	818,0	838,0	828,0	622,9	21,2	29,338	779,0	750,8	63,6	7,04	89,59	7,59
75	13	2	840,0	1302,9	1071,4	1312,5	467,7	2,807	1223,4	1114,9	88,9	6,10	85,57	6,82
76	13	2	881,5	1324,3	1102,9	1342,3	461,8	2,906	1231,5	1161,4	96,9	7,00	87,70	7,32
77	13	3	866,0	1646,6	1256,3	1825,3	794,3	2,298	1543,7	1411,4	123,6	6,25	85,72	7,51

APÊNDICE 03. Continuação: Dados individuais de desempenho e composição de partes corporais ao abate das aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Peso vivo, g			Consumo MS, g	GP, g	CA	Partes ao abate, g			Partes ao abate, %		
			Inicial	Final	Média				Após depena	Carcça	TGI	Penas	Carcça	TGI
78	14	1	805,5	849,0	827,3	544,0	45,9	11,862	812,0	772,0	66,6	4,36	90,93	7,84
79	14	1	804,0	818,0	811,0	541,2	14,7	36,718	778,4	746,2	56,7	4,84	91,22	6,93
80	14	2	794,0	1305,8	1049,9	1140,0	519,3	2,195	1239,3	1132,7	97,2	5,09	86,74	7,44
81	14	3	874,0	1806,6	1340,3	1711,7	872,1	1,982	1705,8	1449,4	97,2	5,58	80,23	5,38
82	14	3	808,0	1739,1	1273,6	1615,8	904,0	1,805	1634,2	1448,1	92,2	6,03	83,27	5,30
83	15	1	803,0	736,0	769,5	568,0	-79,1	-7,179	684,3	733,1	64,4	7,02	99,61	8,75
84	15	1	826,0	844,0	835,0	575,8	19,3	29,777	806,9	788,0	61,6	4,40	93,36	7,30
85	15	2	907,0	1524,6	1215,8	1318,0	585,7	2,250	1428,2	1232,1	87,4	6,32	80,82	5,73
86	15	2	774,0	1255,5	1014,8	1174,6	485,6	2,419	1194,6	1098,9	75,8	4,85	87,52	6,04
87	15	3	779,0	1618,0	1198,5	1691,8	800,5	2,114	1515,4	1299,1	107,1	6,35	80,29	6,62
88	15	3	727,0	1472,6	1099,8	1613,1	721,6	2,235	1369,8	1183,7	102,7	6,98	80,38	6,97
89	16	1	741,0	775,0	758,0	543,1	35,9	15,111	725,8	689,6	61,0	6,34	88,98	7,87
90	16	1	931,0	910,0	920,5	646,1	-23,5	-27,530	858,2	880,4	62,7	5,69	96,75	6,89
91	16	2	951,0	1506,1	1228,5	1407,7	575,4	2,446	1441,2	1355,7	102,2	4,31	90,01	6,79
92	16	2	825,0	1346,1	1085,5	1261,7	521,7	2,423	1268,7	1154,5	88,5	5,75	85,77	6,57
93	16	3	728,5	1410,5	1069,5	1627,0	720,1	2,260	1333,1	1272,9	95,7	5,49	90,24	6,78
94	16	3	843,5	1545,3	1194,4	1796,6	752,6	2,407	1465,3	1433,9	99,0	5,18	92,79	6,41

APÊNDICE 04. Dados individuais do balanço de digestibilidade e metabolizabilidade aparente e concentração de energia disponível das dietas experimentais obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Consumo de nutrientes			Matéria seca excretada, g	Composição da excreta (% ou kcal/kg, MS)				Balanço de nutrientes, %				Energia da dieta, kcal/kg MS	
			MO, g	EB, kcal	PB, g		MS	Cinzas	EB	PB	MS	MO	EB	PB	EM	EL
1	1	1	549,6	2498,6	123,1	198,5	20,30	21,43	3531,1	32,34	63,89	69,88	71,95	47,87	3270,8	2287,5
2	1	1	599,9	2727,3	134,4	258,3	21,72	18,19	3478,2	39,90	56,95	62,61	67,06	23,32	3048,4	2132,0
3	1	2	1279,9	5818,4	286,8	327,0	23,19	19,78	3414,1	36,68	74,45	78,25	80,81	58,17	3673,6	2569,2
4	1	2	1221,7	5554,0	273,7	347,6	22,65	19,78	3179,1	33,09	71,55	75,78	80,10	57,98	3641,3	2546,7
5	1	3	1786,9	8123,3	400,4	503,4	26,17	19,42	3002,8	29,98	71,83	75,91	81,39	62,30	3700,0	2587,7
6	1	3	1587,8	7218,1	355,7	469,8	25,45	18,14	3520,4	27,27	70,41	74,29	77,09	63,99	3504,3	2450,8
7	2	1	626,5	2713,2	137,8	242,4	20,06	18,29	3393,8	32,12	61,31	66,32	69,68	43,51	3017,1	2136,4
8	2	1	626,5	2713,0	137,8	220,0	18,94	18,75	3296,9	39,37	64,88	69,60	73,26	37,15	3172,2	2246,2
9	2	2	1380,0	5976,1	303,6	401,4	22,88	14,89	3459,3	33,66	70,92	73,63	76,77	55,50	3324,1	2353,8
10	2	2	1258,9	5451,7	276,9	339,6	23,19	17,71	3533,0	32,92	73,03	76,35	77,99	59,63	3377,2	2391,4
11	2	3	1841,2	7973,0	405,0	475,6	28,29	16,79	3104,9	33,55	74,17	77,10	81,48	60,60	3528,1	2498,2
12	2	3	1900,6	8230,3	418,1	528,1	28,64	14,86	3661,4	29,98	72,21	74,79	76,51	62,13	3312,8	2345,8
13	3	1	598,2	2668,2	130,5	225,4	20,58	22,84	3425,9	28,17	62,33	69,04	71,06	51,33	3169,1	2073,1
14	3	1	569,8	2541,5	124,3	215,4	19,85	22,63	2997,2	31,38	62,20	68,85	74,59	45,60	3326,6	2176,1
15	3	2	1142,9	5097,1	249,2	390,4	23,18	20,43	3377,0	27,92	65,84	71,07	74,13	56,27	3306,0	2162,6
16	3	2	1302,9	5810,8	284,1	438,3	21,79	20,18	3500,0	27,93	66,36	71,40	73,60	56,91	3282,3	2147,1
17	3	3	1667,6	7437,0	363,6	596,0	25,98	20,11	3468,7	25,76	64,26	69,80	72,20	57,78	3219,9	2106,3
18	3	3	1813,4	8087,2	395,4	708,4	27,13	17,14	3799,6	25,45	60,93	65,52	66,72	54,41	2975,3	1946,3
19	4	1	577,4	2603,5	120,4	241,7	21,14	17,61	3200,9	31,80	58,14	63,54	70,28	36,14	3168,7	2054,0
20	4	1	589,8	2659,5	123,0	204,9	19,35	18,79	3699,2	35,38	65,26	70,17	71,49	41,04	3223,3	2089,4
21	4	2	1396,6	6296,6	291,1	502,7	23,65	13,73	3469,9	25,98	64,01	67,17	72,30	55,14	3259,6	2112,9
22	4	2	1191,8	5373,4	248,5	400,7	24,31	15,03	3305,6	26,79	66,38	69,79	75,35	56,79	3397,1	2202,0
23	4	3	1761,8	7943,3	367,3	584,1	26,68	13,73	3646,3	27,58	66,85	69,76	73,19	56,14	3299,6	2138,8
24	4	3	1794,5	8090,8	374,1	604,3	25,22	13,45	3798,9	25,97	66,32	69,29	71,62	58,04	3229,2	2093,2
25	5	1	598,3	2630,3	138,0	227,7	20,79	24,06	3247,7	37,69	61,94	69,06	71,88	37,79	3159,7	2129,2



APÊNDICE 04. Continuação: Dados individuais do balanço de digestibilidade e metabolizabilidade aparente e concentração de energia disponível das dietas experimentais obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Consumo de nutrientes			Matéria seca excretada, g	Composição da excreta (% ou kcal/kg, MS)				Balanço de nutrientes, %				Energia da dieta, kcal/kg MS	
			MO, g	EB, kcal	PB, g		MS	Cinzas	EB	PB	MS	MO	EB	PB	EM	EL
26	5	1	515,3	2265,5	118,8	175,6	19,92	23,33	3226,3	35,05	65,93	72,04	75,00	48,21	3296,6	2221,5
27	5	2	1198,1	5266,7	276,2	334,4	26,88	22,84	3129,4	36,59	72,09	76,95	80,13	55,71	3522,3	2373,6
28	5	2	1219,8	5362,1	281,2	315,4	23,96	23,25	3507,2	36,61	74,14	78,76	79,37	58,95	3488,9	2351,0
29	5	3	1621,8	7129,2	373,9	408,0	27,99	23,26	3118,3	37,75	74,84	79,35	82,15	58,81	3611,3	2433,5
30	5	3	1584,7	6966,4	365,4	389,1	26,84	22,77	3239,8	38,48	75,45	79,80	81,90	59,03	3600,3	2426,1
31	6	1	526,6	2311,0	110,0	233,3	21,62	23,47	3062,7	36,19	55,70	63,81	69,08	23,25	3031,6	2051,4
32	6	1	564,9	2479,0	118,0	225,6	22,46	22,32	3152,8	30,41	60,07	66,80	71,31	41,86	3129,3	2117,5
33	6	2	1277,9	5607,8	266,9	453,9	24,99	21,16	3284,5	25,33	64,48	70,02	73,41	56,92	3221,5	2179,9
34	6	2	1213,3	5324,4	253,4	417,5	23,77	21,61	3204,1	28,15	65,59	71,12	74,87	53,62	3285,7	2223,3
35	6	3	1609,0	7060,8	336,0	530,4	27,85	21,84	3194,8	24,37	67,03	72,58	76,00	61,53	3335,0	2256,7
36	6	3	1503,2	6596,9	314,0	537,5	27,61	18,54	3395,8	28,34	64,25	68,82	72,33	51,49	3174,2	2147,9
37	7	1	591,1	2593,6	114,9	196,4	18,96	23,46	3278,4	30,45	66,77	72,92	75,17	47,94	3298,1	2186,1
38	7	1	551,9	2421,7	107,3	172,7	18,54	24,76	3378,3	25,16	68,71	74,93	75,91	59,50	3330,3	2207,4
39	7	2	1275,6	5596,7	247,9	446,8	23,34	18,92	2879,6	21,54	64,98	69,76	77,01	61,18	3378,9	2239,6
40	7	2	1041,5	4569,8	202,4	365,4	22,18	20,10	3671,0	27,37	64,92	70,86	70,65	50,59	3099,5	2054,4
41	7	3	1806,6	7926,7	351,1	644,0	28,99	19,53	3455,4	20,01	64,35	69,45	71,93	63,30	3155,7	2091,6
42	7	3	1716,9	7533,1	333,7	616,2	28,34	18,25	3441,7	19,22	64,11	68,84	71,85	64,50	3152,1	2089,3
43	8	1	523,6	2310,9	110,6	206,3	24,66	15,81	3682,7	40,10	60,60	64,88	67,12	25,16	2961,7	1971,8
44	8	1	550,2	2428,1	116,2	213,4	22,05	13,85	3686,0	36,03	61,21	64,61	67,60	33,80	2983,0	1986,0
45	8	2	1140,2	5031,9	240,7	229,9	24,65	17,06	3635,2	37,27	79,84	82,30	83,39	64,41	3679,9	2450,0
46	8	2	1178,1	5199,1	248,7	301,5	26,53	17,11	3285,3	33,95	74,41	77,55	80,95	58,86	3572,3	2378,3
47	8	3	1591,3	7022,5	336,0	413,8	26,62	15,62	3784,6	33,87	74,00	76,77	77,70	58,29	3428,8	2282,8
48	8	3	1634,5	7213,2	345,1	434,0	28,99	16,18	3175,2	30,63	73,45	76,89	80,90	61,47	3569,9	2376,7
49	9	1	594,4	2673,3	122,1	213,3	19,52	16,54	3512,1	37,48	64,11	68,28	71,97	34,51	3236,7	2118,1
50	9	1	589,7	2652,1	121,1	211,1	18,31	17,64	3496,0	38,22	64,21	68,78	72,17	33,38	3245,7	2124,0
51	9	2	1161,4	5223,0	238,5	397,1	25,17	15,70	3659,6	25,04	65,81	69,47	72,18	58,33	3245,8	2124,1

APÊNDICE 04. Continuação: Dados individuais do balanço de digestibilidade e metabolizabilidade aparente e concentração de energia disponível das dietas experimentais obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Consumo de nutrientes			Matéria seca excretada, g	Composição da excreta (% ou kcal/kg, MS)				Balanço de nutrientes, %				Energia da dieta, kcal/kg MS	
			MO, g	EB, kcal	PB, g		MS	Cinzas	EB	PB	MS	MO	EB	PB	EM	EL
52	9	2	1293,9	5819,0	265,8	407,5	21,91	14,54	3801,5	27,31	68,50	71,49	73,38	58,12	3299,7	2159,4
53	9	3	1763,2	7929,4	362,1	584,2	24,22	14,53	3654,7	26,50	66,87	70,03	73,07	57,26	3286,2	2150,5
54	9	3	1772,5	7971,4	364,1	530,1	25,89	13,73	3531,4	24,41	70,09	72,67	76,51	64,45	3440,9	2251,8
55	10	1	574,9	2334,9	115,8	242,6	23,27	15,73	3593,1	44,47	57,80	61,50	62,66	6,85	2544,7	1672,9
56	10	1	520,8	2115,4	104,9	209,9	22,14	15,20	3634,8	33,57	59,71	63,01	63,94	32,86	2596,6	1707,0
57	10	2	1200,7	4876,3	241,9	454,9	24,76	13,99	3654,5	26,36	62,12	64,73	65,91	50,43	2676,6	1759,6
58	10	2	1103,8	4482,6	222,4	424,4	27,28	16,73	3638,4	24,77	61,55	66,34	65,55	52,73	2662,1	1750,1
59	10	3	1740,9	7069,8	350,7	550,8	27,41	14,25	3770,6	30,00	68,36	70,63	70,62	52,88	2867,9	1885,4
60	10	3	1605,2	6518,9	323,4	512,2	26,92	14,24	3833,4	31,30	68,09	70,45	69,88	50,43	2837,8	1865,6
61	11	1	540,4	2352,6	123,9	191,7	21,99	17,14	3506,9	40,62	64,53	69,07	71,43	37,14	3109,5	2130,4
62	11	1	600,0	2612,4	137,5	190,8	19,79	16,30	3512,4	51,18	68,21	71,99	74,35	29,01	3236,6	2217,5
63	11	2	1184,0	5154,6	271,4	330,6	24,14	16,58	3120,0	38,35	72,08	75,49	79,99	53,29	3482,3	2385,8
64	11	2	1184,7	5157,8	271,6	373,7	26,94	19,36	3471,1	38,31	68,45	73,23	74,85	47,27	3258,4	2232,4
65	11	3	1606,3	6993,3	368,2	391,2	29,38	14,98	3403,3	37,66	75,65	78,23	80,96	59,99	3524,5	2414,7
66	11	3	1643,1	7153,4	376,6	445,2	28,31	13,90	3575,0	38,11	72,90	75,45	77,75	54,95	3384,7	2318,9
67	12	1	551,6	2431,1	118,7	254,8	22,14	17,31	3459,8	34,55	53,81	59,64	63,74	25,82	2808,8	1799,6
68	12	1	575,3	2535,3	123,8	252,6	20,84	17,26	3280,3	39,36	56,10	61,62	67,32	19,67	2966,7	1900,8
69	12	2	1244,4	5483,9	267,7	462,7	23,85	15,55	3461,2	28,00	62,81	66,82	70,79	51,60	3119,8	1998,8
70	12	2	1319,8	5816,6	283,9	515,8	24,29	14,96	3163,5	26,79	60,92	64,88	71,95	51,34	3170,6	2031,4
71	12	3	1819,8	8019,7	391,5	636,1	24,93	13,26	3591,4	28,10	65,05	67,96	71,51	54,35	3151,5	2019,2
72	12	3	1812,0	7985,3	389,8	628,2	25,70	13,80	3525,6	27,34	65,33	68,58	72,26	55,94	3184,5	2040,3
73	13	1	618,4	2563,9	129,3	198,8	22,41	13,27	3709,1	34,20	67,85	70,35	71,24	47,41	2953,1	1883,8
74	13	1	622,8	2582,2	130,2	247,0	19,23	16,27	3356,2	31,39	60,34	64,69	67,89	40,45	2814,4	1795,3
75	13	2	1312,5	5441,1	274,4	509,2	23,03	14,49	3411,2	29,53	61,20	64,72	68,07	45,19	2822,0	1800,2
76	13	2	1342,2	5564,5	280,6	526,6	23,19	12,48	3505,5	30,35	60,77	63,49	66,82	43,05	2770,2	1767,1
77	13	3	1825,3	7566,9	381,6	667,4	25,63	13,53	3411,8	31,60	63,44	66,38	69,91	44,73	2898,0	1848,6

APÊNDICE 04. Continuação: Dados individuais do balanço de digestibilidade e metabolizabilidade aparente e concentração de energia disponível das dietas experimentais obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Consumo de nutrientes			Matéria seca excretada, g	Composição da excreta (% ou kcal/kg, MS)				Balanço de nutrientes, %				Energia da dieta, kcal/kg MS	
			MO, g	EB, kcal	PB, g		MS	Cinzas	EB	PB	MS	MO	EB	PB	EM	EL
78	14	1	543,9	2393,0	115,2	204,8	21,95	19,02	3149,6	37,01	62,35	67,92	73,04	34,24	3213,3	2124,8
79	14	1	541,2	2380,9	114,7	208,8	19,19	17,45	3167,2	44,55	61,42	66,49	72,23	18,88	3177,3	2100,9
80	14	2	1139,9	5014,9	241,5	363,4	23,17	16,69	3672,8	32,10	68,13	72,06	73,39	51,71	3228,4	2134,7
81	14	3	1711,6	7529,8	362,6	420,8	25,82	10,36	3725,4	34,85	75,42	77,05	79,18	59,56	3483,3	2303,2
82	14	3	1615,8	7108,2	342,3	464,6	27,24	16,40	3290,5	33,12	71,25	74,95	78,49	55,05	3453,0	2283,2
83	15	1	567,9	2492,7	113,8	237,1	18,75	16,42	3345,9	32,08	58,25	63,01	68,17	33,13	2991,8	1976,6
84	15	1	575,7	2527,1	115,3	218,2	18,08	18,02	3360,5	36,96	62,10	67,07	70,98	30,07	3115,2	2058,1
85	15	2	1317,9	5784,3	264,0	492,9	20,93	14,82	3710,6	23,35	62,60	66,24	68,38	56,41	3001,1	1982,7
86	15	2	1174,6	5155,2	235,3	413,1	22,61	16,40	3895,3	27,01	64,83	68,84	68,79	52,59	3019,0	1994,5
87	15	3	1691,7	7425,0	338,9	619,3	26,43	14,78	3356,9	21,15	63,40	66,94	72,00	61,35	3160,1	2087,8
88	15	3	1613,1	7079,8	323,1	562,2	24,77	16,78	3768,2	24,42	65,15	69,26	70,07	57,50	3075,5	2031,8
89	16	1	543,0	2288,6	114,2	194,9	18,61	18,48	3510,6	27,91	64,11	69,02	70,10	52,37	2954,4	1936,5
90	16	1	646,1	2723,0	135,9	257,5	19,54	14,53	3737,8	26,10	60,14	63,93	64,65	50,56	2724,6	1785,9
91	16	2	1407,7	5932,8	296,2	498,8	22,44	15,95	3477,0	33,26	64,57	68,47	70,77	43,98	2982,4	1954,9
92	16	2	1261,7	5317,4	265,4	481,0	22,67	15,28	3699,6	28,50	61,88	65,87	66,54	48,37	2804,1	1838,0
93	16	3	1627,0	6856,9	342,3	580,0	24,30	17,06	3578,1	32,70	64,35	68,70	69,74	44,59	2939,0	1926,4
94	16	3	1796,6	7571,7	378,0	638,4	23,83	14,62	3776,0	33,03	64,46	68,15	68,16	44,20	2872,6	1882,9

APÊNDICE 05. Dados individuais de composição química e retenção corporal de nutrientes e energia, de consumo de energia e de necessidades energéticas individuais de manutenção obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Composição química da carcaça, % ou kcal/g					EM cons. kcal/dia	Nutrientes retidos, g		Energia retida, kcal/dia				Manutenção, kcal/ave/dia	
			MS 60°C	MS 105°C	Cinzas (MS)	PB (MS)	EE (MS)		Proteína	Gordura	Proteína	Gordura	Total	prot/total	EMm	ELm
1	1	1	30,63	96,35	8,11	52,52	39,37	128,4	12,7	-7,9	5,1	-5,2	-0,1	-42,724	128,4	89,8
2	1	1	28,84	96,94	7,61	53,54	38,85	130,6	4,0	-15,1	1,6	-10,0	-8,4	-0,191	140,2	98,1
3	1	2	31,78	96,45	6,85	50,69	42,46	335,8	133,6	86,1	53,2	56,9	110,1	0,483	172,9	121,0
4	1	2	31,76	94,47	6,90	48,48	44,62	317,8	128,5	85,6	51,1	56,5	107,7	0,475	165,8	116,0
5	1	3	31,54	93,75	6,50	44,26	49,23	472,3	186,5	163,2	74,2	107,8	182,0	0,408	193,8	135,5
6	1	3	31,54	91,18	5,75	45,82	48,43	397,4	169,8	149,2	67,6	98,5	166,1	0,407	184,5	129,0
7	2	1	29,78	97,89	9,70	52,58	37,72	135,0	17,4	-15,7	6,9	-10,4	-3,4	-2,004	136,2	96,5
8	2	1	28,56	95,77	8,29	51,23	40,48	142,0	12,5	-9,6	5,0	-6,3	-1,3	-3,725	137,6	97,4
9	2	2	32,53	93,27	6,05	48,11	45,83	327,7	143,0	111,3	56,9	73,5	130,4	0,437	173,2	122,6
10	2	2	30,62	95,21	6,68	47,05	46,27	303,7	119,3	85,4	47,5	56,4	103,8	0,457	159,8	113,2
11	2	3	30,75	95,22	5,75	44,51	49,74	464,0	182,3	164,6	72,5	108,7	181,2	0,400	189,0	133,9
12	2	3	31,46	95,30	5,60	46,65	47,75	449,8	197,5	156,7	78,6	103,5	182,1	0,432	189,7	134,3
13	3	1	26,49	97,21	8,92	53,31	37,77	135,4	15,9	-11,5	6,3	-7,6	-1,3	-4,853	134,6	88,0
14	3	1	29,33	98,25	8,95	52,92	38,13	135,4	31,9	-6,4	12,7	-4,2	8,5	1,499	125,5	82,1
15	3	2	28,47	95,04	6,91	48,69	44,40	269,9	98,8	63,6	39,3	42,0	81,3	0,484	147,6	96,6
16	3	2	30,28	89,38	7,68	51,74	40,59	305,5	126,0	58,7	50,2	38,8	88,9	0,564	166,9	109,2
17	3	3	28,78	93,65	6,40	46,28	47,32	383,5	159,7	119,7	63,6	79,0	142,6	0,446	170,5	111,5
18	3	3	29,74	93,20	6,11	49,09	44,80	385,4	164,3	103,8	65,4	68,5	133,9	0,488	175,2	114,6
19	4	1	31,33	98,30	9,05	50,31	40,64	130,7	12,5	0,9	5,0	0,6	5,5	0,894	122,5	79,4
20	4	1	30,77	93,41	7,79	49,01	43,19	135,8	8,3	1,8	3,3	1,2	4,5	0,738	126,6	82,1
21	4	2	30,50	95,31	6,66	47,74	45,60	325,2	116,8	82,7	46,5	54,6	101,1	0,460	171,0	110,8
22	4	2	29,75	97,51	6,47	47,09	46,44	289,2	105,2	77,6	41,9	51,2	93,1	0,450	149,9	97,2
23	4	3	31,18	95,22	5,14	45,16	49,70	415,3	153,5	138,0	61,1	91,1	152,2	0,401	170,9	110,8
24	4	3	32,98	93,95	4,91	45,76	49,33	413,9	160,4	146,4	63,8	96,7	160,5	0,398	171,7	111,3
25	5	1	28,10	91,75	8,76	51,95	39,29	135,0	9,4	-17,5	3,8	-11,6	-7,8	-0,480	144,7	97,5

APÊNDICE 05. Continuação: Dados individuais de composição química e retenção corporal de nutrientes e energia, de consumo de energia e de necessidades energéticas individuais de manutenção obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Composição química da carcaça, % ou kcal/g					EM cons. kcal/dia	Nutrientes retidos, g		Energia retida, kcal/dia				Manutenção, kcal/ave/dia	
			MS 60°C	MS 105°C	Cinzas (MS)	PB (MS)	EE (MS)		Proteína	Gordura	Proteína	Gordura	Total	prot/total	EMm	ELm
26	5	1	29,20	98,22	7,67	50,31	42,03	121,4	11,3	-6,2	4,5	-4,1	0,4	11,733	121,4	81,8
27	5	2	29,54	93,02	6,30	48,79	44,91	301,4	109,7	70,5	43,7	46,6	90,2	0,484	168,3	113,4
28	5	2	30,40	95,48	7,73	50,68	41,59	304,0	126,3	66,0	50,3	43,6	93,9	0,536	167,9	113,2
29	5	3	30,02	93,65	4,48	45,93	49,59	418,4	156,4	140,8	62,2	93,0	155,2	0,401	181,4	122,2
30	5	3	31,61	92,38	4,84	46,50	48,66	407,6	157,8	143,0	62,8	94,4	157,2	0,399	178,1	120,0
31	6	1	25,71	96,65	8,18	50,86	40,96	114,0	0,8	-12,1	0,3	-8,0	-7,7	-0,044	121,4	82,1
32	6	1	27,15	98,26	9,16	51,54	39,30	126,3	21,9	-9,1	8,7	-6,0	2,7	3,241	129,6	87,7
33	6	2	28,75	94,27	7,57	50,52	41,91	294,1	112,5	59,3	44,8	39,2	83,9	0,533	165,0	111,6
34	6	2	29,83	94,19	6,36	51,15	42,49	284,8	105,4	63,1	42,0	41,7	83,7	0,502	156,3	105,8
35	6	3	30,28	93,13	4,84	46,27	48,88	383,3	154,3	133,9	61,4	88,4	149,8	0,410	167,7	113,5
36	6	3	28,67	93,81	5,42	45,67	48,92	340,8	122,4	115,9	48,7	76,5	125,2	0,389	156,3	105,8
37	7	1	30,16	98,60	9,34	51,90	38,76	139,3	24,2	-8,1	9,6	-5,4	4,2	2,266	134,2	88,9
38	7	1	28,35	96,23	7,19	53,75	39,06	131,3	17,3	-12,8	6,9	-8,4	-1,6	-4,427	127,2	84,3
39	7	2	30,98	94,16	8,01	49,89	42,10	307,9	118,4	68,0	47,1	44,9	92,1	0,512	166,7	110,5
40	7	2	30,70	94,22	7,54	47,21	45,24	230,6	75,4	58,2	30,0	38,4	68,4	0,438	140,7	93,2
41	7	3	29,48	95,01	6,64	45,71	47,65	407,2	159,2	128,0	63,4	84,5	147,9	0,428	184,8	122,5
42	7	3	28,48	93,84	6,19	46,27	47,54	386,6	155,0	108,8	61,7	71,9	133,6	0,462	177,2	117,5
43	8	1	28,33	95,91	8,97	52,87	38,17	110,8	3,6	-15,6	1,4	-10,3	-8,9	-0,161	122,1	81,3
44	8	1	29,19	97,67	8,03	53,24	38,73	117,2	13,0	-16,6	5,2	-11,0	-5,8	-0,889	126,3	84,1
45	8	2	30,50	91,39	6,43	47,49	46,08	299,7	109,3	82,4	43,5	54,4	97,9	0,444	160,5	106,8
46	8	2	30,84	95,04	6,46	49,87	43,67	300,6	114,2	72,3	45,4	47,7	93,2	0,488	159,9	106,5
47	8	3	29,45	93,85	4,98	45,79	49,23	389,8	146,0	128,6	58,1	85,0	143,1	0,406	173,5	115,5
48	8	3	32,07	94,20	5,19	45,91	48,90	416,8	155,5	141,3	61,9	93,3	155,2	0,399	179,6	119,5
49	9	1	29,20	95,82	8,30	52,99	38,71	137,4	4,4	-17,6	1,7	-11,6	-9,9	-0,177	139,5	91,3
50	9	1	30,57	98,11	7,98	49,39	42,63	136,7	5,1	-2,0	2,0	-1,3	0,7	2,760	137,4	89,9
51	9	2	31,94	95,01	6,98	49,08	43,93	269,3	102,0	70,3	40,6	46,4	87,0	0,466	158,5	103,8

APÊNDICE 05. Continuação: Dados individuais de composição química e retenção corporal de nutrientes e energia, de consumo de energia e de necessidades energéticas individuais de manutenção obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Composição química da carcaça, % ou kcal/g					EM cons kcal/dia	Nutrientes retidos, g		Energia retida, kcal/dia				Manutenção, kcal/ave/dia	
			MS 60°C	MS 105°C	Cinzas (MS)	PB (MS)	EE (MS)		Proteína	Gordura	Proteína	Gordura	Total	prot/total	EMm	ELm
52	9	2	30,59	87,70	7,18	48,11	44,71	305,0	105,8	68,9	42,1	45,5	87,6	0,481	180,4	118,1
53	9	3	29,97	93,57	6,66	45,95	47,39	413,9	150,3	117,3	59,8	77,4	137,3	0,436	190,1	124,4
54	9	3	30,54	92,98	5,78	45,51	48,71	435,7	163,4	134,9	65,0	89,1	154,1	0,422	192,8	126,2
55	10	1	29,22	99,79	8,51	52,76	38,73	104,5	2,5	-18,7	1,0	-12,3	-11,3	-0,087	116,9	76,9
56	10	1	29,89	94,86	9,81	50,85	39,34	96,6	4,5	-13,0	1,8	-8,6	-6,8	-0,264	106,6	70,1
57	10	2	29,46	96,08	6,29	48,25	45,46	229,6	77,5	45,2	30,9	29,8	60,7	0,509	146,2	96,1
58	10	2	31,19	94,70	7,07	50,68	42,25	209,9	71,9	33,8	28,6	22,3	51,0	0,562	136,7	89,9
59	10	3	30,49	95,70	4,57	50,47	44,96	356,6	142,2	92,9	56,6	61,3	117,9	0,480	166,1	109,2
60	10	3	33,01	91,54	4,69	47,23	48,08	325,4	120,9	100,1	48,1	66,1	114,2	0,421	154,5	101,6
61	11	1	29,36	98,35	8,37	51,80	39,83	120,0	6,4	-16,5	2,6	-10,9	-8,3	-0,307	127,0	87,0
62	11	1	29,17	98,61	7,55	49,61	42,83	138,7	3,5	-7,0	1,4	-4,6	-3,2	-0,435	146,2	100,2
63	11	2	29,44	95,62	6,91	50,92	42,16	294,5	112,1	65,2	44,6	43,0	87,7	0,509	171,8	117,7
64	11	2	29,47	96,12	6,61	48,31	45,08	275,8	92,2	64,3	36,7	42,4	79,1	0,464	164,6	112,8
65	11	3	30,32	93,72	4,44	46,79	48,77	404,4	158,8	130,2	63,2	86,0	149,2	0,424	185,4	127,0
66	11	3	32,55	91,94	6,20	47,24	46,56	397,3	155,6	123,1	61,9	81,3	143,3	0,432	183,0	125,4
67	12	1	28,66	98,08	8,77	51,77	39,46	110,7	1,8	-17,4	0,7	-11,5	-10,8	-0,065	120,3	77,1
68	12	1	28,62	98,08	7,72	49,84	42,44	121,9	-0,2	-6,1	-0,1	-4,0	-4,1	0,019	127,3	81,6
69	12	2	28,98	94,47	6,45	49,94	43,61	277,3	100,7	61,7	40,1	40,8	80,8	0,496	163,4	104,7
70	12	2	29,94	94,39	7,19	50,39	42,42	298,9	112,1	70,0	44,6	46,2	90,8	0,491	173,9	111,4
71	12	3	30,52	93,36	5,32	46,55	48,13	409,7	147,5	121,8	58,7	80,4	139,1	0,422	183,1	117,3
72	12	3	28,97	92,61	5,03	45,90	49,07	412,2	147,1	120,7	58,5	79,7	138,2	0,423	186,6	119,5
73	13	1	27,63	97,63	8,98	50,93	40,09	130,5	21,4	-3,3	8,5	-2,2	6,3	1,350	125,4	80,0
74	13	1	26,79	96,66	9,10	49,86	41,04	125,2	5,3	-15,6	2,1	-10,3	-8,2	-0,258	128,7	82,1
75	13	2	31,06	94,32	6,95	48,86	44,19	264,6	91,7	58,0	36,5	38,3	74,8	0,488	156,1	99,6
76	13	2	29,87	95,85	6,79	47,93	45,28	265,6	88,6	54,6	35,3	36,1	71,3	0,494	159,5	101,8
77	13	3	29,22	94,89	5,00	44,93	50,07	377,8	122,3	111,5	48,7	73,7	122,3	0,398	175,9	112,2

APÊNDICE 05. Continuação: Dados individuais de composição química e retenção corporal de nutrientes e energia, de consumo de energia e de necessidades energéticas individuais de manutenção obtidos com as aves teste do Experimento I.

Ave	Dieta	Nível	Composição química da carcaça, % ou kcal/g					EM cons kcal/dia	Nutrientes retidos, g		Energia retida, kcal/dia				Manutenção, kcal/ave/dia	
			MS 60°C	MS 105°C	Cinzas (MS)	PB (MS)	EE (MS)		Proteína	Gordura	Proteína	Gordura	Total	prot/total	EMm	ELm
78	14	1	27,91	99,19	8,69	54,04	37,27	124,9	11,6	-13,8	4,6	-9,1	-4,5	-1,031	131,9	87,2
79	14	1	27,86	96,37	8,46	48,07	43,47	122,8	-7,1	-6,5	-2,8	-4,3	-7,1	0,398	129,9	85,9
80	14	2	30,18	95,03	6,63	49,22	44,15	262,9	89,5	61,7	35,6	40,8	76,4	0,467	157,7	104,3
81	14	3	31,26	95,32	5,57	45,77	48,66	425,9	159,7	143,5	63,6	94,8	158,3	0,401	189,4	125,2
82	14	3	28,57	93,45	4,37	45,96	49,66	398,5	142,0	121,1	56,5	79,9	136,5	0,414	182,3	120,5
83	15	1	30,24	99,30	7,05	52,42	40,53	121,4	9,5	-13,5	3,8	-8,9	-5,2	-0,733	123,0	81,3
84	15	1	28,76	96,30	8,28	52,61	39,12	128,1	4,3	-12,7	1,7	-8,4	-6,7	-0,255	130,8	86,4
85	15	2	28,49	94,83	6,02	50,24	43,74	282,5	111,9	60,7	44,5	40,1	84,6	0,526	173,3	114,5
86	15	2	31,36	96,81	6,94	49,45	43,61	253,3	93,1	65,2	37,0	43,1	80,1	0,462	151,3	100,0
87	15	3	30,37	93,69	5,24	46,84	47,92	381,9	146,6	114,5	58,4	75,6	134,0	0,436	171,5	113,3
88	15	3	29,93	93,27	4,43	47,16	48,41	354,4	134,0	99,3	53,3	65,6	118,9	0,448	160,8	106,2
89	16	1	26,88	95,35	9,59	53,34	37,07	114,6	9,7	-20,3	3,9	-13,4	-9,6	-0,405	123,1	80,7
90	16	1	27,94	96,93	8,29	53,85	37,86	125,7	5,1	-24,5	2,0	-16,2	-14,2	-0,142	142,4	93,3
91	16	2	31,59	95,91	6,43	47,71	45,86	299,9	94,8	85,7	37,7	56,6	94,4	0,400	176,8	115,9
92	16	2	28,90	93,96	6,32	50,47	43,22	252,7	91,4	50,2	36,4	33,2	69,5	0,523	161,1	105,6
93	16	3	30,42	94,15	5,09	46,00	48,91	341,6	109,7	100,0	43,7	66,0	109,7	0,398	159,3	104,4
94	16	3	32,00	94,09	4,78	45,64	49,58	368,6	117,7	117,9	46,9	77,9	124,7	0,376	173,1	113,5

APÊNDICE 06. Quadrados médios, probabilidades de erro tipo I e coeficientes de variação das análises de variância para os resultados do Experimento I.

Variáveis (n = 94)	Fonte de fibra (GL = 4)		Nível de fibra (GL = 2)		Nível de energia (GL = 2)		QME	CV %
	QM	Prob.	QM	Prob.	QM	Prob.		
Desempenho								
PV inicial	7531	0,070	3909	0,315	3534	0,351	3337	5,37
PV médio	4118	<0,001	3443	0,003	26136	<0,001	<1	5,27
Consumo MS	106	0,003	179	0,001	52074	<0,001	25	4,74
GPM	185	<0,001	126	0,002	28841	<0,001	19	9,65
CA*	0,283	<0,001	0,664	<0,001	1,293	<0,001	0,044	6,88
Balanço de nutrientes e retenção de proteína								
(TGI)	1,151	0,006	2,353	<0,001	11,343	<0,001	0,298	5,78
MS	23,4	0,118	309,3	<0,001	377,1	<0,001	12,3	3,96
MO	46,0	0,003	298,8	<0,001	218,6	<0,001	10,3	3,41
Energia	65,6	<0,001	344,5	<0,001	168,1	<0,001	9,7	3,20
CDPB	227	0,006	7	0,890	3880	<0,001	58	16,04
CRPB	202	<0,001	32	0,242	11564	<0,001	22	11,38
Balanço de energia e proteína (kcal/kg PM)								
Consumo EM	844	<0,001	1055	<0,001	275128	<0,001	130	3,90
ERT	808	<0,001	579	<0,001	123375	<0,001	53	8,55
ERp	143	<0,001	53	0,009	17416	<0,001	11	7,96
ERg	278	<0,001	283	<0,001	48326	<0,001	33	12,81
ERp/ERT	27,2	0,303	17,0	0,467	29,5	0,269	22,1	>100
Eficiência de retenção e necessidade de manutenção								
EL/EM (k)	0,00204	<0,001	0,00615	<0,001	-	-	0,00021	1,82
ELm	48,7	<0,001	296,9	<0,001	-	-	6,9	2,20
EMm	267,3	<0,001	77,2	<0,001	-	-	8,2	1,44

\*Ignorando os resultados do nível basal de consumo de energia (n = 62)



APÊNDICE 07. Dados médios por período de medição para o desempenho das aves, os balanços de MS, energia e proteína e os coeficientes de digestibilidade obtidos no Experimento II.

Grupo	Idade	Dieta	aves por período	Peso vivo médio, g			GPM g/dia	CA	Balanço MS, g		Balanço EB, kcal		Balanço nitrogênio, g			
				Início	Fim	Média			cons.	excret.	cons.	excret.	cons.	excret.	volátil	condens.
1	1	1	8,00	867,1	1237,0	1052,1	61,65	1,814	4472	1118	20273	4539	158,37	67,67	0,26	0,45
1	2	2	6,00	1219,5	1685,9	1452,7	77,73	1,927	5392	1903	24315	7791	166,45	74,50	0,14	0,32
2	1	2	8,00	902,9	1309,7	1106,3	67,80	1,893	6160	2127	27778	8776	190,16	81,95	0,08	0,18
2	2	1	5,66	1407,4	1878,2	1642,8	78,47	1,770	4718	1185	21388	4824	167,08	71,43	0,08	0,27
3	1	1	8,00	851,9	1254,3	1053,1	67,07	1,604	5165	1278	23415	5289	182,91	79,39	0,10	0,33
3	2	2	6,00	1320,0	1815,4	1567,7	82,57	1,947	5789	1962	26105	8050	178,71	80,14	0,08	0,33
4	1	2	8,00	1047,1	1458,1	1252,6	68,50	1,861	6120	2055	27598	8496	188,92	81,66	0,03	0,17
4	2	1	6,00	1524,3	2062,6	1793,4	89,70	1,661	5365	1243	24321	5114	189,99	81,03	0,05	0,25
5	1	1	8,00	830,3	1150,1	990,2	53,31	1,868	4779	1125	21665	4626	169,24	71,56	0,17	0,63
5	2	2	5,10	1293,3	1777,4	1535,4	80,68	1,970	4864	1679	21934	6928	150,15	64,38	0,08	0,31
6	1	2	8,00	618,3	957,0	787,6	56,46	1,843	4994	1751	22520	7274	154,16	65,00	0,19	0,07
6	2	1	5,90	1054,3	1471,9	1263,1	69,59	1,763	4342	1104	19684	4394	153,76	63,20	0,04	0,29

Continuação:

Grupo	Idade	Dieta	Coeficientes de digestibilidade/metabolizabilidade, %										
			MS	Energia	PB	EE	FB	FDN	FDA	Hemicel.	Lignina	FTD	PCIA
1	1	1	75,00	77,61	56,83	84,35	-5,44	23,32	-15,74	40,91	38,50	31,32	13,93
1	2	2	64,71	67,96	54,96	82,06	3,01	17,92	-3,76	31,76	21,64	14,50	10,07
2	1	2	65,47	68,41	56,77	83,52	5,03	18,39	-1,12	30,85	1,72	18,66	15,66
2	2	1	74,88	77,45	57,04	86,87	-7,02	19,41	-10,95	33,08	22,65	30,37	9,11
3	1	1	75,26	77,41	56,36	87,05	-0,65	22,92	-10,08	37,78	37,37	30,28	10,25
3	2	2	66,11	69,16	54,92	84,79	1,43	21,45	-1,80	36,29	14,13	16,85	12,81
4	1	2	66,42	69,22	56,67	85,10	5,95	24,94	1,64	39,83	15,05	22,14	16,28
4	2	1	76,83	78,97	57,19	87,74	7,26	34,98	-5,89	53,40	22,33	38,67	21,61
5	1	1	76,46	78,65	57,24	85,73	-3,32	28,43	-17,46	49,10	22,23	32,19	15,52
5	2	2	65,48	68,41	56,86	83,04	4,31	22,11	2,09	34,90	6,85	18,60	12,79
6	1	2	64,94	67,70	57,67	81,61	5,42	21,68	2,50	33,93	0,39	15,40	10,50
6	2	1	74,57	77,67	58,68	87,75	10,10	22,61	-3,78	34,50	30,35	30,96	13,52

APÊNDICE 08. Dados médios por período de medição para as variáveis de entrada e os parâmetros calculados pelo modelo para partição da produção de calor com aves em jejum obtidos no Experimento II.

Grupo	Idade	Dieta	Período de medição, s/dia	Força/período Newtons/dia	Aves/gaiola no período	Peso vivo médio, g	Produção de calor kcal/ave/dia			Quociente respiratório			R <sup>2</sup> dos modelos		
							Total	PCAF	PCJ	Total	PCAF	PCJ	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Geral
1	1	1	26870	39130	8,0	1237,0	186,42	54,65	131,76	0,907	0,787	0,690	96,68	99,11	98,16
1	2	2	26610	42190	6,0	1685,9	250,75	81,79	168,97	0,881	0,817	0,675	95,18	96,95	96,25
2	1	2	26230	46550	8,0	1309,7	215,72	69,42	146,30	0,911	0,866	0,667	94,75	98,43	96,79
2	2	1	26100	39270	5,0	1878,2	255,50	75,10	180,40	0,944	0,770	0,690	95,49	97,31	96,69
3	1	1	26380	49160	8,0	1254,3	199,17	66,66	132,50	0,948	0,853	0,637	97,73	97,29	97,44
3	2	2	26690	50800	6,0	1815,4	266,76	86,65	180,11	0,931	0,782	0,820	95,42	95,16	95,26
4	1	2	26320	47530	8,0	1458,1	243,35	90,90	152,45	0,935	0,699	0,639	95,88	97,82	97,2
4	2	1	26370	41690	6,0	2062,6	281,95	83,89	198,05	0,799	0,633	0,660	92,51	98,6	96,77
5	1	1	24860	46560	8,0	1150,1	200,22	71,43	128,79	0,775	0,792	0,720	93,52	95,86	94,89
5	2	2	24420	35420	4,0	1777,4	294,55	108,86	185,70	0,785	0,824	0,683	96,41	94,52	95,39
6	1	2	24070	42300	8,0	957,0	178,58	67,09	111,49	0,772	0,748	0,677	96,17	97,05	96,66
6	2	1	24660	39320	5,5	1471,9	223,22	69,79	153,43	0,775	0,877	0,598	97,43	97,49	97,47

APÊNDICE 09. Dados médios por período de medição para as variáveis de entrada e os parâmetros calculados pelo modelo para partição da produção de calor com aves alimentadas obtidos no Experimento II.

Grupo	Idade	Dieta	Período de medição, s/dia	Força/período Newtons/dia	Aves/gaiola no período	Peso vivo médio, g	Consumo/refeição/dia, g					Cons. H <sub>2</sub> O g/ave/dia	Cons. EM kcal/ave/dia	Retenção, kcal/ave/dia		
							1a.	2a.	3a.	4.a	Total/ave			Total	Proteína	Gordura
1	1	1	84648	88654	8,0	1052,1	313,7	222,3	216,9	277,0	128,8	261,4	399,7	176,68	79,61	97,07
1	2	2	84860	94465	6,0	1452,7	275,9	217,2	234,1	270,1	166,2	303,9	451,8	173,60	87,12	86,48
2	1	2	85317	95867	8,0	1106,3	408,9	218,6	252,9	283,6	145,5	268,4	396,0	161,28	78,35	82,92
2	2	1	85390	92892	5,7	1642,8	283,3	186,6	186,8	235,9	156,5	301,6	485,2	185,58	97,21	88,37
3	1	1	85042	91776	8,0	1053,1	397,3	181,0	184,2	220,2	122,8	248,8	381,0	158,31	75,47	82,84
3	2	2	85610	89572	6,0	1567,7	385,5	212,0	211,0	281,6	181,7	374,3	506,8	204,60	95,95	108,65
4	1	2	85623	94222	8,0	1252,6	404,3	225,3	235,2	282,2	143,4	273,1	396,9	145,54	77,48	68,06
4	2	1	85452	93963	6,0	1793,4	319,1	219,6	207,9	238,1	164,1	279,1	521,9	196,13	102,82	93,31
5	1	1	85197	98460	8,0	990,2	316,7	184,1	187,6	211,4	112,5	249,6	353,2	122,85	69,95	52,90
5	2	2	85392	86695	4,9	1535,4	335,7	188,7	180,5	233,8	193,8	363,1	529,8	188,44	104,98	83,46
6	1	2	85228	90785	8,0	787,6	315,9	211,4	198,5	247,5	121,7	239,0	331,9	132,80	67,41	65,39
6	2	1	85200	86950	5,9	1263,1	249,0	162,3	181,8	218,2	137,4	281,5	429,0	161,58	88,17	73,42

Continuação:

Grupo	Idade	Dieta	Produção de calor, kcal/ave/dia						Quociente respiratório						R <sup>2</sup> dos modelos			Energia disponível da dieta, kcal/kg MS				
			Total	PCJ	PCAF	ETA	ETAcp	ETAlp	Total	PCR	PCAF	ETAcp	ETAlp	ETA	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Geral	ME	NE	NE/ME	NEcor	NEcor/ME
1	1	1	222,98	116,70	38,65	67,63	31,87	35,76	1,043	0,913	0,916	2,116	1,810	1,947	97,13	97,29	97,21	3518	2583	0,734	2583	0,734
1	2	2	278,22	151,12	55,29	71,82	34,11	37,71	1,021	0,891	0,907	2,216	2,018	2,092	96,56	97,58	97,14	3065	2202	0,719	2220	0,724
2	1	2	234,73	128,91	44,59	61,23	33,56	27,67	1,019	0,870	0,836	2,249	2,187	2,220	98,33	98,35	98,30	3085	2261	0,733	2229	0,723
2	2	1	299,58	163,16	58,92	77,51	32,38	45,13	1,033	0,947	0,769	2,596	2,517	2,548	97,78	97,22	97,43	3511	2524	0,719	2552	0,727
3	1	1	222,69	116,22	46,25	60,22	32,00	28,22	1,050	0,861	0,948	2,435	2,218	2,329	97,00	97,01	97,00	3509	2529	0,721	2592	0,739
3	2	2	302,20	161,35	59,70	81,15	40,06	41,09	1,043	0,889	0,892	2,415	1,175	1,703	97,33	96,99	97,11	3119	2252	0,722	2267	0,727
4	1	2	251,39	136,03	48,11	67,25	36,94	30,32	1,032	0,894	0,842	2,211	2,619	2,361	97,60	98,02	97,86	3121	2214	0,709	2217	0,710
4	2	1	325,72	178,34	56,21	91,18	40,13	51,05	1,039	0,942	0,748	2,413	2,446	2,422	98,07	98,02	98,05	3580	2569	0,718	2532	0,707
5	1	1	230,40	115,11	42,26	73,03	34,47	38,56	1,047	0,899	0,870	2,175	1,553	1,830	97,01	97,99	97,62	3565	2402	0,674	2410	0,676
5	2	2	341,38	166,39	58,01	116,98	46,73	70,24	1,024	0,887	0,825	2,461	1,603	1,936	97,32	98,43	98,02	3085	2066	0,670	2031	0,658
6	1	2	199,13	96,33	34,58	68,21	30,40	37,81	1,049	0,908	0,855	2,166	1,278	1,558	96,84	98,20	97,72	3053	2107	0,690	2112	0,692
6	2	1	267,37	136,80	49,76	80,82	34,76	46,06	1,050	0,901	0,868	2,518	2,193	2,316	97,08	98,17	97,78	3521	2449	0,696	2462	0,699

APÊNDICE 10. Dados individuais da morfologia gastrintestinal dos frangos no Experimento II.

Dieta	frango	Peso ao abate, g	Peso dos segmentos e do conteúdo cecal, g						Comprimento dos segmentos, cm		
			Moela	Duodeno+Jejuno	Íleo	Cecos cheios	Cecos vazios	Conteúdo cecal	Duodeno+Jejuno	Íleo	Cecos
1	1	1686,0	12,3	27,8	12,5	8,6	6,5	2,1	95,0	70,0	36,0
1	2	1662,0	18,3	36,2	15,4	8,8	5,6	3,2	107,0	58,0	36,0
1	3	1674,0	12,3	36,0	18,6	7,1	4,8	2,3	101,0	72,5	36,0
1	4	1673,0	18,5	36,5	18,5	10,5	6,6	3,9	105,0	69,0	40,5
1	5	1541,0	12,0	25,0	13,0	8,6	5,1	3,5	90,0	73,0	37,0
1	6	1858,0	14,4	37,8	18,6	10,3	6,2	4,1	117,0	79,0	38,0
1	7	2120,0	15,5	40,3	18,6	12,8	6,8	6,0	99,0	66,0	40,0
1	8	1650,0	15,1	32,6	16,7	14,3	6,8	7,5	99,0	72,0	36,0
1	9	1756,0	14,2	33,5	19,0	perdido	5,7	perdido	112,0	95,0	38,0
1	10	1513,0	10,0	31,4	15,2	7,8	5,7	2,1	91,0	70,0	35,0
2	1	1923,0	16,7	38,8	17,9	8,2	6,0	2,2	99,0	68,0	37,5
2	2	1542,0	10,6	31,2	14,4	11,6	5,7	5,9	99,0	61,0	32,0
2	3	1645,0	14,4	31,0	16,6	14,9	5,5	9,4	92,0	64,0	37,0
2	4	1686,0	13,8	36,3	18,4	12,5	7,5	5,0	97,0	73,0	42,0
2	5	1738,0	17,9	40,1	23,2	9,1	6,7	2,4	102,0	69,0	39,0
2	6	1871,0	19,2	45,7	22,8	15,3	10,4	4,9	119,0	78,0	42,0
2	7	1756,0	21,7	37,5	14,6	12,1	7,1	5,0	114,0	85,0	40,0
2	8	1830,0	13,7	43,6	22,4	15,4	8,5	6,9	118,0	82,0	42,0
2	9	1759,0	17,2	39,5	18,0	15,2	7,5	7,7	101,5	78,0	42,0
2	10	1767,0	26,1	37,9	20,6	9,4	6,0	3,4	100,0	77,0	34,0

APÊNDICE 11. Quadrados médios, probabilidades de erro tipo I e coeficientes de variação das análises de variância para os resultados de desempenho, balanço de nutrientes e produção de calor do experimento II.

Variáveis (n = 12)	Grupo (GL = 5)		Idade (GL = 1)		Dieta (GL = 1)		QME	CV %
	QM	Prob.	QM	Prob.	QM	Prob.		
Desempenho								
PV inicial	43616	0,003	608040	<0,001	1501	0,354	1366	1,90
PV médio	53614	0,003	756615	<0,001	712	0,562	1785	1,79
Consumo MS	151,0	0,104	3377,8	0,001	830,5	0,010	38,4	2,42
GPMD	66,4	0,122	900,5	0,002	16,2	0,405	18,8	3,31
CA	0,0071	0,415	0,0021	0,576	0,0771	0,020	0,0055	2,05
Digestibilidade								
MS	1,6555	0,026	0,2977	0,271	2,5117	0,021	0,1825	0,37
Energia PB	0,57	0,298	0,03	0,768	269,80	<0,001	0,32	0,38
EE	2,64	0,152	1,99	0,205	31,27	0,004	0,87	0,46
FB	31,4	0,386	12,2	0,503	48,9	0,215	22,6	>100
FDN	30,91	0,118	0,12	0,911	52,84	0,067	8,51	6,36
FDA	23,3	0,191	21,8	0,196	335,5	0,004	9,06	25,54
Lignina	98,6	0,181	0,6	0,905	1076,4	0,006	37,0	>100
Hemicelulose	57,9	0,193	6,0	0,635	141,5	0,067	22,8	6,46
PCIA	15,9	0,431	0,4	0,866	2,8	0,663	12,9	14,48
FTD	15,74	0,051	<0,01	0,995	640,06	<0,001	2,54	3,75
Balanço de energia e proteína								
EMc	452,4	0,496	646,2	0,288	195,9	0,538	431,7	2,83
PCT	296,6	0,030	17,7	0,517	130,3	0,126	35,1	1,36
ERT	232,0	0,507	449,9	0,233	6,6	0,873	227,9	5,53
ERp	28,9	0,396	35,5	0,266	0,4	0,902	21,3	3,15
ERg	180,3	0,338	232,7	0,226	3,9	0,862	113,8	8,33
ERp/ERT	0,00237	0,076	0,00082	0,265	0,00011	0,654	0,00049	2,35
Componentes da produção de calor								
PCJ	6,8	0,360	0,6	0,742	24,6	0,081	4,5	0,88
PCAF	6,9	0,343	0,5	0,746	3,9	0,400	4,4	2,73
ETA	207,4	0,086	18,0	0,568	20,0	0,548	46,5	5,09
ETAcp	16,9	0,026	71,4	0,003	14,9	0,046	1,8	2,33
ETAIp	110,1	0,142	17,7	0,513	0,4	0,922	34,6	8,51
TETA	0,09851	0,384	0,2187	0,153	0,0048	0,807	0,07053	3,35
Valor energético das dietas								
EM	1156	0,301	75	0,752	596748	<0,001	655	0,38
EL	10216	0,034	96	0,809	318176	<0,001	1299	0,78
EL/EM	0,00096	0,008	0,00002	0,547	0,00003	0,504	0,00006	0,54
ELcor	12780	0,001	520	0,242	351919	<0,001	276	0,37
ELcor/EM	0,00127	<0,001	0,00009	0,049	0,00019	0,014	0,00001	0,25
Quociente respiratório								
PCT	0,00016	0,069	0,00008	0,193	0,00046	0,018	0,00003	0,27
PCR	0,00044	0,656	0,00105	0,267	0,00128	0,227	0,00063	1,42
PCJ	0,00222	0,772	0,00077	0,701	0,00230	0,515	0,00452	5,02
ETA	0,10107	0,413	0,04967	0,470	0,19304	0,191	0,07807	7,25
ETAcp	0,01803	0,217	0,13377	0,014	0,02385	0,154	0,00776	1,87
ETAIp	0,29956	0,340	0,00686	0,859	0,28737	0,286	0,19015	12,66
PCAF alimentado	0,00555	0,054	0,00555	0,071	0,00012	0,737	0,00093	1,77
PCAF jejum	0,00714	0,345	0,00015	0,867	0,00005	0,924	0,00460	4,40

APÊNDICE 12. Continuação: Quadrados médios, probabilidades de erro tipo I e coeficientes de variação das análises de variância para os resultados de desempenho, balanço de nutrientes e produção de calor do experimento II.

Variáveis (n = 12)	Grupo (GL = 5)		Idade (GL = 1)		Dieta (GL = 1)		QME	CV %
	QM	Prob.	QM	Prob.	QM	Prob.		
Componentes da PC em % do EMc								
PCT	11,04	0,162	8,54	0,208	0,43	0,753	3,81	1,62
PCJ	3,86	0,333	5,70	0,198	0,03	0,921	2,40	2,29
PCAF	0,30	0,937	0,30	0,664	0,02	0,910	1,39	5,57
ETA	10,6077	0,013	0,0004	0,983	0,1302	0,705	0,7853	2,48
ETAcp	0,79	0,013	3,37	0,002	0,57	0,034	0,06	1,51
ETAIp	6,10	0,073	3,30	0,180	0,15	0,742	1,20	5,93
Componentes da PC em % da PCT								
PCJ	10,60	0,035	2,01	0,292	0,14	0,818	1,43	1,18
PCAF	1,8737	0,509	0,0037	0,967	0,0019	0,976	1,8505	3,95
ETA	17,32	0,128	2,22	0,544	0,14	0,916	5,03	3,85
ETAcp	0,83	0,079	13,14	0,001	1,24	0,062	0,20	1,69
ETAIp	11,91	0,199	4,61	0,383	0,74	0,726	4,82	7,09
Consumo de água								
g/ave/dia	723,4	0,438	10890,8	0,013	3341,0	0,077	595,9	4,23
g/kg PM/dia	899,7	0,065	1272,5	0,051	2100,7	0,024	168,3	2,33
g/g MS consumida	0,02	0,458	0,04	0,252	0,03	0,289	0,02	3,39

APÊNDICE 13. Quadrados médios, probabilidades de erro tipo I e coeficientes de variação das análises de variância para os resultados da massa e comprimento do trato gastrointestinal do Experimento II.

Variáveis (n = 20)	QM	Prob.	QME	CV %
PV ao abate	7372	0,561	21022	5,65
Peso dos segmentos (g/kg PV)				
Moela	9,8	0,136	4,0	16,21
Duodeno + Jejuno	21,3	0,025	3,6	7,38
Íleo	5,6	0,112	2,0	11,58
D+J+I	48,6	0,035	9,3	8,07
Cecos	1,4	0,058	0,3	11,70
D+J+I+C	66,7	0,024	11,1	7,72
M+D+J+I+C	127,9	0,015	17,9	7,54
Cecos cheios	8,4	0,065	2,1	14,91
Conteúdo cecal	3,2	0,168	1,5	41,5
Comprimento dos segmentos (cm/kg PV)				
Duodeno + Jejuno	0,03	0,975	23,75	6,38
Íleo	2,0	0,788	27,1	8,95
D+J+I	2,5	0,861	78,2	6,00
Cecos	0,4	0,724	2,9	5,87
D+J+I+C	0,9	0,923	96,0	5,60

## VITA

Marson Bruck Warpechowski, filho de Eduardo Warpechowski e Maril Beatriz Warpechowski, marido de Elenize Medianeira Filipeto desde março de 1994, nasceu em Porto Alegre, RS, em 17 de outubro de 1970, e passou a infância em Guarani das Missões, RS.

Cursou o primeiro Grau no Colégio São José e na Escola Estadual de Primeiro e Segundo Grau João Przyczynski, em Guarani das Missões, RS, e o Segundo Grau no Colégio Medianeira de Cerro Largo, RS.

Em 1994 obteve o Grau de Zootecnista pela Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS.

Em 1996 recebeu o Grau de Mestre em Zootecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, RS.

Em março de 1997 foi aprovado em primeiro lugar em concurso público para provimento de vaga de Professor Assistente junto ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, PR, na área de Produção de Monogástricos Não-Herbívoros, assinando contrato em regime de estágio probatório em 28 de abril do mesmo ano e sendo efetivado após avaliação de desempenho em maio de 1999.

Em março de 2001 ingressou no Curso de Doutorado em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, realizando Estágio de Doutorado no INRA-UMRVP, em Saint Gilles, Rennes, França no período de março de 2003 a março de 2004.