

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

EFEITO DA FIBRA INSOLÚVEL DA DIETA SOBRE A PASSAGEM NO  
TRATO GASTRINTESTINAL DE MATRIZES MACHOS PESADOS INTACTOS,  
CECECTOMIZADOS E FISTULADOS NO ÍLEO TERMINAL

Marson Bruck Warpechowski  
Zootecnista (UFSM)

Dissertação apresentada como um dos  
requisitos à obtenção do Grau de  
Mestre em Zootecnia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Outubro, 1996

MARSON BRUCK WARPECHOWSKI  
Zootecnista - UFSM

## DISSERTAÇÃO

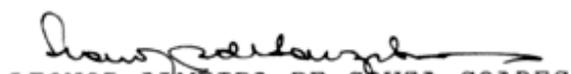
Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### MESTRE EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 17.10.1996.  
Pela Banca Examinadora

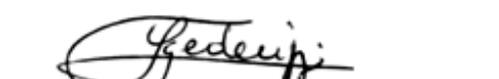
  
MARIA DE LOURDES SANTORIO CIOCCA  
Orientadora-CPG-ZOOTECNIA

  
LEONOR ALMEIDA DE SOUZA SOARES  
UFPel

  
FERNANDO RUTZ  
UFPel

  
WALTER MOTTA FERREIRA  
UFMG

Homologado em: 18.11.1996.  
Por

  
LUIZ CARLOS FEDERIZZI  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia

  
NILTON RODRIGUES PAIM  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, cujo carinho e apoio constantes asseguraram o equilíbrio necessário para vencer essa importante etapa da vida, e em especial à Nize, pela paciência, companheirismo e amor.

À professora Maria de Lourdes S. Ciocca, pela orientação e empenho indispensáveis em todas as fases da realização deste trabalho e pela contribuição ao meu crescimento profissional e humano.

À AVIPAL de Porto Alegre, pela doação da ração e das aves experimentais, e ao Hospital Veterinário e ao Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da UFSM, pela cedência das instalações e equipamentos.

Ao professor Alceu Gaspar Raiser e sua excelente equipe, pela preparação cirúrgica das unidades experimentais.

À professora Elsa Mundstock, pela colaboração e orientação no tratamento matemático e estatístico dos dados.

A todos os professores, funcionários e bolsistas do Setor de Avicultura da UFSM e dos Laboratórios de Nutrição Animal e de Rotina de Solos da UFRGS e todas as pessoas que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho, em especial aos bolsistas Eduardo A. Bernhard, Eduardo M. Lucas e Eliane C. L. Bahia.

Aos muitos colegas e amigos com quem convivi no decorrer do curso, pelo companheirismo e pela rica troca de experiências.

**EFEITO DA FIBRA INSOLÚVEL DA DIETA SOBRE A PASSAGEM NO TRATO GASTRINTESTINAL DE MATRIZES MACHOS PESADOS INTACTOS, CECECTOMIZADOS E FISTULADOS NO ÍLEO TERMINAL<sup>1/</sup>**

Autor: Marson Bruck Warpechowski

Orientador: Maria de Lourdes Santorio Ciocca

**SINOPSE**

Foram investigados os efeitos da cecectomia e da fistulação ileal, juntamente com os da fibra insolúvel da dieta, sobre a passagem das fases sólida e líquida da digesta no trato gastrintestinal. Para isto, dois experimentos foram conduzidos com matrizes machos de linhagem de corte em fase de recria, alimentados com dietas basal e diluída com 15 e 30 % de palha de trigo. Também foram determinadas as capacidades de troca catiônica, tamponante e de hidratação da fibra insolúvel das dietas experimentais. Observou-se que o tempo médio de retenção (T50) da fase líquida da digesta (FL) nas aves intactas e fistuladas foi maior que o da fase sólida (FS); a cecectomia diminuiu o T50 da FL, enquanto a fistulação aumentou o da FS; o tempo de retenção e o tempo de trânsito da FS diminuíram com o aumento da fibra insolúvel da dieta, independentemente do tipo de ave; o efeito da fibra insolúvel sobre a passagem da FL foi diferente para cada tipo de ave e não apresentou relação com o nível de fibra na dieta. A diluição com palha de trigo alterou as propriedades físico-químicas da fibra insolúvel da dieta. O tempo médio de retenção expressa melhor os efeitos sobre a passagem da digesta que o tempo de trânsito. A cecectomia e a implantação cirúrgica de cânula no íleo alteram a função gastrintestinal. A magnitude desse efeito varia com a composição da dieta.

---

<sup>1/</sup>Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal (Nutrição), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (117 p.) Outubro, 1996.

**EFFECT OF INSOLUBLE FIBER ON GASTRINTESTINAL PASSAGE OF  
INTACT, CECECTOMIZED AND ILEUM FISTULATED MALE BREEDER  
BROILERS<sup>1/</sup>**

Author: Marson Bruck Warpechowski

Adviser: Maria de Lourdes Santorio Ciocca

**SUMMARY**

Associated effects of gastrointestinal surgical modifications with insoluble fiber of diet on passage of the solid and liquid phases of digesta were evaluated. Two trials were conducted with immature male breeder broilers fed either a basal diet alone or diluted with 15 % and 30 % wheat straw. Cation-exchange, buffering and water-holding capacities of insoluble fiber of the experimental diets were also determined. In intact and fistulated birds, the mean retention time (T50) of the liquid phase (FS) was higher than solid phase (FL); the cecectomy decrease the T50 of the FL, whereas the fistulation decrease the T50 of the FS. The transit and mean retention times of the FS were reduced with the increase of the insoluble fiber level for every bird type. Effects of insoluble fiber on FL passage were different for both bird type, and the changes were not related to fibre level. Physico-chemical properties of the insoluble fiber were altered by wheat straw dilution of the diet. Mean retention time is a better estimate of the effects on gastrointestinal passage than transit time. Cecectomy and ileal fistulation disturb the gastrointestinal function. The extension from this effect change with the diet composition.

---

<sup>1/</sup>M.Sc. Thesis in Animal Production (Animal Nutrition) - Agronomy College - Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (117 p.) - October, 1996.

## SUMÁRIO

	página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Composição da fibra da dieta .....	4
2.2. Propriedades e efeitos da fibra da dieta .....	6
2.2.1. Capacidade tamponante e de troca catiônica .....	7
2.2.2. Capacidade de hidratação .....	9
2.2.3. Taxa de fermentação .....	12
2.3. Determinação da passagem gastrintestinal .....	13
2.3.1. Indicadores da passagem .....	15
2.3.2. Medidas da passagem .....	16
2.3.3. Métodos de determinação da passagem em aves através de curvas de excreção de indicador .....	18
2.3.4. Fatores que afetam a determinação da passagem gastrintestinal .....	20
2.4. Fibra da dieta e passagem gastrintestinal .....	23
2.4.1. Fibra insolúvel .....	23
2.4.2. Fibra solúvel .....	27
2.5. O uso de animais cecectomizados e fistulados no íleo .....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.1. Local .....	32
3.2. Animais experimentais .....	33
3.3. Ingredientes e dietas experimentais .....	34
3.4. Determinação das propriedades físico- químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo .....	34
3.4.1. Obtenção da fibra insolúvel .....	36
3.4.2. Determinação da capacidade de troca catiônica .....	36
3.4.3. Determinação da capacidade tamponante .....	36
3.4.4. Determinação da capacidade de hidratação .....	37
3.5. Experimentos com animais .....	37
3.5.1. Período pré-experimental .....	37
3.5.2. Experimento I .....	38
3.5.2.1. Tratamentos .....	38
3.5.2.2. Delineamento experimental .....	38
3.5.2.3. Indicador da fase sólida .....	39
3.5.2.4. Indicador da fase líquida .....	39
3.5.2.5. Condução do experimento .....	39
3.5.2.6. Medidas e observações .....	40
3.5.3. Experimento II .....	44
3.5.3.1. Tratamentos .....	44
3.5.3.2. Delineamento experimental .....	45
3.5.3.3. Condução do experimento .....	45
3.5.3.4. Medidas e observações .....	46
3.6. Estimativa do tempo de trânsito e do tempo médio de retenção no trato gastrintestinal .....	47
3.7. Análises estatísticas .....	48

	página
3.8. Preparação das amostras para análise .....	49
3.9. Métodos analíticos .....	50
4. RESULTADOS .....	52
4.1. Propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo .....	52
4.2. Experimento I .....	53
4.2.1. Passagem no trato gastrintestinal .....	54
4.2.2. Excreção de matéria seca .....	56
4.3. Experimento II .....	57
4.3.1. Passagem da fase sólida da digesta .....	57
4.3.2. Passagem da fase líquida da digesta .....	60
4.3.3. Análises complementares .....	63
4.3.4. Excreção de matéria seca .....	64
5. DISCUSSÃO .....	66
5.1. Efeito da cecectomia e da fistulação do íleo sobre a passagem da digesta .....	66
5.2. Efeitos da fibra insolúvel sobre a passagem das fases sólida e líquida da digesta .....	69
5.3. Efeitos sobre a excreção de matéria seca .....	76
5.3.1. Experimento I .....	76
5.3.2. Experimento II .....	78
5.4. Propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo .....	81
5.5. Tratamento matemático das curvas de excreção acumulada de Cr .....	84
5.6. Avaliação das medidas T1 e T50 .....	85
6. CONCLUSÕES .....	87
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
8. APÊNDICES .....	99

## RELAÇÃO DE TABELAS

	página
1.Composição química das dietas experimentais e da palha de trigo.....	35
2.Cronograma de atividades durante um período de determinação da passagem no trato gastrintestinal.....	42
3.Ordem cronológica de obtenção dos dados experimentais.....	43
4.Composição química e propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo.....	53
5.Valores médios do tempo de trânsito das fases sólida e líquida da digesta (h). Experimento I.....	54
6.Valores médios do tempo médio de retenção das fases sólida e líquida da digesta (h). Experimento I.....	55
7.Peso corporal médio das aves no final da determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta (g). Experimento I.....	57
8.Valores médios do tempo de trânsito da fase sólida da digesta (h). Experimento II.....	58
9.Valores médios do tempo médio de retenção da fase sólida da digesta (h). Experimento II.....	58
10.Consumo médio diário de matéria seca nos períodos de determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta (g). Experimento II.....	60
11.Consumo médio diário de matéria seca nos períodos de determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta expresso em porcentagem do peso corporal. Experimento II.....	60
12.Peso corporal médio das aves no final dos períodos de determinação da passagem da fase sólida da digesta (g). Experimento II.....	60
13.Valores médios do tempo médio de retenção da fase líquida da digesta (h). Experimento II.....	62
14.Peso corporal médio das aves no final da determinação da passagem da fase líquida da digesta (g). Experimento II.....	63
15.Médias do resíduo de matéria seca excretado (% MS consumida). Experimento II.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS

CEC	aves cecectomizadas
CH	capacidade de hidratação
CT	capacidade tamponante
CTC	capacidade de troca catiônica
D0	dieta experimental basal
D15	dieta experimental basal diluída com 15 % de palha de trigo
D30	dieta experimental basal diluída com 30 % de palha de trigo
ENN	extrativo não nitrogenado
FB	fibra bruta
FDA	fibra em detergente ácido
FDN	fibra em detergente neutro
FL	fase líquida da digesta
FS	fase sólida da digesta
FST	aves fistuladas
GB	gordura bruta
INT	aves intactas
MO	matéria orgânica
MS	matéria seca
PB	proteína bruta
PFIn	preparação de fibra insolúvel
PT	palha de trigo
T1	tempo de trânsito, determinado conforme FERRANDO <i>et al.</i> (1987)
T50	tempo médio de retenção, determinado conforme FERRANDO <i>et al.</i> (1987)

## **1. INTRODUÇÃO**

A fibra na alimentação de aves, geralmente composta por dietas concentradas, é muitas vezes considerada apenas pelo seu efeito diluidor da energia. Entretanto, em alguns casos esta fração pode assumir importância maior, principalmente em situações que envolvam níveis de fibra mais elevados. Estas situações ocorrem em programas de restrição alimentar qualitativa, utilizados na recria de matrizes e poedeiras comerciais ou no crescimento de frangos de corte, quando dietas são intencionalmente diluídas com volumosos, ricos em fibra insolúvel; em criações semi-extensivas, onde o consumo de forragens oferece uma situação em que o nível de fibra insolúvel na dieta pode ser especialmente alto, ou ainda, quando dietas normais são preparadas com ingredientes que possuam altos teores de fibra solúvel, o que pode ocorrer com alguns cereais. Nestas situações, a fibra da dieta pode apresentar outros efeitos além da simples diluição da energia. Estes efeitos incluem alterações nas características do bolo alimentar, alterações em funções gastrintestinais como a taxa de excreção endógena e a taxa de passagem da digesta, e alterações na fermentação microbiana no intestino grosso, podendo causar interferência direta e/ou indireta sobre o aproveitamento de nutrientes pela ave. A magnitude destes efeitos varia com a fonte, a composição, o nível de fibra e suas propriedades físico-químicas, além da composição do

restante da dieta. Os efeitos da fibra solúvel da dieta têm sido atualmente bastante estudados, porém, poucos dados têm sido publicados quanto aos efeitos da fibra insolúvel para aves, especialmente com respeito à passagem da digesta.

Por outro lado, o estudo da digestibilidade de nutrientes ou da metabolizabilidade da energia quando baseado na coleta de excreta está sujeito à interferência da fermentação microbiana no intestino grosso, principalmente nos cecos, a qual é potencializada pela presença da fibra. Para evitar esta interferência têm sido utilizadas aves cecetomizadas ou fistuladas no íleo terminal, alternativas mais práticas e econômicas que a técnica de abate e análise por segmentos. Entretanto, embora seja razoável supor que estas modificações cirúrgicas possam afetar funções gastrintestinais, como alterar a passagem da digesta, por exemplo, poucos ou nenhum estudo têm sido feito para verificar e quantificar estas possíveis alterações.

No presente trabalho estudou-se a passagem das fases sólida e líquida da digesta no trato gastrintestinal de matrizes machos de linhagem de corte em idade de recria intactos, cecetomizados e fistulados no íleo terminal. Também foi investigado o efeito do aumento da fibra insolúvel da dieta, pela diluição com 15 e 30 % de palha de trigo, sobre a passagem das duas fases da digesta no trato dessas aves. A fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo foi caracterizada quanto às propriedades físico-químicas de capacidade de troca catiônica, capacidade tamponante e capacidade de hidratação. A palha de trigo foi escolhida pelo seu alto teor de fibra

insolúvel e pela sua disponibilidade, o que a torna de potencial utilização na diluição de dietas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Composição da fibra da dieta**

A fibra total da dieta, segundo VAN SOEST *et al.* (1991), é definida como a fração do tecido vegetal resistente às enzimas de mamíferos. É composta principalmente por polissacarídeos e oligossacarídeos com ligações glicosídicas diferentes das  $\alpha(1\rightarrow6)$  e  $\alpha(1\rightarrow4)$ , lignina, taninos, produtos da reação de Maillard e outros componentes minoritários. JERACI e VAN SOEST (1990) e VAN SOEST *et al.* (1991) dividem essa fração em fibra solúvel e fibra insolúvel.

A fibra insolúvel é composta pelos componentes da matriz insolúvel da parede celular vegetal e inclui a celulose, a hemicelulose e a lignina como componentes principais, além de taninos e outros componentes minoritários (JERACI e VAN SOEST, 1990; VAN SOEST *et al.* 1991). De acordo com ASP e JOHANSSON (1984) e SCHWEIZER (1989), esta fração tem sido determinada por métodos gravimétricos, como a fibra bruta do método de Weende, resíduo após tratamento sequencial ácido e alcalino, e a fibra em detergente neutro (GOERING e VAN SOEST, 1970), com modificações para hidrólise enzimática do amido; por métodos enzimico-gravimétricos, em que a fibra é obtida como o resíduo insolúvel após digestão com amilases e proteases, como o método de ASP *et al.* (1983) e o de PROSKY

*et al.* (1984), adotado pelo AOAC, atualmente com diversas modificações (AOAC, 1995), e ainda por métodos químicos, em que as frações de polissacarídeos são estimadas a partir da determinação de seus monômeros. Segundo JERACI e VAN SOEST (1990), a fibra insolúvel é convenientemente bem estimada pela fibra em detergente neutro (FDN) de GOERING e VAN SOEST (1970). A fibra insolúvel é encontrada em maior quantidade nos tecidos vegetais de sustentação, como caules e hastes, e aumenta com a idade da planta e da porção da planta, sendo especialmente alta nas cascas e palhas de cereais (LEWIS, 1993; VAN SOEST *et al.* 1991; HATFIELD, 1989). Segundo JERACI e VAN SOEST, (1990) e VAN SOEST *et al.* (1991), a fibra insolúvel apresenta diferentes composições segundo a fonte, a parte e a idade da planta, sendo que, em geral, ocorre um aumento na deposição de lignina com a idade. A taxa e a extensão da degradação microbiana da fração insolúvel da fibra é dependente principalmente do teor de lignina e do seu grau de interação com os outros componentes da parede celular (JUNG, 1989).

Segundo FERREIRA (1994), o teor de fibra insolúvel revela-se um bom estimador do valor nutritivo dos alimentos para aves, por sua alta correlação negativa com a energia metabolizável, consequência de uma menor digestibilidade das proteínas, gorduras e carboidratos.

A fibra solúvel, representada pelos polissacarídeos não amiláceos hidrossolúveis (PNAS) estruturais, como  $\beta$ -glicanas, arabinoxilanas e pectinas, além de gomas, mucilagens e polissacarídeos de reserva, que em geral são rapidamente disponíveis aos microorganismos do trato

digestivo, pode ser totalmente fermentada (VAN SOEST *et al.* 1991). Estes componentes podem aparecer em níveis consideráveis nas dietas para aves a base de grãos de cereais, principalmente, e podem exercer atividades antinutritivas, como interferir na absorção de minerais, ou na digestibilidade do amido, da proteína e das gorduras, reduzindo a metabolizabilidade da energia, o que já foi demonstrado com dietas à base de cevada, de centeio e de trigo (ANNISON, 1993). Também oligossacarídeos de leguminosas, como a rafinose e a estaquiase da soja, podem exercer efeitos semelhantes (COON *et al.* 1990; NRC, 1994).

## **2.2. Propriedades e efeitos da fibra da dieta**

A fibra da dieta pode exercer outros efeitos, diferenciados para as frações solúvel e insolúvel, além da diluição da energia da dieta para aves. Esses efeitos podem ser decorrentes de alterações em funções fisiológicas, como na taxa de excreção endógena (PARSONS, 1984; ZANDER, 1986) e na taxa de passagem gastrintestinal do alimento (WARNER, 1981; COON *et al.*, 1990; VAN DER KLIS e VAN VOORST, 1993; FERREIRA, 1994), ou ainda de alterações em características do bolo alimentar e da digesta, como pH, capacidade tamponante, teor de água, viscosidade, volume e fermentabilidade (JERACI e HORVATH, 1989; COON *et al.*, 1990; VAN SOEST *et al.* 1991; McBURNEY e BEAULIEU, 1993; ANNISON e CHOCT, 1994; FERREIRA, 1994). Segundo esses autores, a magnitude destas alterações variam não só com o nível de fibra na dieta mas com suas características físico-químicas, dependentes da sua composição química. As

propriedades físico-químicas da fibra de diversos alimentos isolados têm sido bastante estudadas, entretanto não há registros de estudos de fibras de dietas compostas. JERACI e VAN SOEST (1990), McBURNEY e BEAULIEU (1993) e VAN SOEST *et al.* (1991), tratando de fibra insolúvel, e ANNISON e CHOCT (1994), tratando de fibra solúvel, descreveram as principais propriedades da fibra da dieta que podem interferir diretamente no tempo e no grau de exposição dos nutrientes da digesta aos processos fisiológicos da digestão e absorção no trato gastrintestinal. Dentre as propriedades da fibra insolúvel destacam-se a capacidade de troca catiônica (CTC), a capacidade tamponante (CT), a capacidade de hidratação (CH) e a taxa de fermentação (TF).

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

Segundo a descrição de VAN SOEST *et al.* (1991) e ANNISON e CHOCT (1994) a capacidade de troca catiônica é a propriedade da fibra de ligar-se a íons metálicos através de grupos situados em sua superfície. Dessa maneira a fibra da dieta pode exercer um grande poder tamponante, carregando-se com cátions como  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$  e  $Mg^{++}$  quando o pH é alto, e liberando-os quando o pH do meio diminui. Esta retenção de íons pode diminuir a sua absorção no intestino delgado, onde o pH é próximo ao neutro. Segundo VAN SOEST (1994) a CTC da fibra da dieta tem sido apontada como um possível fator que afeta a disponibilidade de zinco, ferro e cobre para não-ruminantes. Além disso, os cátions podem servir de "pontes" entre os componentes da fibra ou com outros componentes da dieta, formando cadeias

complexas, o que é de especial importância na presença de fibra solúvel. Através dos cátions bivalentes também ocorre o reconhecimento da fibra por alguns microorganismos, sendo um fator importante para a fixação e fermentação da fibra pela microflora (VAN SOEST *et al.* 1991). Os principais grupos funcionais da fibra vegetal capazes de exercer troca iônica incluem carboxilas, aminas, hidroxilas alcoólicas e fenólicas livres, presentes em maior quantidade na pectina, lignina e taninos (JERACI e VAN SOEST, 1990). Assim, segundo ALLEN *et al.* (1985), têm sido encontrados valores de CTC muito baixos para a celulose e altos para a lignina e taninos, enquanto a hemicelulose apresenta valores variáveis, dependendo da sua composição. A correlação da CTC com o conteúdo de lignina, segundo uma avaliação da fibra de 12 materiais que incluem grãos, farelos, forragens e fenos (McBURNEY *et al.* 1986), varia de 0,70 a 0,84, conforme a técnica utilizada para a determinação da CTC, mas não é significativa, segundo este trabalho, a correlação com as frações de hemicelulose e celulose. Entretanto, a CTC apresenta alta correlação negativa com a relação celulose+hemicelulose/lignina (McBurney *et al.* 1981, *apud* WILLIAMS *et al.* 1989).

A capacidade tamponante das fibras pode ser medida diretamente por titulação. McBURNEY *et al.* (1983) estudaram a variação na CT da fibra de diversos materiais através das curvas de titulação, na faixa de pH entre 7,0 e 2,0. Embora os dados não tenham sido submetidos à análise estatística, a expressão gráfica das curvas demonstrou uma CT visivelmente maior para o feno de alfafa, especialmente entre o pH 2,5 e o pH 6,0, do que para outros alimentos,

entre eles silagem de milho, trigo, aveia e feno de gramínea. WARPECHOWSKI e CIOCCA (1995), utilizando as mesmas técnicas, observaram diferenças significativas na CT da palha de diferentes variedades de trigo, que apresentaram média de 57,3 mmol H<sup>+</sup>/100 g FDN e maior variação entre as curvas de titulação na faixa de pH de 2,7 a 5,4. Nesse trabalho a CT apresentou correlação positiva com a capacidade de hidratação ( $r = 0,88$ ).

McBURNEY *et al.* (1983) descreveram metodologia para determinação da CTC de fibra insolúvel utilizando cobre, que é, porém, restrita ao pH 3,5-4,0. A utilização de neodímio ou praseodímio em substituição ao cobre permite a determinação da CTC tanto em meio ácido (pH  $\leq$  4) quanto em pH neutro, semelhante às condições gastrintestinais (ALLEN *et al.*, 1985). Com a variação no pH, modifica-se o grau de ionização dos constituintes da fibra, de forma a CTC aumenta com a elevação do pH. Entretanto, a correlação entre as duas técnicas é alta (McBURNEY *et al.* 1986) e em geral, há uma ordem crescente de CTC para silagem de milho, palha de cereais, farelos e grãos de cereais, feno de gramíneas e feno de alfafa.

### **2.2.2. Capacidade de hidratação**

Conforme ANNISON e CHOCT (1994), a capacidade de hidratação, ou capacidade de retenção de água, é característica tanto da fibra solúvel quanto da insolúvel. A CH da fibra depende da presença de grupos hidrofílicos e da área de superfície da molécula, além 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, com estrutura muito ramificada, o que resulta em grande área superficial, e com grande quantidade de grupos hidrofílicos em sua estrutura, com carboxilas livres bem como grupamentos amino presentes, podem reter grande proporção de água. Este efeito pode causar grande alteração às propriedades da digesta, como volume e resistência ao peristaltismo. A capacidade de hidratação correlaciona-se positivamente com a CTC e a taxa de fermentação (JERACI e VAN SOEST, 1990; VAN SOEST *et al.*, 1991), e também, no caso da fibra solúvel, com a viscosidade (ANNISON e CHOCT, 1994).

McCONNEL *et al.* (1974) estimaram a CH da fração insolúvel de diversos alimentos para humanos, através de um processo que envolve aquecimento a 37,5 °C por 24 h e separação por centrifugação. Este método permite a estimativa da CH apenas de materiais sólidos, pelo que STEPHENS e CUMMINGS (1979), também com alimentos para humanos, desenvolveram um método baseado em separação por diálise, que permite a estimativa também em fibras solúveis, as quais, em geral, apresentaram CH muito superior às insolúveis. Os dois métodos apresentaram alta correlação ( $r = 0,85$ ). Estes autores encontraram correlação negativa ( $r = -0,85$ ) entre a CH e o volume de fezes

produzido por humanos que consumiram dietas compostas com os materiais estudados. Entretanto, os autores discutem que a fermentação da fibra solúvel no intestino grosso altera a produção fecal, de modo que a correlação utilizando somente fibras insolúveis pode ser diferente.

SEOANE *et al.* (1981), utilizando técnica semelhante à de McCONNELL (1974), estimaram a CH de um feno de alfafa (48,2 % FDN) e de fenos de gramíneas (58,1 - 63,7 % FDN), encontrando valores de 6,28 g H<sub>2</sub>O/g para o feno de alfafa e de 6,26 a 7,16 g H<sub>2</sub>O/g para os de gramíneas. A CH nesse trabalho, da mesma forma que o "volume compactado" (inverso da densidade), teve alta correlação negativa ( $r = -0,99$ ) com o consumo de matéria seca desses fenos por ovinos, demonstrando efeito da CH sobre o volume ocupado pelo alimento no trato digestivo. Utilizando a mesma técnica, GOMES *et al.* (1994a, 1994b) observaram retenção de 8,6 g H<sub>2</sub>O/g para uma palha de arroz com tamanho médio de partículas de 0,5 cm. WARPECHOWSKI e CIOCCA (1995), utilizando a técnica de McCONNELL (1974) com modificações, observaram uma CH média de 5,3 g H<sub>2</sub>O/g FDN na palha de diversas variedades de trigo, moídas com peneira de 1 mm. A moagem fina evita o efeito do tamanho da partícula sobre a capacidade de hidratação da fibra insolúvel, pois reduz o espaço interior (JERACI e VAN SOEST, 1990; VAN SOEST, 1994).

Segundo GOULD *et al.* (1989), o tratamento de fibras vegetais insolúveis com solução alcalina de peróxido de hidrogênio pode alterar grandemente as suas características, aumentando o volume e a capacidade de hidratação e diminuindo a densidade. O tratamento alcalino

solubiliza parte da lignina presente na parede celular, produzindo um material com alta CH e com maior espaço livre na sua estrutura interna. Esses autores observaram que a CH (g H<sub>2</sub>O/g MS) da palha de trigo aumentou, após o tratamento, de 6,8 para 10,3, no material com conteúdo original de hemicelulose, e para 14,0, no material cuja hemicelulose foi removida durante o processamento. Preparações comerciais de celulose para a alimentação humana apresentaram CH de 1,7 a 5,3 g H<sub>2</sub>O/g MS. A CH da fibra insolúvel correlaciona-se positivamente com a capacidade de troca catiônica (VAN SOEST *et al.*, 1991) e com a capacidade tamponante (WARPECHOWSKI e CIOCCA, 1995) e estas, apresentam alta correlação positiva com a taxa de fermentação (JERACI e VAN SOEST, 1990; VAN SOEST *et al.*, 1991).

### **2.2.3. Taxa de fermentação**

A atividade bacteriana cecocólica se produz sobre o substrato que escapou da hidrólise ácida e enzimática no estômago e no intestino delgado, incluindo produtos da secreção endógena, como enzimas, mucopolissacarídeos e células de descamação da mucosa (DUKE, 1986b). Porém, os principais substratos são os componentes da parede celular vegetal, que exercem forte influência sobre a massa bacteriana e a sua atividade enzimática. Além disso, a fibra pode aumentar a secreção endógena e a fração dos nutrientes que escapam da digestão e absorção, aumentando o conjunto de substratos para a fermentação microbiana no intestino grosso. Estes efeitos dependem da composição da

fibra. ZANDER (1986) observou que a diluição da dieta para matrizes pesadas com níveis crescentes de palha de trigo aumentou linearmente a excreção endógena de nitrogênio e a massa bacteriana na excreta. Por outro lado, PARSONS (1984), trabalhando com poedeiras cecectomizadas, encontrou maiores taxas de excreção endógena e de fermentação com dietas purificadas à base de amido + pectina, do que à base de celulose. Além disso, a adição de celulose pode inibir a fermentação da pectina *in vitro*, enquanto a adição de uma fração indigestível da fibra de palha de trigo, além de estimular a fermentação, pode alterar a composição da flora (JERACI e HORVATH, 1989). Por outro lado, o aumento na taxa de fermentação pode prejudicar o desempenho: WAGNER e THOMAS (1978) relacionaram a redução no crescimento de frangos pela adição de centeio e pectina na dieta, com a alteração provocada na população bacteriana intestinal; segundo CHOCT *et al.* (1992), o aumento da fermentação intestinal causado pela fibra pode diminuir a absorção das gorduras, por interferir na reciclagem portal dos sais biliares.

### **2.3. Determinação da passagem gastrintestinal**

Do movimento da digesta, três aspectos tem sido principalmente estudados: velocidade, taxa de fluxo e taxa de passagem. A velocidade, expressa em mm/s, é utilizada principalmente em trabalhos de motilidade da parede intestinal, e expressa um fluxo tubular unidirecional, sem considerar mistura e refluxo; o fluxo, expresso em l/h ou kg/h, é uma medida da quantidade absoluta de material

digerido, fermentado, absorvido ou excretado nos compartimentos digestivos, e a taxa de passagem, expressa em unidades como  $h^{-1}$ , ou a sua recíproca tempo de retenção (h), é a medida do tempo que porções individualizadas da digesta são retidas no trato gastrintestinal ou num seu segmento, sujeitas aos processos de mistura, digestão, fermentação microbiana, absorção e outros (WARNER, 1981).

Medidas do movimento da digesta expressas como taxas tem unidades de tempo<sup>-1</sup>, sendo a mais comum,  $h^{-1}$ . A determinação de taxa mais amplamente estudada é relativa a frações do conteúdo, do trato total ou de um segmento, que saem de um órgão na unidade de tempo, constituindo o que WARNER (1981) denomina taxa fracionária. As medidas de taxa de passagem mais comuns e de ampla aplicação são o tempo de retenção - o tempo que uma fração estipulada da digesta é retida no trato ou num segmento - e a de maior interesse, o tempo médio de retenção, que significa a média do tempo de retenção de todos os elementos da digesta no trato total ou em um seu segmento. Em condições de equilíbrio dinâmico, ou seja, entrada e saída de matéria com volume e taxa constantes, o tempo médio de retenção é igual à recíproca da taxa fracionária. Se estas condições não existem, as relações entre taxa de fluxo, taxa de passagem e tempo de retenção não são simples. Portanto, para que as medidas da taxa fracionária sejam úteis, o pressuposto do equilíbrio dinâmico é imperativo.

A forma direta e mais exata para determinar o tempo médio de retenção é pela divisão da massa do conteúdo de um segmento ou do trato total pela quantidade ingerida na unidade de tempo. Da mesma forma, esta relação pode ser

aplicada para constituintes desse conteúdo que possam ser quantificados por análise (indicadores internos) ou para indicadores externos incorporados à ingesta. Estas técnicas, no entanto, em geral envolvendo abate, impedem a observação ao longo do tempo no mesmo animal e por isso acumulam efeitos da variabilidade individual.

Os métodos para o estudo da passagem com indicadores externos, conforme descrito por WARNER (1981), são muitas e as diferenças envolvem o indicador utilizado, a forma de sua administração e recuperação, e a medida utilizada como estimativa da passagem.

### **2.3.1. Indicadores da passagem**

O indicador da passagem precisa atender a critérios gerais indicados para seu uso em estudos de nutrição, como não ser digerido, transformado ou absorvido no TGI, e ser totalmente recuperado na digesta ou na excreta (KOTB e LUKEY, 1972). Além disso, para estudos de passagem, o indicador deve manter-se em equilíbrio com o *pool* dos componentes/frações de interesse, aos quais deve representar em relação ao tamanho de partícula e/ou densidade, para apresentar uma progressão semelhante ao longo do trato gastrointestinal (UDÉN *et al.*, 1980). Não existindo nenhum indicador que atenda a todos os critérios desejados (KOTB e LUKEY, 1972), e considerando as acentuadas diferenças quanto à passagem das fases sólida e líquida da digesta, a utilização de indicadores específicos para cada uma delas permite superar parte dos problemas encontrados.

### 2.3.2. Medidas da passagem

Varias convenções têm sido usadas para calcular dados de passagem, embora nem todas descrevam o mesmo fenômeno (VAN SOEST, 1994). Estas convenções têm sido desenvolvidas como medidas alternativas à determinação do tempo médio de retenção (TMR) através da forma direta, com abate e análise no conteúdo dos segmentos ou do trato total.

Castle (1956), *apud* SIBBALD (1979), desenvolveu uma estimativa do tempo médio de retenção através do gráfico da excreção acumulada do indicador ao longo do tempo. O cálculo é feito somando-se os tempos de excreção de 5 a 95 % do indicador administrado, a intervalos de 10 %, e dividindo-se o resultado por 10.

COOMBE e KAY (1965) modificaram a estimativa do TMR desenvolvida por Blaxter *et al.* (1956) (*apud* WARNER, 1981), calculada como:  $TMR = \sum_{i=1}^n m_i t_i / \sum_{i=1}^n m_i$ , em que  $m_i$  é a quantidade de indicador excretado na  $i$ ésima defecação ao tempo  $t_i$  após a dose, ajustando a excreção de indicador à excreção de matéria seca em cada horário de coleta, para evitar o efeito na variação entre defecações.

O TMR também pode ser estimado como o tempo necessário para excretar 50 % do indicador administrado ou recuperado. A estimativa é obtida através das curvas de excreção acumulada do indicador ao longo do tempo, que podem ser descritas por diversas equações matemáticas (WARNER, 1981).

Outra medida bastante utilizada da passagem é o tempo de trânsito, ou o tempo para o primeiro aparecimento do indicador na excreta após a administração. No caso de curvas de excreção acumulada do indicador, pode ser calculado como o tempo de excreção de 0,5 ou 1 % do administrado ou do recuperado. VAN SOEST (1994) afirma que o tempo de trânsito, apesar de ser uma medida muito utilizada para não-ruminantes, é uma medida de fluxo tubular e não considera os efeitos de mistura e refluxo no trato gastrintestinal, servindo apenas como um componente importante na determinação do tempo médio de retenção. LAPLACE (1972) e WARNER (1981), pelos mesmos motivos, não recomendam o uso do tempo de trânsito para estimar o tempo de retenção do alimento no tubo digestivo. Além disso, segundo FERRANDO *et al.* (1987), com essa medida a variação individual é bastante alta. Conforme VAN DER KLISS e VAN VOORST (1993), esta imprecisão pode ser explicada, em parte, matematicamente. Como a curva de excreção acumulada é uma função sigmóide (WARNER, 1981), quando o parâmetro estudado se localiza na assíntota da curva, como em muitas outras funções biológicas, as variações no parâmetro são de pouco significado. Este é o caso do tempo de trânsito, localizado na assíntota inferior da curva.

O tempo de esvaziamento (*clearance time*, SIBBALD, 1980), ou de último aparecimento do indicador na excreta é outra medida do tempo de retenção, podendo ser obtida também através da curva de excreção acumulada do indicador como o tempo de excreção de 85, 90 ou 95 % do mesmo (WARNER, 1981). Segundo VAN DER KLISS e VAN VOORST (1993),

essa medida incorre na mesma imprecisão do tempo de trânsito, por se localizar na assíntota superior da curva.

### **2.3.3. Métodos de determinação da passagem em aves através de curvas de excreção de indicador**

SIBBALD (1979, 1980) em diversos experimentos, testou em galos a utilização da metodologia desenvolvida originalmente por Castle (1956) para o cálculo do tempo médio de retenção em cabras através do estudo da curva de excreção acumulada de partículas do alimento tingidas. Nestes trabalhos, o autor também estimou o tempo de último aparecimento do indicador na excreta. Este método apresenta limitações reconhecidas pelo próprio autor, dada a alteração das partículas do alimento durante o processo de tingimento, bem como pela dificuldade na recuperação dessas partículas tingidas na excreta. Por outro lado, WARNER (1981) considera inválidas as determinações nos trabalhos de SIBBALD (1979, 1980), pelo fato de que o equilíbrio dinâmico não foi mantido, uma vez que as aves foram submetidas a jejum antes e/ou após a administração do indicador.

FERRANDO *et al.* (1987) descreveram um método específico para a determinação da passagem da fase sólida da digesta de aves, utilizando fibra Cr-mordente de farelo de trigo e de casca de arroz de três tamanhos diferentes, para investigar o efeito do tamanho e da resistência de partícula. O tempo médio de retenção foi estimado como o tempo de excreção de 50 % do indicador administrado, utilizando uma equação "tipo HILL" para o ajuste das curvas

de excreção acumulada dos indicadores. Com vistas a manutenção do equilíbrio dinâmico, a alimentação foi fornecida em quantidade controlada a intervalos de 12 h. Houve um maior tempo de retenção para as partículas maiores, especialmente com partículas mais duras, da casca de arroz.

Em trabalho posterior (VERGARA *et al.*, 1989), os autores agregaram ao método o uso de Cr-EDTA, para estudar a passagem das duas fases da digesta em frangos entre a primeira e a terceira semanas de idade. Para promover uma melhor associação do indicador da fase sólida com as partículas da dieta, a fibra Cr-mordente foi preparada com granulometria semelhante à da ração. Embora a equação "tipo Hill" utilizada no primeiro trabalho apresentasse bom ajuste às curvas de excreção de fibra Cr-mordente ( $r = 0,91$  a  $0,97$ ), neste trabalho foram utilizadas duas outras equações, uma para cada fase da digesta. Entretanto, o ajuste da curva de excreção da fase líquida ao modelo matemático utilizado neste trabalho não foi satisfatório para os dados obtidos à partir da segunda semana de idade das aves. Isto foi atribuído ao desenvolvimento dos cecos e aumento na retenção de Cr-EDTA nestes segmentos à partir desta idade, o que alterou o padrão das curvas de excreção do indicador. Por isso, para comparar a passagem das fases sólida e líquida, o tempo médio de retenção foi calculado pelo método descrito por COOMBE e KAY (1965).

A estimativa do tempo de excreção de 50 % do indicador através de curvas de excreção acumulada tem sido adotada em trabalhos recentes, utilizando óxido de cromo, como o de VAN DER KLISS e VAN VOORST (1993), trabalhando

com frangos de cinco semanas de idade, e de ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA (1994), que empregaram frangos de três semanas e poedeiras com um ano de idade. ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA (1994) adotaram a equação "tipo Hill" para o ajuste das curvas e obtiveram coeficientes de correlação na ordem de 0,77 a 0,85.

Os trabalhos de FERRANDO *et al* (1987) e de VERGARA *et al.* (1989), com o tratamento matemático adequado das curvas de excreção de indicador, e com a preocupação com a aproximação do equilíbrio dinâmico e a diferenciação dos indicadores para a fase sólida e líquida da digesta, forneceram informações fundamentais para a determinação da passagem no trato gastrintestinal de aves.

#### **2.3.4. Fatores que afetam a determinação da passagem gastrintestinal**

Fatores que afetam a motilidade gastrintestinal afetam também a passagem da digesta (DUKE, 1986a). Enquanto alguns fatores podem ser o próprio objeto do estudo, outros podem ser evitados ou controlados através do plano experimental. Os principais fatores que podem ser controlados estão relacionados com a dieta, o ambiente e o próprio animal.

De uma maneira geral, quando o consumo está próximo ao nível máximo, o aumento do consumo requer um aumento na taxa de passagem ou no volume do TGI. Assim, na maioria dos animais, o aumento no consumo é acompanhado por um aumento na taxa de passagem. Entretanto, quando galos foram submetidos à alimentação forçada de 10 a 30 g de farelo e

grão de trigo, após jejum de 24 h, o aumento na quantidade de alimento administrado provocou aumento no tempo de retenção (SIBBALD, 1979). O próprio autor, porém, indica que esses resultados podem ter sido prejudicados pela dificuldade de recuperação do indicador utilizado, além do possível efeito do período de jejum. Por outro lado, NOY e SKLAN (1995), utilizando a técnica do abate e análise por segmentos, observaram que o aumento do consumo de frangos até 10 dias de idade foi acompanhado de uma diminuição no tempo médio de retenção no intestino. Entretanto, dos 10 aos 21 dias não houve mais aumento na taxa de passagem, embora o consumo continuasse a crescer.

Por outro lado, em geral ocorre um aumento na taxa de passagem com o aumento na frequência alimentar. Períodos longos de jejum antes ou depois da alimentação podem alterar a passagem (WARNER, 1981), e o tempo de trânsito é menor quando as aves são submetidas à jejum antes da alimentação (LARBIER e LECLERQ, 1994). Além disso, com o jejum, a pressuposição do equilíbrio dinâmico não é cumprida e, conseqüentemente, as estimativas da passagem não são válidas.

O momento da administração do indicador, com relação ao intervalo entre esta administração e as refeições e defecações, pode ser um fator crítico na determinação da passagem. A evacuação dos cecos das aves ocorre geralmente uma a duas vezes por dia (DUKE, 1986b). Em coelhos, WARNER (1981) observou diferença no tempo médio de retenção da fase sólida quando o indicador foi administrado antes ou depois da cecotrofia. Também houve diferença quando o indicador foi administrado de manhã ou à

tarde. BUYSE *et al.* (1993), trabalhando com frangos com 4 semanas, observaram um maior tempo de trânsito no período noturno que no período diurno. O pico do consumo foi antes do meio dia, enquanto o consumo noturno foi aproximadamente de 1 % do consumo diurno. Segundo LARBIER e LECLERQ (1994), as aves domésticas consomem a maior parte de seu alimento durante o dia, enquanto o consumo noturno é pequeno. Entretanto, em condições de luz contínua, o padrão de consumo é constante ao longo do tempo.

Hillerman *et al.* (1953) *apud* WARNER (1981), não observaram diferença no tempo de retenção em galinhas submetidas à temperaturas ambiente de 16 e 32 °C. MAY *et al.* (1986) e MAY *et al.* (1988) observaram efeito da variação da temperatura sobre o tempo de retenção de alimento no papo e na moela de frangos sob diversos regimes alimentares. Com temperatura média mais alta, o tempo de retenção foi maior.

Por outro lado, a passagem se modifica com a idade das aves. Segundo LARBIER e LECLERQ (1994), as aves jovens têm um tempo de trânsito mais rápido que as adultas. VERGARA *et al.* (1989), trabalhando com frangos de corte, observaram que o tempo de retenção da fase sólida da digesta diminuiu da primeira para a terceira semana de idade, enquanto o tempo de retenção da fase líquida aumentou. O aumento na retenção da fase líquida foi atribuído ao desenvolvimento dos cecos.

## **2.4. Fibra da dieta e passagem gastrintestinal**

A fibra da dieta inclui um grande número de componentes e cada grupo pode ter efeitos diferentes. Fibra solúvel e insolúvel, apresentando propriedades físico-químicas diferentes, como citadas anteriormente, exercem diferentes efeitos sobre a passagem da digesta. Essa função gastrintestinal é um dos amplos fenômenos intraluminais possivelmente envolvidos no mecanismo dos efeitos antinutritivos dos dois tipos de fibra.

### **2.4.1. Fibra insolúvel**

O efeito da fibra insolúvel sobre a passagem da digesta parece ser decorrente principalmente de estimulação física. Segundo WARNER (1981), a estimulação das paredes do TGI por partículas fibrosas tende a aumentar a motilidade e conseqüentemente a taxa de passagem. Além disso, alimentos com altos teores de fibra insolúvel tendem a apresentar partículas sólidas até o final do trato digestivo, de modo que a estimulação física se estende também por todo o trato.

O consumo está relacionado diretamente com a taxa de passagem no trato gastrintestinal das diversas espécies de monogástricos (WARNER, 1981). O aumento adaptativo no consumo de dietas diluídas com volumosos pode ser propiciado por uma maior taxa de passagem com essas dietas.

O oferecimento *ad libitum* de dietas diluídas com volumosos normalmente provoca aumento do consumo para compensar a redução na concentração calórica (LEE *et al.*, 1971; BALNAVE, 1973). O grau em que o consumo aumenta

parece variar principalmente com a substância utilizada como diluidor e com o tipo, o sexo e a idade das aves.

SUMMERS *et al.* (1990) estudando o efeito da diluição da dieta com 15 % de celulose sobre o desempenho e gordura corporal de frangos de corte dos 7 aos 14 dias, observaram aumentos no consumo de 29 % para machos e 41 % para fêmeas durante o período de restrição.

LEESON *et al.* (1991) testando níveis de 25, 40 e 55 % de casca de arroz na diluição de dieta para frangos de corte dos 4 aos 11 dias de idade, observaram aumentos no consumo de 21, 36 e 49 % para fêmeas e 18, 33 e 42 % para machos.

LEESON *et al.* (1992), também estudando desempenho e gordura corporal, observaram aumento linear no consumo de frangos de corte, dos 35 a 42 dias de idade, com o aumento na diluição da dieta de 10 a 50 % com uma mistura 1:1 de casca de aveia e areia. O aumento no consumo durante a restrição foi de até 57 % com o maior nível de diluição. Segundo esses autores, esse aumento compensatório do consumo em tão alta proporção foi inesperado, pois, afirmam, considera-se que frangos de corte alimentados *ad libitum* estejam consumindo em quantidade próxima ao limite físico do trato gastrintestinal.

ZUIDHOF *et al.* (1995) investigando o efeito da diluição contínua da dieta (do crescimento à postura) com 15 e 30 % de casca de aveia sobre a produção e bem estar de matrizes de corte, registraram aumento médio no consumo de 13 e 27 % até 21 semanas e de 11 e 21 % das 22 às 54 semanas, respectivamente para os dois níveis de diluição.

Também GOULD *et al.* (1989) observaram aumento gradual do consumo de frangas dos 8 aos 22 dias de idade com a diluição da dieta com 10, 20 ou 30 % de celulose purificada ou de dois tipos de palha de trigo tratada com peróxido alcalino, com ou sem hemicelulose, moídos com peneira de 1 mm. Na média geral, o aumento de consumo foi em torno de 13, 22 e 30 %, respectivamente para os níveis de diluição, acompanhando aproximadamente os níveis de FDN das dietas diluídas. Apesar dos materiais utilizados apresentarem CH diferentes, isso aparentemente não teve efeito sobre o aumento no consumo.

Diversos fatores influenciam a regulação do consumo em aves domésticas e o enchimento do trato gastrintestinal é um fator importante nesta regulação (DENBOW, 1989).

Partículas fibrosas podem ser retidas por mais tempo na moela. MUZTAR e SLINGER (1980) observaram que o resíduo retido na moela 24 e 36 horas após a alimentação forçada era composto principalmente por "material fibroso". Segundo FERRANDO *et al.* (1987), a moela e o piloro parecem ser os principais responsáveis pela retenção de partículas no TGI de frangos, e a seleção de partículas é uma função tanto do seu tamanho quanto da sua rigidez.

Por outro lado, a separação do fluído e pequenas partículas da digesta no cólon e sua retenção nos cecos das aves domésticas (MORAN, 1982; DUKE, 1986a) dificulta a previsão do efeito da fibra insolúvel sobre a passagem da fase líquida da digesta no trato gastrintestinal. Em primatas, inclusive o homem, com anatomia e fisiologia do intestino grosso comparável à dos suínos, o tempo médio de retenção da fase sólida (fibra Cr-mordente) e também da

fase líquida da digesta (Co-EDTA) diminui com o aumento no nível de FDN na dieta (MILTON e DEMMENT, 1988). Em aves cecectomizadas, o trato gastrintestinal se apresenta anatomicamente semelhante ao de não ruminantes com fermentação no cólon, guardadas as devidas proporções quanto ao tamanho relativo dos segmentos, e poderia-se supor um efeito semelhante da fibra insolúvel sobre a passagem da fase líquida no trato destes animais. Entretanto, não foram encontrados trabalhos quanto ao efeito de modificações cirúrgicas do trato gastrintestinal sobre a motilidade nos diversos segmentos.

Além desses aspectos, outro fator importante a considerar é a composição da fibra e suas propriedades físico-químicas. A CTC e a CT, por exemplo, poderiam influenciar na motilidade gastrintestinal. A motilidade da moela é reduzida com a diminuição do pH duodenal, e a motilidade no restante do trato digestivo está relacionada com a da moela (DUKE, 1982; DUKE, 1986). Fibras com alta CTC e CT poderiam elevar o pH intestinal, aumentando a motilidade e, conseqüentemente, a taxa de passagem da digesta. Um aumento da taxa de passagem no trato gastrintestinal coincidente com um pH mais elevado nos cecos já foi observado devido aos oligossacarídeos (solúveis) da soja na dieta de galos (COON *et al.*, 1990). Por outro lado, uma alta CH, além do efeito físico de um maior volume da digesta, poderia influenciar na pressão osmótica da digesta no trato gastrintestinal, podendo influir na passagem. Além disso, a distribuição dos indicadores solúveis no fluído da digesta e no líquido intersticial da digesta sólida é desconhecido (WARNER,

1981) e uma possível retenção do indicador da fase líquida por parte da fibra poderia alterar a sua retenção nos cecos e no cólon, influenciando na estimativa da passagem.

#### **2.4.2. Fibra solúvel**

O principal efeito da fibra solúvel sobre a taxa de passagem parece ser uma função do aumento da viscosidade da digesta. De acordo com FERREIRA (1994) o aumento na viscosidade devido à fibra solúvel contribui para um trânsito mais lento do alimento no trato digestivo de não ruminantes. Por outro lado, o efeito da fibra solúvel sobre a passagem pode depender de sua fonte ou composição, bem como do estado fisiológico e tipo de ave.

VAN DER KLISS e VAN VOORST (1993) observaram que a adição de 1 e 2 % de carbóxi-metil-celulose a uma dieta semi-purificada para frangos com 3 semanas de idade diminuiu linearmente o tempo de trânsito ao mesmo tempo que aumentou linearmente o tempo médio de retenção do óxido de cromo. O consumo de água expresso em ml/ave/dia ou em ml/g aumentou linearmente com o nível do polissacarídeo, sugerindo uma maior perda de água pela excreta. O maior teor de água pode ter influenciado nos movimentos do TGI e na mistura do óxido de Cr com a digesta, alterando o tempo de retenção do mesmo. Por outro lado, ocorreu um aumento quadrático no comprimento do intestino delgado e de cada um de seus segmentos com o aumento da fibra. Como o efeito sobre a passagem foi linear, não pode ser explicado apenas pelo aumento no comprimento do intestino. Através da análise do conteúdo, observaram que o tempo de retenção

aumentou mais pronunciadamente no final do tubo digestivo, em especial no jejuno, e que a presença de carbóxi-metil-celulose permitiu a entrada de óxido de cromo nos cecos, o que contribuiu para o aumento na estimativa da passagem.

ALMIRALL e STEVE-GARCIA (1994) observaram que as  $\beta$ -glicanas da cevada alteram a taxa de passagem em frangos de corte (2 semanas de idade) e galinhas de postura (um ano de idade). A adição de  $\beta$ -glicanase à dieta a base de cevada diminuiu significativamente o tempo de transito e o tempo médio de retenção do óxido de cromo nos frangos. Nas poedeiras o efeito foi inverso, sendo que a adição de  $\beta$ -glicanase aumentou o tempo de trânsito e o tempo de retenção. Conforme esses autores, diversos trabalhos demonstram que a viscosidade diminui o consumo de dietas a base de cevada por frangos, e que a adição de  $\beta$ -glicanases aumenta o consumo. O aumento no consumo e na taxa de passagem, nestes casos, são paralelos. Em poedeiras, nem sempre a viscosidade está relacionada com o consumo. A retenção de água na digesta aumenta diretamente com a viscosidade e assim o volume do quimo aumenta. Esses autores consideram possível que essa alteração na digesta possa estimular o peristaltismo e aumentar a taxa de passagem nas poedeiras adultas. Entretanto, de acordo com DUKE (1986a), o aumento no volume da digesta no duodeno de aves diminui a frequência das contrações no intestino delgado.

COON *et al.* (1990) compararam o efeito de oligossacarídeos do farelo de soja sobre a energia metabolizável, a taxa de passagem gastrintestinal (com óxido de Cr) e o pH do conteúdo cecal de galos. Os

oligossacarídeos diminuíram o valor de EM, e aumentaram pH do conteúdo cecal e a taxa de passagem da digesta, embora o tempo de trânsito fosse maior. O aumento na taxa de passagem foi observado através das curvas de excreção acumulada de indicador, onde a inclinação na presença da fibra solúvel foi visivelmente maior. Esses autores não explicam o efeito sobre a taxa de passagem, mas citam o trabalho de Wagner et al. (1976) em que a rafinose da soja aumentou o poder osmótico da digesta de ratos, provocando diarreia.

#### **2.5. O uso de animais cecectomizados e fistulados no íleo**

O desenvolvimento microbiano sobre o substrato da digesta que escapa da digestão e absorção pode provocar grande alteração na composição da excreta, com o consumo de nutrientes e alteração na composição de aminoácidos, além da menor excreção de MS, devido à fermentação da fibra. JOHNSON (1992) observa que a fermentação microbiana no intestino grosso é provavelmente a maior causa de erro nas estimativas de digestibilidade de aminoácidos pela análise da excreta. Por esses motivos, as modificações cirúrgicas, como a cecectomia e a fistulação da porção terminal do íleo, têm sido amplamente empregadas a fim de possibilitar inferências sobre fenômenos ocorridos até o segmento terminal do intestino delgado, eliminando o efeito da atividade microbiana, especialmente dos cecos. Estes dois métodos cirúrgicos representam alternativas às técnicas de abate associadas à análise de conteúdos por segmentos, as

quais são caras, laboriosas e, inerentemente, acumulam efeitos de variabilidade individual (RAHARJO e FARREL, 1984/85). Conforme PARSONS (1984), como os cecos compreendem a maior parte do intestino grosso de frangos, os animais cecectomizados fornecem um bom modelo para o estudo dos efeitos da microflora do intestino grosso na excreção de nutrientes. Já RAHARJO e FARREL (1984/85) consideram o íleo terminal o melhor sítio para medir o desaparecimento dos aminoácidos do alimento, e que a implantação cirúrgica de uma cânula neste local é uma maneira adaptável de recolher amostras para análises, que permite a exclusão da influência fermentativa dos cecos, bem como a sua mensuração.

CRISSEY e THOMAS (1987) investigaram o efeito da cecectomia e da fistulação ileal sobre a sensibilidade de ensaios de digestibilidade de aminoácidos, supondo que as técnicas aumentassem a precisão dos dados por evitar a variabilidade causada pela fermentação microbiana. Entretanto, os resultados demonstraram que as modificações cirúrgicas não alteraram significativamente a excreção de lisina, nem reduziram a variabilidade individual. No caso dos galos fistulados, o decréscimo na variabilidade esperado pode ter sido encoberto pela variabilidade causada pelo uso do indicador.

Embora a literatura discorde quanto à sua eficiência, estas modificações cirúrgicas têm sido empregadas em trabalhos sobre a digestibilidade de aminoácidos (JOHNS *et al.* 1986a; JOHNS *et al.* 1986b; BARBOSA *et al.* 1994), digestão de proteínas e retenção de nitrogênio (Paine *et al.* 1971, *apud* KARASAWA e MAEDA,

1992), efeito da fibra da dieta sobre a excreção nitrogenada endógena (RAHARJO e FARREL, 1984/85) e outros. As diferenças encontradas com animais modificados em relação a intactos têm sido atribuídas a várias causas, geralmente relacionadas com eliminação do efeito da degradação de substratos oriundos do trato digestivo e/ou urina nos cecos em animais cecectomizados, ou ainda, em alguns casos, relacionadas a locais de coleta da digesta (SUMMERS e ROBLES, 1985; RAHARJO e FARREL, 1984/85), e ao indicador utilizado (CRISSEY e THOMAS, 1987) em animais fistulados.

Por outro lado, LAPLACE (1972), considerando as técnicas de fistulação digestiva para estudos da passagem em monogástricos, observa que é possível que "mecanismos fisiológicos" sejam alterados pela presença de cânulas, mesmo aquelas elaboradas para condições máximas de inocuidade. Também VERGARA *et al.* (1989) sugeriram o efeito do desenvolvimento do ceco sobre o tempo de retenção no trato total, quando estudaram a passagem da fase líquida e sólida em frangos de corte. Entretanto, a passagem é afetada por muitos fatores (SHIRES *et al.* 1987), o que torna inconsistente qualquer interpretação nesse sentido nos trabalhos consultados utilizando animais modificados, desenvolvidos com diferentes metodologias. No entanto, é razoável supor que a modificação cirúrgica *per se* tenha efeito mensurável sobre a passagem no trato gastrintestinal.

### **3.MATERIAL E MÉTODOS**

Foram realizados dois experimentos com matrizes machos de linhagem de corte, cecectomizados, fistulados no íleo terminal e intactos. No primeiro experimento foi investigado o efeito das modificações cirúrgicas sobre o tempo de trânsito e o tempo médio de retenção das fases sólida e líquida da digesta no trato gastrintestinal. No segundo experimento foi investigado o efeito de diferentes níveis de fibra insolúvel na dieta, obtidos através da diluição da ração com palha de trigo, sobre a passagem das duas fases da digesta.

A fibra insolúvel da palha de trigo e das dietas experimentais foi submetida à análise laboratorial para avaliação de propriedades físico-químicas associadas a alterações da função gastrintestinal.

#### **3.1. Local**

As preparações cirúrgicas dos animais foram executadas no Hospital de Clínicas Veterinárias da UFSM, e os experimentos com animais foram conduzidos nas dependências do Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da UFSM, no período de setembro a outubro de 1995.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia

e no Laboratório de Análises de Rotina de Solos, do Departamento de Solos, ambos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de novembro de 1995 a maio de 1996.

### **3.2. Animais experimentais**

Foram utilizados matrizes machos de linhagem de corte, fistulados no íleo terminal, cecectomizados e intactos. A preparação cirúrgica das unidades experimentais foi realizada em dois dias consecutivos, alternando-se os dois tipos de cirurgia, de modo que metade do número total de cada tipo de ave foi preparada em cada dia. Nesta data, as aves estavam com 70-71 dias de idade e no segundo dia após as cirurgias apresentavam peso médio de  $2.131,3 \pm 285,8$  g, sendo que as aves intactas apresentavam, em média, 210 g a mais que as modificadas. A cecectomia foi feita após a exteriorização dos cecos e dissecação do ligamento ileocecal, e a fístula foi feita a mais ou menos 5 cm (cranial) da junção ileocecocólica, de acordo com técnicas descritas por RAISER *et al.* (1995?). As cânulas implantadas no íleo foram confeccionadas de acordo com as recomendações de GURNSEY e JAMES (1985), com êmbolos de teflon e anéis de plástico.

O período pós-operatório durou quatro dias, sendo que no primeiro dia as aves foram mantidas em gaiola comum em sala de recuperação e depois foram transferidas para galpão com gaiolas individuais. Receberam alimentação e água *ad libitum* e a ferida cirúrgica e a cânula foram inspecionadas diariamente.

### **3.3. Ingredientes e dietas experimentais**

A dieta experimental basal utilizada (D0) foi fornecida pela empresa fornecedora dos animais experimentais, formulada conforme os níveis nutricionais recomendados para a linhagem das aves empregadas na fase de recria. A partir desta, outras duas dietas foram compostas mediante a adição de 15 % (D15) e 30 % de palha de trigo (D30). A palha utilizada foi de trigo da variedade BR-23, colhida em uma única lavoura, que foi inicialmente picada com picador de forragens, moída em moínho tipo Wiley munido de peneira com orifícios de 2 mm, e misturada à ração basal com misturador tipo Y. A peneira de 2 mm foi escolhida após testes prévios, para que as dietas diluídas mantivessem a mesma granulometria da dieta basal. As três dietas experimentais apresentaram, segundo o índice de uniformidade, granulometria fina.

A composição química média da palha de trigo e das dietas experimentais encontra-se na Tabela 1, e os resultados da análise granulométrica das mesmas, no Apêndice 1.

### **3.4. Determinação das propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo**

Foram determinadas as propriedades físico-químicas de capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade tamponante (CT) e capacidade de hidratação (CH), em um único experimento laboratorial em que utilizou-se quatro

tratamentos: as dietas experimentais D0, D15 e D30 e a palha de trigo. Foram feitas seis determinações (repetições) por tratamento, divididas em corridas laboratoriais de acordo com o tempo necessário para a realização de cada técnica. As determinações de CTC foram realizadas em duas corridas, enquanto as de CT foram realizadas em seis e as de CH em três. O delineamento experimental foi o delineamento blocos casualizados, considerando-se a corrida laboratorial como bloco.

Tabela 1. Composição química das dietas experimentais e da palha de trigo

	dieta basal*	dieta 15 % palha trigo	dieta 30 % palha trigo	palha de trigo
	% da matéria seca (MS)			
MO	92,06	92,43	93,15	94,97
cinzas	7,94	7,57	6,85	5,03
PB	17,98	15,73	13,78	5,08
GB	4,75	3,12	2,69	1,24
FB	8,31	14,48	21,66	49,03
ENN	61,02	59,10	55,02	39,62
FDN	29,41	37,73	46,33	86,89
FDA	14,72	21,65	29,15	56,56
hemicel.	14,69	16,08	17,18	30,33
lignina	4,86	5,06	5,18	8,24
celulose	9,86	16,59	23,97	48,32
Ca	0,95	0,39	0,31	---
P total	0,53	0,50	0,44	---
MS %	85,65	85,01	86,01	89,33

\*44,5 % milho, 21,2 % far. soja, 15 % far. arroz, 7 % trigo, 5 % sorgo, 3 % far. trigo, 1,84 % far. ostras, 1,52 % fosfato bicálcico, 0,4 % NaCl, 0,4 % premix vit. e min., 0,08 % ALIMET, valor energético calculado em 2.780 kcal EM/kg (dados fornecidos pelo fabricante).

#### **3.4.1. Obtenção da fibra insolúvel**

A fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo foi estimada através da fibra em detergente neutro (FDN) (GOERING e VAN SOEST, 1970), obtida conforme técnicas adotadas por McBURNEY *et al.* (1983) (50-60 g de material para 2 l de solução de detergente neutro), omitindo-se a secagem com acetona. Para a preparação de fibra insolúvel (PFI<sub>n</sub>) das rações experimentais, usou-se 0,5 ml de  $\alpha$ -amilase termo-estável (SIGMA A3306) por litro de solução de detergente neutro (VAN SOEST *et al.* 1991). A filtração dos resíduos em detergente neutro foi feita com filtro comercial de polipropileno (60 g/m<sup>2</sup>) e a secagem em estufa com ar forçado a 60 °C.

#### **3.4.2. Determinação da capacidade de troca catiônica**

A capacidade de troca catiônica (CTC) da fibra insolúvel das rações experimentais e da palha de trigo foi determinada conforme técnica descrita por McBURNEY *et al.* (1983). Os resultados, calculados como mmol de Cu<sup>+2</sup>/kg PFI<sub>n</sub>, foram expressos como mmol H<sup>+</sup> /kg de FDN.

#### **3.4.3. Determinação da capacidade tamponante**

A capacidade tamponante (CT) da fibra insolúvel das rações experimentais e da palha de trigo foi medida

conforme técnica adotada por McBURNEY *et al.* (1983). Os resultados foram expressos em mmol de HCl adicionados por 100 g de FDN.

#### **3.4.4. Determinação da capacidade de hidratação**

A capacidade de hidratação (CH) da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo foi determinada conforme a técnica descrita por McCONNELL (1974), com algumas adaptações: imediatamente após a centrifugação o material foi transferido para funil com filtro de porosidade grossa e filtrado a vácuo. Em seguida o resíduo úmido foi transferido para cadinhos de porcelana previamente tarados e então pesado. Os resultados foram expressos como gramas de água por grama de FDN.

### **3.5. Experimentos com animais**

#### **3.5.1. Período pré-experimental**

Logo após o período pós-operatório, as aves foram submetidas a um período de adaptação de quatro dias, permanecendo em gaiolas de arame galvanizado equipadas com comedouros individuais, bandejas para coleta de excreta e bebedouro comum tipo calha. Receberam 100 g de ração/dia (D0), divididas em quatro refeições iguais às 6, 12, 18 e 24 h. A água foi oferecida à vontade e a iluminação foi permanente. Este manejo perdurou até o final dos experimentos.

### **3.5.2. Experimento I**

Para determinar o efeito dos tratamentos cirúrgicos sobre a passagem da digesta no trato gastrintestinal, empregou-se a dieta D0 para todas as aves e indicadores específicos para a estimativa da passagem da fase sólida e da fase líquida da digesta.

#### **3.5.2.1. Tratamentos**

Foram utilizados seis tratamentos resultantes das combinações entre os fatores tipo de ave e fase da digesta, cujos níveis receberam as seguintes denominações:

Tipo de ave:

- 1)INT: intactas
- 2)CEC: cecectomizadas
- 3)FST: fistuladas no íleo terminal

Fase da digesta:

- 1)FS: fase sólida da digesta
- 2)FL: fase líquida da digesta

#### **3.5.2.2. Delineamento experimental**

Utilizou-se o delineamento completamente casualizado com parcelas subdivididas, tendo o tipo de ave na parcela principal e a fase da digesta na parcela subdividida. Foram utilizadas 9 aves INT, 8 CEC e 10 FST, num total de 27 unidades experimentais (1 unidade experimental = 1 indivíduo). A passagem de cada uma das fases da digesta foi determinada para cada indivíduo.

### **3.5.2.3. Indicador da fase sólida**

Como indicador da fase sólida da digesta foi utilizada a fibra cromo mordente de palha de trigo, preparada conforme metodologia descrita por UDÉN *et al.* (1980). A fibra cromo mordente foi moída em moinho tipo Wiley, com peneira de 2 mm, e separada em três porções quanto ao tamanho de partícula: partículas maiores que 0,71 mm, entre 0,71 e 0,15 mm e menores que 0,15 mm. O indicador foi preparado com 99,5 % de partículas entre 0,71 e 0,15 mm e 0,5 % de partículas menores que 0,15 mm, obedecendo a proporção observada entre estes tamanhos de partícula nas dietas experimentais (Apêndice 3).

### **3.5.2.4. Indicador da fase líquida**

Como indicador da fase líquida da digesta foi utilizado o Cr-EDTA, preparado de acordo com BINNERTS *et al.* (1968).

### **3.5.2.5. Condução do experimento**

O primeiro experimento iniciou nove dias após a preparação cirúrgica das aves. A determinação da passagem da fase sólida da digesta iniciou no primeiro dia experimental. Para esta determinação, uma grama de fibra Cr-mordente foi colocada em cápsulas de gelatina tamanho 00 (4 a 5 cápsulas), que foram umidecidas e colocadas na orofaringe das aves para deglutição espontânea. A administração do indicador foi feita imediatamente antes da primeira refeição diária (6 h), registrando-se o horário

(tempo zero) após completada a administração para cada unidade experimental. A excreta foi recolhida de hora em hora até as primeiras 8 horas após e também às 10, 12, 15, 18, 24 e 36 horas após, totalizando 14 coletas por animal. O material foi recolhido em sacos plásticos e imediatamente estocado à temperatura de aproximadamente - 10 °C.

A determinação da passagem da fase líquida da digesta iniciou 84 h após a última coleta de excreta para a determinação da passagem da fase sólida, imediatamente antes da primeira refeição (6 h) do sexto dia. Para esta determinação, 0,5 ml de Cr-EDTA foram administrados diretamente no papo das aves através de sonda esofageana. Os horários e o procedimento para a coleta de excreta foram idênticos aos adotados para a determinação da passagem da fase sólida da digesta.

A sequência de operações para a determinação da passagem e a ordem cronológica de obtenção dos dados experimentais são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

#### **3.5.2.6. Medidas e observações**

As sobras foram pesadas diariamente antes da primeira refeição para o cálculo do consumo diário individual e a temperatura no interior do galpão foi registrada quatro vezes ao dia, por ocasião do arraçoamento. As aves foram pesadas ao final de cada período de coleta de excreta.

Foram estimados o tempo de trânsito, como o tempo de excreção de 1 % do Cr recuperado e o tempo médio de

retenção no trato gastrintestinal, como o tempo de excreção de 50 % do Cr recuperado, para as fases sólida e líquida da digesta, através das curvas individuais de excreção acumulada dos indicadores.

Tabela 2. Cronograma de atividades durante um período de determinação da passagem no trato gastrointestinal

Hora do dia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Arraçamento							<b>A</b>						<b>A</b>						<b>A</b>							<b>A</b>
Horas após admin. do indicador	1º dia	-	-	-	-	-	<b>Ad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	9	<b>10</b>	11	<b>12</b>	13	14	<b>15</b>	16	17	<b>18</b>	
	2º dia	19	20	21	22	23	<b>24</b>	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	<b>36</b>	-	-	-	-	-		

**A** indica os horários do arraçamento e **Ad** indica o horário da administração do indicador. Os números em negrito correspondem aos horários de coleta de excreta

Tabela 3. Ordem cronológica de obtenção dos dados experimentais

<b>dia hora</b>		<b>atividade</b>
1	6	Administração de fibra Cr-mordente
	7	Início da coleta de excreta
2	18	Final da coleta de excreta Início do período de intervalo
6	6	Administração de Cr-EDTA
	7	Início da coleta de excreta
7	18	Final da coleta de excreta Início da adaptação às dietas para o Experimento II
11	6	Administração de fibra Cr-mordente
	7	Início da coleta de excreta
12	18	Final da coleta de excreta Início do período de intervalo
14	6	Administração de Cr-EDTA
	7	Início da coleta de excreta
15	18	Final da coleta de excreta Início da adaptação às dietas para repetição do Experimento II
18	6	Administração da fibra Cr-mordente
	7	Início da coleta de excreta
19	18	Final da coleta de excreta Início do período de intervalo
21	6	Administração de Cr-EDTA
	7	Início da coleta de excreta
22	18	final da coleta de excreta

Como medida adicional foi determinado o resíduo de matéria seca excretado, calculado a partir da quantidade média de MS excretada durante as primeiras 24 horas de coleta para as duas fases da digesta, utilizando-se seis aves de cada tipo.

Durante todo o período experimental, nos intervalos entre a obtenção das medidas de passagem e demais coletas de dados, foi verificada a patência das cânulas implantadas no íleo das aves fistuladas (Apêndice 38).

### **3.5.3. Experimento II**

Para o estudo do efeito da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem das fases sólida e líquida da digesta no trato gastrintestinal, foram utilizadas as dietas D0, D15 e D30.

#### **3.5.3.1. Tratamentos**

Foram utilizados 9 tratamentos, resultante das combinações entre os fatores tipo de ave e dieta experimental, cujos níveis receberam as seguintes denominações:

Tipo de ave:

- 1)INT: intactas
- 2)CEC: cecectomizadas
- 3)FST: fistuladas no íleo terminal

Dieta experimental:

- 1)D0: dieta basal
- 2)D15: D0 + 15% de palha de trigo

3)D30: D0 + 30% de palha de trigo

### **3.5.3.2. Delineamento experimental**

Neste experimento as estimativas da passagem das fases sólida e líquida da digesta foram analisadas como medidas distintas. O experimento foi repetido no tempo, com sorteio individualizado das dietas experimentais para cada tipo de ave antes de cada repetição do experimento. Utilizou-se o delineamento experimental blocos casualizados, considerando as repetições do experimento como blocos. O delineamento teve um arranjo fatorial com parcelas subdivididas, com o tipo de ave na parcela principal, e a dieta experimental na parcela subdividida. Foram utilizadas três repetições por tratamento e bloco, totalizando 27 unidades experimentais em cada bloco (1 unidade experimental = 1 indivíduo).

### **3.5.3.3. Condução do experimento**

A partir do horário da última coleta de excreta do Experimento I, coincidente com o arraçoamento das 18 h, as aves passaram a receber as dietas experimentais D0, D15 e D30. Após 84 h de adaptação às dietas experimentais, foi feita a administração da fibra Cr-mordente, seguida das coletas de excreta para a determinação da passagem da fase sólida da digesta (Tabela 2). Após um intervalo de 36 h, foi feita a administração de Cr-EDTA, seguida das coletas de excreta para a determinação da passagem da fase líquida da digesta (Tabela 2). O manejo alimentar, o fornecimento de água e iluminação, os horários e a forma de

administração dos indicadores e de coleta de excreta foram iguais aos adotados no Experimento I.

Na Tabela 3 é apresentada a sequência cronológica de obtenção dos dados deste experimento.

A partir da última coleta de excreta para a determinação da passagem da fase líquida, iniciou novo período de adaptação às dietas, durando 60 h, para a repetição do experimento, na qual foram seguidos os mesmos procedimentos adotados anteriormente.

#### **3.5.3.4. Medidas e observações**

Foram realizadas as mesmas medidas e observações do Experimento I. As sobras foram pesadas e o consumo individual calculado diariamente e a temperatura no interior do galpão foi registrada quatro vezes ao dia, por ocasião do arraçoamento. As aves foram pesadas ao final de cada período de coleta de excreta.

Foram estimados o tempo de trânsito e o tempo médio de retenção das fases sólida e líquida da digesta no trato gastrintestinal, da mesma forma que no primeiro experimento, através das curvas individuais de excreção acumulada dos indicadores.

Como medida adicional foi determinado o resíduo de matéria seca excretado, calculado a partir da quantidade de MS excretada durante as primeiras 24 horas de coleta para determinação da passagem, média das coletas para as duas fases da digesta. Para isto foram utilizados os dados das 27 aves utilizadas na primeira repetição do experimento (3

por tratamento) e de 20 aves da segunda repetição (2 ou 3 por tratamento), totalizando 47 observações.

Como no primeiro experimento, nos intervalos entre a obtenção das medidas de passagem e demais coletas de dados, foi verificada a patência das cânulas implantadas nas aves fistuladas.

Após o experimento, foi realizada necrópsia de quatro aves de cada tipo.

### **3.6. Estimativa do tempo de trânsito e do tempo médio de retenção no trato gastrintestinal**

Para o Experimento I, o cromo determinado na excreta de quatro aves por tratamento foi expresso como frações acumuladas do total de Cr recuperado até a última coleta de excreta e em função do tempo após a administração do indicador (ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA, 1994). A partir destas curvas estimou-se, para cada tratamento, a fração média excretada até a 12<sup>a</sup> h após a administração, que foi usada para o cálculo das demais curvas do tratamento.

Para o Experimento II, utilizou-se duas aves de cada tratamento para o cálculo da fração média excretada até 12 h após a dosagem do indicador, que foi usada para o cálculo das demais curvas do tratamento.

As curvas individuais de excreção acumulada dos indicadores obtidas nos dois experimentos foram analisadas de acordo com FERRANDO *et al.* (1987), que adotaram o seguinte modelo:

$$Y = t^n / (t^n + k),$$

onde: **Y** é a fração acumulada do Cr excretado, **t** é o tempo após a administração do indicador (h), **n** é a inclinação e **k** uma constante que define a curva.

Para o cálculo da inclinação (**n**) e de **k**, a curva foi linearizada da seguinte forma:

$$\ln[Y/(1-Y)] = n \ln(t) - \ln(k) \text{ ou } Y' = AX + B,$$

onde:  $Y' = \ln[Y/(1-Y)]$ ,  $A = n$ ,  $X = \ln(t)$  e  $B = -\ln(k)$

O tempo de trânsito (T1), estimado como o tempo de excreção de 1 % do total de cromo recuperado para as fases sólida e líquida da digesta, foi calculado como:

$$Y = 0,01 = T1^n / (T1^n + k) \text{ ou } T1 = (k/99)^{1/n}$$

O tempo médio de retenção (T50), estimado como o tempo de excreção de 50 % do total de cromo recuperado para as fases sólida e líquida da digesta, foi calculado como:

$$Y = 0,5 = T50^n / (T50^n + k) \text{ ou } T50 = (k)^{1/n}$$

### 3.7. Análises estatísticas

As estimativas de T1 e T50, os dados das pesagens, do consumo das aves e da excreção de matéria seca nos dois experimentos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5 %. Para testar o possível efeito do peso

das aves sobre as medidas do tempo de passagem, foi feita a análise de covariância.

Para comparar a interação entre o tipo de ave e a fase da digesta entre os dois experimentos, foi feita uma segunda análise de variância para o T50, no segundo experimento, considerando a fase da digesta como fator alocado em sub-subparcela.

As estimativas de CTC, CT e CH da fibra das dietas experimentais e da palha de trigo foram submetidas à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5 %. Também foram calculados e analisados os coeficientes de correlação entre as medidas estudadas.

### **3.8. Preparação das amostras para análise**

As amostras da palha de trigo, das dietas experimentais e da fibra insolúvel das mesmas foram secas a 60 °C por, no mínimo, 48 h e moídas com moíno tipo WILEY com peneira de 1 mm.

As amostras de excreta foram descongeladas e secas em estufa a 60 °C por, no mínimo, 48 h, moídas manualmente em gral de porcelana e pesadas. Para a determinação de cromo na excreta e nos indicadores, amostras foram secas à 105 °C por 12-18h, incineradas a 550 °C por 3 h e levadas à digestão ácida, conforme procedimentos adotados por SIDDONS *et al.* (1980), à temperatura de 180-200 °C, conforme recomendações de COSTIGAN e ELLIS (1987). A quantidade de amostra das excretas parcialmente secas variou de 0,2 a 1,0 g, equivalendo a frações de 10 a 100 % do total coletado no

respectivo horário. As amostras de fibra Cr-mordente foram de 0,5 g e de Cr-EDTA foram de 0,5 ml.

A preparação das soluções padrão de Cr foram feitas com solução de dicromato de potássio, às quais adicionou-se excreta isenta de Cr, recolhida no período pré-experimental. A prova em branco e os padrões foram submetidos ao mesmo tratamento que as amostras, incluindo a secagem a 105 °C, a incineração a 550 °C, a digestão ácida e a diluição.

### **3.9. Métodos analíticos**

A MS e a MO da palha de trigo, das dietas experimentais e da fibra insolúvel das mesmas foram determinadas de acordo com as técnicas do AOAC (1975). A MS e a MO da excreta foram determinadas por ocasião da preparação das amostras para a determinação de cromo, utilizando-se quantidades de amostra variando de 0,2 a 1,0 g (equivalendo a frações de 10 a 100 % do total de excreta colhida no respectivo horário).

As determinações de nitrogênio pelo método de Kjeldahl, de GB por extração com éter etílico por 4 h, em aparelho Goldfish, e de FB na palha de trigo e nas dietas experimentais foram feitas conforme as técnicas do AOAC (1975).

A FDN, FDA e lignina das dietas experimentais, da palha de trigo e da fibra insolúvel das mesmas foram determinadas de acordo com técnicas descritas por GOERING e VAN SOEST (1970). Na determinação da FDN das dietas experimentais utilizou-se 0,5 ml de  $\alpha$ -amilase termo estável

(SIGMA A3306) por litro de solução de detergente neutro (VAN SOEST *et al.* 1991).

A determinação da composição granulométrica da palha de trigo e das dietas experimentais foi feita conforme técnica descrita por FERREIRA e ZANOTTO (1992).

As determinações de cromo foram feitas por absorção atômica, utilizado-se padrões com 0 a 10 ppm Cr.

As determinações de Ca e P nas dietas experimentais foram feitas após digestão com  $H_2O_2$  e  $H_2SO_4$ , por espectrofotometria de absorção e por colorimetria, respectivamente (TEDESCO *et al.*, 1995)

## **4.RESULTADOS**

### **4.1. Propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo**

Os resultados da análise das propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo são apresentados na Tabela 4 e as análises estatísticas dos dados nos Apêndices 3 a 6.

As preparações de fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo apresentaram diferenças de até 13 pontos percentuais no teor de FDN (Tabela 4), com média  $93,4 \pm 6,1$ , encontrando-se o menor valor para a dieta D15.

A PFI<sub>n</sub> da palha de trigo apresentou, em relação a das dietas experimentais, a maior CTC, a menor CT e, juntamente com a da dieta D15, a mais alta CH ( $P < 0,05$ ). Entre as dietas experimentais, a CTC foi maior para a PFI<sub>n</sub> da dieta D15, seguida pela da D0, sendo que a da D30 apresentou o menor valor ( $P < 0,05$ ). Quanto à capacidade tamponante, a PFI<sub>n</sub> das dietas D0 e D15 apresentaram valor maior que a da D30 ( $P < 0,05$ ). A capacidade de hidratação da PFI<sub>n</sub> da dieta D15 foi maior que a observada na fibra insolúvel das D0 e D30 ( $P < 0,05$ ).

As propriedades físico-químicas medidas não apresentaram relação entre si (Apêndice 6), e apenas a CT apresentou alta correlação negativa com o teor de hemicelulose, de celulose e de lignina e com a relação de hemicelulose + celulose para lignina. A CTC e a CH não apresentaram correlações significativas com nenhum destes componentes.

Tabela 4. Composição química e propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo

	D0	D15	D30	palha de trigo
MS (%)	92,82	95,32	94,56	90,94
MO <sup>1</sup>	96,11	96,50	97,55	99,18
cinzas <sup>1</sup>	3,89	3,50	2,45	0,82
FDN <sup>1</sup>	91,20	85,90	97,58	99,01
CTC <sup>2</sup>	130,17 c ± 12,86	139,23 b ± 15,51	117,81 d ± 13,13	146,17 a ± 13,04
CT <sup>2</sup>	175,24 a ± 13,19	173,97 a ± 11,07	142,39 b ± 3,12	94,41 c ± 11,22
CH <sup>2</sup>	2,88 c ± 0,15	3,79 a ± 0,29	3,05 b ± 0,16	3,79 a ± 0,21

CTC = capacidade de troca catiônica (mmol H<sup>+</sup>/kg fibra); CT = capacidade tamponante (mmol H<sup>+</sup>/100 g fibra); CH = capacidade de hidratação (ml H<sub>2</sub>O/g fibra). <sup>1</sup>Valores expressos como % da matéria seca. <sup>2</sup>Valores expressos como % da fibra em detergente neutro (FDN) do material. Médias com letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

#### 4.2. Experimento I

Os resultados referentes a este experimento são apresentados nas Tabelas 5 a 7 e respectivas análises matemáticas e estatísticas nos Apêndices 7 a 15.

#### 4.2.1. Passagem no trato gastrintestinal

Os tratamentos cirúrgicos não causaram alteração significativa sobre o tempo de trânsito de qualquer das fases da digesta (Tabela 5). Entretanto, o T1 da FS foi maior do que o da FL para todos os tipos de ave. O CV do T1 no Experimento I foi alto, maior que 30 % (Apêndice 9).

Tabela 5. Valores médios do tempo de trânsito das fases sólida e líquida da digesta (h). Experimento I

	FS	FL
INT	2,7 ± 0,8	0,8 ± 0,3
CEC	2,5 ± 1,0	0,7 ± 0,3
FST	3,0 ± 0,5	1,1 ± 0,5
média	2,8 ± 0,7 a	0,9 ± 0,7 b

Médias com letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Por outro lado, os tratamentos cirúrgicos afetaram de forma distinta o T50 de cada fase da digesta (Tabela 6). As aves INT apresentaram maior T50 da FL que da FS da digesta. Em relação às INT, a cecectomia diminuiu significativamente a passagem da FL, porém não afetou significativamente o T50 da FS, de modo que nas aves CEC o T50 da FS foi maior que o da FL. A fistulação no íleo, ao contrário, não alterou significativamente a passagem da FL, mas aumentou significativamente o T50 da FS da digesta, de forma que, para estas aves, a média foi igual para as duas fases. O CV do T50 no Experimento I foi de 13 %, menos da metade do observado com o T1 (Apêndice 10).

Tabela 6. Valores médios do tempo médio de retenção das fases sólida e líquida da digesta (h). Experimento I

	FS	FL	
INT	6,0 ± 0,7 b B	7,2 ± 0,9 a A	P < 0,01
CEC	5,7 ± 0,8 b A	5,2 ± 0,7 b B	P < 0,05
FST	6,7 ± 0,4 a A	6,7 ± 0,6 a A	P < 0,05
	P < 0,01	P < 0,01	

Médias com letras distintas maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância indicado.

As curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente e de Cr-EDTA apresentaram forma sigmóide (Apêndice 7) e ajustaram-se bem ao modelo utilizado, como demonstram os coeficientes de correlação maiores que 0,91 (P < 0,01) para todas as curvas gerais por tratamento (Apêndice 8).

A correlação entre o T1 e o T50 no Experimento I foi alta para a FS das aves INT e CEC, e para a FL das aves CEC (Apêndice 11). Entretanto, não houve correlação significativa entre essas medidas para a FS das aves FST e para a FL das aves INT e FST.

Com o fornecimento de 100 g de ração/ave/dia, divididas em quatro refeições de 25 g, obteve-se coeficiente de variação menor que 1 % para o consumo médio diário de MS em termos absolutos, que não diferiu significativamente entre os tipos de ave e nem entre as determinações da passagem das duas fases da digesta, observando-se uma média geral de 83,9 ± 0,5 g (Apêndice 12). Entretanto, quando o consumo foi expresso como porcentagem do peso corporal (Apêndice 13), constatou-se que o consumo diário relativo durante a determinação da

passagem da fase sólida da digesta ( $3,8 \pm 0,4 \%$ ) foi significativamente maior que durante a determinação da fase líquida ( $3,6 \pm 0,4 \%$ ), embora a diferença fosse de apenas 0,2 pontos percentuais. Como não houve diferença no consumo médio diário absoluto de MS, a diferença no consumo relativo foi atribuída ao aumento do peso corporal das aves durante o experimento, embora a análise estatística não tenha demonstrado diferença significativa entre o peso corporal médio no final da determinação da passagem para a FS e para a FL (Apêndice 14). Por outro lado, as aves apresentaram diferença significativa no peso corporal devido às modificações cirúrgicas, sendo que as aves INT apresentaram peso corporal maior que as CEC e FST na média das duas pesagens (Tabela 7). Apesar disso, o peso corporal não foi uma covariável significativa para o tempo médio de retenção da digesta no trato gastrintestinal (Apêndice 10).

#### **4.2.2. Excreção de matéria seca**

As modificações cirúrgicas afetaram a excreção de MS pelas aves nos períodos de coleta de excreta do Experimento I (Apêndice 15). O resíduo de MS (% da MS consumida) excretado pelas aves FST ( $39,9 \pm 2,5$ ) e CEC ( $40,6 \pm 3,5$ ) foi significativamente maior que pelas aves INT ( $35,7 \pm 4,0$ ) (Tukey,  $P < 0,05$ ).

### 4.3. Experimento II

Os resultados referentes a este experimento são apresentados nas Tabelas 8 a 15 e as respectivas análises matemáticas e estatísticas nos Apêndices 16 a 36.

Tabela 7. Peso corporal médio das aves no final da determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta (g). Experimento I

	FS	FL	média
INT	2.367,0 ± 226,8	2.549,2 ± 148,0	2.410,9 ± 218,5 a
CEC	2.237,4 ± 236,9	2.301,8 ± 238,6	2.273,4 ± 227,7 b
FST	2.177,8 ± 246,2	2.190,6 ± 153,8	2.223,6 ± 240,3 b
média	2.258,5 ± 242,2	2.343,1 ± 233,3	2.300,8 ± 239,4

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.3.1. Passagem da fase sólida da digesta

A dieta experimental afetou o tempo de trânsito da FS de todos os tipos de ave (Tabela 8). A diluição com palha de trigo diminuiu significativamente o T1 da FS, porém a diferença entre as dietas D15 e D30 não foi significativa. O T1 médio das aves que receberam a dieta D0 foi de  $2,7 \pm 0,7$  h, semelhante ao obtido no Experimento I ( $2,8 \pm 0,7$  h).

Quando a medida foi o T50 (Tabela 9), observou-se efeitos independentes da diluição da dieta e do tipo de ave sobre a passagem da FS (Apêndice 20). O T50 da FS diminuiu com o aumento do nível de palha de trigo na dieta, independentemente do tipo de ave, de modo que com a dieta

D30 a passagem foi significativamente mais rápida do que com a D0. Por outro lado, as aves INT apresentaram um T50 da FS menor que as CEC e FST, independentemente da dieta consumida.

Tabela 8. Valores médios do tempo de trânsito da fase sólida da digesta (h). Experimento II.

	D0	D15	D30
INT	2,2 ± 0,7	1,9 ± 0,7	1,9 ± 0,7
CEC	2,9 ± 0,7	2,5 ± 0,8	2,3 ± 0,5
FST	2,9 ± 0,5	2,5 ± 0,6	2,1 ± 0,2
média	2,7 ± 0,7 a	2,3 ± 0,7 b	2,1 ± 0,6 b

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05)

Tabela 9. Valores médios do tempo médio de retenção da fase sólida da digesta (h). Experimento II

	D0	D15	D30	média
INT	6,7 ± 0,8	6,0 ± 0,8	5,8 ± 0,6	6,2 ± 0,8 b
CEC	7,7 ± 0,6	7,1 ± 0,8	6,5 ± 0,4	7,1 ± 0,7 a
FST	7,1 ± 0,4	7,4 ± 0,3	6,7 ± 0,7	7,1 ± 0,6 a
média	7,1 ± 0,7 A	6,8 ± 0,9 AB	6,4 ± 0,7 B	6,8 ± 0,8

Médias seguidas de letras distintas minúsculas, na coluna, ou maiúsculas, na linha, diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 1 e 5 %, respectivamente.

As curvas individuais de excreção acumulada de fibra Cr-mordente (Apêndices 16 e 17) apresentaram o mesmo padrão observado no Experimento I e também ajustaram-se bem ao modelo, com coeficientes de correlação das curvas gerais por tratamento variando de 0,88 a 0,95 (P < 0,01) (Apêndice 18).

O T50 da fase sólida com a dieta D0 no Experimento II ( $7,1 \pm 0,7$  h) aumentou 1 h em relação ao Experimento I ( $6,1 \pm 0,7$  h). O maior aumento foi observado com as aves CEC que neste experimento apresentaram um tempo de retenção maior em relação as outras aves e em relação ao Experimento I.

O consumo médio diário de MS (g) durante os períodos de determinação da passagem da fase sólida da digesta no Experimento II variou com a dieta experimental (Tabela 10). Embora a diferença entre médias não tenha ultrapassado 1,3 g/ave/dia, o consumo médio diário de MS das dietas D0 e D30 em termos absolutos foi significativamente maior que da D15 independentemente do tipo de ave. O coeficiente de variação destes dados, da mesma forma que no Experimento I, foi menor que 1 %, e a diferença no consumo refletiu a diferença no teor de matéria seca entre as dietas experimentais. Entretanto, quando o consumo foi expresso em porcentagem do peso corporal (Tabela 11), a análise da variância demonstrou efeito significativo apenas do tipo de ave (Apêndice 22), sendo que as aves CEC e FST apresentaram consumo relativo significativamente maior que as INT. As diferenças no consumo relativo foram atribuídas à diferença no peso corporal entre os tipos de ave (Tabela 12), medido no final das determinações da passagem da FS, que se manteve desde o início do experimento, independentemente da dieta consumida (Apêndice 23), sendo que as aves INT apresentaram maior peso corporal que as CEC e FST.

#### 4.3.2. Passagem da fase líquida da digesta

O tempo de trânsito da FL não foi afetado pela diluição com palha de trigo ou pelas modificações

Tabela 10. Consumo médio diário de matéria seca nos períodos de determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta (g). Experimento II

	FS	FL
D0	84,1 ± 0,6 a	83,3 ± 0,7 ab
D15	82,8 ± 0,5 b	82,8 ± 0,8 b
D30	83,9 ± 0,7 a	84,1 ± 0,7 a

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Tabela 11. Consumo médio diário de matéria seca nos períodos de determinação da passagem das fases sólida e líquida da digesta expresso em porcentagem do peso corporal. Experimento II

	FS	FL
INT	3,3 ± 0,3 b	3,4 ± 0,7 b
CEC	3,6 ± 0,4 a	3,7 ± 0,7 a
FST	3,6 ± 0,2 a	3,5 ± 0,2 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,01).

Tabela 12. Peso corporal médio das aves no final dos períodos de determinação da passagem da fase sólida da digesta (g). Experimento II

	média	
INT	2544,7 ± 217,1	a
CEC	2330,1 ± 228,6	b
FST	2350,4 ± 146,4	b

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

cirúrgicas do trato gastrintestinal das aves, sendo que a média geral foi de  $1,3 \pm 0,7$  h (Apêndice 28). A média para as aves que receberam a dieta D0 neste experimento ( $1,2 \pm 0,7$  h) foi  $0,3$  h maior que a média observada no Experimento I ( $0,9 \pm 0,7$  h).

A análise estatística do T50 demonstrou que a diluição da dieta com palha de trigo afetou de forma distinta a passagem da FL de cada tipo de ave (Tabela 13). Para as aves INT o tempo de retenção diminuiu significativamente com 15 % de diluição, entretanto não houve diferença entre as aves alimentadas com as dietas D0 e D30. Para as aves CEC, não houve efeito da diluição com 15 % de palha, porém a diluição com 30 % diminuiu significativamente o T50. Já para as aves FST, ao contrário das INT, o tempo de retenção foi significativamente maior com a dieta D15, não havendo diferença significativa entre as que recebiam as outras dietas.

Com as dietas D0 e D30, o tempo médio de retenção das aves intactas não diferiu significativamente das FST, mas foi significativamente maior que das CEC. A diferença entre FST e CEC com a dieta D0 não foi significativa, mas com a dieta D30, o T50 das primeiras foi significativamente maior. Já com a dieta D15, em que houve diminuição no T50 das aves INT, não se observou diferença significativa entre as INT e CEC. Por outro lado, o alto tempo de retenção apresentado pelas aves FST com essa dieta foi significativamente maior que o das outras aves.

Tabela 13. Valores médios do tempo médio de retenção da fase líquida da digesta (h). Experimento II

	D0	D15*	D30
INT	7,5 ± 1,1 a A	6,2 ± 0,8 b B	7,2 ± 1,2 a A
CEC	6,7 ± 0,6 b A	6,7 ± 1,3 b A	5,9 ± 0,7 b B
FST*	7,4 ± 0,9 ab B	8,7 ± 1,2 a A	7,6 ± 1,4 a B

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05). \*P < 0,01.

As curvas de excreção acumulada de Cr-EDTA no Experimento II também apresentaram forma sigmóide (Apêndices 24, 25 e 26) e ajustaram-se bem ao modelo utilizado, com coeficientes de correlação que variaram de 0,85 a 0,95 (P < 0,01) para as curvas gerais de cada tratamento (Apêndice 27).

Em termos absolutos, o consumo médio diário de MS durante os períodos de determinação da passagem desta fase variou com a dieta experimental (Tabela 10). Da mesma forma que durante as determinações da FS, o coeficiente de variação foi menor que 1 % e a diferença entre médias não ultrapassou 1,3 g, e refletiu a diferença no teor de matéria seca entre as dietas. Dessa forma, o consumo das aves alimentadas com a dieta D30 foi maior que das alimentadas com a D15, como ocorreu durante os períodos de determinação da passagem da FS. O consumo observado com a dieta D0, porém, foi intermediário, não diferindo significativamente do observado com as outras dietas.

Quando o consumo foi expresso em porcentagem do peso corporal (Tabela 11), houve diferenças apenas entre os tipos de ave (Apêndice 31). Como ocorreu durante as determinações da FS, as aves CEC, neste caso, apresentaram

consumo relativo significativamente maior que as INT. O consumo relativo das aves FST, porém, foi significativamente menor que das CEC. Estas diferenças no consumo relativo foram atribuídas, em parte, à diferença de peso corporal entre os tipos de ave, observada desde o início do Experimento I.

Por outro lado, a diferença de peso corporal entre os tipos de ave observada nas pesagens referentes às determinações desta fase dependeu da dieta experimental consumida (Tabela 14). Houve diferença significativa apenas entre as aves alimentadas com a dieta D0, sendo que as INT apresentaram peso médio significativamente maior que as CEC, enquanto as FST apresentaram peso intermediário.

Tabela 14. Peso corporal médio das aves no final da determinação da passagem da fase líquida da digesta (g). Experimento II

	D0	D15	D30
INT	2677,2 ± 136,9 a A	2485,7 ± 254,1 a A	2381,7 ± 530,2 a A
CEC	2293,8 ± 528,6 b A	2292,3 ± 248,1 a A	2340,0 ± 212,6 a A
FST	2391,0 ± 212,9 ab A	2271,5 ± 167,2 a A	2435,3 ± 125,6 a A

Médias seguidas de letras distintas minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

#### 4.3.3. Análises complementares

A análise de variância dos resultados do T50 considerando a fase da digesta como fator na sub-subparcela (Apêndice 35), demonstrou que a interação entre o tipo de ave e a fase da digesta foi independente da dieta experimental. Como observado no primeiro experimento, o

tempo de retenção da FL das aves intactas é maior que o da FS, enquanto com as aves CEC ocorre o contrário (Apêndice 36). Neste experimento, as aves FST apresentaram tempo de retenção da FL maior que da FS, o que não havia ocorrido no Experimento I. Houve também, em relação ao primeiro experimento, um aumento no tempo de retenção das duas fases da digesta para as aves FST e CEC, mas não para as aves INT. O coeficiente de variação do T50 neste experimento foi de 16 %, pouco maior que o observado no Experimento I, de 13 %. O peso corporal também não foi uma covariável significativa do T50 nesta análise estatística (Apêndice 35).

Como no Experimento I, a correlação entre o T1 e o T50 no Experimento II não foi consistente, dependendo do tipo de ave e da fase da digesta. A correlação foi alta para a FS e mediana para a FL das aves INT (Apêndice 34). Com aves CEC observou-se correlação significativa apenas para a FS, que foi apenas mediana. Já com as aves FST, a correlação, embora significativa, foi baixa tanto para a FS quanto para a FL.

#### **4.3.4. Excreção de matéria seca**

O efeito do aumento da fibra insolúvel sobre a excreção de matéria seca (% da MS consumida) foi diferente para cada tipo de ave (Tabela 15). Para as aves INT e FST a excreção de MS aumentou significativamente com a diluição da dieta com palha de trigo, mas a diferença com 15 e 30 % de diluição não foi significativa. A excreção de MS pelas

CEC não diferiu significativamente com qualquer das dietas. Por outro lado, com a dieta D0, as aves CEC excretaram significativamente mais MS que as INT e FST, entretanto, com as dietas diluídas não houve diferença entre os tipos de ave.

Tabela 15. Médias do resíduo de matéria seca excretado (% MS consumida). Experimento II

	D0	D15	D30
INT	34,8 ± 2,7 b B	44,8 ± 6,7 a A	51,5 ± 7,5 a A
CEC	45,0 ± 10,6 a A	45,7 ± 7,9 a A	50,4 ± 9,5 a A
FST	31,8 ± 6,2 b B	46,1 ± 6,2 a A	53,5 ± 8,7 a A

Médias com letras distintas minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05)

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Efeito da cecectomia e da fistulação do íleo sobre a passagem da digesta

Em galinhas e perus, o primeiro aparecimento do indicador na excreta pode ocorrer dentro de 2-2,5 h, e a maior parte do indicador pode ser recuperada em 24 h (Danski e Hill, 1952 e Tukey *et al.*, 1958, *apud* DUKE, 1986a). No presente trabalho, o tempo de trânsito da fibra Cr-mordente observado com as aves intactas coincidiu com os valores indicados na literatura. Entretanto, o T1 da fase líquida foi significativamente menor nos dois experimentos. SIBBALD (1979) comenta que fluídos passam mais rápido do que sólidos através do trato gastrintestinal. Confirmando esta indicação, VERGARA *et al.* (1989) observaram tempo de trânsito maior da FS que da FL, o que coincide com os resultados obtidos no presente trabalho. Por outro lado, as diferenças no T1 de qualquer das fases entre os tipos de ave não foram estatisticamente significativas em nenhum dos experimentos, embora tenham ocorrido diferenças de até 57 %, como na fase líquida entre CEC e FST no Experimento I (Tabela 5). Isto pode ser atribuído, em parte, ao alto coeficiente de variação dessa medida nos dois experimentos.

SKLAN *et al.* (1975), utilizando o método de abate com matrizes leves com 6-9 semanas de idade, observaram que o tempo médio de retenção da fase líquida no trato total

(excetuando-se os cecos) foi menor que o da fase sólida (4,5 e 6,1 h, respectivamente), e que a maior diferença ocorria no trato superior, do papo à moela. No cólon, não houve diferença entre as duas fases, porém a retenção nos cecos não foi determinada. A maior retenção da fase líquida observada no presente trabalho está de acordo com as indicações de VERGARA *et al.* (1989), que sugeriram efeito do desenvolvimento dos cecos no aumento do tempo de retenção da FL de frangos de corte a partir da terceira semana de idade. 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 podem entrar nos cecos. Além disso, segundo DUKE (1986a, 1986b), a fração da digesta que entra nos cecos é retida 3-4 vezes mais tempo no trato gastrintestinal que o restante da digesta, uma vez que a evacuação dos cecos geralmente ocorre apenas uma a duas vezes por dia, e a presença de indicador pode ser detectada na excreta dos cecos de perus mais de 72 h após a administração (Duke *et al.*, 1968, *apud* DUKE, 1986a). Em geral, no presente estudo, a cecectomia diminuiu significativamente o T50 da FL, de modo que as aves CEC, ao contrário das INT, apresentaram menor retenção da FL que da FS nos dois experimentos. A referência de SIBBALD (1979) à passagem mais rápida de fluídos, refere-se, portanto ao tempo de trânsito, e não ao tempo médio de retenção.

A fistulação ileal aumentou o tempo de retenção da fase sólida da digesta nos dois experimentos. Este efeito pode ter decorrido de alteração na motilidade gastrintestinal (LAPLACE, 1972), causada por estenose e

ectasia intestinais, alterações constatadas no íleo em necropsia realizada após o experimento. Além disso, lesão na parede intestinal provoca redução na motilidade, devido ao reflexo intestino-intestinal (VANDER *et al.*, 1990). Entretanto, a fistulação ileal não alterou significativamente a retenção da passagem da FL no primeiro experimento (Tabela 7) e, embora tenha aumentado significativamente a média do T50 da FL no Experimento II (Apêndice 36), esse efeito foi observado apenas com a dieta D15 (Tabela 14).

Segundo SHIRES (1987), o tempo médio de retenção de rutênio-fenantrolina no trato gastrintestinal de frangos de corte e poedeiras alimentados à vontade aumenta com o peso corporal. No presente trabalho entretanto, a diferença de peso corporal entre as aves modificadas e intactas desde as preparações cirúrgicas, não influenciou significativamente a determinação do tempo médio de retenção de nenhuma das fases da digesta (Apêndices 11 e 35).

Por outro lado, ao longo do período experimental, observou-se uma diminuição gradativa no número de aves FST cuja cânula permanecia permeável à digesta intestinal. Como se pode observar no Apêndice 38, no início do Experimento I a patência das cânulas era de 100 %. Entretanto, no início do Experimento II, a percentagem havia caído para 50 %, e ao final do período experimental, 30 dias após a cirurgia, apenas uma ave apresentava cânula permeável.

De qualquer forma, os resultados da passagem da FS e da FL da digesta nos dois experimentos demonstram influência das modificações cirúrgicas do trato digestivo sobre a função gastrintestinal, e também que a magnitude

desta influência pode variar com a composição da dieta. Tendo em vista a relação da passagem da digesta com os processos de digestão e absorção (WARNER, 1981), os resultados sugerem que nem sempre dados experimentais referentes a aspectos nutricionais obtidos com animais submetidos a estas modificações cirúrgicas poderão ser generalizados para a população de animais intactos.

### **5.2. Efeitos da fibra insolúvel sobre a passagem das fases sólida e líquida da digesta**

Fatores que afetam a motilidade do trato gastrintestinal podem também influenciar a passagem da ingesta (DUKE, 1986a). A infusão de gordura e aminoácidos no duodeno, por exemplo, diminui a motilidade gastroduodenal (DUKE, 1986a, LARBIER e LECLERQ, 1994), e o tempo de trânsito aumenta com o teor de gordura na dieta (MATEOS *et al.*, 1982) e com alimentos com altos níveis de proteína (SIBALD, 1979).

MORAN (1982) afirma que a passagem do alimento através do intestino delgado é governada pelo tamanho da partícula na moela e pela capacidade absorptiva do enterócito. Desse modo, a presença de partículas grosseiras ou fibrosas perfazendo grande parte da dieta pode ser um fator limitante do trânsito intestinal. FERRANDO *et al.* (1987), porém, utilizando fibra Cr-mordente de casca de arroz e farelo de trigo, observaram que o tempo de retenção em frangos é uma função tanto do tamanho quanto da resistência da partícula, embora o tempo de trânsito não

tenha sido afetado significativamente por nenhum destes fatores. O tempo médio de retenção foi maior para partículas maiores que 2 mm, independente do material. Com partículas entre 1 e 1,5 mm, entretanto, a casca de arroz foi retida por mais tempo. Já com partículas menores que 0,5 mm, observaram o menor tempo de retenção, sem diferença entre os dois indicadores. Baseados nestes resultados, os autores concluíram que o tamanho limite para a retenção física de partículas pelo piloro em frangos parece estar entre 0,5 e 1,5 mm. No presente trabalho, as dietas continham, em média, 50,5 % de partículas menores que 0,71 mm e, destas, 0,5 % eram menores que 0,15 mm (Apêndice 3). Todas estas apresentaram, além de granulometria fina, um padrão granulométrico semelhante (Apêndice 2). As maiores variações entre dietas ocorreram nos extremos, ou seja, nas frações de partículas maiores que 2 mm e menores que 0,15 mm. Entretanto, na faixa de partículas entre 0,71 e 1 mm, o coeficiente de variação, embora menor que nos extremos, também foi alto. Devido à isto, optou-se pela utilização do indicador da fase sólida apenas com tamanhos de partícula menores que 0,71 mm, a fim de evitar uma variação maior no tempo de retenção da digesta devido ao tamanho de partícula e ao mesmo tempo manter relação estreita com a granulometria das dietas experimentais.

De acordo com DUKE (1986a), partículas fibrosas passam mais lentamente que as outras partículas do alimento. Entretanto, esta afirmativa foi baseada no trabalho de SIBBALD (1979), onde este autor retifica que o efeito pode não ter sido causado pelo nível de fibra, mas por outros componentes do alimento, como minerais e

proteína, além de outros fatores, como a peletização. Esta conclusão vem do fato de que, embora em um dos experimentos o "clearance time" com alfafa tenha sido maior que com trigo e farinha de peixe, as curvas de excreção acumulada de partículas tingidas demonstrou menor tempo de retenção para farelo de trigo e aveia, com maior teor de fibra, que com trigo moído, farelo de soja e farinha de carne. A peletização, em geral, apressou a passagem dos alimentos.

Segundo WARNER (1981), a estimulação das paredes do TGI por partículas fibrosas tende a aumentar a motilidade e consequentemente a taxa de passagem. Por outro lado, de acordo com LARBIER e LECLERQ (1994), não há efeito da fibra, em níveis considerados pelo autor como usuais, de 5 a 15 %, sobre o tempo de trânsito em aves. Entretanto, a diluição da dieta basal com 15 % de palha, aumentando o teor de FDN de 29,4 para 37,7 % (Tabela 1), resultou em um tempo de trânsito significativamente menor (Tabela 8). Já o aumento no teor de FDN para 46,3 % com a dieta D30 não demonstrou alteração significativa sobre o tempo de trânsito. Por outro lado, WARNER (1981) comenta que a fibra da dieta inclui um grande número de componentes e que cada grupo pode ter efeitos diferentes sobre a passagem. A fibra insolúvel da dieta D15 apresentou significativamente maior CTC, CT e CH que a fibra da dieta D30 (Tabela 4). Isto pode ter contribuído para que o tempo médio de retenção da FS com dieta D15 não tenha diferido do observado com a dieta D30, embora esta dieta apresentasse um nível de fibra insolúvel maior (Tabela 9). De acordo com DUKE (1986a) a frequência das contrações no intestino delgado aumenta com

o aumento do pH e diminui com o aumento da pressão osmótica e do volume da digesta no duodeno.

O tempo de trânsito da FL, provavelmente devido ao alto coeficiente de variação nos resultados, não foi afetado significativamente por nenhum dos tratamentos (Apêndice 29).

O oferecimento *ad libitum* de dietas diluídas com volumosos normalmente provoca aumento no consumo para compensar a redução na concentração calórica (LEE *et al.*, 1971; BALNAVE, 1973). Em geral, o aumento no consumo parece ser mais ou menos proporcional ao aumento no nível de diluição da dieta. Isto já foi observado, por exemplo, em trabalhos com frangos de corte na fase inicial alimentados com dietas diluídas com de casca de arroz (LEESON *et al.*, 1991), ou na fase final, alimentados com dietas diluídas com mistura de casca de aveia e areia (LEESON *et al.* 1992), e também de matrizes alimentadas na recria e durante a fase de produção com dietas diluídas com casca de aveia (ZUIDHOF *et al.*, 1995). Segundo LEESON *et al.* (1992), o aumento compensatório do consumo em frangos de corte pode atingir níveis inesperados, considerando-se que esse tipo de animal, selecionado para consumo e ganho de peso, quando alimentados *ad libitum* deva estar consumindo em quantidade próxima ao limite físico do trato gastrintestinal. De acordo com DUKE (1986a) e DENBOW (1989), o volume da ingesta e o enchimento gastrintestinal são importantes fatores na regulação do consumo voluntário em aves domésticas. Em ovinos, já foi observada relação negativa entre o consumo voluntário e a capacidade de hidratação de volumosos (SEOANE *et al.*, 1981; GOMES *et al.*, 1994a).

Entretanto, GOULD *et al.* (1989) observaram aumento gradual do consumo de frangas dos 8 aos 22 dias de idade com a diluição da dieta com 10, 20 ou 30 % de celulose purificada ou de dois tipos de palha de trigo tratada com peróxido alcalino, com ou sem hemicelulose, correspondendo a níveis médios de 15, 20 e 32 % FDN. Apesar dos materiais utilizados apresentarem CH significativamente diferentes, isso aparentemente não teve efeito sobre o aumento no consumo, que aumentou, em média, em torno de 13, 22 e 30 %, respectivamente para os níveis de diluição. No presente trabalho, com as aves INT e CEC o tempo de retenção da FS diminuiu claramente com o aumento no nível de fibra insolúvel da dieta, sem qualquer alteração aparente devido às propriedades físico-químicas dessa fibra (Tabela 9). Para as aves FST, entretanto, além de não ocorrer diferença significativa entre as dietas diluídas, o T50 obtido com a dieta D15 foi numericamente superior, sugerindo, nestas aves, efeitos combinados do nível de fibra e de suas propriedades.

Por outro lado, a composição da dieta pode interferir no tipo de material retido nos cecos (VAN DER KLISS e VAN VOORST, 1993) e a frequência com que o conteúdo dos cecos é evacuado também pode variar com a dieta: a relação entre o número de evacuações do conteúdo dos cecos e do reto em poedeiras variou de 1:7,3 com a ingestão de cevada, para 1:11,5 com a ingestão de milho (Röseler, 1929 *apud* DUKE, 1986a). SHIRES *et al.* (1987), observou que o tempo médio de retenção nos cecos de frangos de corte e poedeiras foi 3,5 vezes maior com uma dieta à base de farelo de soja, com 3 % FDA, que com dieta a base de

canola, com 9 % FDA. Os autores atribuíram o maior tempo de retenção nos cecos à presença dos oligossacarídeos da soja, cujos produtos da fermentação, verificada pela formação de gases, poderiam reduzir a motilidade nestes segmentos. COON *et al.* (1990), por outro lado, observaram menor tempo de retenção de óxido de Cr devido à presença de oligossacarídeos da soja na dieta de galos.

As formulações comumente utilizadas nas dietas para aves podem apresentar níveis variáveis de fibra solúvel, especialmente devido aos grãos de cereais (ANNISON, 1993) e ao farelo de soja (COON *et al.*, 1990). Por outro lado, as palhas de cereais são caracterizadas pelo alto teor de fibra insolúvel (VAN SOEST *et al.*, 1991; LEWIS, 1993). Embora isso não tenha sido determinado, é presumível que a diluição da dieta basal com palha de trigo tenha, paralelamente ao aumento da fibra insolúvel, diminuído o nível de fibra solúvel. Assim sendo, poderia-se esperar com a diluição da dieta, que ocorresse uma diminuição geral no tempo de retenção da fase líquida da digesta. Entretanto, isso não foi observado. A passagem da FL dos três tipos de ave parece ter sido afetada de maneira complexa pelas propriedades físico-químicas da fibra insolúvel. O tempo médio de retenção da FL das aves INT com a dieta D15 (Tabela 13) foi semelhante ao obtido para a FS (Tabela 9). WARNER (1981) observa que a distribuição dos indicadores da fase líquida no fluído e no líquido intersticial das partículas da digesta é desconhecida. A absorção (ou adsorção) de uma quantidade significativa de Cr-EDTA pela fibra insolúvel da dieta D15, de forma que fosse excretada sem entrar nos cecos, poderia resultar em influência da

passagem das partículas na digesta sobre a determinação da passagem da FL. Da mesma forma se poderia explicar a não alteração da passagem da FL nas aves CEC com a diluição em 15 % (Tabela 13), o que resultou em T50 numericamente superior ao observado com as aves INT. De acordo com MILTON e DEMMMENT (1988), em chimpanzés, com o trato gastrintestinal semelhante ao dos suínos, o tempo médio de retenção das fases sólida (fibra Cr-mordente) e líquida da digesta (Co-EDTA) diminuem com o aumento da fibra insolúvel da dieta de 15,3 para 34,5 % FDN, pela diluição com farelo de trigo. No Experimento II, o T50 da fase sólida da digesta das aves cecectomizadas, assim como das intactas, diminuiu de forma aproximadamente linear com o aumento na fibra insolúvel da dieta. A julgar pelo efeito da fibra insolúvel de diminuir a retenção da fase líquida em animais com fermentação no cólon, como suínos, chimpanzés e o próprio homem (MILTON e DEMMMENT 1988), poderia-se esperar efeito semelhante sobre a passagem da FL das aves CEC; o que, porém, não ocorreu.

Por outro lado, para as aves FST, houve uma estreita correspondência entre a variação dos valores CH determinados na fibra das dietas e os dados do T50 da fase líquida da digesta, como pode ser observado comparando-se os valores das Tabelas 4 e 13.

Torna-se importante salientar, porém, que a determinação das propriedades físico-químicas da fibra *in vitro* não necessariamente correspondem a efeitos *in vivo*, onde concorrem uma série de fatores complexos, como a composição variável da digesta e as condições dinâmicas ao

longo do trato gastrintestinal, além das particularidades anátomo-fisiológicas de cada segmento.

Por outro lado, os resultados obtidos demonstram que o efeito da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem da fase sólida da digesta de aves intactas parece depender principalmente do nível de fibra, enquanto o efeito sobre a passagem da fase líquida é aparentemente uma função tanto do nível quanto das propriedades físico-químicas da mesma. A cecectomia e a implantação cirúrgica de cânula no íleo podem interferir nos efeitos da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem das fases sólida e líquida da digesta.

### **5.3. Efeitos sobre a excreção de matéria seca**

#### **5.3.1. Experimento I**

A maior excreção de resíduos pelas aves modificadas em relação às INT no Experimento I pode ser decorrente da diminuição na digestão/absorção de nutrientes e da diminuição da fermentação dos resíduos da digestão, especialmente nas aves CEC. De acordo com DUKE (1986b), as funções do ceco incluem, além da fermentação da fibra, a absorção de água e eletrólitos, a reciclagem bacteriana de parte do nitrogênio proveniente da urina e a absorção de produtos da fermentação como vitaminas, ácidos graxos voláteis e, eventualmente, glicose. Entretanto, com as dietas comerciais normais, a contribuição energética da fermentação nos cecos é pequena, pois apenas 10 a 12 % dos nutrientes são digeridos nestes segmentos.

As aves CEC apresentaram uma excreção de MS 13,7 % maior que as INT. KESSLER e THOMAS (1981), estudando o efeito da cecectomia e do período de coleta de excreta sobre a EM de alimentos, registraram excreção de resíduos 13,1 % maior pelas aves CEC que pelas INT, após alimentação forçada de 30 g farelo de soja e 24 h de coleta. HAYES *et al.* (1990) observaram que a cecectomia alterou o valor de energia metabolizável verdadeira apenas dos alimentos com maiores teores de fibra. Segundo esses autores, a degradação da fibra nos cecos pode levar a uma baixa excreção de MS, resultando em superestimação no valor energético do alimento. A dieta D0 apresentou níveis de 29,4 % FDN e 14,7 % hemicelulose (Tabela 1), de modo que a maior excreção de MS pelas aves CEC poderia ser explicada por menor fermentação da fibra. O teor de FDN e seus componentes na excreta, porém, não foi determinada. Por outro lado, as aves FST também excretaram mais MS que as INT, e a fistulação aumentou o tempo de retenção da FS e causou alterações na morfologia do íleo. Como o íleo é o principal local de absorção de nutrientes (DUKE, 1986b), os resultados sugerem que a implantação cirúrgica de cânula no íleo das aves pode ter prejudicado a digestão/absorção de nutrientes, aumentando a excreção de resíduos. WARREN e FARRELL (1991), porém, registraram coeficientes de digestibilidade da MS no íleo semelhantes para frangos intactos (coleta por abate) e galos fistulados (coleta por cânula) em experimentos diferentes de uma série de estudos sobre o valor nutritivo de farelo de arroz integral e desengordurado.

Por outro lado, houve um ganho de peso numericamente maior no período entre as pesagens do Experimento I para as aves INT que para as modificadas (Tabela 7), o que sugere também um melhor aproveitamento do alimento. O aumento no peso corporal médio das aves INT entre as pesagens foi de 182 g, enquanto das CEC e FST foi respectivamente de 64 e 12 g.

### **5.3.2. Experimento II**

A excreção de matéria seca das aves INT que receberam a dieta D0 (34,8 %) foi semelhante à observada no Experimento I (35,7 %). Entretanto a excreção pelas aves CEC aumentou em aproximadamente 4 pontos percentuais enquanto das aves FST diminuiu em torno de 8 pontos em relação ao primeiro experimento.

Estudando o efeito da diluição da dieta de poedeiras colostomizadas com 17 e 33 % de palha de trigo, ZANDER (1986) observou aumento gradativo na excreção de ácido diaminopimélico e de nitrogênio endógeno e exógeno. O autor atribuiu a maior excreção exógena à um aumento da taxa de passagem devido à diluição com palha de trigo.

De acordo com os trabalhos revisados por FERREIRA (1994), o teor de fibra insolúvel apresenta alta correlação negativa com a digestibilidade das proteínas, das gorduras, da matéria orgânica e com o valor de energia metabolizável do alimento. Isto pode decorrer de um aumento na secreção endógena e na fração dos nutrientes que escapam da digestão/absorção, devido às propriedades físico-químicas da fibra e à passagem mais rápida do alimento. Com isto, há

um aumento no "pool" de substratos para a fermentação no intestino grosso, o que altera a quantidade e a composição da excreta.

Concordando com os resultados e indicações da literatura consultada, a excreção de MS das aves INT e FST aumentou significativamente com o aumento na fibra insolúvel da dieta. De acordo com MORAN (1982), a digestibilidade da hemicelulose e da fibra solúvel pode ser bastante alta em suínos e aves, ao contrário da fibra em detergente ácido (celulose e lignina). No presente estudo, o aumento no nível de FDA pela diluição com 15 e 30 % de palha de trigo foi respectivamente de 47 e 98 % (Tabela 1). Entretanto, o aumento na excreção de MS com as dietas diluídas foi apenas de 29 e 48 % para as aves INT e de 45 e 68 % para as FST (Tabela 15).

AOYAGI e BAKER (1995), investigando o efeito de doses farmacológicas de cobre sobre a digestibilidade da hemicelulose em galos cecectomizados, observaram que, mesmo sem a suplementação, essas aves apresentaram coeficiente de digestibilidade da hemicelulose de 21 %. De acordo com CARRÉ e GOMES (1994), a cecectomia diminui a digestibilidade apenas da fibra solúvel. Por outro lado, PARSONS (1984), estudando a influência da cecectomia e da fonte de fibra (celulose ou pectina) sobre a excreção de aminoácidos em poedeiras, observou que a dieta com 50 % de celulose apresentava menor digestibilidade que a dieta com pectina, independentemente do tipo de ave. A cecectomia alterou a excreção de diversos aminoácidos, porém não alterou significativamente a excreção de matéria seca, embora com a dieta contendo celulose as aves intactas

excretassem 49,3 %, enquanto as cecectomizadas excretassem apenas 41,5 % da MS consumida (alimentação forçada de 40 g/ave).

MOLLEE e BOER (1992), trabalhando com galos fistulados, observaram que a digestibilidade da proteína bruta no íleo diminuiu com a diluição da dieta com 10 % de uma preparação de fibra insolúvel de farelo de trigo (90 % FDN), mas a digestibilidade no cólon não foi alterada. De acordo com PARSONS (1984), os cecos compreendem a maior parte do intestino grosso de aves domésticas, e a cecectomia é uma maneira eficiente de diminuir o efeito da fermentação microbiana no intestino grosso. Segundo HAYES *et al.* (1990), isso resulta em maior volume de excreta, especialmente nas dietas com maior teor de fibra.

Concordando com as indicações da literatura, a cecectomia aumentou a excreção de MS nos dois experimentos com a dieta D0. Esperava-se também que o efeito da diluição da dieta com palha de trigo sobre a excreção de MS das aves CEC fosse maior que nas INT e FST, considerando que a ausência dos cecos pode comprometer a fermentação da fibra. Entretanto, ao contrário do esperado, apenas para as aves CEC a excreção de MS não foi afetada pelo nível de fibra insolúvel da dieta.

Convém observar, porém, que a determinação do resíduo de MS excretado foi feita como medida adicional, utilizando-se a excreta coletada para as determinações da passagem, resultando da média de apenas dois períodos de 24 h de coleta por ave. Sendo assim, os resultados obtidos nos dois experimentos necessitam de confirmação com período de coleta mais longo.

#### **5.4. Propriedades físico-químicas da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo**

As dietas experimentais apresentaram aumento gradativo dos teores de FB, FDN e seus componentes, e diminuição gradativa nas demais frações, coerentemente com o aumento da diluição com a palha de trigo (Tabela 1). A dieta basal apresentou níveis de FB e FDN de 8,3 e 29,4 %, respectivamente. CARRÉ *et al.* (1984), estudando o efeito da fibra insolúvel sobre o valor de energia metabolizável da dieta para galos, registraram teores de FDN variando de 7,2 a 22,8 % em 48 dietas com teores de FB de 1,5 a 8,4 %, preparadas com ingredientes normalmente utilizados na formulação de rações para aves.

A PFI<sub>n</sub> da palha de trigo avaliada neste trabalho apresentou teor de FDN (Tabela 4) semelhante a trabalho anterior, em que WARPECHOWSKI e CIOCCA (1995), observaram variação muito pequena nos teores de FDN da PFI<sub>n</sub> isolada de cinco diferentes palhas de trigo (média  $99,2 \pm 0,1$ ), preparada da mesma forma. Os teores de FDN das fibras insolúveis isoladas das dietas experimentais foram menores, especialmente da PFI<sub>n</sub> dieta D15, mas ficaram muito próximos aos valores encontrados por McBURNEY *et al.* (1986), que variaram de 88,5 a 98,5 % em fibras insolúveis isoladas de diversos materiais.

A CTC e a CT não se correlacionaram (Apêndice 7), apesar de serem propriedades intimamente associadas (VAN SOEST *et al.*, 1991). A CTC também não apresentou correlação com nenhum dos componentes da fibra insolúvel, contrariando

as indicações da literatura, de que esta propriedade apresenta alta correlação positiva com o teor de lignina (McBURNEY *et al.*, 1986), e negativa com a relação de celulose+hemicelulose/lignina (McBurney *et al.*, 1981, *apud* WILLIAMS *et al.*, 1989). O valor de CTC da PFI<sub>n</sub> da palha de trigo foi maior que o observado por McBURNEY *et al.* (1983), de 132 mmol H<sup>+</sup>/kg FDN de palha. Estes autores encontraram CTC (mmol H<sup>+</sup>/kg) mais alta para a FDN de alimentos como aveia (171), trigo (296) e farelo de soja (408), que para palhas, fenos de gramíneas e outros volumosos, pelo que se esperava uma maior CTC da PFI<sub>n</sub> da ração em relação à da palha de trigo. Entretanto, não foram encontrados na literatura resultados de CTC da FDN de dietas compostas.

A capacidade tamponante da PFI<sub>n</sub> dos materiais estudados, ao contrário da CTC, apresentou correlação negativa com praticamente todos os componentes da fibra insolúvel. Esses resultados eram esperados, uma vez que na literatura consultada grãos de cereais e farelo de soja normalmente apresentam CTC maior que palhas de cereais, e a CTC é uma estimativa da CT dos alimentos (McBURNEY *et al.*, 1983; VAN SOEST *et al.*, 1991). Entretanto, a titulação direta da fibra com ácido pode quebrar estruturas de carboidratos sensíveis ao pH e formar artefatos (VAN SOEST *et al.*, 1991), o que pode explicar a ausência de correlação da CT com a CTC e com a CH no presente estudo. Em trabalho anterior, WARPECHOWSKI e CIOCCA (1995) observaram correlação positiva ( $r = 0,88$ ,  $P < 0,05$ ) entre a CT e a CH da FDN da palha de diferentes variedades de trigo, incluindo amostra da utilizada no presente estudo. Nesse trabalho, a CT da fibra insolúvel dessa palha foi de 53,4

mmol H<sup>+</sup>/100 g FDN, menor que o valor obtido no presente estudo.

Embora não tenha se observado correlação da CH com a CT, observou-se, a uma probabilidade de erro de 20 %, correlação positiva entre CH e CTC, concordando com as indicações da literatura, que registra coeficientes de correlação de 0,64 (McCONNELL *et al.*, 1974) e 0,70 (VAN SOEST *et al.*, 1991). A variação na CH da PFI<sub>n</sub> das dietas aparentemente não teve relação com a diluição com a palha de trigo, uma vez que não houve correlação significativa da CH com nenhum dos componentes da FDN. A CH da PFI<sub>n</sub> da palha de trigo, igual à obtida com a dieta D15, foi menor que outros valores encontrados na literatura para FDN de palhas de trigo com tamanho de partícula semelhante, de 5,34 (WARPECHOWSKI e CIOCCA, 1995) e 6,8 g H<sub>2</sub>O/g FDN (GOULD *et al.*, 1989).

A dieta D0, fornecida pela mesma empresa comercial que forneceu as aves experimentais, foi preparada com ingredientes comumente utilizados na formulação de dietas para aves. A diluição dessa ração com a palha de trigo alterou a CT da fibra insolúvel de forma aparentemente linear, mas isso não ocorreu com a CTC e a CH. A maior CH e CTC da PFI<sub>n</sub> da dieta D15 em relação às outras dietas sugere a interferência de outros componentes da dieta nas determinações, uma vez que a PFI<sub>n</sub> dessa dieta apresentou menor recuperação de FDN. Além disso, durante a preparação da fibra insolúvel das rações, especialmente da D15, o sobrenadante se apresentou viscoso, dificultando a filtragem, o que não foi observado na preparação de fibra da palha de trigo. Por outro lado, o efeito da diluição da

dieta sobre o tempo de retenção da FL das aves intactas e fistuladas também não foi, aparentemente, linear, com valores diferenciados para a dieta D15 (Tabela 13). Não foram encontrados na literatura dados referentes às propriedades físico-químicas da fibra insolúvel preparada a partir de dietas compostas, mas os resultados do presente trabalho podem sugerir uma interação entre as fibras da dieta D0 e da palha de trigo quando combinadas em um determinado nível. JERACI e HORVATH (1989) observaram interação entre diferentes fibras quanto à fermentação da pectina *in vitro* com inóculo fecal de humanos, que foi inibida com a presença de celulose, mas potencializada com a presença de uma matriz indigestível da fibra insolúvel de palha de trigo. Entretanto, os autores não investigaram efeitos sobre outras propriedades além da fermentabilidade.

#### **5.5. Tratamento matemático das curvas de excreção acumulada de Cr**

As curvas de excreção acumulada de Cr apresentaram padrão semelhante ao das curvas encontradas na literatura (FERRANDO et al. 1987; VERGARA et al. 1989; VAN DER KLISS e VAN VOORST, 1993; ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA, 1994), apresentando bom ajuste à equação "tipo Hill" adotada por FERRANDO et al. (1987), com altos coeficientes de correlação tanto para as curvas de excreção de fibra Cr-mordente quanto de Cr-EDTA (Apêndices 8, 18 e 27). FERRANDO et al. (1987) obtiveram coeficientes de correlação de 0,91 a 0,96 com fibra Cr-mordente de casca de arroz e de farelo

de trigo com diferentes tamanhos de partícula. ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA (1994), utilizando o mesmo modelo matemático e óxido de Cr, obtiveram coeficientes de correlação de 0,77 e 0,85 com frangos de corte e de 0,85 e 0,82 com galinhas de postura alimentados com dieta a base de cevada com e sem adição de  $\beta$ -glicanase, respectivamente.

Por outro lado, FERRANDO *et al.* (1987) obtiveram recuperação quase total do Cr administrado na forma de fibra Cr-mordente em 48 h de coleta de excreta, com baixa variação entre tratamentos e entre unidades experimentais. No presente trabalho a variação individual na recuperação dos indicadores foi bastante alta, o que foi atribuído à perda de pequenas quantidades de excreta por aderência ao piso das gaiolas, que ocorreu aparentemente de forma aleatória. Essa variação foi eliminada pela expressão dos resultados como frações do total de Cr recuperado até a última coleta, seguindo o procedimento adotado por ALMIRALL e ESTEVE-GARCIA (1994).

#### **5.6. Avaliação das medidas T1 e T50**

Segundo FERRANDO *et al.* (1987), o T1 não é uma boa medida para estudos de taxa de passagem, pois não está relacionado completamente com tempo de retenção do total da digesta, além de apresentar grande variação individual. De acordo com VAN DER KLISS e VAN VOORST (1993), esta imprecisão pode ser explicada, em parte, matematicamente. Como a curva de excreção acumulada do indicador é uma função sigmóide (WARNER, 1981), quando o parâmetro estudado se localiza na assíntota da curva, como em muitas outras

funções biológicas, as variações no parâmetro são de pouco significado. Este é o caso do tempo de trânsito, localizado na assíntota inferior da curva. O T50 se localiza na porção linear da curva, sendo, por isso, mais adequado (VAN DER KLISS e VAN VOORST, 1993). No presente estudo, o coeficiente de variação do T1 foi mais alto que do T50 nos dois experimentos, atingindo quase 50 % para a FL do Experimento II (Apêndice 29), confirmando as indicações da literatura. Além disso, o tempo de trânsito é uma medida de fluxo tubular, pois não considera os efeitos de mistura e refluxo no trato gastrintestinal, e não é uma medida recomendada para estimar o tempo de retenção da digesta (LAPLACE, 1972; WARNER, 1981; VAN SOEST 1994). Isto pode explicar a diferença no efeito dos tratamentos quando medidos por T1 e por T50, e a inconsistência da correlação entre estas medidas quando comparamos o primeiro e o segundo experimento (Apêndices 12 e 34). Os resultados obtidos no presente trabalho confirmam as indicações da literatura, de que o T50 é uma medida mais precisa que o T1, e permite maior discernimento de efeitos sobre a retenção da digesta no trato gastrintestinal. As alterações no T1 devido aos tratamentos nem sempre corresponderam às alterações no T50, confirmando que o T1 não pode ser usado para estimar o tempo médio em que o alimento é retido no trato gastrintestinal.

## **6. CONCLUSÕES**

Nas condições em que foram realizados os experimentos do presente trabalho, os resultados obtidos permitem concluir que:

1) O tempo de trânsito da fase sólida da digesta no trato gastrintestinal de aves é maior que o da fase líquida, mas o tempo médio de retenção da fase líquida é maior que o da fase sólida, devido à retenção nos cecos.

2) A cecectomia e a implantação cirúrgica de cânula no íleo alteram significativamente a retenção da digesta no trato gastrintestinal: a cecectomia diminui o tempo de retenção da fase líquida, enquanto a implantação de cânula aumenta o tempo de retenção da fase sólida. O tempo de trânsito, no entanto, não é alterado.

3) O tempo de trânsito e o tempo médio de retenção da fase sólida da digesta de aves intactas, fistuladas no íleo e cecectomizadas diminui com o aumento no nível de fibra insolúvel da dieta.

4) O efeito da fibra insolúvel sobre a passagem da fase líquida da digesta é diferenciado para os três tipos de ave. Para as aves intactas e fistuladas no íleo, o tempo médio de retenção não varia de acordo com a variação no nível da fibra na dieta, sugerindo efeito de suas propriedades físico-químicas. Para as aves cecetomizadas, o tempo médio de retenção da fase líquida diminui com o nível mais alto, pela diluição da dieta com 30 % de palha de trigo.

5) A diluição com palha de trigo alterou as propriedades da fibra insolúvel da ração. A capacidade tamponante diminuiu com o aumento na porcentagem de palha, mas a variação nas capacidades de troca catiônica e de hidratação não ocorreu da mesma forma, sugerindo que a combinação dos materiais em diferentes níveis não tenha efeito aditivo sobre estas propriedades.

6) O tempo de trânsito não é uma medida confiável da retenção da digesta no trato gastrintestinal pois apresenta alto coeficiente de variação e não demonstra efeitos observados com o tempo médio de retenção.

## 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M. S.; McBURNEY, M. I.; VAN SOEST, P. J. 1985. Cation-exchange capacity of plant cell walls at neutral pH. **J. Sci. Food Agric.**, Mysore, v.36, p.1065-1072.
- ALMIRALL, M.; ESTEVE-GARCIA, E. 1994. Rate of passage of barley diets with chormium oxide: influence of age and poultry strain and effect of  $\beta$ -glucanase supplementation. **Poultry Sci.**, Champaign, v.73, p.1433-1440.
- ANNISON, G. 1993. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition. **Aust. J. Agric. Res.**, Victoria, v.44, p.405-422.
- ANNISON, G.; CHOCT, M. 1994. 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., p.51-66.
- AOYAGI, S.; BAKER, D. H. 1995. Effect of high cooper dosing on hemicellulose digestibility in cecectomized cockerels. **Poultry Sci.**, Champaign, v.74, p.208-211.
- ASP, N. -G.; JOHANSSON, C. -G. 1984. Dietary fibre analysis. **Nutr. Abstr. Rev.**, Farnham Royal, v.54, n.9, p.735-751.
- ASP, N. -G.; JOHANSSON, C. -G.; HALLMER, H.; SILJESTRÖM, M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fibre. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, v.31, p.476-482.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 1975. **Official Methods of Analysis**. 12. ed., Washington. 1094p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 1995. **Official Methods of Analysis**. 16. ed., Washington. v.2, cap.2, p.5-9.

- BALNAVE, D. 1973. A review of restricted feeding during growth of laying-type pullets. **World's Poultry Sci. J.**, Ithaca, v.29, p.354-362.
- BARBOSA, W. A.; ROSTAGNO, H. S.; SOARES, P. R. 1994. Balanço e biodisponibilidade da metionina hidroxianáloga-ácido livre comparada com a DL-metionina em aves submetidas a estresse calórico. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1994. **Resumos ...** p.9-10.
- BINNERTS, W. T.; KLOOSTER, A.; FRENS, A. M. 1968. Soluble chromium indicator measured by atomic absorption in digestion experiments. **Vet. Rec.**, London, v.82, p.470. (Abstr.)
- BUYSE, J.; ADELSON, D. S.; DECUYPERE, E.; SCANES, C. G. 1993. Diurnal-nocturnal changes in food intake, gut storage of ingesta, food transit time and metabolism in growing broiler chickens: a model for temporal control of energy balance. **Br. Poultry Sci.**, London, v.34, p.699-709.
- CARRÉ, B.; GOMES, J. 1994. Digestibility of water-soluble pectin and organic acid losses in intact or cecectomized adult cockerels. **Poultry Sci.**, Champaign, v.73, p.1881-1886.
- CARRÉ, B.; PREVOTEL, B.; LECLERQ, B. 1984. Cell Wall content as a predictor of metabolisable energy value of poultry feedingstuffs. **Br. Poultry Sci.**, London, v.25, p.561-572.
- CHOCT, M.; ANNISON, G.; TRIMBLE, R. P. 1992. Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. **J. Nutr.**, Bethesda, v.122, n.12, p.2457-2465.
- COOMBE, J. B.; KAY, R. N. B. 1965. Passage of digesta through the large intestines of the sheep: retention times in the small and large intestines. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.19, p.325-338.
- COON, C. N.; LESKE, K. L.; AKAVANICHAN, O.; CHENG, T. K. 1990. Effects of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolisable energy and fiber digestion in adult roosters. **Poultry Sci.**, Champaign, v.69, p.787-793.

- COSTIGAN, P.; ELLIS, K. J. 1987. Analysis of faecal chromium derived from controlled release marker devices. **New Zeal. J. Tech.**, Wellington, v.3, p.89-92.
- CRISSEY, S. D.; THOMAS, O. P. 1987. Comparison of sensitivities of growth and digestibility studies using intact, cecectomized and cannulated roosters. **Poultry Sci.**, Champaign, v.66, p.866-874.
- DENBOW, D. M. 1989. Peripheral and central control of food intake. **Poultry sci.**, Champaign, v.68, p.938-947. Symposium: The Control of Food Intake.
- DUKE, G. E. 1982. Gastrointestinal motility and its regulation. **Poultry Sci.**, Champaign, v.61, p.1245-1256.
- DUKE, G. E. 1986(a). Alimentary canal: anatomy, regulation of feeding, and motility. In: Sturkie, P. D. **Avian physiology**. 4. ed., New York. p.269-288.
- DUKE, G. E. 1986(b). Alimentary canal: secretion and digestion, special digestive functions, and absorption. In: Sturkie, P. D. **Avian physiology**. 4. ed., New York. p.289-302.
- FERRANDO, C.; VERGARA, P.; JIMÉNEZ, M.; GOÑALONS, E. 1987. Study of the rate of passage of food with chromium-mordanted plant cells in chickens (*Gallus gallus*). **Q. J. Exp. Physiol.** Cambridge, v.72, p.251-259.
- FERREIRA, A. S.; ZANOTTO, D. L. 1992. Caracterização granulométrica de ingredientes e rações para suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., 1992, Lavras. **Anais ...** Lavras, SBZ. p.371.
- FERREIRA, W. M. 1994. Os componentes da parede celular vegetal na nutrição de não-ruminantes. Simpósio Internacional de Produção de Não-Ruminantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31., 1994, Maringá. **Anais ...** Maringá, SBZ. p.85-113.
- GOERING, H. G.; VAN SOEST, P. J. 1970. **Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Washington, Agr. Res. Service. 20p. (Agriculture Handbook, 379)

- GOMES, B. V.; QUEIROZ, A. C.; FONTES, C.A.; SILVA, J. F. C. 1994(a). Estudo das características físico químicas de fenos e palhas. I. Efeitos sobre a ingestão voluntária, digestibilidade aparente e taxa de passagem da matéria seca, pH e concentração de amônia ruminal. **Rev. Soc. Bras. Zoot.**, Viçosa, v.23, n.3, p.352-365.
- GOMES, B. V.; QUEIROZ, A. C.; FONTES, C. A.; SILVA, J. F. C. 1994(b). Estudo das características físico químicas de fenos e palhas. II. Efeito sobre a degradabilidade "in situ" da matéria seca, proteína bruta e fibra detergente neutro. **Rev. Soc. Bras. Zoot.**, Viçosa, v.23, n.2, p.292-304.
- GOULD, J. M.; JASBERG, B. K.; DEXTER, L. B.; HSU, J. T.; LEWIS, S. M.; FAHEY, Jr., G. C. 1989. High-fiber, noncaloric flour substitute for baked foods. Properties of alkaline peroxide-treated lignocellulose. **Cereal Chem.**, St. Paul, v.66, n.3, p.201-205.
- GURNSEY, M. P.; JAMES, K. A. C.; LOW, D. C. 1985. An improved method of ileal cannulation of adult cockerels. **Res. Vet. Sci.**, London, v.39, p.390-391.
- HATFIELD, R. D. 1989. Structural polysaccharides in forages and their degradability. **Agron. J.**, Madison, v.81, p.39-46.
- HAYES, J. P.; DU PREEZ, J. J.; DUCKITT, J. S.; ADAMS, A. A. 1990. Effect of caecectomy on true metabolizable energy and lysine availability in roosters. **S.-Afr. Tydskr. Veek.**, Pretoria, v.20, n.4, p.252-255.
- JERACI, J. L.; HORVATH, P. S. 1989. In vitro fermentation of dietary fiber by human fecal organisms. **Anim. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.23, p.121-140.
- JERACI, J. L.; VAN SOEST, P. J. 1990. Improved methods for analysis and biological characterization of fiber. **Ad. Exp. Med. Biol.**, New York, v.270, p.245-263.
- JOHNS, D. C.; LOW, C. K.; JAMES, K. A. C. 1986(a). Comparison of amino acid digestibility using the ileal digesta from growing chickens and cannulated adult cockerels. **Br. Poultry Sci.**, London, v.27, p.679-685.

- JOHNS, D. C.; LOW, C. K.; SEDCOLE, J. R.; JAMES, K. A. C. 1986(b). Determination of amino acid digestibility using caeectomised and intact adult cockerels. **Poultry Sci.**, Champaign, v.27, p.451-461.
- JOHNSON, R. J. 1992. Principles, problems and application of amino acid digestibility in poultry. **World's Poultry Sci. J.**, Ithaca, v.48, p.232-246.
- JUNG, H. G. 1989. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agron. J.**, Madison, v.81, p.33-38.
- KARASAWA, Y.; MAEDA, M. 1992. Effect of colostomy on utilization of dietary nitrogen in the fowl fed on a low protein diet. **Br. Poultry Sci.**, London, v.33, p.815-820.
- KESSLER, J. W.; THOMAS, O. P. 1981. The effect of cecectomy and extension of collection period on the true metabolisable energy values of soybean meal, feather meal, fish meal and blood meal. **Poultry Sci.**, Champaign, v.60, p.2639-2647.
- KOTB, A. R.; LUKEY, T. D. 1972. Markers in nutrition. **Nutr. Abstr. Rev.**, Farnham Royal, v.42, p.813-845.
- LAPLACE, J. P. 1972. Le transit digestif ches les monogastriques. **Ann. Zootech.**, Versailles, v.21, n.1, p.83-105.
- LARBIER, M; LECLERQ, B. 1992. **Nutrition and feeding of Poultry**. Nottingham, Nottingham University Press. 305p.
- LAU, M. M.; VAN SOEST, P. J. 1981. Titratable groups and soluble phenolics as indicators of the digestibility of chemically treated roughages. **Anim. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.6, p.123-131.
- LEE, P. J. W.; GULLIVER, A. L.; MORRIS, T. R. 1971. A quantitative analysis of the literature concerning the restricted feeding of growing pullets. **Br. Poultry Sci.**, London, v.12, p.413-437.
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D.; CASTON, L. J. 1991. Diet dilution and compensatory growth in broilers. **Poultry Sci.**, Champaign, v.70, p.867-873.
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D.; CASTON, L. J. 1992. Response of broilers to feed restriction or diet dilution in the

- finisher period. **Poultry Sci.**, Champaign, v.71, p.2050-2064.
- LEWIS, B. A. 1993. Fiber chemistry an historical perspective. In: Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturer. **Proceedings ...** Ithaca, Cornell University, p.1-8.
- MATEOS, G. G.; SELL, J. L.; EASTWOOD, J. A. 1982. Rate of food passage (transit time) as influenced by level of supplemental fat. **Poultry Sci.** Champaign, v.61, p.94
- MAY, J. D.; DEATON, J. W.; BRANTON, S. L. 1986. Enviromental temperature effects on rate of passage of feed. **Poultry Sci.**, Champaign, v.65 (supl. 1), p.181.
- MAY, D. J.; BRANTON, S. L.; DEATON, J. W.; SIMMONS, J. D. 1988. Effect of environmental temperature and feeding regimen on quantity of digestive tract contents of broilers. **Poultry Sci.**, Champaign, v.67, p.64-71.
- McBURNEY, M. I.; ALLEN, M. S.; VAN SOEST, P. J. 1986. Praseodymium and cooper cation-exchange capacities of neutral-detergent fibres relative to composition and fermentation kinetics. **J. Sci. Food Agric.**, Mysore, v.37, p.666-672.
- McBURNEY, M. J.; BEAULIEU, K. E. 1993. The evolution of our understanding of the role of dietary fiber in human nutrition. In: Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturer. **Proceedings ...** Ithaca, Cornell University, p.37-46.
- McBURNEY, M. I.; VAN SOEST, P. J.; CHASE, L. E. 1983. Cation exchange capacity and buffering capacity of neutral-detergent fibres. **J. Sci. Food Agric.**, Mysore, v.34, p.910-916.
- McCONNELL, A. A.; EASTWOOD, M. A.; MITCHELL, W.D. 1974. Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. **J. Sci. Food. Agric.**, Mysore, v.25, p.1457-1464.
- MILTON, K.; DEMMENT, M. W. 1988. Digestion and passage of chimpanzees fed high and low fiber diets and comparison with human data. **J. Nutr.**, Bethesda, v.118, p.1082-1088.
- MOLLEE, P. J.; BOER, H. 1992. Effect of strutral carbohydrates from wheatbran on ileal and colon

- digestibility in adult roosters. In: World's Poultry Congress. **Proceedings ...** Amsterdam, The World's Poultry Science Association, vol. 2, p.257-258.
- MORAN Jr, E. T. 1982. **Comparative nutrition of fowl e swine. The gastrointestinal systems.** Guelp, E. T. Moran Jr. 253 p.
- MUZTAR, J. M.; SLINGER, S. J. 1980. Rate of passage of feedstuffs through mature roosters and effect on metabolizable energy. **Nutr. Rep. International.**, Los Altos, v.22, n.3, p.361-367.
- NOY, Y.; SKLAN, D. 1995. Digestion and absorption in the young chick. **Poultry Sci.**, Champaign, v.74, p.366-373.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1994. **Nutrient requirements of poultry.** 9. Ed., Washington, National Academy Press. 155 p.
- PARSONS, C. M. 1984. Influence of caecectomy and source of dietary fibre or starch on excretion of endogenous amino acid by laying hens. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.51, p.541-548.
- PROSKY, L.; ASP, N. -G.; FURDA, I.; DE VRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. 1984. The determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets: interlaboratory study. **J. Assoc. Offic. Anal. Chem.**, Arlington, v.67, p.1044-1052.
- RAHARJO, Y.; FARRELL, D. J. 1984/85. A new biological method for determining amino acid digestibility in poultry feedstuffs using a simple cannula, and the influence of dietary fibre on endogenous amino acid output. **Anim. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.12, p.29-45.
- RAISER, A. G.; POLYDORO, A. S.; WARPECHOWSKI, M. B.; CIOCCA, M. L. S.; SÁ, M.; PORTELA, L. (1995?). A cecectomia ou fistulação do íleo terminal em frangos. Considerações cirúrgicas. Encaminhado para publicação à **Pesq. Agrop. Bras.**, em 1996.
- SCHIRES, A. 1987. Rate of passage of corn-canola meal and corn-soybean meal diets through the gastrointestinal tract of broiler and Leghorn chickens. **Poultry Sci.**, Champaign, v.66, p.289-298.

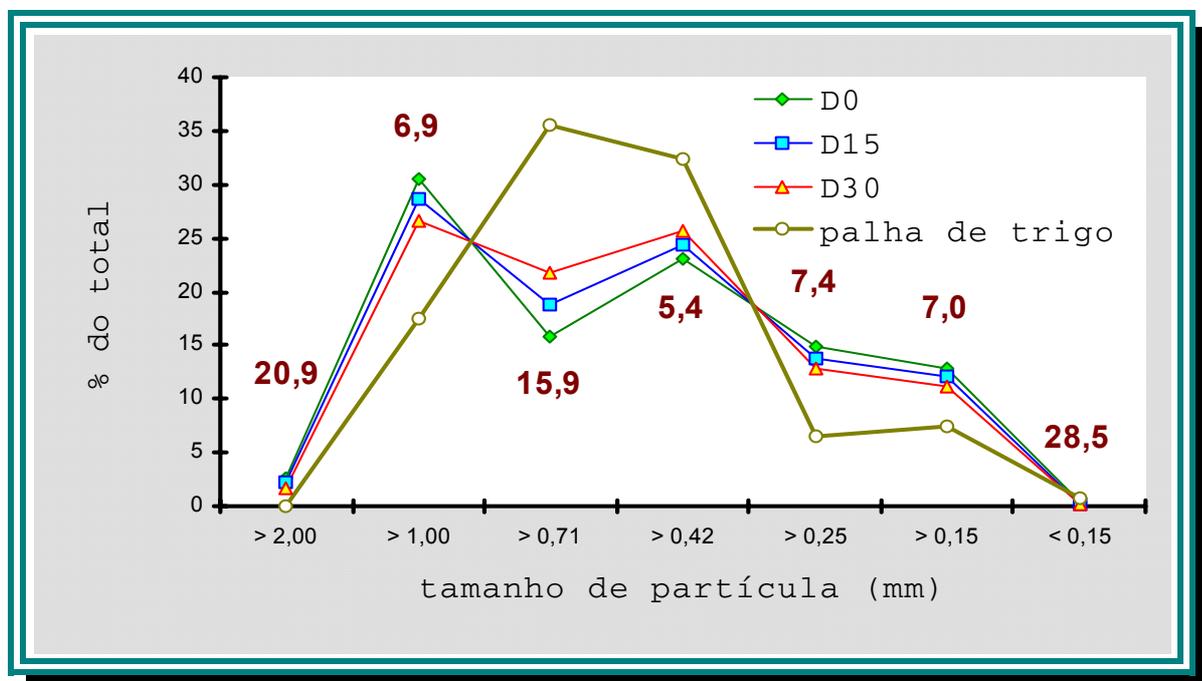
- SCHWEIZER, T. F. 1989. Dietary fibre analysis. **Lebensm. - Wiss. u. -Technol.**, London, v.22, n.2, p.54-59.
- SEOANE, J. R.; CÔTÉ, M.; GERVAIS, P.; LAFOREST, P. 1981. Prediction of the nutritive value of alfafa (saranac) bromegrass (saratoga) and timothy (champ, cimax, bounty) fed as hay to growing sheep. **Can. J. Anim. Sci.**, Ottawa, v.62, n.4, p.403-413.
- SIBBALD, I. R. 1979. Passage of feed through the adult rooster. **Poultry Sci.**, Champaign, v.58, p.446-459.
- SIBBALD, I. R. 1980. The clearance time and rate of passage of feed residues. **Poultry Sci.**, Champaign, v.59, p.374-377.
- SIDDONS, R. C.; PARADINE, J.; BEEVAR, D. E.; CORNELL, P. R. 1985. Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta-flow marker. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.54, p.509-519.
- SKLAN, D.; DUBROW, D.; EISNER, U.; HURWITZ, S. 1975.  $^{51}\text{Cr}$ -EDTA,  $^{91}\text{Y}$  and  $^{141}\text{Ce}$  as nonabsorbed reference substances in the gastrointestinal tract of the chicken. **J. Nutr.**, Bethesda, v.105, p.1549-1552.
- STEPHEN, A. M.; CUMMINGS, J. H. 1979. Water-holding by dietary fibre in vitro and relationship to faecal output in man. **Gut.**, London, v.20, p.722-729.
- SUMMERS, J. D.; SPRATT, D.; ATKINSON, J. L. 1990. Restricted feeding and compensatory growth for broilers. **Poultry Sci.**, Champaign, v.69, p.1855-1861.
- SUMMERS, D. J.; ROBBLEE, A. R. 1985. Comparison of apparent amino acid digestibilities in anesthetized versus sacrificed chickens using diets containing soybean meal and canola meal. **Poultry Sci.**, Champaign, v.64, p.536-541.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. 1995. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p. (Boletim Técnico nº 5)

- UDÉN, P.; COLUCCI, P. E.; VAN SOEST, P. J. 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Sci. Food Agric.**, London, v.31, p.625-632.
- VANDER, A. J.; SHERMAN, J. H.; LUCIANO, D. 1990. **Human physiology: the mechanisms of body function**. 5. ed. New York, McGraw-Hill. 724 p.
- VAN DER KLIS, J. D.; VAN VOORST, A. 1993. The effect of carboxy methyl cellulose (a soluble polysaccharide) on the rate of marker excretion from the gastrointestinal tract of broilers. **Poultry Sci.**, Champaign, v.72, p.503-512.
- VAN DER KLISS, J. D.; VERSTEGEN, M. W. A.; DE WIT, W. 1990. Absorption of minerals and time of dry matter in the gastrointestinal tract of broilers. **Poultry Sci.**, Champaign, v.69, p.2185-2194.
- VAN SOEST, P. J. 1994. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca, Cornell University Press. 476 p.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci.**, Cambridge, v.74, p.3583-3597.
- VERGARA, P.; JIMÉNEZ, M.; FERRANDO, C.; FERNANDEZ, E.; GOÑALONS, E. 1987. Age influence on digestive transit time of particulate and soluble markers in broiler chickens. **Poultry Sci.**, Champaign, v.61, p.925-932.
- WAGNER, D. D.; THOMAS, O. P. 1978. Influence of diets containing rye or pectin on intestinal flora of chicks. **Poultry Sci.**, Champaign, v.57, p.971-975.
- WARNER, A. C. I. 1981. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutr. Abstr. Rev.** (Series B), Farnham Royal, v.51, p.789-820.
- WARPECHOWSKI, M. W.; CIOCCA, M. L. S. 1995. Propriedades físico-químicas da parede celular das palhas de quatro variedades de trigo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais ...** Brasília, SBZ. 752p. p.219.

- WARREN, B. E.; FARREL, D. J. 1991. The nutritive value of full-fat and defatted australian rice bran. V. The apparent retention of minerals and apparent digestibility of amino acids in chickens and adult cockerels fitted with ileal cannulae. **Anim. Food Sci. Tech.**, Amsterdam, v.34, p.323-342.
- WILLIAMS, C. B.; OLTENACU, P. A.; SNIFFEN, C. J. 1989. Application of neutral detergent fiber in modeling feed intake, lactation response, and body weight changes in dairy cattle. **J. Dairy Sci.**, Cambridge, v.72, p.652-663.
- ZANDER, R. 1986. Der Einfluss einer Strohapplikation als Rohfaserquelle auf die N-Exkretion bei kolostomierten Broilerhennen und die bakterielle Aktivität im Darm. **Arch. Geflügelk**, Berlin, v.50, n.2, p.68-73.
- ZUIDHOF, M. J.; ROBINSON, F. E.; FEDDES, J. J. R.; HARDIN, T. R.; WILSON, J. L.; MCKAY, R. I.; NEWCOMBE, M. 1995. The effect of nutrient dilution on the well-being and performance of female broiler breeders. **Poultry Sci.**, Champaign, v.74, p.441-456.

## **8 . APÊNDICES**

Apêndice 1. Composição granulométrica das dietas experimentais e da palha de trigo. Os números em negrito são os coeficientes de variação (%) para as dietas em cada tamanho de partícula.



Apêndice 2. Comparação de frações das dietas experimentais e da fibra Cr-mordente de palha de trigo quanto a diferentes tamanhos de partícula

	grupo 1	grupo 2	grupo 3	g.3/g.2 (%)
D0	48,9	51,10	0,29	0,57
D15	49,62	50,38	0,16	0,32
D30	50,03	49,97	0,25	0,50
média	49,52	50,48	0,23	0,46
fibra Cr-mordente	0,00	100,00	0,50	0,50

Grupo 1: % total de partículas maiores que 0,71 mm.

Grupo 2: % total de partículas menores que 0,71 mm.

Grupo 3: % de partículas menores que 0,15 mm.

Apêndice 3. Resumo da análise da variância dos resultados de capacidade de troca catiônica da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo

causas	GL	SQ	QM	F calc.	Probab.
Material	3	2701,51	900,50	17,77	< 0,01
corridas	1	2780,02	2780,02	54,87	< 0,01
erro	23	962,69	50,68		

Média geral = 133,34 mmol H<sup>+</sup>/kg fibra, CV = 12,6 %

Apêndice 4. Resumo da análise da variância dos resultados de capacidade tamponante da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo

causas	GL	SQ	QM	F calc.	Probab.
Material	3	25861,70	8620,57	102,15	< 0,01
corridas	5	1066,97	213,39	2,53	< 0,07
erro	15	1265,88	84,39		

Média geral = 146,50 mmol H<sup>+</sup>/100 g fibra, CV = 23,9 %

Apêndice 5. Resumo da análise da variância dos resultados de capacidade de hidratação da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo

causas	GL	SQ	QM	F calc.	Probab.
Material	3	4,1805	1,3935	36,02	< 0,01
corridas	2	0,1691	0,0846	2,19	< 0,14
erro	18	0,6965	0,0387		

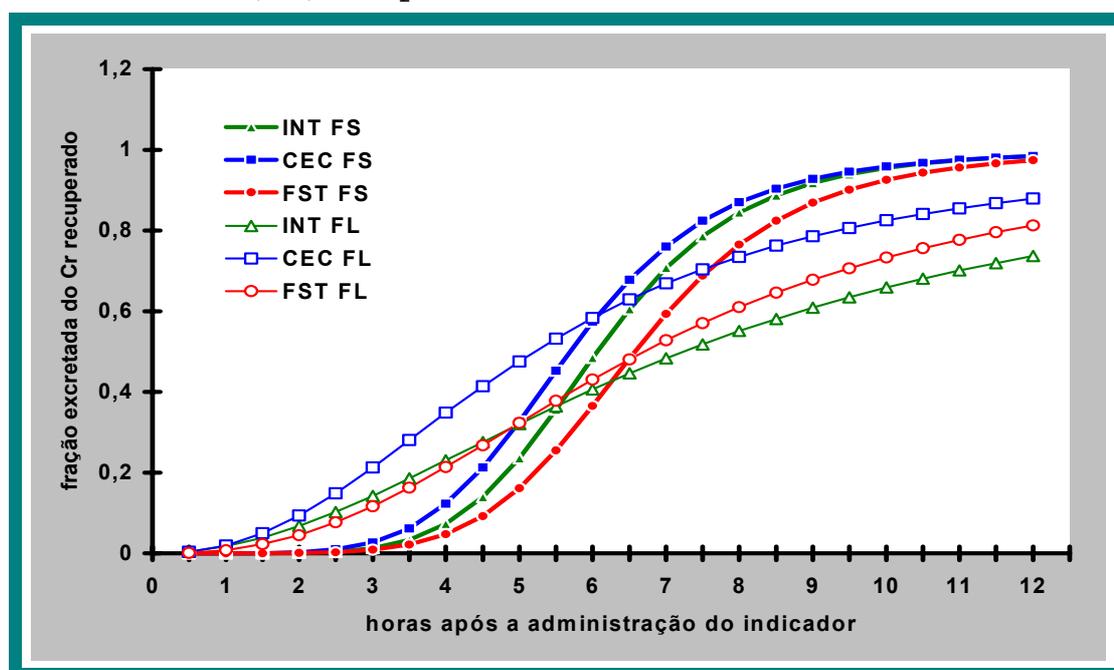
Média geral = 3,38 ml H<sub>2</sub>O/g fibra, CV = 13,9 %

Apêndice 6. Coeficientes de correlação (r) entre propriedades físico-químicas e componentes da fibra insolúvel das dietas experimentais e da palha de trigo

		CTC	CT	CH
hemicel.	r	0,6385	-0,9549	0,5935
	prob.	0,3615	0,0451	0,4065
celulose	r	0,5085	-0,9836	0,5787
	prob.	0,4915	0,0164	0,4213
lignina	r	0,6688	-0,9396	0,5906
	prob.	0,3312	0,0604	0,4094
(H+C)/L*	r	0,2949	-0,9433	0,5323
	prob.	0,7051	0,0567	0,4677
CTC	r	-	-0,3830	0,8129
	prob.	-	0,6169	0,1871
CT	r	-	-	-0,4221
	prob.	-	-	0,5778

\*Relação de hemicelulose + celulose / lignina.

Apêndice 7. Curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente de palha de trigo (FS) e Cr-EDTA (FL). Experimento I.



Apêndice 8. Parâmetros das curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente (FS) e Cr-EDTA (FL). Experimento I

	GL		r		n		k	
	FS	FL	FS	FL	FS	FL	FS	FL
INT	74	71	0,94	0,95	6,11	2,03	70333	53,94
CEC	63	67	0,91	0,96	5,59	2,38	39144	68,09
FST	72	80	0,95	0,94	6,01	2,52	52261	96,19

GL, graus de liberdade; r, coeficiente de correlação ( $P < 0,01$ ); n, inclinação e k, constante do modelo  $y = t^n / (t^n + k)$ , Y, fração acumulada do Cr excretado e t, tempo após administração do indicador (h).

Apêndice 9. Resumo da análise da variância do tempo de trânsito da digesta (h). Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Tipo de ave	2	0,145	0,073	0,195	0,824
Erro (A)	24	8,930	0,372		
Fase	1	47,638	47,638	148,742	0,001
Tipo*Fase	2	0,175	0,088	0,273	0,763
Erro (B)	24	7,687	0,320		

Média geral = 1,9 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 33,48 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 31,06 %

Apêndice 10. Resumo da análise da variância do tempo médio de retenção da digesta (h). Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Tipo de ave	2	3,312	1,656	3,802	0,037
Erro (A)	24	10,452	0,435		
Fase	1	0,688	0,688	1,234	0,278
Tipo*Fase	2	7,729	3,864	6,934	0,004
Erro (B)	24	13,376	0,557		

Média geral = 6,3 h

Coefficiente de variação do erro (A) = 10,56 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 11,94 %

Quadrado médio e grau de significância da covariável peso corporal. Experimento I

covariável	quadrado médio	F calc.	Prob.
peso corporal	0,4159	0,72	0,405

Apêndice 11. Coeficientes de correlação entre o tempo de trânsito e o tempo médio de retenção da digesta. Experimento I

Fase digesta	tipo de ave	r (n) *	Prob.
Sólida	intactos	0,9652 (9)	0,0001
	cecectomizados	0,9183 (8)	0,0013
	fistulados	0,5259 (10)	0,1184
Líquida	intactos	0,0278 (9)	0,9434
	cecectomizados	0,8820 (8)	0,0038
	fistulados	0,4046 (10)	0,4046

\*Coeficiente de correlação (n<sup>o</sup> de observações).

Apêndice 12. Resumo da análise da variância do consumo de matéria seca (g/ave/dia). Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Tipo de ave	2	0,705	0,353	1,325	0,284
erro (A)	24	6,387	0,266		
fase da digesta	1	0,560	0,560	3,118	0,090
Tipo*Fase	2	0,003	0,001	0,007	0,993
erro (B)	24	4,312	0,180		

Média geral = 83,9 g

Coefficiente de variação do erro (A) = 0,61 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 0,50 %

Apêndice 13. Resumo da análise da variância do consumo de matéria seca expresso em porcentagem do peso corporal/ave/dia. Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Tipo de ave	2	0,937047	0,468524	1,645	0,214
Erro (A)	24	6,835801	0,284825		
Fase	1	0,305410	0,305410	139,838	0,001
Tipo*Fase	2	0,004464	0,002232	1,022	0,375
Erro (B)	24	0,052417	0,002184		

Média geral = 3,7 %

Coefficiente de variação do erro (A) = 14,47 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 1,27 %

Apêndice 14. Resumo da análise da variância do peso corporal (g). Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Tipo de ave	2	732965,80	366482,90	7,675	0,003
Erro (A)	24	1145952,00	47748,02		
Fase	1	96520,17	96520,17	2,338	0,139
Tipo*Fase	2	70297,82	35148,91	0,851	0,439
Erro (B)	24	990898,50	41287,44		

Média geral = 2.300,8 g

Coefficiente de variação do erro (A) = 9,50 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 8,83 %

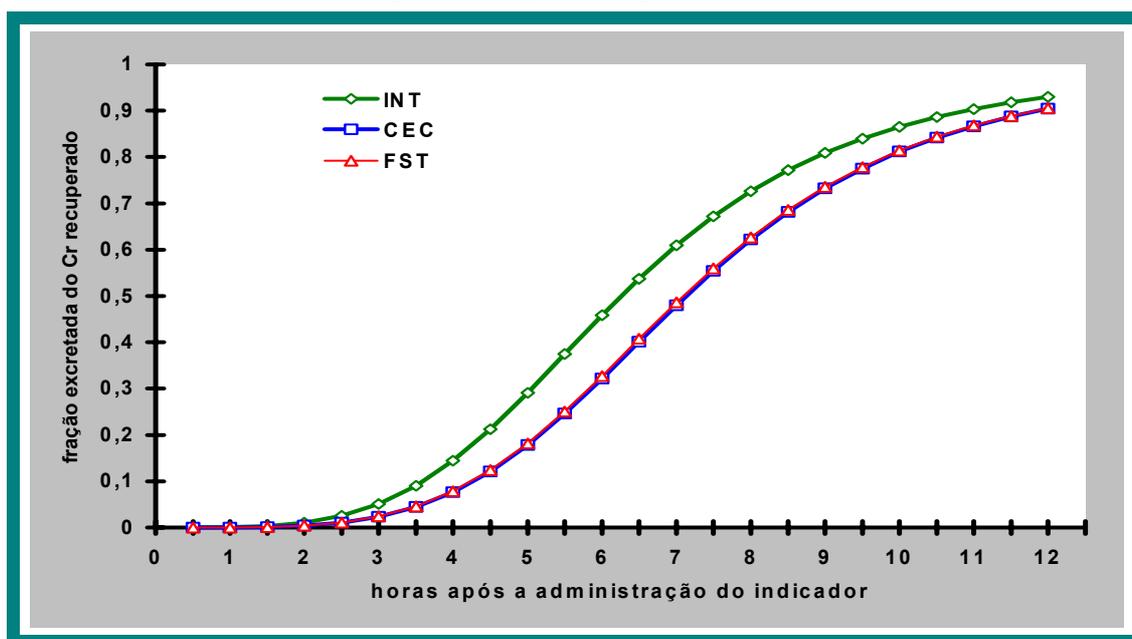
Apêndice 15. Resumo da análise da variância do resíduo de matéria seca excretado expresso em porcentagem da matéria seca consumida. Experimento I

Causas	GL	SQ	QM	F	Probab.
Tipo de ave	2	86,7996	43,39978	3,758	0,047
Erro	15	173,2201	11,54801		

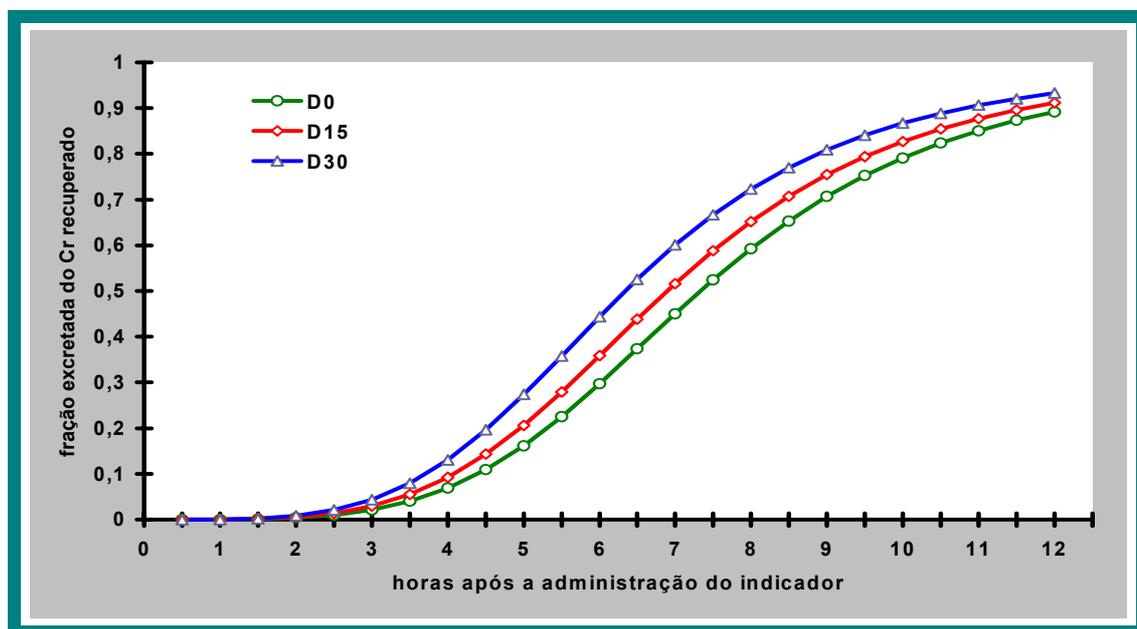
Média geral = 38,74 %

Coefficiente de variação = 6,38 %

Apêndice 16. Curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente de palha de trigo. Experimento II. Curvas gerais por tipo de ave.



Apêndice 17. Curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente de palha de trigo. Experimento II. Curvas gerais por dieta experimental



Apêndice 18 . Parâmetros das curvas de excreção acumulada de fibra Cr-mordente. Experimento II

		D0	D15	D30	geral
intactos	n	4,06	3,89	4,00	3,97
	k	2289,9	1167,6	1237,8	1448,35
	r	0,9296	0,9266	0,8850	0,9083
	GL	46	49	52	151
cecectom.	n	4,87	3,94	4,42	4,32
	k	20428,4	2357,7	3880,3	4799,41
	r	0,9339	0,9119	0,9491	0,9196
	GL	51	52	53	160
fistulados	n	5,17	4,08	3,98	4,30
	k	26102,5	3766,8	1807,2	4578,30
	r	0,9322	0,9389	0,9419	0,9265
	GL	51	53	53	161
geral	n	4,29	4,20	4,12	
	k	5176,8	3340,4	2009,7	
	r	0,9234	0,9083	0,9223	
	GL	152	158	162	

GL, graus de liberdade; r, coeficiente de correlação ( $P < 0,01$ ); n, inclinação e k, constante do modelo  $y = t^n / (t^n + k)$ , Y, fração acumulada do Cr excretado e t, tempo após administração do indicador (h).

Apêndice 19. Resumo da análise da variância do tempo de trânsito da fase sólida da digesta (h).  
Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	PROB.>F
Blocos	1	1.8518575			
Tipo de ave	2	3.3270433	1.6635216	2.9874	0.25104
Erro (A)	2	1.1136984	0.5568492		
Dieta	2	2.5848212	1.2924106	3.4266	0.04067
Tipo*Dieta	4	0.4918464	0.1229616	0.3260	0.85933
Erro (B)	42	15.8411041	0.3771691		

Média geral = 2.4 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 18.261 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 26.031 %

Apêndice 20. Resumo da análise da variância do tempo médio de retenção da fase sólida da digesta (h).  
Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	PROB.>F
Blocos	1	1.0140547			
Tipo de ave	2	8.2725760	4.1362880	43.9639	0.02007
Erro (A)	2	0.1881675	0.0940837		
Dieta	2	4.7936863	2.3968432	4.8660	0.01245
Tipo*Dieta	4	3.1385388	0.7846347	1.5930	0.19305
Erro (B)	42	20.6877952	0.4925666		

Média geral = 6.8 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 2.624 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 10.400 %

Apêndice 21. Resumo da análise da variância do consumo de matéria seca (g/ave/dia). Fase sólida da digesta - Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	0.9373445			
Tipo de ave	2	0.0219764	0.0109882	0.0300	0.97289
Erro (A)	2	0.7320919	0.3660459		
Dieta	2	12.8275019	6.4137510	13.1649	0.00012
Tipo*Dieta	4	0.2958029	0.0739507	0.1518	0.95862
Erro (B)	42	20.4617278	0.4871840		

Média geral = 83.6 g

Coeficiente de variação do erro (A) = 0.42 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 0.83 %

Apêndice 22. Resumo da análise da variância do consumo de matéria seca expresso em porcentagem do peso corporal/ave/dia. Fase sólida da digesta - Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	0.1654184			
Tipo de ave	2	0.8305586	0.4152793	27.73	0.033
Erro (A)	2	0.0299530	0.0149765		
Dieta	2	0.0808534	0.0404267	0.45	0.646
Tipo*Dieta	4	0.1454631	0.0363658	0.41	0.805
Erro (B)	42	3.7626043	0.0895858		

Média geral = 3.5 %

Coefficiente de variação do erro (A) = 2.03 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 8.59 %

Apêndice 23. Resumo da análise da variância do peso corporal (g) Fase sólida da digesta - Experimento II

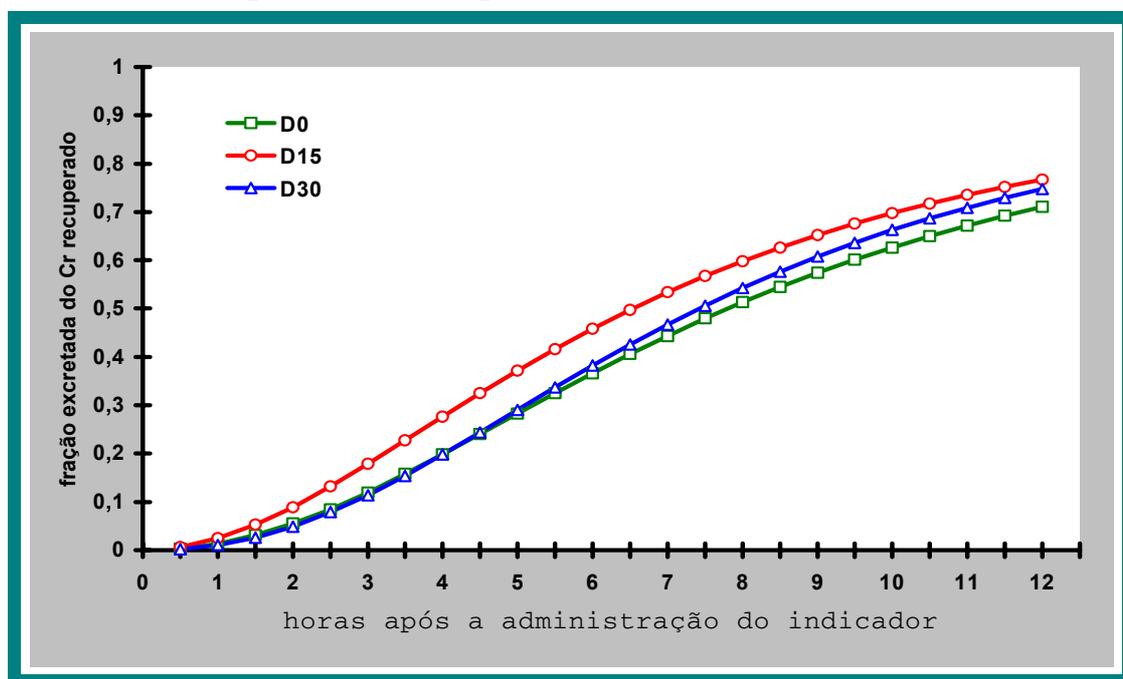
Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	68836.74			
Tipo de ave	2	437235.82	218617.91	28.0663	0.03256
Erro (A)	2	15578.71	7789.35		
Dieta	2	84102.93	42051.46	1.0274	0.36817
Tipo*Dieta	4	69250.41	17312.61	0.4230	0.79308
Erro (B)	42	1719088.89	40930.69		

Média geral = 2.417,5 g

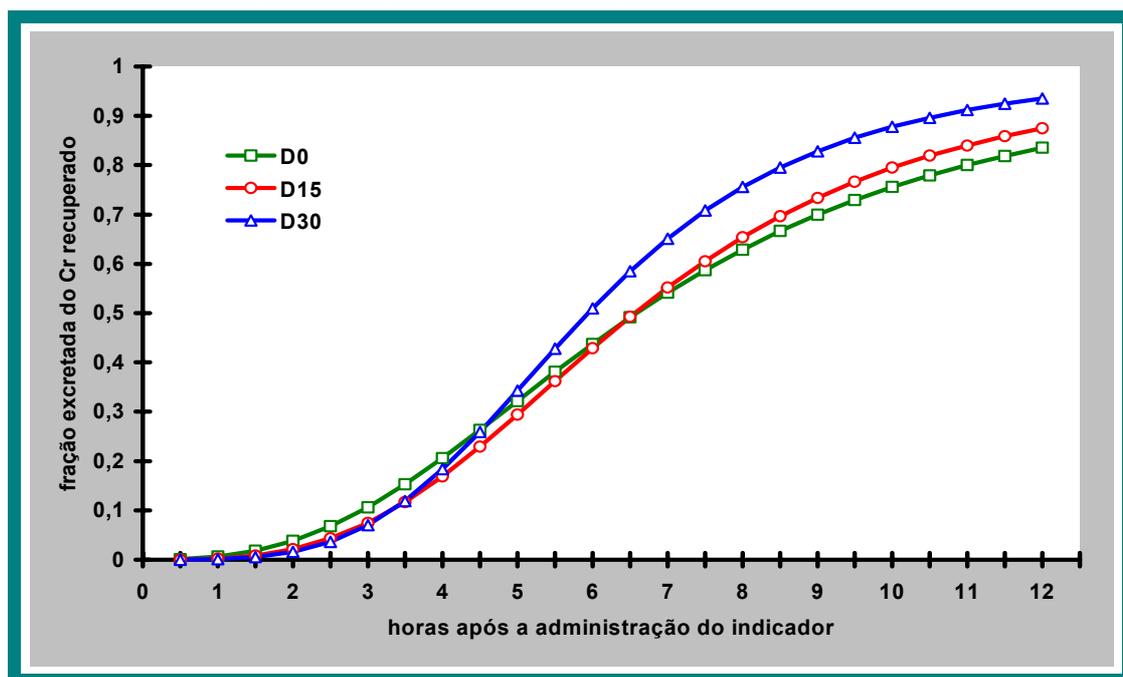
Coefficiente de variação do erro(A) = 2.12 %

Coefficiente de variação do erro(B) = 8.37 %

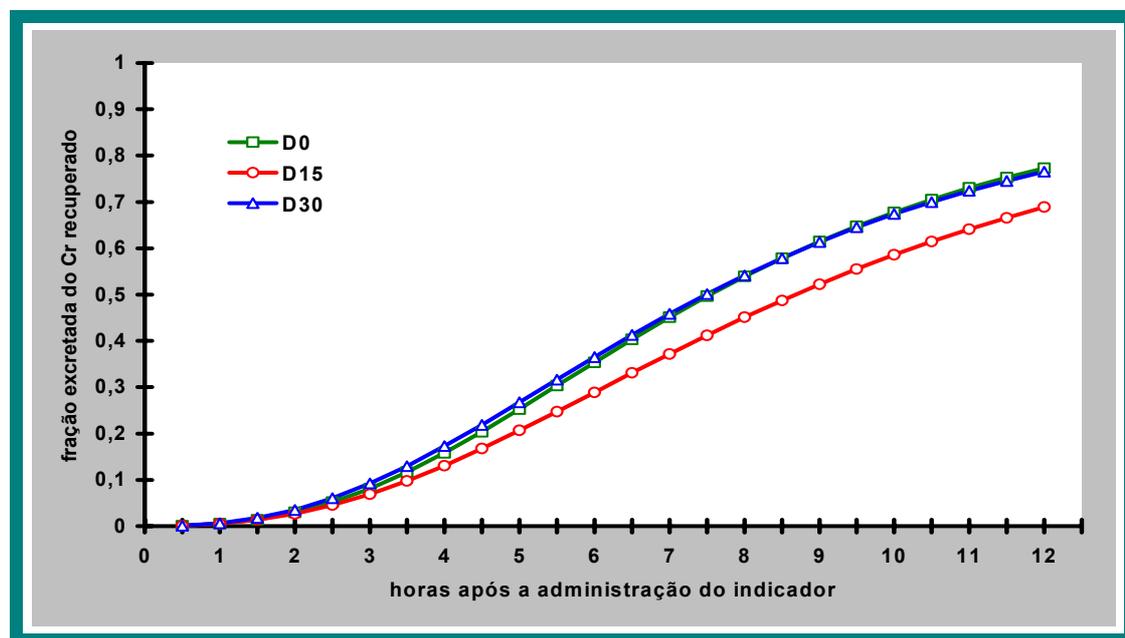
Apêndice 24. Curvas de excreção acumulada de Cr-EDTA das aves intactas. Experimento II. Curvas gerais por dieta experimental.



Apêndice 25. Curvas de excreção acumulada de Cr-EDTA das aves cecectomizadas. Experimento II. Curvas gerais por dieta experimental.



Apêndice 26. Curvas de excreção acumulada de Cr-EDTA das aves fistuladas. Experimento II. Curvas gerais por dieta experimental.



Apêndice 27. Parâmetros das curvas de excreção acumulada de Cr-EDTA. Experimento II

		D0	D15	D30	geral
intactos	n	2,09	1,96	2,26	2,12
	k	72,892	39,765	93,278	67,41
	r	0,8564	0,8594	0,9073	0,8723
	GL	53	44	54	155
cecectom.	n	2,71	3,21	3,78	3,19
	k	163,697	422,993	845,534	358,85
	r	0,9208	0,9299	0,9400	0,9227
	GL	56	55	52	167
fistulados	n	2,63	2,44	2,50	2,52
	k	204,848	196,023	153,725	182,49
	r	0,9342	0,9329	0,8958	0,9170
	GL	53	56	55	168
geral	n	2,49	2,60	2,79	
	k	140,008	170,471	204,576	
	r	0,9037	0,8904	0,8956	
	GL	166	159	165	

GL, graus de liberdade; r, coeficiente de correlação ( $P < 0,01$ ); n, inclinação e k, constante do modelo  $y = t^n / (t^n + k)$ , Y, fração acumulada do Cr excretado e t, tempo após administração do indicador (h).

Apêndice 28. Resumo da análise da variância do tempo de trânsito da fase líquida da digesta (h). Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	VALOR F	PROB.>F
Blocos	1	0.6446315			
Tipo de ave	2	3.5781497	1.7890748	1.5450	0.39270
Erro (A)	2	2.3159241	1.1579621		
Dieta	2	0.6203723	0.3101862	0.8401	0.55783
Tipo*Dieta	4	1.8207389	0.4551847	1.2328	0.31115
Erro (B)	42	15.5077761	0.3692328		

Média geral = 1.3 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 48.55 %

Coeficiente de variação do erro (b) = 47.49 %

Apêndice 29. Resumo da análise da variância do tempo médio de retenção da fase líquida da digesta (h). Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	PROB.>F
Blocos	1	0.0117977			
Tipo de ave	2	19.0892050	9.5446025	6.9714	0.12655
Erro (A)	2	2.7382020	1.3691010		
Dieta	2	0.9258714	0.4629357	0.4027	0.67649
Tipo*Dieta	4	12.6741250	3.1685312	2.7564	0.03956
Erro (B)	42	48.2800627	1.1495253		

Média geral = 7.1 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 9.52 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 15.11 %

Apêndice 30. Resumo da análise da variância do consumo de matéria seca (g/ave/dia) Fase líquida da digesta - Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	1.5373			
Tipo de ave	2	1.8586	0.9293	2.33	0.300
Erro (A)	2	0.7977	0.3988		
Dieta	2	4.9109	2.4554	3.61	0.035
Tipo*Dieta	4	0.4969	0.1242	0.18	0.944
Erro (B)	42	28.5995	0.6809		

Média geral = 83.4 g

Coeficiente de variação do erro (A) = 0.44 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 0.99 %

Apêndice 31. Resumo da análise da variância do consumo relativo de matéria seca expresso em porcentagem do peso corporal/ave/dia. Fase líquida da digesta - Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	0.2145			
Tipo de ave	2	0.7551	0.3775	288.94	0.003
Erro (A)	2	0.0026	0.0013		
Dieta	2	0.4828	0.2414	2.96	0.063
Tipo*Dieta	4	0.0554	0.0138	0.17	0.951
Erro (B)	42	3.4311	0.0817		

Média geral = 3.5 %

Coefficiente de variação do erro (A) = 0.60 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 8.26 %

Apêndice 32. Resumo da análise da variância do peso corporal (g). Fase líquida da digesta - Experimento II

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	89385.35			
Tipo de ave	2	395458.48	197729.24	287.1575	0.00280
Erro (A)	2	1377.15	688.57		
Dieta	2	337360.04	168680.02	4.2157	0.02093
Tipo*Dieta	4	37214.74	9303.69	0.2325	0.91726
Erro (B)	42	1680498.33	40011.87		

Média geral = 2.428,9 g

Coefficiente de variação do erro (A) = 0.62 %

Coefficiente de variação do erro (B) = 8.24 %

Apêndice 33. Coeficientes de correlação entre o tempo de trânsito e o tempo médio de retenção da digesta. Experimento II

fase digesta	tipo de ave	r*	probab.
sólida (Cr-mordente)	intactos	0,8500	0,0001
	cecectomizados	0,6569	0,0033
	fistulados	0,5023	0,0320
líquida (Cr-EDTA)	intactos	0,7413	0,0007
	cecectomizados	0,0928	0,7146
	fistulados	0,5255	0,0238

\*Coeficiente de correlação com 18 observações.

Apêndice 34. Resumo da análise da variância do resíduo de matéria seca excretado expresso em porcentagem da MS consumida. Experimento II.

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob
Período	1	0,058			
Tipo de ave	2	114,117	57,059	1,19	0,336
Erro A	13	625,328	48,102		
Dieta	2	1689,145	844,573	30,51	0,001
Tipo*Dieta	4	1419,754	345,938	12,82	0,001
Erro B	24	664,408	27,684		

Média geral = 44,8

Coeficiente de variação do erro (A) = 15,48 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 11,75 %

Apêndice 35. Resumo da análise da variância do tempo médio de retenção da digesta (h). Experimento II. Análise complementar com a fase da digesta como fator na sub-subparcela

Causas	GL	SQ	QM	F calc.	Prob.>F
Blocos	1	0.4032608			
Tipo de ave	2	13.5371485	6.7685742	12.4758	0.07415
Erro (A)	2	1.0850719	0.5425359		
Dieta	2	4.8504842	2.4252421	3.3985	0.10286
Tipo*Dieta	4	13.1689598	3.2922400	4.6135	0.04868
Erro (B)	6	4.2816677	0.7136113		
Fase da digesta	1	3.2725190	3.2725190	3.9475	0.04747
Tipo*Fase	2	13.8247060	6.9123530	8.3380	0.00079
Dieta*Fase	2	0.8691470	0.4345735	0.5242	0.59959
Tipo*Dieta*Fase	4	2.6436305	0.6609076	0.7972	0.53247
Erro (C)	81	67.1500794	0.8290133		

Média geral = 6.9 h

Coeficiente de variação do erro (A) = 4.34 %

Coeficiente de variação do erro (B) = 8.63 %

Coeficiente de variação do erro (C) = 13.15 %

Quadrado médio e grau de significância da covariável peso corporal. Experimento II

covariável	quadrado médio	F calc.	Prob.
peso corporal	0,517626	0,65	0,421

Apêndice 36. Valores médios do tempo médio de retenção das fases sólida e líquida da digesta (h). Experimento II

fase da digesta	fase sólida		fase líquida	
íntactos	6,2 ± 0,8	b B	7,0 ± 1,1	b A
cecectomizados	7,1 ± 0,7	a A	6,4 ± 0,9	c B
fistulados	7,0 ± 0,6	a B	7,9 ± 1,2	a A

Médias com letras distintas minúsculas, na coluna e maiúsculas, na linha, diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Apêndice 37. Pesos médios das aves no segundo dia após as cirurgias e no final das determinações da passagem das fases sólida e líquida da digesta nos dois experimentos (g)

	após cirurgia	Experimento I		Experimento II			
		FS	FL	FS <sup>1</sup>	FL <sup>1</sup>	FS <sup>2</sup>	FL <sup>2</sup>
<u>INT</u>							
D0	2271,6 ±277,0	2367,0 ±226,8	2549,2 ±148,0	2701,7 ±145,0	2724,3 ±147,1	2572,0 ±142,3	2630,0 ±136,2
D15	-	-	-	2352,3 ±214,8	2339,3 ±140,5	2635,0 ±301,4	2578,0 ±370,5
D30	-	-	-	2422,7 ±136,8	2471,0 ±136,3	2585,7 ±271,8	2625,7 ±263,2
<u>CEC</u>							
D0	2060,3 ±302,8	2237,4 ±236,9	2301,8 ±238,6	2477,0 ±194,1	2507,7 ±190,7	2484,0 ±204,4	2575,0 ±204,8
D15	-	-	-	2208,0 ±207,2	2229,0 ±209,9	2333,7 ±319,3	2355,7 ±312,7
D30	-	-	-	2208,3 ±211,5	2211,7 ±195,0	2272,3 ±235,1	2304,0 ±295,5
<u>FST</u>							
D0	2062,1 ±266,5	2177,8 ±246,2	2190,6 ±153,8	2242,5 ±126,7	2285,0 ±127,5	2473,2 ±120,1	2573,3 ±148,4
D15	-	-	-	2221,0 ±93,2	2246,7 ±78,2	2288,0 ±53,0	2297,3 ±57,6
D30	-	-	-	2485,3 ±98,3	2490,0 ±67,6	2411,7 ±191,3	2380,7 ±161,0

<sup>1</sup>Primeira determinação no Experimento II.

<sup>2</sup>Segunda determinação no Experimento II.

Apêndice 38. Demonstrativo da patência das cânulas implantadas nas aves fistuladas durante o período experimental

dia experimental	-	4	9	13	16	20	22
dia pós-cirúrgico <sup>1</sup>	7	13	18	22	25	29	31
n <sup>o</sup> da ave							
02	P	P	N	N	N	N	N
07	P	P	P	N	N	N	N
08	P	P*	N	N	N	N	N
11	P	P	P	P	P	N	N
14	P	P	P	P	P	N	N
patentes (%)	100	100	60	40	40	0	0
dia pós-cirúrgico <sup>2</sup>	6	12	17	21	24	28	30
n <sup>o</sup> da ave							
17	P	P	P	N	N	N	N
20	P	P	P	P	P	P	
23	P	P	N	N	N	N	N
26	P	P	P	P	P	P*	P
29	P	P	P	P	P	N	N**
patentes (%)	100	100	80	60	60	40	20
patentes (% total)	100	100	70	50	50	20	10

<sup>1</sup>Em relação ao primeiro dia de preparações cirúrgicas; <sup>2</sup>Em relação ao segundo dia de preparações cirúrgicas.

**P**, cânulas permeáveis ao fluido ileal; **N**, cânulas não permeáveis.

\*Cânula migrando para o interior da cavidade abdominal, provavelmente por ter se soltado um dos pontos de reparo. Na ave n<sup>o</sup> 08 o problema foi solucionado fixando-se uma arruela plástica à cânula com um segmento de mangueira de latex.

\*\*Migração parcial da cânula para o exterior da parede abdominal.

Apêndice 39. Temperaturas observadas no interior do galpão durante o período experimental (°C)

	dia experim.	média	máxima	mínima
FS	1	18	19	17
Exp. I	2	17	20	14
FL	6	17	20	13
Exp. I	7	16	18	13
FS	11	17	20	12
Exp. II	12	16	20	11
FL	14	19	25	11
Exp. II	15	17	21	14
FS	18	23	27	15
Exp. II	19	26	34	16
FL	21	15	16	13
Exp. II	22	16	19	12

## **VITA**

Marson Bruck Warpechowski, filho de Eduardo Warpechowski e Maril Beatriz Warpechowski, nasceu em Porto Alegre, RS, em 17 de outubro de 1970.

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 completou o segundo Grau no Colégio Medianeira de Cerro Largo, RS, em 1988.

Em 1989 ingressou no Curso de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, obtendo o Grau de Zootecnista em janeiro de 1994.

Em março de 1994 iniciou o Curso de Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal - opção Nutrição, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.