

LARISSA MAIA MELO AMARAL

**Fontes de fibra na alimentação de poedeiras**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do grau de Doutora em Zootecnia

Área de concentração: Produção de não ruminantes  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo José Camargos Lara

Belo Horizonte

2018

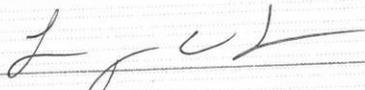
A485f Amaral, Larissa Maia Melo, 1984-  
Fontes de fibra na alimentação de poedeiras / Larissa Maia Melo Amaral. – 2018.  
88 p. : il.

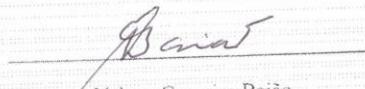
Orientador: Leonardo José Camargos Lara  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária.  
Inclui bibliografia

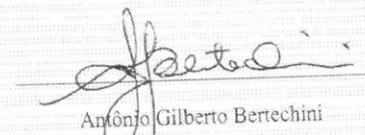
1. Ave poedeira – Alimentação e rações – Teses. 2. Fibras na nutrição animal – Teses.  
3. Dieta em veterinária – Teses. 4. Ovos – Qualidade – Teses. 5. Produção animal – Teses.  
I. Lara, Leonardo José Camargos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de  
Veterinária. III. Título.

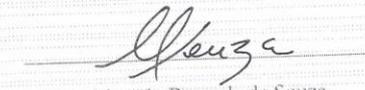
CDD – 636.508 5

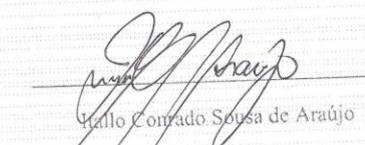
Tese defendida e aprovada em 29/06/2018, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

  
Leonardo José Camargos Lara

  
Nelson Carneiro Baiao

  
Antonio Gilberto Bertechini

  
Marcelo Resende de Souza

  
Paulo Comrado Sousa de Araujo

**Dedico este trabalho à minha filha, Ana Beatriz, por ser minha grande inspiração na vida e por todos os momentos que precisamos estar distantes para que este trabalho fosse concluído.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por colocar pessoas tão especiais no meu caminho.

Aos meus pais, por priorizarem minha educação, independente das dificuldades encontradas.

Ao Roberto, pelo carinho, compreensão e apoio incondicional.

Ao Alexander, pela eterna amizade.

Ao Prof. Leonardo, pelo excelente papel de orientador que desempenhou na minha vida profissional, pelas oportunidades que me concedeu e pela confiança.

Ao Prof. Baião, pela amizade, ensinamentos e incentivo.

Ao Prof. Bertechini, meu primeiro professor de avicultura.

Ao Prof. Benedito Lemos de Oliveira, que despertou em mim o gosto pela avicultura e não mediu esforços para que eu permanecesse nessa área.

Ao Prof. Marcelo, por exercer seu dom de ensinar em todos os momentos que precisei.

Aos Professores Jacques Robert Nicoli e Elisabeth Neumann e suas orientadas Karen, Gabriela, Ingrid e Mariana, pela imensa contribuição nas análises microbiológicas.

Ao Prof. Henrique Figueiredo, pela contribuição na identificação das bactérias isoladas.

À Profa. Fabíola Paes Leme, pelas análises de colesterol.

À Profa. Silvana de Vasconcelos Cançado, pela co-orientação e disponibilidade.

Aos amigos do GEAV, especialmente Hítalo, Jeniffer, Matheus, Mariana Maseo, Marcela, Mariana Pompeu, Renata, Anna Rosa, Bruno, Paula, Érica, Gabriela, Guilherme, Letícia, Flávia, Winnie e Diego. Obrigada pela colaboração e amizade!

Aos funcionários da Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa, especialmente Bira, Carol, Fabiana, Eliane, Rafael, Marciano e Carlos.

À Escola de Veterinária da UFMG pela estrutura e apoio.

Às aves que serviram de animais experimentais e geraram dados para este trabalho.

---

## SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	10
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	11
<b>2.1. Composição da fibra dietética e métodos analíticos.....</b>	11
<b>2.2. Solubilidade das fontes de fibra utilizadas nas dietas das aves.....</b>	13
<b>2.3. Efeitos da fibra sobre o comportamento e bem estar das aves.....</b>	17
<b>2.4. Fontes de fibra na alimentação de poedeiras e seus efeitos sobre o desempenho.</b>	19
2.4.1. Farelo de trigo.....	19
2.4.2. Grãos secos destilados com substâncias solúveis.....	21
2.4.3. Farelo de arroz.....	22
2.4.4. Casca de aveia.....	23
2.4.5. Casca de café.....	24
2.4.6. Casca de soja.....	25
2.4.7. Farelo de girassol.....	26
2.4.8. Farelo de algodão.....	26
2.4.9. Farelo de amendoim.....	27
2.4.10. Forragens.....	28
2.4.11. Polpa de beterraba.....	30
2.4.12. Maravalha.....	30
2.4.13. Concentrados de fibra insolúvel.....	31
<b>2.5. Efeitos da fibra sobre a qualidade dos ovos.....</b>	32
2.5.1. Fibra e a qualidade da casca.....	32
2.5.2. Fibra e o metabolismo do colesterol.....	34
<b>2.6. Características gerais da microbiota intestinal das aves.....</b>	35
<b>2.7. Produtos da fermentação e seus efeitos sobre a microbiota.....</b>	36
<b>2.8. Fibra dietética e o pH das várias partes do trato gastrintestinal.....</b>	39
<b>2.9. Fontes de fibra e a microbiota das várias partes do trato gastrintestinal.....</b>	40
<b>2.10. Interação entre as bactérias.....</b>	43
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	44
<b>3.1. Condições experimentais.....</b>	44
<b>3.2. Aves e manejo.....</b>	44
<b>3.3. Tratamentos.....</b>	45
<b>3.4. Dados obtidos.....</b>	47

3.4.1. Análises bromatológicas das fontes de fibra utilizadas nas dietas.....	47
3.4.2. Parâmetros de desempenho.....	47
3.4.3. Parâmetros de qualidade dos ovos.....	48
3.4.4. Avaliações do trato gastrintestinal.....	51
3.4.5. Avaliação da microbiota cecal.....	52
3.4.6. Delineamento experimental e análise estatística.....	54
<b>3.5. Comitê de Ética em Experimentação Animal.....</b>	<b>55</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1. Parâmetros de desempenho.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2. Parâmetros de qualidade dos ovos.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3. Avaliações do trato gastrintestinal.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4. Avaliação da microbiota cecal.....</b>	<b>65</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>

---

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Caracterização das principais fontes de fibra: fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, polissacarídeos não amiláceos totais (PNAt), solúveis (PNAs) e insolúveis (PNAi) e fibra dietética (FD = PNAt+lignina).....	32
Tabela 1 – Composição bromatológica das fontes de fibra.....	45
Tabela 2 – Composição e valores nutricionais calculados das dietas experimentais .....	46
Tabela 3 – Peso inicial (99 semanas) e final (110 semanas) das aves, consumo médio de ração (CMR), produção e peso dos ovos de acordo com os tratamentos .....	55
Tabela 4 – Conversão alimentar (CA) por peso do ovo e por dúzia de ovos, massa de ovos (MO), número de ovos por ave alojada (ovos/aa) e viabilidade de acordo com os tratamentos.....	57
Tabela 5 – Porcentagem de gema, casca e albúmen e unidades Haugh de acordo com os tratamentos.....	62
Tabela 6 – Peso específico (g/ml), resistência (g/cm <sup>2</sup> ) e espessura da casca (mm), índice de cor de gema e concentração de colesterol na gema (mg/g) de acordo com os tratamentos.....	63
Tabela 7 – Peso relativo da moela (g/kg), peso (g) e pH de seu conteúdo e peso relativo (g/kg) do proventrículo e do fígado de acordo com os tratamentos.....	64
Tabela 8 – Comprimento relativo do duodeno, jejuno, íleo, intestino delgado e ceco (cm/kg) de acordo com os tratamentos.....	65
Quadro 2 – Enumeração de micro-organismos (UFC/g) isolados de cecos de poedeiras de acordo com o tipo de fibra da dieta e condições de cultivo.....	66
Tabela 9 – Espécies de micro-organismos isolados de cecos de poedeiras (pool de cinco aves) em diferentes meios de cultura e condições de cultivo, segundo a inclusão de diferentes tipos de fibra.....	67

---

**LISTA DE FIGURAS**


---

Figura 1 – Equipamento utilizado para a análise do peso específico dos ovos.....	49
Figura 2 – Ocorrência de “arranque de penas” e mortalidade por canibalismo.....	59
Figura 3 – Viabilidade acumulada ao longo do período experimental de acordo com os tratamentos.....	60

---



---

**LISTA DE ABREVIATURAS**


---

AGCC	Ácidos graxos de cadeia curta
EMAn	Energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio
FB	Fibra bruta
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
g	Gramas
mg	Miligramas
Kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
PB	Proteína bruta
PNA	Polissacarídeos não amiláceos

---

## RESUMO

Foi conduzido um experimento com o objetivo de avaliar os efeitos das fontes de fibra sobre o desempenho de poedeiras velhas, a qualidade dos ovos, o trato gastrintestinal e a microbiota cecal. Foram utilizadas 648 poedeiras Lohmann<sup>®</sup> White, de 100 a 110 semanas de idade, distribuídas em delineamento inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos e seis repetições de 27 aves cada. Os tratamentos variaram em função da fonte de fibra da dieta. A dieta controle foi à base de milho e farelo de soja, sem inclusão de fonte de fibra adicional, os demais tratamentos foram obtidos pela inclusão de polpa de beterraba, de farelo de trigo ou de lignocelulose. A inclusão das fontes de fibra não afetou a produção e peso dos ovos. Entretanto, a inclusão de lignocelulose ou de farelo de trigo na dieta reduziu a mortalidade das aves. Não houve efeito das fontes de fibra sobre a qualidade externa e interna dos ovos, mas as dietas com inclusão de fonte de fibra reduziram o índice de cor de gema. A inclusão de polpa de beterraba na dieta aumentou o peso relativo da moela em comparação com os demais tratamentos e reduziu o número de Enterobacteriaceae nos cecos das galinhas em comparação com a inclusão de lignocelulose. Entretanto, todas as fontes de fibra se mostraram eficientes para suprimir o crescimento de bactérias potencialmente patogênicas da família Enterobacteriaceae nos cecos das aves. Concluiu-se que a inclusão de fonte de fibra na dieta para poedeiras velhas traz benefícios para o desempenho e microbiota cecal dessas aves.

**Palavras-chave:** poedeiras, fibra, lignocelulose, polpa de beterraba, farelo de trigo

## ABSTRACT

In this research, a trial was carried out to evaluate the effects of fiber inclusions on old laying hens performance, egg quality, gastrointestinal tract and the cecal microbiota. A total of 648 laying-hens Lohmann® White, from 100 to 110 weeks, were distributed into a completely randomized design with four treatments and six replicates of 27 birds each. The treatments varied according to the fiber sources. The control diet was composed of corn and soybean meal based, without fiber inclusions. In the other treatments, beet pulp, wheat bran or lignocellulose were fed to the hens. The fiber source inclusions did not affect either the egg production or the weight. However, the lignocellulose and wheat bran reduced the birds mortality. There was no fiber source effect on the external and internal egg quality, but the diets with fiber source reduced the yolk color index. The beet pulp inclusion increased the gizzard relative weight, compared to the other treatments, and reduced the Enterobacteriaceae number in the ceca, compared to the lignocellulose inclusion. However, all fiber sources proved to be efficient in suppressing the potentially growth of the pathogenic bacterial family Enterobacteriaceae. We concluded that the fiber source inclusion in the diet for old laying hens bring benefits to the performance and to the cecal microbiota.

Key-words: laying hens, fiber, lignocellulose, sugar beet pulp, wheat bran

## 1. INTRODUÇÃO

Os subprodutos da agricultura e da indústria alimentícia, como cascas de grãos e subprodutos da produção de óleos e sucos para consumo humano, representam as principais fontes de fibra dietética para alimentação animal. Os efeitos da inclusão desses subprodutos na dieta sobre o desempenho das aves têm sido estudados, visando à redução do custo de produção e à redução da competição entre a alimentação humana e animal (Makkar, 2016).

Durante muito tempo, a importância da fibra dietética para aves foi desconsiderada, sendo vista apenas como um componente que reduz a densidade da ração ou que traz prejuízos à digestibilidade dos nutrientes e ao desempenho das aves. Por outro lado, alguns resultados de pesquisa indicam que a ingestão de dietas ricas em fibra reduz a mortalidade das galinhas não debicadas (Hartini et al., 2002; Steinfeldt et al., 2007). Além disso, algumas empresas de genética consideram a importância da fibra na nutrição de poedeiras. ISA (2009), por exemplo, relata em seu guia de manejo para galinhas marrons que a presença de fibra insolúvel na dieta das aves é importante para manter boa condição da plumagem e reduzir a mortalidade. O manual da Dekalb (2009) considera necessário fornecer uma dieta com pelo menos 3% de fibra bruta na fase de desenvolvimento para garantir consumo de ração adequado no início da fase de produção. Pottguter (2008) publicou conteúdo similar sobre a fibra para poedeiras, em que considera que a fibra insolúvel também reduz a umidade da cama (aves livres de gaiola) ou o número de ovos sujos (poedeiras em gaiola), além das vantagens relacionadas pelas outras empresas.

Da mesma forma, resultados de pesquisa têm demonstrado que os efeitos da fibra na nutrição de poedeiras – especialmente com relação à digestibilidade dos nutrientes, desenvolvimento dos órgãos digestivos e umidade das excretas – estão intimamente relacionados com a solubilidade e granulometria da fonte de fibra. De modo geral, os efeitos negativos são atribuídos à viscosidade da digesta, característica normalmente associada aos polissacarídeos não amiláceos (PNA) solúveis e de cadeia longa (Annison e Choct, 1991). Por outro lado, os benefícios da fibra são atribuídos, em grande parte, ao maior desenvolvimento e atividade da moela, obtidos pela inclusão de fibra insolúvel e de maior granulometria.

Como a fibra dietética é um substrato importante para sustentar a atividade microbiana por meio da fermentação, a fonte e quantidade de fibra na dieta podem alterar a microbiota intestinal. Resultados de pesquisa têm demonstrado que a fibra dietética parece ser importante

para a manutenção da saúde intestinal em animais não ruminantes (Montagne et al., 2003) devido aos seus efeitos benéficos sobre a fisiologia digestiva e atividade microbiana (Mateos et al., 2012), podendo favorecer as populações microbianas gastrintestinais benéficas (Dunkley et al., 2007) e reduzir o crescimento de micro-organismos patogênicos e a incidência de distúrbios digestivos.

A fibra dietética tem sido estudada tendo como alvo principal o aproveitamento de ingredientes antes não utilizados bem como a possibilidade de inclusão de aditivos na dieta das aves, como enzimas ou concentrados de fibra insolúvel. Entretanto, apesar dos resultados de pesquisas sobre os efeitos de cada fração da fibra sobre a fisiologia digestiva estarem cada vez mais consistentes, ainda existem dúvidas sobre como essas frações da fibra podem afetar o desempenho das poedeiras, a qualidade dos ovos produzidos e a microbiota das aves. Como os ingredientes de origem vegetal constituem a base das rações para não ruminantes, a fibra é um componente da dieta desses animais, sendo necessário elucidar a real extensão em que este componente pode trazer benefícios ou prejuízos ao seu desempenho.

Portanto, o objetivo ao desenvolver o presente trabalho foi avaliar os efeitos da solubilidade da fibra sobre o desempenho de poedeiras velhas, a qualidade dos ovos, o trato gastrintestinal e a composição da microbiota cecal.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Composição da fibra dietética e métodos analíticos**

Os PNA e as ligninas são os principais componentes das paredes celulares dos vegetais e são normalmente designados como fibra dietética (FD) (Bach-Knudsen, 1997). Entretanto, outros compostos que também não são digeridos pelos animais (como amido resistente) e substâncias intimamente associadas à parede celular (ceras, saponinas, fitatos, cutina e fitosteróis) também estão inseridas nas frações determinadas como fibra. Embora a constituição química dos componentes da parede celular varie amplamente, eles podem ser

considerados a partir do mesmo ponto de vista nutricional, uma vez que não são digeridos pelas enzimas digestivas das aves e mamíferos.

As paredes celulares das plantas consistem em uma série de polissacarídeos frequentemente associados e/ou substituídos por proteínas e compostos fenólicos em algumas células, juntamente com o polímero fenólico de lignina. Os principais PNA da parede celular são celulose, arabinoxilanos,  $\beta$ -glucanos, xiloglucanos, xilanos, ramnogalacturonanos e arabinogalactanos, dentre outros (Smits e Annison, 1996). As ligninas podem ser descritas como polímeros aromáticos de ésteres fenólicos, construídas por unidades de fenilpropanoídes (Iiyama et al., 1994). Dessa forma, como a maioria dos PNA faz parte da parede celular, geralmente estão intimamente associados a outros polissacarídeos ou outros compostos, como proteínas e lignina (Smits e Annison, 1996). Essas associações devem ser consideradas, pois é provável que elas influenciem a maneira como os PNA se comportam quando são ingeridos.

Fazendo uma analogia com a construção civil, os blocos para a construção da parede celular são as pentoses, arabinose e xilose; as hexoses glicose, galactose e manose; as 6-desoxihexoses ramnose e fucose; e os ácidos urônicos, glicurônico e galacturônico. As ligninas, por sua vez, estão parcialmente ligadas aos PNA e exercem a função do cimento na construção da parede celular, conferindo solidez e resistência, a fim de evitar a degradação bioquímica e danos físicos à parede celular (Bach Knudsen, 1997).

Diante da diversidade de compostos químicos incluídos na fração conhecida como fibra dietética, fica clara a dificuldade de mensuração desse componente na dieta. O antigo método da fibra bruta (FB), apesar de suas grandes limitações, ainda é utilizado para caracterizar a fração fibrosa em dietas para não ruminantes. Como esse método ignora as frações de lignina e hemiceluloses, apenas uma pequena e variável parcela da fibra dietética é mensurada (Bach Knudsen, 1997), podendo gerar interpretações equivocadas.

O método da fibra em detergente neutro (FDN), desenvolvido por Van Soest e Wine (1967), tem sido muito utilizado para representar a fração fibrosa de dietas para não ruminantes. Entretanto, esse método também apresenta suas limitações, pois, tanto os PNA solúveis em água, como as substâncias pécticas insolúveis, são perdidos durante o procedimento analítico (Bailey e Ulyatt, 1970). Além disso, resíduos de amido e proteína podem estar contidos na fração determinada como FDN. Dessa forma, Van Soest et al. (1991) sugerem a adição de  $\alpha$ -amilase e sulfito de sódio para evitar essa contaminação com amido e proteína, respectivamente.

Além das limitações mencionadas sobre o método da fibra bruta e da FDN, essas análises não consideram as propriedades físico-químicas da fibra, portanto, não são

apropriadas para prever e elucidar os efeitos da fibra dietética sobre a fisiologia do trato gastrointestinal, digestibilidade dos nutrientes, microbiota intestinal e desempenho das aves (Smits e Annison, 1996). Outros métodos mais precisos, que utilizam cromatografia gás-líquida, são capazes de determinar o total de PNA e suas frações: solúvel e insolúvel, além da fração de “amido resistente” (Englyst et al., 1982). Apesar de caros e laboriosos, esses métodos têm sido cada vez mais utilizados, favorecendo a caracterização da fibra dietética. Dessa forma, com os resultados do total de PNA em determinado alimento, em conjunto com seu teor de lignina, a fibra dietética desse alimento está praticamente caracterizada por completo.

## **2.2. Solubilidade das fontes de fibra utilizadas nas dietas das aves**

Os polissacarídeos, devido ao seu grande tamanho e estrutura, abrangem uma ampla variedade de propriedades físico-químicas. Dentre essas características, a solubilidade é uma das principais, pois explica em grande parte os diferentes efeitos da fibra sobre o sistema digestivo das aves. Certamente, as variações entre as estruturas químicas dos diferentes PNA implicam em propriedades físicas distintas. Entretanto, a solubilidade dos PNA é determinada não apenas pela estrutura química primária, mas também pela forma como estão ligados a outros componentes da parede celular (Smits e Annison, 1996). Além disso, a solubilização que ocorre *in vivo* depende de um conjunto de fatores, que podem estar relacionados ao hospedeiro (química e mecânica), à microbiota e à dieta (como granulometria e uso de enzimas). Portanto, a solubilidade *in vitro* deve ser considerada apenas uma estimativa da solubilização que ocorre *in vivo* (Classen, 2014).

Os principais problemas associados aos PNA para aves são a viscosidade e a capacidade de retenção de água. O aumento da viscosidade da digesta se deve a  $\beta$ -glucanos, pentosanas e pectinas solúveis que, mesmo em pequenas quantidades, aumentam acentuadamente a viscosidade intestinal (Annison e Choct, 1991). A maior viscosidade prejudica a difusão de enzimas e sais biliares na digesta dificultando a interação com seus substratos no intestino delgado e o transporte de nutrientes para o epitélio intestinal (Smits e Annison, 1996).

Entretanto, os efeitos negativos dos PNA solúveis sobre a fisiologia digestiva nem sempre são capazes de afetar o desempenho produtivo das poedeiras, de modo que aves adultas parecem ser menos sensíveis ao aumento da viscosidade. Lázaro et al. (2003) compararam uma dieta à base de milho com dietas à base de trigo, cevada ou centeio (ingredientes ricos em fibras solúveis). Os autores não observaram efeito sobre o desempenho

produtivo de poedeiras (20 a 44 semanas de idade), mas as aves que receberam as dietas com inclusão de cereais com maior teor de fibra solúvel apresentaram maior ganho de peso do que as aves que receberam a dieta à base de milho. Estudo semelhante foi realizado por Pérez-Bonilla et al. (2011) que avaliaram uma dieta à base de milho e outras duas dietas com inclusão de 45% de trigo ou cevada, o que resultou em dietas com teores de FDN de aproximadamente 8,5% (milho), 13,3% (milho + trigo) e 18,0% (milho + cevada). Os autores trabalharam com Lohmann Brown<sup>®</sup> de 22 a 54 semanas de idade e também não observaram efeito sobre a produção, peso e massa dos ovos, consumo de ração, conversão alimentar, mortalidade das aves e qualidade da casca. Entretanto, a dieta com inclusão de 45% de cevada reduziu o ganho de peso das aves.

Por outro lado, polissacarídeos insolúveis, como celulose e xilanos, podem reter água, mas apresentam viscosidades relativamente baixas (Smits e Annison, 1996). Dessa forma, os PNA insolúveis não apresentariam os efeitos antinutricionais relacionados anteriormente. Ao contrário, verificou-se que dietas suplementadas com ingredientes ricos em fibras insolúveis podem aumentar o peso relativo da moela (Hetland e Svihus, 2007, Amaral, 2014) e a secreção de HCl, ácidos biliares e enzimas digestivas (Hetland et al., 2003; Svihus, 2011), o que pode melhorar a digestibilidade dos nutrientes (Hetland et al., 2003; Hetland et al., 2004; González-Alvarado et al., 2007) e a saúde intestinal (Montagne et al., 2003). Além disso, há indícios de que tais dietas possam reduzir o canibalismo (Bears et al., 1940; Hartini et al., 2002; van Krimpen et al., 2009), uma importante causa de mortalidade das poedeiras. Da mesma forma como ocorre com os PNA solúveis, apesar de tantos benefícios para a fisiologia das aves, nenhum desses trabalhos encontrou diferença significativa sobre a produção, peso ou massa de ovos.

Steenfeldt et al. (2007) avaliaram o fornecimento de fontes de fibra solúvel (cenoura) e insolúveis (silagens de milho ou cevada) de modo complementar (*on top*) à ração para galinhas ISA Brown<sup>®</sup> de 20 a 54 semanas de idade. As aves foram divididas em quatro grupos, sendo que as aves do grupo controle receberam somente ração peletizada, enquanto os outros três grupos receberam a ração mais alguma fonte de fibra. Os autores também não observaram efeito das fontes de fibra sobre a produção, peso e massa de ovos em comparação com a ração peletizada. Entretanto, as aves que receberam cenoura ou silagem de milho apresentaram maior produção e massa de ovos em comparação com as aves que receberam a silagem de cevada. Os autores observaram ainda que a inclusão de qualquer uma das fontes de fibra na dieta reduziu acentuadamente a mortalidade das aves (15,3% vs. 1,5%). Nesse

trabalho, as aves não foram debicadas e aproximadamente 50,0% da mortalidade ocorreu em decorrência de canibalismo.

Os efeitos da fibra dietética de acordo com sua solubilidade sobre a velocidade de passagem da digesta são contraditórios e parecem variar de acordo com o tamanho da partícula da digesta e região do trato gastrointestinal. De acordo com Smiths e Annison (1996), a fibra insolúvel teria o efeito de acelerar a passagem da digesta devido ao aumento do volume ocupado pela mesma no intestino da ave. Resultados obtidos por Hetland e Svihus (2001) demonstraram tendência de aumento da velocidade de passagem das partículas finas pelo trato gastrointestinal quando fibras grosseiras foram adicionadas à dieta das aves. Por outro lado, o fato da fibra insolúvel e grosseira se acumular na moela resulta em menor velocidade de passagem da fração fibrosa em relação a outros componentes da dieta (Hetland et al., 2004). Steinfeldt et al. (2007) observaram aumento do peso relativo da moela e também do peso do conteúdo da moela e do duodeno. Os autores sugeriram maior tempo de permanência da digesta, ao menos nessas regiões “superiores” do trato digestivo. Dessa forma, é necessário cautela em tirar conclusões gerais sobre o efeito da fibra insolúvel no tempo de passagem da digesta.

A fibra solúvel parece reduzir a velocidade de passagem da digesta apenas em aves jovens, não sendo prejudicial para aves mais velhas. Salih et al. (1991) avaliaram a suplementação de  $\beta$ -glucanase em dietas contendo cevada descascada (alta viscosidade) para frangos de corte (zero a oito semanas de idade) ou galos Leghorn (zero a 16 semanas). Os pintos de ambas as linhagens alimentados com a dieta à base de cevada sem suplementação de  $\beta$ -glucanase apresentaram pior ganho de peso e conversão alimentar, maior viscosidade da digesta, menor velocidade de passagem de alimento e menor digestibilidade de gordura em comparação com os que receberam a dieta com suplementação enzimática. Entretanto, nos galos Leghorn, esses efeitos foram restritos às primeiras quatro semanas de vida, com exceção da maior viscosidade da digesta, que permaneceu durante todo o período avaliado (16 semanas). Almirall e Esteve-Garcia (1994) também avaliaram o efeito da adição de  $\beta$ -glucanase em dietas à base de cevada para frangos de corte (três semanas de idade) e para galos Leghorn (52 semanas). Os autores verificaram que o tempo necessário para a excreção de 50% do óxido de cromo reduziu de 8,9 para 5,5 horas com a adição de  $\beta$ -glucanase na dieta dos frangos de corte. Por outro lado, nos galos, o tempo de excreção do óxido de cromo aumentou de 3,4 para 4,8 horas. Como os  $\beta$ -glucanos são considerados PNA solúveis que aumentam a viscosidade da digesta (Annison e Choct, 1991), os resultados desses trabalhos indicam que aves mais velhas teriam um trato gastrointestinal suficientemente desenvolvido

para superar os efeitos negativos da maior viscosidade da digesta, conseguindo evitar interferências sobre a velocidade de passagem e digestibilidade dos nutrientes. Dessa forma, o conceito de que PNA solúveis reduzem a velocidade de passagem da digesta não seria aplicado a aves adultas, como poedeiras.

A solubilidade da fibra também influencia a suscetibilidade à fermentação da mesma e, conseqüentemente, pode afetar a microbiota cecal. Existe um consenso geral de que grande parte dos PNA dietéticos deixa o intestino delgado quase intacta, sendo fermentada no intestino grosso (cecos e cólon) pela microbiota comensal (Montagne et al., 2003). Entretanto, a suscetibilidade à fermentação da fibra dietética e a composição da microbiota (especialmente cecal) estão intimamente relacionadas entre si, sendo que a alteração em um deles, afeta o outro e ambos são influenciados por diversos fatores, incluindo a fonte de fibra, solubilidade, viscosidade, grau de lignificação, nível de inclusão na dieta, tempo de trânsito intestinal, além da idade e aptidão genética da ave (Barnes et al., 1972; Langhout e Schutte, 1996; Montagne et al., 2003; Mateos et al., 2012; Walugembe et al., 2014).

De modo geral, a fibra solúvel é fermentada de modo mais fácil, rápido e completo em comparação com a fibra insolúvel (Bach Knudsen e Hansen, 1991). Além disso, em aves, o acesso ao ceco é restrito a fluidos e partículas bem pequenas (<0,2 mm), de modo que as substâncias que entram nos cecos são partículas finamente moídas e/ou moléculas solúveis, de baixo peso molecular e que não sejam altamente viscosas (Józefiak et al., 2004, Svihus et al., 2013; Sergeant et al., 2014). Dessa forma, ainda que frações de fibra insolúvel de baixo peso molecular possam entrar nos cecos, o acesso a essas câmaras de fermentação é favorecido pela solubilização das partículas. Entretanto, além da solubilidade, o emaranhamento físico de polissacarídeos na matriz da parede celular, o tempo disponível para a fermentação e a ausência de atividades enzimáticas adequadas, determinadas pela colonização microbiana do trato gastrintestinal, são fatores que podem interferir na degradação de PNA pelas aves (De Vries, 2015).

Resultados de digestibilidade obtidos por Steinfeldt et al. (2007) indicam que as poedeiras são capazes de digerir uma parte do total PNA da dieta. Além disso, os autores observaram que a parte solúvel dos PNA foi melhor digerida em relação à fração insolúvel. Acredita-se que a maior parte dos PNA solúveis é fermentada durante a passagem através do trato gastrintestinal, especialmente nos cecos, e pode contribuir como suplemento em energia pela produção de ácidos graxos de cadeia curta. Em experimento com frangos de corte, Jørgensen et al. (1996) concluíram que a fermentação de PNA contribuiu com cerca de 3 a 4% do consumo de energia metabolizável.

Partindo do pressuposto de que a fibra insolúvel não seria degradada pela fermentação bacteriana em aves, sua influência sobre a microbiota intestinal seria reduzida (Hetland et al., 2004). Entretanto, as mudanças nas taxas de passagem da dieta podem alterar a degradação microbiana da fibra e os nutrientes limitantes e, portanto, afetar a composição da microbiota do trato gastrintestinal das aves (Dunkley et al., 2009).

### **2.3. Efeitos da fibra sobre o comportamento e bem-estar das aves**

A bicagem de penas e o canibalismo são comportamentos frequentemente observados em lotes de poedeiras comerciais e que comprometem o bem-estar das aves. Esses comportamentos parecem ter origem multifatorial, incluindo fatores genéticos (Harlander-Matauschek e Hausler, 2009; Kalmendal e Bessei, 2012), fatores estressantes (El-Lethey et al., 2000) e características da dieta, como forma física (Aerni et al., 2000; El-Lethey et al., 2000) e teor de fibra (Hetland et al., 2005; Harlander-Matauschek et al., 2006).

Alguns trabalhos demonstraram que fibras insolúveis reduzem o comportamento de bicagem de penas entre as galinhas, especialmente quando essas aves são alimentadas com rações peletizadas (Aerni et al., 2000; El-Lethey et al., 2000). Aerni et al. (2000) verificaram que galinhas alimentadas com dieta farelada gastaram mais tempo se alimentando e tiveram que bicar a ração mais vezes em comparação com as que receberam a ração peletizada. Dessa forma, essa necessidade de bicar, no caso das aves alimentadas com rações peletizadas, poderia ser redirecionada para o arranque de penas (Harlander-Matauschek et al., 2006). El-Lethey et al. (2000), trabalhando com poedeiras Lohman LSL<sup>®</sup> de 19 a 30 semanas de idade, também observaram maior ocorrência de bicagem de penas entre as aves que não receberam palha como fonte de fibra insolúvel e foram alimentadas com ração peletizada. Os autores observaram que as aves que receberam esse tratamento também demonstraram maiores indicativos de estresse, como duração da imobilidade tônica e relação heterofilos-linfócitos. Dessa forma, concluíram que a ocorrência de bicagem de penas também pode estar relacionada a certo limiar de estresse manifestado pelas aves.

A bicagem de penas é um comportamento das aves que pode levar à mortalidade por canibalismo. Normalmente, as penas arrancadas são ingeridas pelas aves (Harlander-Matauschek e Hausler, 2009). Harlander-Matauschek et al. (2006) observaram que a ingestão de penas aumenta a velocidade de passagem da dieta, demonstrando efeitos semelhantes à ingestão de fibras insolúveis. De fato, Hetland et al. (2005) demonstraram que as poedeiras ingerem penas para compensar a falta de componentes estruturais na dieta. Resultados obtidos por Hetland e Svihus (2001) indicaram que as fibras insolúveis e de granulometria grosseira

aumentam a atividade de moagem da moela. Sabe-se que os movimentos peristálticos ao longo do intestino são afetados pela atividade da moela (Duke, 1992). Dessa forma, de acordo com Harlander-Matauschek et al. (2006), esse efeito sobre a fisiologia digestiva pode ser um fator crucial no desenvolvimento da bicagem de penas e canibalismo em poedeiras.

Harlander-Matauschek e Hausler (2009) e Kalmendal e Bessei (2012) avaliaram o comportamento alimentar de poedeiras selecionadas para exibirem alto comportamento de bicagem de penas (ABP) e baixa bicagem de penas (BBP). As aves utilizadas em ambos os estudos originaram-se de um experimento de seleção (Kjaer et al., 2001), no qual as aves foram selecionadas de forma divergente para o comportamento de bicagem de penas por seis gerações. Os progenitores das aves avaliadas nos experimentos foram obtidos a partir destas linhas de seleção e identificados com base no seu genótipo e fenótipo como aves ABP e BBP. Harlander-Matauschek et al. (2009) forneceram ração peletizada, penas soltas e penas fixas e observaram que as aves ABP consumiram livremente maior quantidade de penas. Kalmendal e Bessei (2012), por sua vez, avaliaram o consumo voluntário de uma dieta controle (à base de trigo e farelo de soja) e de uma dieta suplementada com 8% de casca de espelta (trigo vermelho) por essas galinhas selecionadas com relação ao comportamento de bicagem de penas. Os autores verificaram que poedeiras propensas à bicagem de penas preferiram a dieta com maior teor de fibra, além de arrancarem mais penas de um modelo inanimado e apresentarem condição de plumagem inferior, maior peso corporal e maior consumo de ração em comparação com as aves pouco propensas à bicagem de penas. Esses experimentos demonstraram que há um efeito genético sobre o desenvolvimento da bicagem de penas em poedeiras.

Hartini et al. (2002) observaram que o uso de dietas ricas em fibra solúvel (cevada, 5,7% de FB) ou insolúvel (millrun, 4,3% de FB) reduziu a mortalidade por canibalismo em aves não debicadas em comparação com aves alimentadas com ração comercial (trigo, 2,9% de FB). Considerando a dificuldade de interromper um surto de canibalismo já instalado em um lote de poedeiras, os autores trocaram a dieta mais preventiva (dieta rica em fibras insolúveis) pela menos preventiva (dieta comercial) para verificar se os padrões de mortalidade por canibalismo mudariam com a dieta. De acordo com os autores, uma semana depois de fornecer a dieta rica em fibras insolúveis, a mortalidade devido ao canibalismo reduziu nas aves que estavam recebendo a dieta comercial anteriormente. Por outro lado, as aves que mudaram da dieta rica em fibra insolúvel para a dieta comercial começaram a apresentar alta incidência de canibalismo.

## 2.4. Fontes de fibra na alimentação de poedeiras e seus efeitos sobre o desempenho

Nos procedimentos de moagem dos cereais para nutrição humana, normalmente sobram o farelo e a casca, que podem ser utilizados na alimentação animal. Neles há menor concentração de amido e maior concentração de fibra, principalmente insolúvel (Bach Knudsen, 1997). Por outro lado, subprodutos de tubérculos e frutas, como polpa de beterraba e polpa cítrica, são ingredientes ricos em fibra solúvel (Pietsch, 2017). Entretanto, as fontes de fibra tradicionalmente utilizadas na alimentação de não ruminantes contém uma mistura de PNA solúveis e insolúveis, sendo esses últimos predominantes (Rostagno et al., 2017). Em virtude da maioria das fontes de fibra ser subprodutos da indústria de alimentos, normalmente são utilizadas aquelas mais disponíveis em cada região e não as mais apropriadas para as aves (Pietsch, 2017). O teor e caracterização da fibra dietética das fontes que serão abordadas nessa revisão estão expostos no Quadro 1. Como a maior parte dos efeitos da fibra sobre o desempenho das poedeiras está relacionada com a fonte de fibra utilizada e seu nível de inclusão, esses efeitos serão discutidos individualmente para cada fonte de fibra.

### 2.4.1. Farelo de trigo

O farelo de trigo é formado por tecidos externos do grão de trigo, incluindo a camada do aleurona com um pouco de endosperma aderido, pois o grão de trigo apresenta um vinco que se estende ao longo de todo o comprimento do grão e dificulta a separação do endosperma amiláceo dos outros tecidos durante o processamento para a produção da farinha destinada ao consumo humano (Bergmans et al., 1996; Evers e Millar, 2002). O farelo de trigo é a fonte de fibra tradicional e contém em torno de 30,8% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (3%) e insolúveis (24,0%), além da lignina (3,8%). Considerando os outros métodos convencionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, o farelo de trigo contém em torno de 39,8% de FDN e 9,07% de FB (Feedipedia, 2017; Rostagno et al., 2017). De acordo com Rostagno et al. (2011), adição do farelo de trigo na dieta de aves é limitada pela exigência de energia destes animais.

Araujo et al. (2008<sup>a</sup>) utilizaram quatro níveis de farelo de trigo (0,0; 10,0; 20,0 e 30,0%) na dieta para Lohmann Brown<sup>®</sup> em fase de recria (7 a 19 semanas de idade), o que resultou em dietas com 2,53; 3,14; 3,78 e 4,42% de FB. Os autores verificaram que o aumento da inclusão do farelo de trigo provocou redução na taxa de crescimento das frangas e atraso no início de postura, o que promoveu aumento no peso inicial dos ovos e menor produção de ovos durante os primeiros 56 dias da fase de produção.

Em outro trabalho realizado por Araujo et al. (2008b), foram avaliadas quatro inclusões de farelo de trigo (0, 3, 6 e 9%) na dieta para poedeiras marrons em fase de produção, obtendo dietas com 2,55; 2,73; 2,91 e 3,09% de FB. Os autores concluíram que a inclusão de até 9% de farelo de trigo na dieta não afeta o consumo de ração, o peso vivo final, a produção, o peso e a massa dos ovos e a conversão por massa e por dúzia de ovos.

Braz et al. (2011) utilizaram níveis crescentes (14,5%, 16,5% e 18,5%) de FDN obtidos por meio da inclusão de farelo de trigo nas dietas para frangas (7 a 17 semanas de idade) e verificaram que o aumento do nível de FDN reduziu o ganho de peso e o peso final das aves, piorando a conversão alimentar. Os autores associaram os efeitos prejudiciais do aumento do nível de FDN da dieta às características da fração fibrosa do farelo de trigo. Entretanto, as dietas utilizadas na fase de recria não tiveram efeito residual sobre o desempenho das aves (18 a 35 semanas de idade) nem sobre a qualidade dos ovos.

Amaral (2014), trabalhando com frangas Hy-Line W36<sup>®</sup> em fase de recria (12 a 17 semanas de idade), avaliou a redução do teor de energia e aumento do teor de fibra na dieta por meio da inclusão do farelo de trigo (10,5 ou 21,5%), sendo que as dietas apresentaram 2.910 kcal/kg e 16,7% de FDN ou 2.775 kcal/kg e 18,3% de FDN, respectivamente. Verificou-se que a dieta com maior inclusão de farelo de trigo piorou o ganho de peso e a conversão alimentar das aves, mas aumentou o peso relativo da moela e o consumo de ração, não somente durante a fase de recria, mas também nas duas primeiras semanas da fase de produção. Além disso, as dietas utilizadas na fase de recria não afetaram a maturidade sexual nem o desempenho produtivo das aves durante a fase de produção (18 a 30 semanas). Neste trabalho também foi avaliada a inclusão de 7,5% de farelo de trigo na dieta da fase de postura (13,3% de FDN). Observou-se que a produção e o peso dos ovos não foram afetados pela inclusão de farelo de trigo, mas o índice de cor de gema foi menor em comparação com as aves que receberam a dieta à base de milho e farelo de soja (10,3% de FDN). Sousa (2017) também observou que a inclusão de 7,8% de farelo de trigo na dieta reduziu o índice de cor de gema em comparação com dietas com a inclusão de casca de soja ou casca de café, sendo importante considerar o teor de xantofilas na dieta ao incluir o farelo de trigo na alimentação de poedeiras.

De modo geral, inclusões de farelo de trigo maiores que 10% da dieta para frangas em fase de recria podem reduzir o ganho de peso das aves, mas o futuro desempenho produtivo das poedeiras pode não ser afetado pela inclusão de até 20% de farelo de trigo na dieta. Considerando a fase de produção, o farelo de trigo pode ser incluído em até 9% da dieta desde que sejam considerados os aspectos comerciais com relação à coloração da gema.

#### 2.4.2. Grãos secos destilados com substâncias solúveis (DDGS)

DDGS é um subproduto da indústria do etanol, produzido no processo de fermentação do amido dos grãos de cereais. O DDGS pode ser definido como o produto obtido após a remoção de álcool etílico e secagem do material fermentado usando métodos empregados na indústria de destilação de grãos. Dessa forma, a composição nutricional do DDGS varia amplamente em função dos grãos utilizados para a fermentação (sendo milho o mais comum) e das condições de processamento (Belyea et al., 2004). De modo geral, o DDGS é considerado como fonte de energia e proteína para aves, apresentando em torno de 29,5% de proteína bruta, 11,1% de gordura e 2.559 kcal de EMA/kg (Feedipedia, 2017).

Além disso, o DDGS fornece em torno de 34 mg de xantofilas /kg (Sauvant e Tran, 2004), sendo este valor três vezes superior à concentração de xantofilas no milho (10,62 mg/kg; NRC, 1994) devido à remoção do amido pelo processo de fermentação. Entretanto, o conteúdo de xantofilas do DDGS pode ser bastante variável devido à destruição desse carotenoide pelo calor durante o processo de secagem. Roberson et al. (2005) analisaram duas amostras de DDGS e observaram 30 ppm de xantofilas em uma das amostras, mas apenas 3 ppm em outra amostra de cor mais escura, considerada como danificada pelo calor. Portanto, os efeitos do DDGS sobre a intensidade da coloração da gema são bastante variáveis.

Os processos de secagem e fermentação também são responsáveis pela destruição do fitato, fazendo com que aproximadamente 54% do fósforo presente no DDGS se encontre na forma disponível para não ruminantes, enquanto o fósforo presente no milho é somente 33% disponível (NRC, 1994). Dessa forma, a inclusão de DDGS na dieta pode reduzir a inclusão de fontes de fósforo, contribuindo ainda mais para redução do custo da dieta e do impacto ambiental (Deniz et al., 2013b).

Swiatkiewicz e Koreleski (2006) avaliaram os efeitos da inclusão de DDGS (0,0; 10,0; 15,0 e 20,0%) em dietas isocalóricas e isonitrogênicas para poedeiras Lohamn Brown<sup>®</sup> de 26 a 68 semanas de idade. Os autores não observaram efeito da inclusão de DDGS sobre o desempenho das aves e qualidade dos ovos durante o pico de produção (26 a 43 semanas). Entretanto, no período de 44 a 68 semanas, a inclusão de 20% de DDGS na dieta reduziu a produção e massa de ovos. De acordo com os resultados obtidos pelos mesmos autores em outro trabalho (Swiatkiewicz e Koreleski, 2007), a inclusão de 20% de DDGS na dieta reduz a digestibilidade do extrato etéreo e o teor de EMAn da dieta, possivelmente devido aos efeitos negativos da fibra solúvel. Entretanto, a inclusão de 0, 5, 10, ou 15% de DDGS na dieta não afeta a digestibilidade dos nutrientes. A amostra de DDGS utilizada nesse estudo continha em

torno de 27,0% de PNA total (3,5% solúvel e 23,5% insolúvel), 21,5% de arabinosilanos e 0,32% de  $\beta$ -glucanos.

Outros autores confirmaram que o DDGS pode ser incluído em até 15% da dieta para poedeiras sem qualquer efeito adverso sobre o desempenho das aves (Roberson et al., 2005; Roberts et al., 2007; Koksal et al., 2012; Deniz et al., 2013<sup>a</sup>; Deniz et al., 2013b). Deniz et al. (2013b) também observaram que a inclusão de 20% de DDGS na dieta (3,9% de FB) reduziu o consumo de ração e, conseqüentemente, a produção, peso e massa de ovos, piorando a conversão alimentar. Por outro lado, verificaram aumento do índice de cor de gema e da retenção de fósforo pelas aves que consumiram a dieta com 20% de DDGS.

Contradizendo os resultados obtidos por Swiatkiewicz e Koreleski (2006) e Deniz et al. (2013b), Masa'deh et al. (2011) concluíram que a inclusão de até 25% de DDGS na dieta não apresentou efeitos negativos sobre a qualidade da casca e o desempenho de poedeiras de 24 a 76 semanas de idade. Além disso, os autores observaram efeito linear positivo do aumento da inclusão de DDGS na dieta sobre a coloração da gema e a retenção de nitrogênio e fósforo, reduzindo os custos com dieta e a poluição ambiental. Dessa forma, os autores concluíram que altas taxas de inclusão de DDGS podem ser usadas para poedeiras desde que sejam mantidos o equilíbrio e a disponibilidade dos aminoácidos.

Swiatkiewicz et al. (2013) também observaram que a inclusão de 20% de DDGS na dieta não teve efeito sobre o desempenho produtivo e a qualidade da casca. Entretanto, com relação à qualidade interna dos ovos, a inclusão de 20% DDGS na dieta aumentou o índice de cor de gema, mas afetou negativamente o conteúdo de ácidos graxos na gema, pois aumentou o teor de colesterol e a relação PUFA n-6/PUFA n-3.

É provável que as diferenças entre as respostas produtivas de poedeiras alimentadas com DDGS estejam relacionadas com a grande variação na composição nutricional desse ingrediente. Dessa forma, a realização de análises bromatológicas do DDGS pode auxiliar na obtenção de bons resultados produtivos quando utilizado em dietas para poedeiras.

#### 2.4.3. Farelo de arroz

O farelo de arroz integral é relativamente rico em energia (2.583 kcal/kg) e proteína (13,3%), sendo um alimento alternativo para a alimentação de aves que contém em torno de 19,7% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (1,6%) e insolúveis (14,2%), além da lignina (3,9%). Considerando os outros métodos utilizados para a determinação da fração fibrosa, o farelo de arroz contém em torno de 22,5% de FDN e 7,7% de FB (Sauvant e Tran, 2004; Rostagno et al., 2017). Há ainda, o farelo de arroz desengordurado, obtido por meio da

extração do extrato etéreo (14,2% no integral para 1,6% no desengordurado), conseqüentemente, a fração fibrosa desse ingrediente passa a ser mais concentrada (24,7% de FDN) e o risco de rancificação durante o armazenamento é reduzido (Rostagno et al., 2017). Rostagno et al. (2017) recomendam a inclusão de no máximo 12% de farelo de arroz em dietas para poedeiras.

Filardi et al. (2007), trabalhando com poedeiras Lohmann LSL<sup>®</sup> de 26 a 46 semanas de idade, avaliaram a inclusão de 0, 5, 10 ou 15% farelo de arroz na dieta para, o que resultou em dietas com 2,12; 2,56; 2,97 e 3,38% de FB, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, a inclusão de até 15% de farelo de arroz na dieta não afetou o consumo de ração, a produção e o peso dos ovos, nem a qualidade da casca. Por outro lado, Samli et al. (2006) também estudaram os efeitos da inclusão de 0, 5, 10 e 15% de farelo de arroz em dietas (3,1; 3,5; 3,9 e 4,3% de FB) para poedeiras de 22 a 32 semanas de idade e verificaram redução do consumo de ração e da produção de ovos pelas aves que receberam a dieta com 15% de farelo de arroz. Dessa forma, os autores concluíram que o farelo de arroz pode ser incluído somente até 10% da dieta sem causar efeito adverso no desempenho produtivo e na qualidade dos ovos.

Mohebbifar et al. (2015), trabalhando com Lohmann LSL<sup>®</sup> de 32 a 42 semanas de idade, avaliaram inclusões de diferentes níveis de farelo de arroz na dieta (0; 7,5 e 15%), o que resultou em 8,1; 9,4 e 10,8% de FDN, respectivamente. Os autores verificaram que a inclusão de 15% de farelo de arroz reduziu a produção de ovos, piorou a conversão alimentar e reduziu o peso e a espessura da casca do ovo. Saki et al. (2017) também observaram redução da produção de ovos com a inclusão de 15% de farelo de arroz na dieta para poedeiras Hy-Line W36 de 23 a 35 semanas de idade.

#### 2.4.4. Casca de aveia

A casca de aveia contém em torno de 65,3% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (1,4%) e insolúveis (49,1%), além da lignina (14,8%). Considerando os outros métodos utilizados para a determinação da fração fibrosa, a casca de aveia contém em torno de 75,8% de FDN e 30,6% de FB (Bach Knudsen, 1997; Feedipedia, 2017). Dessa forma, a casca de aveia é considerada uma excelente fonte de fibra insolúvel, entretanto, poucos trabalhos avaliaram seu uso na dieta para poedeiras. Van Krimpen et al. (2009) avaliaram os efeitos da inclusão de 10% de casca de aveia em uma dieta convencional (2.830 kcal/kg) e em dietas que tiveram seus nutrientes diluídos em 10, 15 e 20% por meio da inclusão de areia. Nesse trabalho, os níveis de PNA insolúveis na dieta variaram entre 7,2 (padrão) até 11,5%

(alto), determinados pela inclusão ou não de casca de aveia. Os autores não observaram efeito das dietas sobre o desempenho das aves, porém, o alto teor de PNA insolúveis resultou em aumento do peso relativo da moela e redução de danos nas penas.

#### 2.4.5. Casca de café

A casca de café contém em torno de 55,1% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (9,8%) e insolúveis (29,0%), além da lignina (16,3%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, a casca de café contém em torno de 61,8% de FDN e 36,0% de FB (Feedipedia, 2017; Sousa, 2017). Em trabalho realizado por Sousa (2017), os resultados da composição química da casca de café indicaram teor de matéria seca em torno de 88,19%; 9,79% de proteína bruta, 0,21% de lisina, 0,16% treonina, 0,11% cistina, 0,05% de cafeína. Dessa forma, a casca de café é um subproduto da agricultura com potencial para utilização na alimentação de monogástricos. Entretanto, apenas um trabalho foi realizado utilizando casca de café na dieta para poedeiras.

Um ponto que deve ser observado ao utilizar a casca de café é a concentração de cafeína. Ainda não está claro se a cafeína interfere no metabolismo do cálcio e outros minerais, nem a extensão em que essa interação poderia ocorrer, especialmente em aves. Chen e Whitford (1998) relataram que o consumo de cafeína não influenciou a absorção de cálcio, mas, quando consumida em altas doses (100 mg/kg/dia), a cafeína aumentou a excreção urinária do cálcio e reduziu a mineralização óssea de cobaios. Como o balanço de cálcio não foi afetado apesar da maior excreção urinária, a redução da mineralização óssea foi atribuída a possíveis efeitos da cafeína sobre os osteoblastos, de maneira direta ou indiretamente, pelas reduções dos níveis plasmáticos de cobre ou de zinco, induzidas pela cafeína (Wink et al., 1996). Entretanto, os efeitos da cafeína em poedeiras não são conhecidos.

Sousa (2017) avaliou a inclusão de três fontes de fibra (farelo de trigo, casca de soja e casca de café) na dieta para poedeiras Lohmann LSL<sup>®</sup> de 25 a 45 semanas de idade e observou que a inclusão de casca de café na dieta (4,25%) piorou os parâmetros de qualidade de casca (porcentagem, espessura e resistência). As análises da casca de café demonstraram maior concentração de ácido galacturônico (principal componente das pectinas) na casca de café em relação às demais fontes de fibra avaliadas. Dessa forma, a autora considerou que a pior qualidade da casca das aves que receberam a dieta com casca de café poderia ser atribuída tanto à presença de cafeína na dieta, como aos efeitos antinutricionais da fibra solúvel, reduzindo a disponibilidade do cálcio para absorção. Entretanto, a inclusão de 4,25% de casca de café na dieta para poedeiras de 25 a 45 semanas não afetou a produção de ovos e

conversão alimentar em relação às dietas com inclusão de casca de soja (5%) ou farelo de trigo (7,5%).

#### 2.4.6. Casca de soja

A casca de soja contém em torno de 57,1% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (9,9%) e insolúveis (45,1%) e lignina (2,1%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, a casca de soja contém em torno de 58,1% de FDN e 32,9% de FB (Sauvant e Tran, 2004; Rostagno et al., 2017). A casca de soja é um subproduto do beneficiamento do grão de soja, com grandes perspectivas de uso pela sua disponibilidade e valor nutricional. Entretanto, como a casca de soja geralmente não sofre tratamento térmico durante seu processamento, a presença de grãos neste subproduto implica no fornecimento de fatores antinutricionais – como inibidores de proteases, lecitinas, fatores alergênicos – que prejudicam não só a digestão de proteínas, mas reduzem a absorção de nutrientes de modo geral (Butolo, 2002). Como a casca de soja apresenta uma grande variação na concentração desses compostos, é importante a monitoria desse subproduto por meio de análises bromatológicas (como proteína e extrato etéreo) e de atividade ureática.

Roberts et al. (2007) não observaram efeito da inclusão de 4,8% de casca de soja sobre a produção, peso e massa dos ovos, nem sobre ganho de peso de poedeiras de 23 a 58 semanas de idade. Por outro lado, Amaral (2014), trabalhando com poedeiras de 18 a 30 semanas de idade, avaliou a redução do teor de energia da dieta por meio da inclusão de uma das três fontes de fibra: farelo de trigo, casca de soja e feno de tifton. A autora observou que as aves que receberam a dieta com inclusão de 4,5% de casca de soja (2.690 kcal/kg e 12% de FDN) apresentaram consumo de ração, produção e peso dos ovos semelhantes às que receberam a dieta controle (2.784 kcal/kg e 10,5% de FDN). Partindo do pressuposto de que o consumo de ração seria determinado pelas exigências energéticas das aves, o plano nutricional com inclusão de casca de soja deveria conferir maior consumo de ração que a dieta controle. Entretanto, o índice de atividade ureática da casca de soja utilizada neste experimento foi de 0,38 ( $\Delta$ pH), indicando a possível presença de grãos de soja neste subproduto e, conseqüentemente maiores valores de extrato etéreo e EMAn em relação aos valores calculados, o que justifica os resultados obtidos. Além disso, as aves que receberam a dieta com inclusão de casca de soja apresentaram menor peso final em comparação com as aves que receberam a dieta com inclusão de farelo de trigo, que pode ter ocorrido em função da presença de fatores antinutricionais na casca de soja. Por outro lado, Sousa (2017) utilizou

casca de soja com baixa atividade ureática (0,09 dif. pH) e também observou menor ganho de peso das aves que receberam a dieta com inclusão de 5% de casca de soja em comparação com as aves alimentadas com a dieta com inclusão de farelo de trigo.

#### 2.4.7. Farelo de girassol

O farelo de girassol é considerado uma fonte de fibra insolúvel e pode ser utilizado em substituição ao farelo de soja, como fonte de proteína (33,4%). O farelo de girassol contém em torno de 44,7% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (5,2%) e insolúveis (29,4%) e lignina (10,1%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, o farelo de girassol contém em torno de 40,7% de FDN e 24,7% de FB (Sauvant e Tran, 2004; Rostagno et al., 2017). Entretanto, a composição nutricional dos produtos derivados do girassol pode variar amplamente em função do tipo de processamento (Senkoylu e Dale, 1999).

De acordo com Deaton et al. (1979), a substituição de 100% do farelo de soja pela inclusão de 30% de farelo de girassol na dieta (8,8% de FB) para poedeiras não afetou a produção e o peso dos ovos, o consumo de ração e peso corporal das aves. Como resultado do maior consumo de fibra, o peso relativo da moela e o comprimento relativo do intestino aumentaram. Karunajeewa et al. (1989), avaliando a inclusão de farelo (6 a 19%) e casca de girassol (1%) na dieta para poedeiras, também não observaram efeito sobre a produção e massa de ovos, eficiência alimentar, ganho de peso, mortalidade e peso específico dos ovos.

Alguns trabalhos demonstraram melhoria na qualidade dos ovos sem perda no desempenho das aves com a inclusão de farelo de girassol na dieta. Por exemplo, Casartelli et al. (2006) observaram que a inclusão do farelo de girassol (0%, 4%, 8% e 12%) na dieta para poedeiras Lohmann LSL<sup>®</sup> de 41 a 51 semanas de idade não influenciou o desempenho das aves. Entretanto, o aumento dos níveis de farelo de girassol na dieta melhorou a porcentagem de casca e o peso específico dos ovos. De modo semelhante, Shi et al. (2012) não observaram efeito das dietas sobre o desempenho e qualidade da casca com a inclusão de farelo de girassol (0; 8,26; 16,52 e 24,84%) em dietas para poedeiras de 28 a 34 semanas de idade. Entretanto, a inclusão de farelo de girassol na dieta reduziu a concentração de colesterol na gema do ovo e o custo com ração, apresentando alto potencial para alimentação de poedeiras.

#### 2.4.8. Farelo de algodão

O farelo de algodão é rico em proteína e contém em torno de 29,6% de FDN e 15,3% de FB (Sauvant e Tran, 2004; Rostagno et al., 2017). Os efeitos prejudiciais do uso de farelo

de algodão na dieta para poedeiras não estão relacionados à sua fração fibrosa, mas sim às substâncias presentes na fração lipídica do farelo de algodão: o gossipol e os ácidos graxos ciclopropenoicos (malvático e estercúlico). Na maioria dos farelos, o conteúdo de gossipol total está em torno de 1%. Entretanto, desse total, somente 0,1% está na forma livre, que é a forma de gossipol responsável pelas alterações da gema (descoloração), redução da qualidade do albúmen e pela redução da produção e peso dos ovos (Reid et al., 1987; Butolo, 2002; Davis et al., 2002; Nagalakshmi et al., 2007; Yuan et al., 2014). Além disso, o gossipol inibe a atividade da pepsina e da tripsina no trato gastrintestinal, reduzindo assim a digestibilidade da proteína (Nagalakshmi et al., 2007). Os ácidos ciclopropenoicos, por sua vez, são depositados na membrana vitelina, alterando sua permeabilidade ao ferro presente na gema, permitindo que o ferro seja complexado com a conalbumina, o que produz a característica cor rósea no albúmen. Além disso, os ácidos ciclopropenoicos também contribuem para a descoloração da gema do ovo (Butolo, 2002; Nagalakshmi et al., 2007).

Dessa forma, o ideal seria que somente farelos com baixos níveis residuais de óleo fossem utilizados para poedeiras. A quantidade de gossipol varia bastante no farelo de algodão, dependendo da forma enantiomérica do gossipol, do cultivar do farelo de algodão e dos métodos utilizados para extração do óleo (Davis et al., 2002; Lordelo et al., 2007; Nagalakshmi et al., 2007). Os farelos extraídos com solvente contém menos óleo e apresentam-se mais secos do que os extraídos por processo mecânico (Butolo, 2002).

De acordo com Davis et al. (2002) e Nagalakshmi et al. (2007), as poedeiras não devem consumir dietas com mais de 100 ppm de gossipol livre, devido à descoloração da gema do ovo e redução da produção de ovos. Entretanto, os níveis de tolerância das aves ao gossipol livre variam amplamente, dependendo da idade e linhagem das aves, teor e qualidade da proteína da dieta e teor de minerais na dieta, especialmente de ferro (Nagalakshmi et al., 2007). Além de haver grande variação individual da tolerância das galinhas ao gossipol (Davis et al., 2002).

#### 2.4.9. Farelo de amendoim

O farelo de amendoim contém em torno de 22,9% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (3,0%) e insolúveis (17,1%) e lignina (2,8%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, o farelo de amendoim contém em torno de 15,3% de FDN e 6,88% de FB (Rostagno et al., 2017; Feedipedia, 2017). De acordo com Rostagno et al. (2017), a máxima inclusão de farelo de amendoim em dietas para poedeiras seria de 10%. Entretanto, Pesti et al. (2006) verificaram

que a inclusão de até 35,5% de farelo de amendoim na dieta não afetou o desempenho das aves.

De modo similar ao farelo de algodão, não é a fração fibrosa do farelo de amendoim que limita sua inclusão em dietas para poedeiras. Um dos principais problemas da utilização desse ingrediente na alimentação animal é a infestação pós-colheita do amendoim pelos fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, principalmente o primeiro deles, que produz aflatoxina. Dessa forma, é essencial evitar as condições que propiciam o aparecimento dos fungos nesse alimento (Butolo, 2002).

Pesti et al. (2006), trabalhando com poedeiras entre 22 e 34 semanas de idade, avaliaram a substituição do farelo de soja por farelo de amendoim extraído por solvente (menos de 9 µg de aflatoxina/kg) em dietas com diferentes teores de proteína bruta. As dietas à base de milho e farelo de amendoim apresentaram em média 4,13% de FB, enquanto o teor médio de FB das dietas à base de milho e farelo de soja foi de 2,41%. Os autores observaram que o uso do farelo de amendoim não afetou de forma significativa o desempenho das aves. Entretanto, de modo geral, as dietas com farelo de amendoim resultaram em discreta redução do peso específico e aumento das unidades Haugh dos ovos, independentemente das condições (20 ou 4°C) ou tempo (zero ou 14 dias) de estocagem.

#### 2.4.10. Forragens

O uso de forragens como fontes de fibra para poedeiras tem aumentado com o maior interesse em bem estar animal. Em sistemas alternativos, como *free-range*, utilizados para a produção de ovos orgânicos ou “caipira”, as aves têm acesso a piquetes, consumindo as forragens por meio do pastejo. Entretanto, as aves também podem receber as forragens picadas, tanto secas, como úmidas; sendo que a forma seca (por meio da fenação) e picada permite que a forragem seja misturada na ração, possibilitando seu uso para aves em gaiolas. Além disso, as forragens têm alto teor de xantofilas, podendo intensificar a coloração da gema ao serem incluídas como fontes de fibra em dietas para poedeiras. De acordo com Leeson e Summers (2005), dietas com inclusão de 5% de alfafa podem aumentar consideravelmente o índice de cor de gema (10 na escala Roche), mas níveis de inclusão acima de 5% tem pouco efeito na pigmentação, sendo que outras fontes naturais ou sintéticas são mais eficientes para atingir maiores escores de pigmentação. Amaral (2014) observou aumento do índice de cor de gema com a inclusão de 3,1% de feno de Tifton na dieta em comparação com dieta à base de milho e farelo de soja.

Devido ao porte das aves, as forrageiras mais indicadas para poedeiras sob pastejo são aquelas de crescimento estolonífero. Entretanto, desde que as forragens sejam oferecidas picadas, as forrageiras de crescimento cespitoso também podem ser utilizadas. No Brasil, recomendam-se especialmente forrageiras do gênero *Cynodon*, como Tifton e estrela africana, gramíneas tropicais que apresentam boa cobertura do solo. As braquiárias, de modo geral, são forrageiras pouco exigentes e bem adaptadas aos solos brasileiros, entretanto, pouco se sabe a respeito dos efeitos do oxalato sobre o metabolismo do cálcio e a qualidade da casca dos ovos. A alfafa, por outro lado, é uma planta mais exigente, de modo que cuidados o preparo e correção do solo tornam-se obrigatórios (Butolo, 2002).

As forrageiras, de modo geral, apresentam um teor de fibra muito alto. O conteúdo de polissacarídeos não amiláceos nas plantas varia não só de acordo com as espécies, mas também entre cultivares da mesma espécie, além das condições agrônômicas de cultivo, idade da planta e número de cortes. Os teores PNA aumentam com o número de cortes, de modo que forragens de terceiro corte apresentam maior teor de PNA em relação às de primeiro corte. Com relação aos teores de açúcares, substâncias pécicas e frutanas ocorre o inverso, há redução destas substâncias com o aumento do número de cortes. Estas mudanças ocorrem em decorrência da maturação da parede celular (Bach Knudsen, 1997).

Kalmendal e Wall (2012), estudando a produção de ovos orgânicos de poedeiras Lohmann Brown e LSL de 20 a 74 semanas de idade, avaliaram o fornecimento somente de uma dieta convencional (à base de trigo), da dieta convencional adicionada de alfafa e de uma dieta formulada com a inclusão de 26% de torta de girassol, a qual apresentou maior teor de gordura e energia em comparação com a dieta convencional. Os autores não observaram efeito das dietas sobre o consumo de ração, produção, peso e massa dos ovos; entretanto, o fornecimento da alfafa (consumo voluntário em torno de 2,9 g/ave/dia) resultou em melhor conversão alimentar em comparação com o fornecimento exclusivo da dieta convencional.

Amaral (2014) observou que a inclusão de 3,1% de feno de tifton na dieta para poedeiras de 18 a 30 semanas de idade não afetou a produção e peso dos ovos, mas aumentou o peso relativo da moela e reduziu o peso do fígado das aves. Apesar de não se saber se o feno de Tifton tem efeito quelante sobre os sais biliares em poedeiras, reduzindo sua reabsorção, esse efeito poderia explicar, pelo menos em parte, a redução no peso do fígado das aves que receberam a dieta com essa fonte de fibra, uma vez que grande parte dos lipídios da gema do ovo é formada no fígado por liponeogênese (Chwalibog e Thorbek, 1999).

#### 2.4.11. Polpa de beterraba

A polpa de beterraba é um subproduto da extração do açúcar da beterraba (*Beta vulgaris altíssima*) e contém em torno de 64,7% de fibra dietética total, composta por PNA solúveis (10,6%) e insolúveis (52,4%) e lignina (1,7%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, a polpa de beterraba contém em torno de 31,7% de FDN e 18,2% de FB (Guzmán et al., 2015). Devido à alta concentração de PNA solúveis, a polpa de beterraba é considerada como uma fonte de fibra solúvel.

Com relação às pesquisas com polpa de beterraba, a maior parte utiliza frangos de corte e não evidencia efeitos negativos sobre a taxa de crescimento desses animais, apesar da alta concentração de PNA solúveis (Jiménez-Moreno et al., 2010; González-Alvarado et al., 2010). Dessa forma, faz-se necessária a realização de pesquisas com o uso de polpa de beterraba na dieta para poedeiras. Guzmán et al. (2015) observaram que a inclusão de 2 ou 4% de polpa de beterraba na dieta para frangas (0 a 17 semanas) piorou a conversão alimentar em comparação com a dieta controle (à base de milho, trigo e farelo de soja). Entretanto, somente a inclusão de 4% de polpa de beterraba reduziu o consumo de energia pelas aves e, conseqüentemente, o ganho de peso.

#### 2.4.12. Maravalha

Em sistemas de produção adaptados ao bem estar animal, como gaiolas enriquecidas ou galpões em que as poedeiras ficam soltas, as aves podem ingerir materiais fibrosos presentes na cama ou nos ninhos. Nesses sistemas, os ninhos e os “banhos de areia” tornam-se meios para o fornecimento de alimentos fibrosos às aves (Kalmendal et al., 2013). Os materiais derivados do processamento da madeira, como a maravalha, são ricos em fibra insolúvel, sendo inclusive a base de produtos comerciais utilizados como fontes de fibra.

Resultados de pesquisa demonstraram que poedeiras alojadas em gaiolas enriquecidas ou soltas em galpões ingerem voluntariamente o material apresentado como cama (maravalha, papel, péletes de palha), especialmente as aves marrons e quando a dieta oferecida às aves tem baixo teor de fibra, mas isso não afeta o desempenho das aves (Hetland et al., 2005; Hetland e Svihus, 2007; Kalmendal et al., 2013). O apetite das aves por essas fontes de fibra parece estar relacionado à necessidade de componentes estruturais para estimular a atividade da moela. Hetland et al. (2005) observaram que aves alimentadas com dieta à base de trigo apresentaram consumo três vezes maior de papel (1,5g/ave/dia) do que de raspas de madeira (0,5g/ave/dia), sendo que somente a ingestão de raspas de madeira foi suficiente para

aumentar o peso relativo da moela. Essa falta de estímulo da moela pelo papel pode ser uma razão pela qual as aves com acesso ao papel apresentaram um consumo voluntário de fibra consideravelmente maior do que aqueles com acesso às raspas de madeira.

Hetland et al. (2003) avaliaram a adição de raspas de madeira *on top* na ração de poedeiras entre 15 a 29 semanas de idade. A partir das 15 semanas de idade, as aves receberam 10g de raspas de madeira duas vezes por semana até completarem 25 semanas de idade, em seguida, as raspas de madeira passaram a ser oferecidas três vezes por semana. Os autores verificaram que o acesso às raspas de madeira aumentou a digestibilidade ileal do amido, o peso da moela e do conteúdo da mesma, no qual se observou aumento da concentração de FDN. Entretanto, não houve efeito sobre a produção de ovos, consumo de ração e atividade da amilase.

No Brasil, a maravalha é um importante substrato utilizado para cama e ninhos das aves. Entretanto, faltam informações a respeito da quantidade consumida entre diferentes tipos de aves que têm acesso a este material, bem como se esse consumo seria suficiente para substituir a suplementação de fibra insolúvel pela dieta (Kalmendal et al., 2013).

#### 2.4.13. Concentrados de fibra insolúvel

Os concentrados de fibra insolúvel – como o Arbocel®, o Vitacel®, o Opticell®, entre outros – têm sido descritos como produtos fibrosos (pelo menos 60% de fibra bruta), normalmente compostos por celulose ou lignocelulose. Os altos teores de fibra são obtidos por processos de concentração, que podem ser de natureza física ou termo-mecânica. O Arbocel® contém em torno de 89,6% de fibra dietética total, composta por uma quantidade mínima de PNA solúveis (1,4%), PNA insolúveis (63,2%) e muita lignina (25,0%). Considerando os outros métodos tradicionalmente utilizados para a determinação da fração fibrosa, o Arbocel® contém em torno de 85,0% de FDN e 65,0% de FB (Pietsch, 2017).

Os concentrados de fibra insolúvel têm sido comercializados em virtude dos possíveis benefícios obtidos pela inclusão de fibra insolúvel na dieta de não ruminantes e das limitações apresentadas pela maioria das fontes de fibra tradicionais. Contaminação por micotoxinas, alta concentração de PNA solúveis e grande variação do teor nutricional e da disponibilidade estão entre as principais limitações apresentadas pelas fontes de fibra tradicionais (Pietsch, 2017). Entretanto, pesquisas que avaliam os efeitos dos concentrados de fibra insolúvel sobre o desempenho de poedeiras ainda são escassas. Traineau et al. (2013) não observaram efeito sobre o desempenho das aves com a inclusão de 5% de Arbocel® na dieta de poedeiras ISA Brown® de 20 a 35 semanas de idade.

Quadro 1 – Caracterização das principais fontes de fibra: fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, polissacarídeos não amiláceos totais (PNAt), solúveis (PNAs) e insolúveis (PNAi) e fibra dietética (FD = PNAt+lignina)

Fontes de fibra	FB (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	PNAt (%)	PNAs (%)	PNAi (%)	FD (%)
Farelo de trigo	9,1 <sup>a</sup>	39,8 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	3,8 <sup>b</sup>	27,0 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>	30,8
DDGS	7,9 <sup>b</sup>	34,2 <sup>b</sup>	13,6 <sup>b</sup>	4,3 <sup>b</sup>	27,0 <sup>c</sup>	3,5 <sup>c</sup>	23,5 <sup>c</sup>	31,3
Farelo de arroz	7,7 <sup>a</sup>	22,5 <sup>a</sup>	12,3 <sup>a</sup>	3,9 <sup>d</sup>	15,8 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	14,2 <sup>a</sup>	19,7
Casca de aveia	30,6 <sup>b</sup>	75,8 <sup>b</sup>	36,0 <sup>b</sup>	14,8 <sup>e</sup>	50,5 <sup>d</sup>	1,4 <sup>d</sup>	49,1 <sup>d</sup>	65,3
Casca de café	36,0 <sup>b</sup>	61,8 <sup>b</sup>	51,4 <sup>b</sup>	16,3 <sup>b</sup>	38,8 <sup>f</sup>	9,8 <sup>f</sup>	29,0 <sup>f</sup>	55,1
Casca de soja	32,9 <sup>a</sup>	58,1 <sup>a</sup>	46,1 <sup>a</sup>	2,1 <sup>c</sup>	55,0 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	45,1 <sup>a</sup>	57,1
Farelo de girassol	24,7 <sup>a</sup>	40,7 <sup>a</sup>	26,3 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>	34,6 <sup>a</sup>	5,2 <sup>a</sup>	29,4 <sup>a</sup>	44,7
Farelo de algodão	15,3 <sup>a</sup>	29,6 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	5,5 <sup>d</sup>				
Farelo de amendoim	6,88 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	2,8 <sup>b</sup>	20,1 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	22,9
Feno de tifton	29,5 <sup>b</sup>	73,7 <sup>b</sup>	35,3 <sup>b</sup>	5,9 <sup>b</sup>				
Alfafa	28,6 <sup>b</sup>	45,9 <sup>b</sup>	32,7 <sup>b</sup>	8,5 <sup>b</sup>	56,7 <sup>g</sup>	4,2 <sup>g</sup>	52,4 <sup>g</sup>	65,2
Polpa de beterraba	18,2 <sup>h</sup>	31,7 <sup>h</sup>	15,6 <sup>h</sup>	1,7 <sup>h</sup>	63,0 <sup>h</sup>	10,6 <sup>h</sup>	52,4 <sup>h</sup>	64,7
Arbocel <sup>®</sup>	65,0 <sup>i</sup>	85,0 <sup>i</sup>	66,0 <sup>i</sup>	25,0 <sup>i</sup>	64,6 <sup>i</sup>	1,4 <sup>i</sup>	63,2 <sup>i</sup>	89,6

<sup>a</sup>Rostagno et al. (2017).

<sup>b</sup>Feedipedia (2017).

<sup>c</sup>Swiatkiewicz e Koreleski (2007).

<sup>d</sup>Sauvant e Tran (2004).

<sup>e</sup>Bach-Knudsen (1997).

<sup>f</sup>Sousa (2017).

<sup>g</sup>JRS (2015) citado por Pietsch e Bosse (2017).

<sup>h</sup>Guzmán et al. (2015).

<sup>i</sup>Pietsch e Bosse (2017).

## 2.5. Efeitos da fibra sobre a qualidade dos ovos

### 2.5.1. Fibra e a qualidade da casca

Como o termo fibra dietética representa um grupo de compostos com propriedades distintas, os efeitos da fibra sobre a qualidade da casca, assim como para os demais parâmetros produtivos, está intimamente relacionado às características físico-químicas da fibra, especialmente a solubilidade e a capacidade de troca catiônica. Resultados de pesquisa têm demonstrado que a fibra insolúvel tem efeito de aumentar o peso da moela (Svihus, 2011)

e alterar as características do conteúdo deste órgão, que passa a ter maior concentração de FDN (Hetland et al., 2003) e menor valor de pH (Steenfeldt, 2007). O menor pH do conteúdo da moela favorece a solubilidade do cálcio (Guinotte et al. 1995). Dessa forma, a inclusão de fontes de fibra insolúvel na dieta para poedeiras poderia melhorar a absorção do cálcio e, conseqüentemente, a qualidade da casca. Por outro lado, a fibra solúvel, principalmente as substâncias pécticas, tem grande capacidade de absorver água e formar substância gelatinosa no trato intestinal, o que aumenta a viscosidade da digesta, prejudicando tanto a mistura do alimento ingerido com os sucos digestivos quanto o acesso das enzimas aos nutrientes do alimento, inibindo a digestão e absorção dos nutrientes de modo geral. Além disso, a fibra que tem alta capacidade de troca catiônica, geralmente a solúvel, exerce ação adsorvente especialmente sobre os cátions bivalentes, como cálcio, tornando-os indisponíveis para a absorção, o que poderia piorar a qualidade da casca (Annison e Choct, 1991).

A inclusão de fontes de fibra na ração implica na redução do teor de energia da mesma, que é um fator determinante na nutrição de poedeiras. Além da importância econômica (a energia representa o componente mais caro da dieta), a poedeira regula o consumo de ração conforme suas necessidades energéticas (Saldaña et al., 2016). Dessa forma, o uso de dietas com menores teores de energia favorece o consumo de ração e, conseqüentemente, dos nutrientes de modo geral, inclusive de cálcio, o que pode trazer benefícios na qualidade dos ovos.

Casartelli et al. (2006) observaram que a inclusão do farelo de girassol (0%, 4%, 8% e 12%) na dieta para poedeiras Lohmann LSL de 41 a 51 semanas de idade não influenciou o desempenho das aves. Entretanto, o aumento dos níveis de farelo de girassol na dieta melhorou a porcentagem de casca e a gravidade específica dos ovos. Resultados semelhantes foram observados por Incharoen e Maneechote et al. (2013) ao incluírem casca de arroz (0, 3 ou 6%) como fonte de fibra insolúvel na dieta de poedeiras H&N marrons de 32 a 44 semanas de idade. Os autores também verificaram melhor resistência da casca dos ovos das aves que consumiram a dieta com inclusão de 6% de casca de arroz, sendo que o consumo de ração foi similar entre as aves dos diferentes tratamentos.

Amaral (2014), trabalhando com Hy-Line W36 de 18 a 30 semanas de idade, utilizou uma dieta controle (2.784 kcal/kg), sem inclusão de fonte de fibra, e três dietas cujos teores de energia foram reduzidos (2.690 kcal/kg) por meio da inclusão de uma das fontes de fibra: farelo de trigo, casca de soja ou feno de Tifton. Os ovos das aves que consumiram a dieta controle apresentaram menor peso específico e menor espessura de casca em relação aos demais tratamentos. Estes resultados poderiam ser atribuídos tanto ao efeito do teor de energia

sobre o consumo de ração como ao efeito da fibra sobre a moela e a absorção do cálcio. Nesse trabalho, as aves que receberam a dieta com inclusão de casca de soja tiveram consumo de ração semelhante às aves que receberam à dieta controle, sendo que a inclusão das demais fontes de fibra aumentou o consumo de ração. Porém, somente o feno de Tifton foi eficiente em aumentar o peso da moela e o pH desse órgão não foi avaliado.

Por outro lado, Sousa (2017) avaliou a inclusão de três fontes de fibra (farelo de trigo, casca de soja e casca de café) na dieta para poedeiras Lohmann LSL de 25 a 45 semanas de idade e observou que a inclusão de casca de café na dieta reduziu a espessura e a resistência da casca, o que poderia ser atribuído à presença de cafeína na dieta ou aos efeitos antinutricionais da fibra solúvel.

A fibra dietética não costuma ser mencionada como um fator que possa alterar a qualidade da casca do ovo, sendo necessários ainda muitos estudos para estabelecer essa relação. Entretanto, de acordo com essa revisão, há evidências de que a fibra dietética pode influenciar a qualidade da casca, tanto para melhor, quanto para pior.

#### 2.5.2. Fibra e a concentração de colesterol na gema

De acordo com Hargis (1988), é necessária uma concentração mínima de colesterol na gema do ovo devido às necessidades do embrião em desenvolvimento. Essa exigência determina a redução da produção de ovos caso a deposição de colesterol na gema seja insuficiente ao desenvolvimento embrionário. Por esse motivo, a redução da concentração de colesterol na gema dos ovos em proporções que fossem desejadas pelo mercado ainda não foi atingida.

Embora fatores nutricionais possam influenciar o metabolismo do colesterol, o consumo dessa substância em uma dieta convencional para poedeiras é mínimo, exigindo que a galinha sintetize a maior parte do colesterol necessário para a formação da gema. A fibra tem sido mencionada como um fator nutricional com potencial para a redução da concentração de colesterol na gema. De acordo com Lesson e Summers (2001), a fibra solúvel pode ter efeito negativo na digestão dos lipídios, devido à formação de complexos com os sais biliares. Estes complexos reduziram a reabsorção do colesterol e, conseqüentemente, a liponeogênese no fígado, reduzindo a concentração de colesterol nas gemas dos ovos.

Nazok et al. (2010) avaliaram o efeito de diferentes inclusões (0%, 4%, 8%, 12% e 16%) de polpa cítrica em dietas isocalóricas (2.800 kcal/kg) no desempenho e parâmetros sanguíneos de poedeiras de 25 a 37 semanas de idade. Os autores observaram que níveis de inclusão de polpa cítrica superiores a 4% da dieta reduziram a concentração plasmática de

colesterol (128,34 para 112,41) e que níveis superiores a 8% reduziram a concentração de colesterol da gema (16,22 para 11,02 mg/g). Entretanto, a inclusão de 16% de polpa cítrica na dieta, reduziu o desempenho das aves. Shi et al. (2012) e Laudadio et al. (2014) também observaram redução da concentração de colesterol na gema dos ovos com a inclusão de farelo de girassol na dieta. Shi et al. (2012) observaram que a concentração de colesterol na gema de ovos de poedeiras alimentadas com dietas contendo 8,26, 16,52 e 24,84% de farelo de girassol foram de 11,51, 10,18 e 9,37mg/g, respectivamente; valores inferiores ao dos ovos de poedeiras que receberam a dieta sem farelo de girassol (13,0 mg/g). Laudadio et al. (2014) verificaram que as poedeiras que receberam a dieta com farelo de girassol apresentaram menores níveis de colesterol sérico e botaram ovos com menor concentração de colesterol na gema (11,05 vs. 12,91 mg/g) em comparação com aves alimentadas com a dieta com farelo de soja.

## **2.6. Características gerais da microbiota intestinal das aves**

O trato gastrointestinal das aves é preenchido por um grande número de microrganismos (Barnes et al., 1972). Apesar da composição microbiana do trato gastrointestinal das aves ainda não ter sido amplamente definida, há evidências de que a microbiota cecal desempenha papel importante na degradação de alguns carboidratos (Jørgensen et al., 1996; Jamroz et al., 2002), síntese de vitaminas (Coates et al., 2002), metabolização do colesterol (Tortuero et al., 1975) e degradação de compostos nitrogenados (Barnes et al., 1972).

As bactérias estão presentes em diferentes nichos do trato gastrointestinal, incluindo o lúmen, a camada de muco e a superfície da mucosa (Russell, 1979). A composição da microbiota (quantidade e proporção de cada gênero) varia de acordo com a idade, o estado fisiológico, a região do intestino, o uso de antimicrobianos, o sistema de criação, bem como a composição da dieta, especialmente, a presença e a natureza da fibra dietética, que é o principal substrato bacteriano (Montagne et al., 2003; Mancabelli et al., 2016).

Enquanto o tempo de trânsito através do intestino delgado é de apenas 2,5 horas, o quimo permanece nos cecos por 12-20 horas (Sergeant et al., 2014). Dessa forma, os cecos representam os principais locais de fermentação do trato gastrointestinal das aves e contêm o maior número de bactérias (Barnes et al., 1972), especialmente anaeróbicas (Van der Wielen et al., 2000).

Entretanto, apenas 10 a 60% dos microrganismos do ceco podem ser propagados usando técnicas anaeróbicas de cultivo, uma vez que a grande maioria dos microrganismos têm suas exigências nutricionais desconhecidas, dificultando a criação de meios de cultura enriquecedores e/ou seletivos. Dessa forma, a implementação de métodos como a abordagem metagenômica, que associam a aquisição de DNA total independentemente de cultivo a mecanismos computacionais, mostra-se necessária para a definição da comunidade microbiana (Zhu et al., 2002).

Zhu et al. (2002) realizaram um levantamento da microbiota cecal de frangos de corte por meio da recuperação de sequências de genes do rRNA 16S a partir de DNA isolado tanto do conteúdo como da mucosa cecal. Foram encontradas 1.656 sequências de nucleotídeos que representaram 50 grupos filogenéticos ou subgrupos de bactérias. Por outro lado, Callaway et al. (2009), utilizando método independente de cultivo, encontraram 107 gêneros bacterianos no conteúdo cecal de poedeiras, sendo que o gênero mais prevalente no ceco das aves foi *Bacteroides*, que representou mais de 37% do total de leituras; outros gêneros encontrados no ceco foram *Prevotella* (anteriormente classificados como *Bacteroides*), *Clostridium*, *Enterococcus*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Phascolarctobacterium* e *Ruminococcus*, dentre outros.

Mancabelli et al. (2016), por meio da amplificação do gene rRNA16S, observaram que a microbiota cecal dos frangos de corte é dominada (83%) principalmente por bactérias dos filos Firmicutes e Bacteroidetes. Ao comparar a microbiota cecal de frangos de corte em sistema convencional com *free range*, os autores observaram maior biodiversidade da microbiota cecal das aves em sistema *free range*, sendo que a representação dos filos Proteobacteria, Bacteroidetes e Spirochaetae foi maior nesse sistema de criação, reduzindo a proporção de Firmicutes em comparação com o sistema convencional, em que foram utilizados antimicrobianos. Além disso, os autores verificaram maior potencial de degradação do amido, celulose e hemiceluloses pela microbiota das aves em sistema *free range*, o que resultou em aumento da produção de acetato.

## **2.7. Produtos da fermentação e seus efeitos sobre a microbiota**

De acordo com Józefiak et al. (2004), para avaliar os possíveis benefícios que a fermentação cecal da fibra dietética pode trazer para as aves, é necessário estudar os produtos finais da fermentação, que são produzidos principalmente nos cecos. Os principais produtos da fermentação da fibra dietética são os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), predominantemente acetato, propionato, butirato, lactato e succinato, além de água, vários

gases (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) e biomassa celular bacteriana (Jørgensen et al., 1996; Jamroz et al., 2002; Montagne et al., 2003). Dentre esses, os AGCC têm sido mais estudados. Os AGCC são utilizados pelo hospedeiro de diferentes maneiras, sendo que cada um deles desempenha um papel específico. O acetato é transportado para o fígado e, posteriormente, atua como substrato de energia para o tecido muscular. O propionato é convertido em glicose no fígado. O butirato é utilizado principalmente como fonte de energia pelas células do epitélio intestinal onde são produzidos (Montagne et al., 2003). Além da produção de energia, os AGCC nos cecos das aves podem fornecer outros benefícios. Van der Wielen et al. (2000) demonstraram que a alta atividade de fermentação nos cecos de frangos foi correlacionada com menor valor de pH e isso pode inibir algumas bactérias patogênicas. Enfim, os AGCC, sendo absorvidos na forma de sais hidratados, contribuem para a absorção de sais minerais e água.

Há evidências de que a colonização do trato gastrointestinal de aves por *Salmonella sp.* Pode ser reduzida com o uso de dietas suplementadas com lactose ou manose (Corrier et al., 1990<sup>a</sup>; Corrier et al., 1990<sup>b</sup>; Allen et al., 1997), isso porque a inclusão desses oligossacarídeos na dieta reduz o pH do conteúdo cecal e, conseqüentemente, aumenta consideravelmente as concentrações de ácidos graxos voláteis não dissociados (Corrier et al., 1990<sup>a</sup>; Corrier et al., 1990<sup>b</sup>). Da mesma forma, os subprodutos de origem vegetal utilizados como fontes de fibra na dieta de aves contêm quantidades consideráveis de carboidratos estruturais, como arabinanos, galactanos, glucanos, mananos e pectinas que podem servir como substratos para a produção enzimática de oligossacarídeos com função prebiótica (Allen et al., 1997).

Considera-se que as concentrações de AGCC no ceco de aves variam entre 107–185 µmol/kg e o pH do conteúdo cecal entre 5,65–7,8 (Goldstein, 1989; Jamroz et al., 2002). Entretanto, Dunkley et al. (2007), ao incubar conteúdo cecal de poedeiras com mais de 50 semanas de idade juntamente com ingredientes com alto teor de fibra, observaram que a produção total de AGCC (acetato, butirato e propionato) foi em torno de 290 µmol/mL.

A produção de cada um dos AGCC é afetada pela composição da fibra dietética. Marounek et al. (1999), avaliando a fermentação de carboidratos pela microbiota cecal *in vitro*, observaram alta produção de propionato com a fermentação da lactose, enquanto o acetato foi o metabólito predominante da fermentação do amido, pectinas e xilanos. De acordo com Van der Wielen et al. (2000), o acetato é mais eficiente para inibir o crescimento de Enterobacteriaceae, família em que estão incluídas importantes bactérias patogênicas, como as salmonelas e *Escherichia coli*.

Como os AGCC são os principais produtos da fermentação da fibra, a produção desses metabólitos está diretamente relacionada ao teor de fibra na dieta. Langhout e Schutte (1996)

observaram aumento da concentração de AGCC no conteúdo cecal de frangos de corte com a inclusão de 3% de pectina de polpa de beterraba na dieta. Jørgensen et al. (1996) observaram que a inclusão de uma fonte de fibra (farelo de ervilha, farelo de trigo e farelo de aveia) na dieta aumentou a concentração de AGCC e a produção de H<sub>2</sub> a partir dos processos de fermentação, indicando maior atividade microbiana.

Os AGCC resultantes dos processos de fermentação parecem ter efeito bacteriostático sobre algumas bactérias entéricas, especialmente da família Enterobacteriaceae, mas não inibiriam bactérias benéficas, como *Lactobacillus* spp. (van der Wielen et al., 2000). Dessa forma, os AGCC produzidos pela atividade fermentativa da microbiota têm sido amplamente estudados como potenciais moduladores da virulência de agentes patogênicos, como *Salmonella* (Ricke, 2003). Esses estudos sugerem que a capacidade de fermentação, a concentração de AGCC no trato gastrointestinal das aves e as mudanças de pH podem influenciar a invasão por *Salmonella* spp. (Durant et al., 2000; Dunkley et al., 2009).

Os AGCC podem inibir o crescimento de *Salmonella* quando presentes na forma não dissociada (Durant et al., 1999; Mikkelsen et al., 2004). A concentração de AGCC não dissociados é maior em meios ácidos. Dessa forma, o pH é considerado fator determinante da eficiência da ação bacteriostática dos AGCC. Isso porque as formas não dissociadas (XCOOH) podem penetrar facilmente na membrana lipídica da célula bacteriana e, uma vez internalizadas, no pH neutro do citoplasma, dissociam-se em ânions (XCOO<sup>-</sup>) e prótons (H<sup>+</sup>), causando problemas para a bactéria, que deve manter seu pH próximo da neutralidade. O transporte do excesso de prótons para o ambiente extracelular é dependente de ATP, resultando em depleção da energia bacteriana, o que compromete seu metabolismo e multiplicação. Além disso, os AGCC podem alterar a permeabilidade da membrana citoplasmática e afetar a síntese proteica pelas bactérias (Russell, 1992).

Em estudo *in vitro* com conteúdo cecal de aves, McHan e Shotts (1993) observaram redução de 50-80% do crescimento de *Salmonella 38ntérica* sor. Typhimurium na presença de AGCC, dependendo da concentração desses ácidos. Durant et al. (2000), em estudo com cultivo celular em meio Luria Bertani, também observaram que a suplementação com acetato, propionato, butirato ou uma mistura dos três AGCC reduziu a capacidade de *S. Typhimurium* de aderir-se e invadir as células Hep-2 cultivadas. Entretanto, a resposta aos AGCC foi influenciada pela concentração dos AGCC (diretamente proporcional) e pelo pH do meio, sendo mais eficientes em meios com pH 6,0 do que em meios com pH 7,0.

Durant et al. (1999) realizaram estudo *in vivo* envolvendo muda induzida em poedeiras leves de 50 semanas de idade e observaram que nove dias de retirada da alimentação foram

suficientes para alterar o ambiente do papo, diminuindo número de *Lactobacillus* e a produção de ácido láctico, além da concentração total de AGCC, principalmente de ácido acético, o que resultou em aumento do pH do conteúdo do papo de 5,0 para 6,2. Acompanhando esse aumento do pH, as concentrações dos dois ácidos orgânicos predominantes no papo (lactato e acetato) na forma não dissociada diminuíram acentuadamente nas galinhas submetidas à muda. Essas alterações foram relacionadas ao aumento substancial de *Salmonella 39ntérica* sor. Enteritidis no papo e da colonização cecal, além da invasão do baço e do fígado. O fenótipo invasivo de *Salmonella* spp. É complexo e requer vários genes de virulência que são regulados pelo ativador transcricional hilA. Quando o conteúdo do papo foi incubado *in vitro* com *S. Enteritidis*, a expressão do hilA foi de 1,6 a 2,1 vezes maior no conteúdo do papo de aves submetidas à muda em comparação com aves controle. Esses resultados sugerem que as mudanças no ambiente do papo durante o jejum, especialmente com relação à microbiota e pH do meio, têm potencial de afetar significativamente a virulência de *Salmonella*, ao aumentar a expressão dos genes necessários para a invasão intestinal.

Van der Wielen et al. (2001) fizeram uma avaliação *in vitro* dos efeitos das concentrações de AGCC sobre o crescimento de *S. Enteritidis*. As concentrações de AGCC foram representativas do conteúdo cecal de frangos de corte entre 5 a 15 dias de idade. Os autores comprovaram o efeito bacteriostático dos AGCC sobre a *Salmonella* Enteritidis, por meio da observação da redução na biomassa dessa bactéria e na metabolização da glicose por *Salmonella*.

## **2.8. Fibra dietética e o pH das várias partes do trato gastrintestinal**

O pH dos diferentes segmentos do trato gastrintestinal das aves é influenciado pelo tipo de fibra utilizado (Jiménez-Moreno et al., 2009b). Muitos trabalhos têm demonstrado que a inclusão de fibra na dieta reduz o pH da moela (González-Alvarado et al., 2008; Jiménez-Moreno et al., 2009<sup>a</sup>; Jiménez-Moreno et al., 2011; Svihus, 2011) e o pH cecal (Steenfeldt et al., 2007; Jiménez-Moreno et al., 2009b). O menor pH do conteúdo da moela e maior tempo de retenção da digesta na moela, obtidos com a inclusão de fibra insolúvel na dieta, atuam como uma barreira contra as bactérias ácido-lábeis, incluindo agentes patogênicos (Pietsch, 2017).

Steenfeldt et al. (2007) avaliaram o fornecimento de forragens de modo complementar (*on top*) à ração para galinhas ISA Brown<sup>®</sup> de 20 a 54 semanas de idade. As aves foram divididas em quatro grupos, sendo que as aves do grupo controle receberam somente ração

peletizada, enquanto os outros três grupos receberam a ração mais algum tipo de forragem (cenoura, silagem de milho ou silagem de cevada e ervilha). Os autores observaram que o conteúdo da moela das aves que receberam as silagens apresentou menores valores de pH (3,9 vs 4,73) e maiores concentrações de ácido láctico (15,6 vs 3,2  $\mu\text{moles/g}$ ) e de ácido acético (6,1 vs 3,6  $\mu\text{moles/g}$ ) em comparação com os demais tratamentos, o que pode ser explicado pela contribuição de ácido láctico e ácido acético presentes em ambos os tipos de silagem. Além disso, o valor de pH do conteúdo cecal foi maior em aves alimentadas somente com ração em comparação com as aves que receberam algum tipo de forragem. Os valores de pH mais baixos nos conteúdos cecais de galinhas que receberam qualquer uma das fontes de fibra indicam que estes alimentos fornecem certa quantidade de carboidrato, que escapa da hidrólise enzimática no intestino delgado e é fermentada pela microbiota cecal.

Jimenez-Moreno et al. (2009<sup>a</sup>) avaliaram os efeitos da inclusão de 3% de celulose microcristalina (fonte de fibra insolúvel, porém com granulometria fina), casca de aveia (fonte de fibra insolúvel) e polpa de beterraba (fonte de fibra solúvel) sobre o pH dos diferentes órgãos digestivos de frangos de corte. Os autores observaram que o pH dos diferentes segmentos do trato gastrointestinal variou com o tipo de fibra utilizada e, em geral, os efeitos da inclusão de casca de aveia e polpa de beterraba foram mais evidentes em comparação com a celulose microcristalina. A inclusão de fibra não só afetou o pH do conteúdo da moela, mas também o pH na maior parte do intestino delgado e ceco. De acordo com os autores, é provável que o tempo de retenção mais longo e maior atividade da moela, em razão da inclusão de fibra, estimulou a secreção de HCl pelo proventrículo. Além disso, o pH do conteúdo cecal das aves que receberam qualquer um dos três tipos de fibra foi menor em comparação com o grupo controle.

Kalmendal et al. (2011) avaliaram os efeitos da inclusão de farelo de girassol, uma fonte de fibra insolúvel, na dieta (0, 10, 20 e 30%) para frangos de corte. Os autores observaram redução das concentrações de ácido acético e propiônico no jejuno com o aumento da inclusão de farelo de girassol, mas o pH do conteúdo deste segmento do intestino permaneceu inalterado (6,54). Por outro lado, Perez et al. (2011) observaram aumento linear no pH do conteúdo ileal (6,72 para 7,4) com a inclusão de DDGS na dieta (0, 10 e 20%) para frangos de corte, entretanto, o pH do conteúdo cecal não foi afetado (mantido em torno de 5,56).

## **2.9. Fontes de fibra e a microbiota das várias partes do trato gastrointestinal**

Com relação à influência da fibra dietética sobre a microbiota cecal, os resultados de pesquisa ainda são inconsistentes. Mas, a fibra dietética pode alterar o equilíbrio da

microbiota em diferentes partes do trato gastrointestinal devido aos seus efeitos sobre o pH da digesta e o tempo de trânsito. Foi proposto que a fibra dietética pode ser utilizada preferencialmente por espécies de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* que levam à produção de ácido lático e AGCC, resultando na manutenção de populações microbianas normais, baixo pH e prevenção do estabelecimento de *Salmonella* no trato gastrointestinal (Kaplan e Hutkins, 2000).

Allen et al. (1997) relataram que a inclusão de farelo do miolo de palma na dieta reduziu o grau de colonização por salmonelas do trato gastrointestinal de pintos de corte que receberam dietas contaminadas com *S. Kedougou* ou *S. Enteritidis* desde sua chegada do incubatório. Além disso, os autores observaram redução do número de *S. Enteritidis* no conteúdo cecal de pintos que receberam dietas com inclusão de manose. Porém, esse mesmo benefício não foi observado para *S. Infantis*, provavelmente porque este sorotipo, ao contrário da *S. Enteritidis*, não apresenta fímbrias sensíveis à manose.

Ishihara et al. (2000) avaliaram os efeitos preventivos da inclusão de goma guar parcialmente hidrolisada (composta principalmente por galactomananos) na dieta (0,025, 0,05 e 0,1%) para frangas (dez semanas de idade) e poedeiras velhas (73 semanas), infectadas com *S. Enteritidis* (SE) por via oral. Os autores observaram redução do número de SE nas excretas, da incidência de SE nos órgãos e do índice de anticorpos aglutinantes para SE no soro das aves. A inclusão de 0,025% de goma guar parcialmente hidrolisada na dieta se mostrou eficaz para prevenir a colonização por SE, reduzindo a contaminação dos ovos e o número de Enterobacteriaceae na microbiota cecal, e aumentando o número de *Bifidobacterium* spp. E *Lactobacillus* spp.

Em estudo realizado por Steinfeldt et al. (2007), que avaliaram o fornecimento de três fontes de fibra (cenoura, silagem de milho ou silagem de cevada e ervilha) de modo complementar (*on top*) à ração peletizada para poedeiras, houve redução das contagens de *Enterococcus* na parte superior do trato gastrointestinal (moela e intestino delgado) das galinhas que receberam qualquer uma das fontes de fibra. Além disso, o fornecimento de silagem de milho reduziu a contagem de enterobactérias lactose-negativas no segmento proximal do intestino delgado (duodeno/jejuno). Nesse estudo, as contagens de bactérias anaeróbicas, coliformes e bactérias ácido-láticas nas várias partes do trato gastrointestinal das aves não foram influenciadas pelas fontes de fibra.

Donalson et al. (2007, 2008) realizaram estudos para avaliar o efeito da combinação de um prebiótico com alimentos para poedeiras sobre o crescimento de *S. Typhimurium* em sistema de fermentação cecal *in vitro*. O conteúdo cecal de poedeiras foi diluído e adicionado

a tubos de ensaio contendo alfafa ou rações para poedeiras, com e sem frutooligosacarídeos (FOS). Os autores observaram reduções mais evidentes no crescimento da *S. Typhimurium* com a inclusão de alfafa e de rações para poedeiras contendo FOS. O efeito bacteriostático da alfafa sobre a *S. Typhimurium* foi atribuído à maior produção de acetato e, conseqüentemente, maior produção total de AGCC em comparação com a dieta para poedeiras.

Kalmendal et al. (2011) observaram que a inclusão de 20% de farelo de girassol na dieta para frangos de corte reduziu significativamente a contagem de colônias de *Clostridium* spp. No jejuno das aves. Esse resultado pode ser explicado pelo aumento da digestibilidade ileal da proteína, que é um substrato importante para o crescimento de *Clostridium* spp. (Drew et al., 2004). Além disso, a avaliação microscópica da mucosa do intestino delgado revelou desorientação das microvilosidades e infiltração extensa de linfócitos na lâmina própria da maioria das aves que não recebeu o farelo de girassol, indicando que a mucosa intestinal dessas aves foi submetida a estresse. O efeito da fibra insolúvel na redução de *Clostridium* também foi demonstrado por Branton et al. (1997), que registraram redução das lesões de enterite necrótica em frangos de corte após a substituição de trigo por 4% de raspas de madeira.

Perez et al. (2011), avaliando a inclusão de DDGS na dieta (0, 10 e 20%) para frangos de corte, observaram que a microbiota ileal não foi afetada pelos tratamentos. Entretanto, a inclusão de 10% de DDGS na dieta aumentou a diversidade da microbiota cecal (número de bandas de DGGE) e sua similaridade entre aves do mesmo tratamento, o que indica maior estabilidade da microbiota. Como é nos cecos que ocorre a maior parte da fermentação de fibras, a microbiota dessa região do intestino é mais afetada pela fibra dietética.

Estudo para avaliar o uso de fibra insolúvel micronizada na dieta (0; 0,3; 0,4 e 0,5%) para frangos foi realizado por Rezaei et al. (2011). Os autores observaram aumento linear do número de células caliciformes com a inclusão da fibra insolúvel, o que foi considerado um efeito positivo sobre a saúde intestinal das aves. Isso porque as células caliciformes secretam a mucina, principal componente do muco que recobre a mucosa, protegendo-a contra injúrias diversas.

Os efeitos da inclusão de 5% casca de aveia ou polpa de beterraba nas rações para frangos sobre a contagem de *Lactobacillus* no papo e ceco e de *Clostridium perfringens* e Enterobacteriaceae no ceco foram estudados por Jiménez- Moreno et al. (2011). Os autores observaram que a contagem de *Lactobacillus* no papo aumentou com a inclusão de polpa de beterraba, mas não com a inclusão de casca de aveia. Entretanto, nenhum efeito da fibra dietética foi observado na contagem de *Lactobacillus* no ceco. Por outro lado, as contagens de

*C. perfringens* e Enterobacteriaceae no ceco reduziram significativamente com inclusão casca de aveia, mas não foram afetadas pela polpa de beterraba. Os autores atribuíram esse resultado ao efeito da casca de aveia sobre a funcionalidade de moela, que pode ativar mecanicamente a superfície da mucosa, aumentando a motilidade do trato gastrintestinal e reduzindo as possibilidades de bactérias, tais como *C. perfringens*, aderirem à superfície da mucosa na parte distal do trato gastrintestinal (Kalmendal et al., 2011).

Entretanto, os mecanismos pelos quais a fibra insolúvel pode afetar a microbiota intestinal ainda não estão completamente esclarecidos, havendo apenas suposições. Mas alterações nas características reológicas do quimo e nas propriedades físico-químicas da camada de muco que recobre o epitélio intestinal podem afetar a adesão bacteriana à superfície da mucosa (Smits e Annison, 1996). De acordo com Pietsch (2017), as fibras insolúveis podem afetar a colonização bacteriana por dois modos de ação: o aumento da velocidade de trânsito intestinal e o aumento do número de células caliciformes. A aceleração do trânsito intestinal poderia reduzir o risco de colonização por bactérias patogênicas. E o maior número de células caliciformes está relacionado com a integridade da mucosa, sendo que bactérias prejudiciais não podem colonizar facilmente mucosas intactas.

## **2.10. Interação entre as bactérias**

A fibra dietética é hidrolisada pela microbiota intestinal em oligossacarídeos e outros carboidratos de baixo peso molecular que conduzem à produção de AGCC (Dunkley et al., 2007). As principais bactérias que têm o potencial de hidrolisar a fibra dietética, utilizando-a como substrato, são representadas pelos gêneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pediococcus*, *Lactococcus* e *Bacteroides* (Barnes et al., 1979; Oyarzabal e Conner, 1995; Kaplan e Hutkins, 2000). Essas bactérias normalmente são consideradas benéficas para as aves, sendo importantes para a manutenção da saúde intestinal.

Barnes et al. (1979) avaliaram a atividade anti-salmonela *in vitro* de 32 tipos diferentes de bactérias anaeróbicas isoladas de galinhas. Nas condições do teste, apenas *Bacteroides hipermeigas* e *Bifidobacterium* sp. Inibiram as salmonelas, e isso foi atribuído à produção de AGCC, juntamente com um pH baixo. Por outro lado, Oyarzabal e Conner (1995) observaram que *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*, todos os lactobacilos e *Pediococcus* sp. Inibiram claramente o crescimento *in vitro* de todos os sorotipos de *Salmonella* avaliados (*S. California*, *S. Enteritidis*, *S. Heidelberg*, *S. Mission*, *S. Senftenberg* e *S. Typhimurium*). Além disso, os autores observaram que nenhum dos sorotipos de *Salmonella* foi capaz de crescer em meios contendo FOS como a única fonte de carboidratos. Esses resultados demonstram a

incapacidade de microrganismos do gênero *Salmonella* para utilizarem esse oligossacarídeo como substrato, o que também pode ocorrer com outros oligossacarídeos produzidos pela hidrólise da fibra.

Dessa forma, a fermentação da fibra dietética pode favorecer a colonização e crescimento de bactérias benéficas. Parâmetros como a competição por aminoácidos, que limitam o crescimento e a densidade da microbiota, são conhecidos por aumentar a competitividade da microbiota normal, a fim de suprimir e eliminar patógenos (Há et al., 1995). De acordo com Juven et al. (1991), bactérias ácido-láticas são capazes de inibir o crescimento de outras bactérias por meio da produção de ácido lático, peróxido de hidrogênio, bacteriocinas ou pela combinação de dois ou mais desses fatores. Da mesma forma, Ishihara et al. (2000) relataram que o aumento na quantidade de *Lactobacillus* spp. desempenha um papel importante na prevenção de doenças em poedeiras e fornecem mecanismos de proteção contra *Salmonella* no ceco (Dunkley et al., 2009).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Condições experimentais**

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental “Prof. Hélio Barbosa”, da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, localizada no município de Igarapé/MG, no período de 14 de novembro de 2017 a 06 de fevereiro de 2018.

As aves foram alojadas em galpão de postura convencional, não climatizado, equipado com gaiolas na densidade de 450 cm<sup>2</sup>/ave, com um total de três aves por gaiola. As repetições dos tratamentos foram isoladas por um separador de madeira, impedindo o acesso das aves à ração de outra repetição.

#### **3.2. Aves e Manejo**

Foram utilizadas 648 poedeiras Lohmann LSL<sup>®</sup>, de 100 a 110 semanas de idade. Optou-se por avaliar o final da fase produtiva das aves com o objetivo de melhor avaliar as alterações na qualidade da casca dos ovos e da mortalidade das aves. Antes de iniciar o experimento, as

aves foram selecionadas de modo a garantir peso vivo e produção de ovos semelhantes para todos os tratamentos.

O manejo foi o mesmo adotado na Fazenda Experimental, sendo o arraçamento realizado diariamente e o programa de luz de 16 horas por dia. As gaiolas estavam equipadas com comedouros tipo calha de PVC, e bebedouros do tipo *nipple* com taça (um bebedouro para duas gaiolas). As aves receberam água e ração à vontade, sendo o arraçamento manual.

### 3.3. Tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com quatro tratamentos e seis repetições de 27 aves cada. Os tratamentos compreenderam uma dieta com inclusão de polpa de beterraba (fonte de fibra solúvel), outra com inclusão de lignocelulose (fonte de fibra insolúvel), outra com inclusão de farelo de trigo (fonte de fibra mista) e, por fim, uma dieta sem fonte adicional de fibra, considerada como controle.

As fontes de fibra foram analisadas em triplicata para a determinação da composição bromatológica de cada uma delas (Tabela 1). As dietas foram formuladas considerando os resultados das análises bromatológicas das fontes de fibra, realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG. A inclusão de Arbocel<sup>®</sup> seguiu a recomendação do fabricante, as demais dietas foram formuladas para serem isoenergéticas e isoproteicas, com variação apenas nos teores e características da fração fibrosa (Tabela 2).

Tabela 1 – Composição bromatológica analisada das fontes de fibra utilizadas na alimentação das aves

Composição Bromatológica	Fontes de Fibra		
	Lignocelulose <sup>1</sup>	Polpa de Beterraba	Farelo de Trigo
Matéria seca (%)	91,58	87,84	88,96
Proteína bruta (%)	0,52	7,93	15,67
Extrato etéreo (%)	0,81	0,64	3,67
Matéria mineral (%)	0,45	5,72	4,30
Cálcio (%)	0,07	1,36	0,08
Fósforo (%)	0,007	0,09	0,92
FDN (%)	83,65	48,03	39,14
FDA (%)	52,53	21,25	11,01
LDA (%)	18,11	3,56	3,38
Hemicelulose <sup>2</sup> (%)	31,43	26,79	28,13
Celulose <sup>3</sup> (%)	34,11	18,85	7,63
Densidade aparente (g/mL)	0,43	0,64	0,37

<sup>1</sup> Arbocel<sup>®</sup>

<sup>2</sup>Hemicelulose = FDN – FDA

<sup>3</sup>Celulose = LDA – FDA

Tabela 2 – Composição e valores nutricionais calculados das dietas experimentais

Ingredientes	Tratamentos				
	Preço (R\$/kg)	Lignocelulose	Polpa de beterraba	Farelo de trigo	Controle
Milho grão	0,65	64,24	63,55	62,27	64,23
Farelo de soja (45% PB)	1,40	18,65	19,04	17,82	18,66
Calcário	0,11	10,47	10,63	10,84	10,47
Lignocelulose <sup>1</sup>	5,00	1,00	-	-	-
Polpa de Beterraba	2,80	-	3,29	-	-
Farelo de Trigo	0,75	-	-	5,83	-
Areia	0,37	1,50	-	-	2,49
F. de carne (40%PB)	0,75	3,50	2,82	2,56	3,50
Sal	0,40	0,36	0,39	0,39	0,36
Supl. Vit. E min. <sup>2</sup>	16,25	0,20	0,20	0,20	0,20
DL Metionina	10,0	0,08	0,08	0,08	0,08
L-Lisina HCL	5,00	-	-	0,01	-
<b>TOTAL (%)</b>		100,00	100,0	100,0	100,0
<b>Preço (R\$/100kg)</b>		81,40	84,69	77,14	76,78
<b>Teores nutricionais</b>					
EMAn (Kcal/kg)		2650	2.652	2.652	2.650
Proteína bruta (%)		15,00	15,10	15,00	15,00
FDN (%)		12,24	12,94	13,30	11,40
Gordura (%)		3,18	3,10	3,18	3,18
Fibra bruta (%)		2,08	2,08	2,55	2,08
Met+cis dig. (%)		0,50	0,50	0,50	0,50
Metionina dig. (%)		0,30	0,30	0,29	0,30
Lisina digestível (%)		0,65	0,65	0,65	0,65
Treonina dig. (%)		0,50	0,50	0,50	0,50
Cálcio (%)		4,20	4,21	4,21	4,20
Fósforo disp. (%)		0,28	0,24	0,24	0,28
Sódio (%)		0,17	0,18	0,18	0,17
Xantofilas (mg/kg)		11,57	-- <sup>3</sup>	11,21	11,57
Densidade aparente (g/mL)		0,78	0,84	0,72	0,84

<sup>1</sup> Arbocel®.

<sup>2</sup>Suplemento vitamínico e mineral (composição por kg do produto): Vit. A 5.000.000 UI, Vit. B<sub>1</sub> 520 mg, Vit. B<sub>12</sub> 3.000 mg, Vit. B<sub>2</sub> 1.500 mg, Vit. B<sub>6</sub> 500 mg, Vit. D<sub>3</sub> 1.100.000 UI, Vit E 4.000 UI, Vit K<sub>3</sub> 1.000 mg, Biotina 10 mg, Colina 43 g, Niacina 10 g, Ácido Fólico 102 mg, Ácido Pantotênico 4,6 mg, Cobalto 50 mg, Cobre 3,0 mg, Ferro 25 g, Iodo 500 mg, Manganês 25 g, Selênio 100 mg, Zinco 25 g, *Bacillus subtilis* 75x10<sup>9</sup> UFC.

<sup>3</sup>Valores de xantofilas da polpa de beterraba não foram encontrados na literatura.

### 3.4. Dados Obtidos

#### 3.4.1. Análises bromatológicas das fontes de fibra utilizadas nas dietas

As fontes de fibra utilizadas nas dietas experimentais foram analisadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG (Tabela 2), anteriormente à formulação das dietas.

#### 3.4.2. Parâmetros de desempenho

##### 3.4.2.1. Produção de ovos

A produção de ovos foi registrada diariamente, de acordo com cada repetição, sendo posteriormente calculada a porcentagem de postura semanal. Ao final do período experimental total foi calculado o percentual médio de produção.

##### 3.4.2.2. Consumo de ração

A ração diária correspondente a cada repetição foi pesada no início da semana e armazenada em baldes plásticos identificados. Ao final de cada semana, a sobra de ração no comedouro foi pesada e, por diferença, foi determinado o consumo de ração, expresso em g/ave/dia. Ao final do experimento, foi calculada a média de consumo de ração ao longo do período experimental.

##### 3.4.2.3. Peso dos ovos

Foram realizadas quatro pesagens dos ovos intervaladas de quinze dias. Nos dias de pesagem dos ovos, todos os ovos produzidos foram coletados, identificados e pesados em conjunto em balança de precisão de dois gramas, para obtenção do peso dos ovos de acordo com os tratamentos. Ao final do experimento, foi calculada a média de todas as pesagens, sendo o peso expresso em g.

##### 3.4.2.4. Conversão alimentar

O cálculo de conversão alimentar foi feito de duas formas: quilograma de ração consumida/quilograma de ovos produzido e também quilograma de ração consumida/dúzia de ovos produzidos. Estes valores foram obtidos pela divisão do consumo médio de ração pelo peso médio dos ovos, para o cálculo da conversão alimentar por dúzia de ovos, foram

considerados o consumo médio de ração e a produção média de ovos ao longo de todo período experimental.

#### 3.4.2.5. Massa dos ovos

Valor calculado pela da multiplicação do peso dos ovos pela produção de ovos em porcentagem. Para este cálculo, considerou-se o peso médio dos ovos e a produção média ao longo de todo o período experimental.

#### 3.4.2.6. Peso das aves

Todas as aves de cada repetição foram pesadas em grupo uma semana antes do período experimental (99 semanas de idade) a fim de distribuí-las de modo que não houvesse diferença nos pesos das aves dos diferentes tratamentos no início do experimento. Outra pesagem foi realizada ao final do período experimental, na 110<sup>o</sup> semana de idade, sendo o peso expresso em Kg.

#### 3.4.2.7. Número de ovos por ave alojada

Foi calculado por meio da divisão do número total de ovos produzidos ao longo de todo o período experimental pelo número inicial de aves da parcela.

#### 3.4.2.8. Viabilidade

O número de aves mortas foi registrado diariamente, sendo calculada a porcentagem de mortalidade e, a partir dessa taxa, calculou-se a porcentagem de viabilidade.

$$\text{Viabilidade} = 100 - \% \text{ de mortalidade}$$

#### 3.4.3. Parâmetros de qualidade dos ovos

As análises dos parâmetros de qualidade dos ovos foram realizadas nos ovos das aves com 105 e 110 semanas de idade. Foram utilizados 24 ovos de cada tratamento tomados ao acaso, sendo cada ovo considerado uma repetição. As avaliações foram feitas no mesmo dia da postura, exceto a resistência da casca, que foi realizada um dia após a postura.

##### 3.4.3.1. Peso específico

Antes das avaliações do peso específico, os ovos foram pesados individualmente em balança analítica digital com precisão de 0,01g. As análises foram realizadas no Laboratório

de Aves e Ovos, da Escola de Veterinária da UFMG. O método de análise foi baseado no princípio de Arquimedes, no qual os valores de peso específico, expressos em (g/mL H<sub>2</sub>O) foram obtidos pela seguinte fórmula:

O equipamento utilizado para esta avaliação foi montado com uma balança de precisão de 0,5 g, e suporte de ferro utilizado para sustentar um recipiente contendo água destilada, que possui espaço adequado para a pesagem do ovo no ar. Lateralmente, foi colocada outra estrutura de ferro, da qual descia uma haste com aro apropriado para a pesagem do ovo dentro da água (figura 1). O equipamento foi colocado sobre a balança que em seguida foi zerada para iniciar a pesagem dos ovos, sempre com a balança zerada antes da próxima pesagem. Os pesos dos ovos dentro e fora da água foram anotados para o cálculo posterior do peso específico.



Figura 1. Equipamento utilizado para a análise do peso específico dos ovos.

#### 3.4.3.2. Unidades Haugh

Os ovos foram quebrados em mesa com superfície lisa, onde foi aferida a medida da altura de albúmen, utilizando-se um aparelho medidor de Unidades Haugh – Ames modelo S-8400, Massachussets, EUA (Haugh, 1937). A partir dos dados de peso do ovo (precisão de 0,01 g) e altura do albúmen, as UH foram obtidas pela fórmula seguinte, de acordo com (Brant et al., 1951).

em que:

H = altura do albúmen denso (milímetros);

W = peso do ovo (gramas).

Os dados para o cálculo foram obtidos na mesma amostra utilizada para peso dos ovos.

#### 3.4.3.3. Porcentagem da gema, casca e albúmen

Para as avaliações das proporções de gema, de albúmen e de casca em relação ao peso do ovo, foram utilizados os mesmos ovos previamente pesados para análise de peso específico. Após a quebra dos ovos, foi separado o albúmen, a gema e a casca. A separação da gema foi realizada manualmente, e o resíduo da clara, aderido à gema, foi removido com auxílio de papel absorvente. Após este procedimento, as gemas foram pesadas individualmente. As cascas, depois de lavadas com água corrente para retirada de resíduos do albúmen, secaram a temperatura ambiente durante 24 horas e foram pesadas individualmente. O peso do albúmen foi obtido pela diferença entre o peso do ovo inteiro e o peso da gema mais o peso da casca:

#### 3.4.3.4. Espessura da casca

Os mesmos ovos utilizados para determinação do peso específico foram utilizados para determinação da espessura de casca. A espessura da casca foi medida utilizando-se um micrômetro digital da marca Ames<sup>®</sup>, com precisão de 0,010 mm, em três pontos distintos da casca (região apical, equatorial e basal). O resultado foi obtido pela média dos três pontos, expresso em (mm).

#### 3.4.3.5. Coloração da gema

Os mesmos ovos utilizados para determinação do peso específico foram utilizados para determinação da coloração das gemas, que foi feita utilizando o leque colorimétrico (DSM YOLK COLOR FAN, 2005 – HMB 51548). Imediatamente após o ovo ser quebrado, a cor da gema foi comparada com a cor correspondente mais próxima do leque de cores, que varia de 1 a 15. Estas avaliações foram feitas pela mesma pessoa, sempre no mesmo local, a fim de evitar variações, principalmente por ser uma análise subjetiva.

#### 3.4.3.6. Resistência da casca

A análise de resistência da casca foi realizada nos ovos com um dia após a postura, no Laboratório de Tecnologia de Alimentos do Setor de Operações, Processos e Tecnologia de alimentos (SOPT), no Departamento de Farmácia da UFMG. A força necessária para quebrar a casca (g) foi determinada utilizando-se o TA, X T2 Texture Analyser (Stable Micro Systems, Surrey, England). Foi utilizada a sonda P4 DIA Cylinder de aço inoxidável, de 4 mm de diâmetro a velocidade pré, durante e pós-teste de 3,0; 0,5; e 5,0; mm/s e uma distância de 6 mm. A força de gatilho utilizada foi de 3.0g. O teste utilizado foi fratura por compressão. O ovo inteiro foi colocado longitudinalmente (Rodriguez-Navarro, 2002) sobre suporte de metal em forma de anel (5 cm de diâmetro) dentro de um cadinho de porcelana. A casca foi pressionada até que ocorresse a fratura.

#### 3.4.3.7. Concentração de colesterol total na gema dos ovos

Na 105<sup>a</sup> e 110<sup>a</sup> semanas de idade, 30 ovos por tratamento foram coletados aleatoriamente e quebrados para a amostragem de uma porção de gema, que foi congelada até o momento da análise. A gema foi diluída em solução salina 0,9%, na proporção de 0,1g de gema para 0,9mL de salina. A concentração de colesterol na gema dos ovos foi determinada por espectrofotometria (Cobas-Roche), por meio de kit específico, da marca Biotécnica, sendo seu resultado expresso em mg/dL e convertido em mg/g).

### 3.4.4. Avaliações do trato gastrointestinal

#### 3.4.4.1. Peso relativo dos órgãos

Ao final do experimento, foram selecionadas onze aves por tratamento, sendo cada ave considerada uma repetição. O critério de seleção das aves foi o peso médio do tratamento, de modo que o peso da ave a ser abatida poderia variar em no máximo 5% em relação ao peso médio do tratamento. As aves foram eutanasiadas por deslocamento cervical para retirada dos órgãos do trato gastrointestinal (proventrículo, moela, fígado e intestinos). O proventrículo e a moela foram devidamente esvaziados para a obtenção do peso dos órgãos vazios. Todos os órgãos foram pesados em balança de precisão de 2 g e os dados expressos em g/kg de PV.

#### 3.4.4.2. Peso e pH do conteúdo da moela

Retirou-se a gordura aderida à moela para a obtenção do peso da moela cheia. Posteriormente, a moela foi aberta para a mensuração do pH do seu conteúdo *in situ*, em duplicata, utilizando-se um peagâmetro de bancada (Gehaka<sup>®</sup>). Por fim, a moela foi lavada para a obtenção do peso da moela vazia. O peso do conteúdo da moela foi obtido por diferença entre o peso da moela cheia e o peso da moela vazia.

#### 3.4.4.3. Comprimento relativo dos intestinos

Os intestinos foram medidos (cm) com o auxílio de uma fita métrica do início do duodeno até a junção com os cecos. Do mesmo modo, mediu-se cada parte do intestino delgado (duodeno, jejuno, íleo e cecos), sendo os comprimentos das partes expressos em cm/kg de PV. Para a delimitação das partes do intestino delgado, considerou-se como duodeno a alça que envolve o pâncreas, o jejuno até o divertículo de Meckel e o íleo até a junção dos cecos. Para a medição dos cecos, considerou-se o ceco maior de cada ave.

#### 3.4.5. Avaliação da microbiota cecal

##### 3.4.5.1. Isolamento e caracterização fisiológica

Ao final do experimento, cinco aves por tratamento foram eutanasiadas para a retirada dos cecos em fluxo laminar no Laboratório de Ecologia e Fisiologia de Microrganismos (ICB/UFMG). Parte do conteúdo luminal do ceco (em torno de 0,1 g) de cada animal foi recuperada em condições assépticas em um tubo vazio pré-pesado. A seguir, o tubo foi pesado de novo para determinar o peso do conteúdo recolhido. Em função deste peso, foi introduzido um volume de solução salina tamponada estéril permitindo uma diluição de  $10^{-1}$ . O tubo foi introduzido em uma câmara de anaerobiose (Forma Scientific, Marietta, USA) contendo uma atmosfera de 85% N<sub>2</sub>, 10% H<sub>2</sub> e 5% CO<sub>2</sub> e na qual o conteúdo cecal nos tubos foi suspenso e homogeneizado por meio de vórtex. Em seguida, diluições centesimais até  $10^{-7}$  foram preparadas com salina tamponada a partir da diluição  $10^{-1}$ . Duas diluições foram selecionadas com base nas contagens de duas aves de mesma idade sacrificadas na semana anterior (piloto). A partir das diluições  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$ , foi usada uma alíquota de 0,1 ml de cada diluição para semear placas de Petri contendo ágar sangue (base Brain Heart Infusion, BHI, Acumedia, Lansing, USA), para contagem dos anaeróbios obrigatórios totais e ágar *Bacteroides* Bile Esculin (BBE, Acumedia) para contagem de *Bacteroides*; a mesma alíquota foi retirada a

partir das diluições  $10^{-4}$  e  $10^{-5}$  ágar de Man, Rogosa e Sharp (MRS, Acumedia) para avaliação de bactérias ácido lácticas. A seguir, as diluições  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  foram retiradas da câmara anaeróbica e usadas para plaqueamento em aerobiose em placas contendo ágar sangue (base BHI, Acumedia) para contagem dos anaeróbios facultativos totais e ágar BHI suplementado com azida sódica para contagem de *Enterococcus*; e as diluições  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  foram utilizadas no ágar MacConkey (Acumedia) para contagem de enterobactérias. Após espalhar os diversos inóculos, as placas foram incubadas a  $37^{\circ}\text{C}$  durante um máximo de sete dias em anaerobiose e dois dias em aerobiose. Cada colônia que apresentou morfologia distinta foi isolada e inoculada em 5 ml de caldo MRS (para as colônias que cresceram no meio MRS) ou em BHI (para as colônias que cresceram nos demais meios de cultura) e incubados na mesma condição de seu crescimento inicial durante 24/48 h a  $37^{\circ}\text{C}$ . Após o crescimento, foram transferidos 20  $\mu\text{l}$  do caldo para criotubos contendo 80  $\mu\text{l}$  de glicerol 80% estéril, sendo posteriormente congeladas a  $20^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, foi realizada a identificação proteômica das colônias com morfologia diferente. Cada espécie bacteriana distinta foi corada por Gram e testada para catalase.

#### 3.4.5.2. Análise proteômica

A análise proteômica é uma técnica analítica de espectrometria de massas na qual os compostos são ionizados, transformando-se em moléculas carregadas em que a proporção massa e carga é mensurada. A ionização e dessorção a laser assistida por matriz (MALDI) foi desenvolvida na década de 80, o que aumentou a aplicação da espectrometria de massas em grandes moléculas, como as proteínas (Shinghal et al., 2015).

Para a análise por MALDI, a amostra precisa ser misturada ou revestida por um composto orgânico absorvente de energia, chamado matriz (ácido cinâmico ou um derivado do ácido benzoico). A amostra com a matriz cristalizada é então ionizada por um feixe de *laser*. A dessorção e ionização gerada com o *laser* geram íons individualmente protonados que serão acelerados (pelo campo eletromagnético) a um potencial fixo onde serão separados de acordo com a proporção de sua massa e carga. As moléculas carregadas são detectadas e medidas usando diferentes analisadores de massas, porém para aplicação microbiológica o mais utilizado é o tempo de vôo (*time of flight* - TOF). Durante a análise MALDI-TOF, a proporção massa/carga de um íon é avaliado pelo tempo que ele gasta para percorrer o tubo. Baseado na informação do TOF, um espectro característico chamado *peptide mass fingerprint* (PMF) é gerado. A identificação do micro-organismo é feita por um *software* que compara o PMF da amostra com o PMF contido em um banco de dados e um valor numérico (um

escore) é gerado com base nas similaridades entre o espectro da amostra e o do banco de dados. Este escore informa a validade da identificação. Se o escore for acima de 2,0 é considerado uma identificação válida em nível de espécie. Se este valor for entre 1,7 e 2,0 tem-se uma identificação válida em nível de gênero. A análise MALDI-TOF é uma técnica rápida, confiável e de baixo custo para a identificação de bactérias (Shinghal et al., 2015).

As linhagens selecionadas dos cecos das galinhas e armazenadas nos criotubos foram ativadas duas vezes no caldo correspondente (MRS ou BHI) e, em seguida, estriadas sobre ágar MRS ou BHI e colocadas nas mesmas condições de incubação durante 13 a 24 horas. Posteriormente, as placas foram levadas ao Laboratório Aquacen, onde uma colônia de cada placa foi transferida para uma placa alvo de aço inoxidável, subsequentemente, a amostra foi adicionada 1 µL de ácido fórmico a 70% e, em seguida, 1 µL de solução matriz para então ser inserida no espectrômetro (Bruker) para aquisição do espectro (DEC et al., 2016). As análises foram realizadas em espectrômetro de massa, onde os compostos químicos foram ionizados em moléculas carregadas e a sua relação massa-carga ( $m/z$ ) foi medida. Os espectros de massa compostos gerados foram comparados com os espectros-padrão de amostras de microorganismos contidas em bases de dados de referência (DEC et al., 2016). Foi utilizada uma amostra padrão como controle, previamente indicada pelo fabricante.

#### 3.4.6. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC), constituído por quatro tratamentos com seis repetições de 27 aves cada, totalizando 648 galinhas. Para as análises de qualidade dos ovos, foram utilizadas 24 repetições; para a análise de concentração de colesterol na gema, 30 repetições; para as avaliações do trato gastrintestinal, 11 repetições e, para a avaliação da microbiota cecal, foram utilizadas cinco repetições para cada um dos quatro tratamentos. A normalidade e homocedasticidade dos dados foram verificadas pelo teste de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento ANOVA e as médias comparadas pelo teste Tukey e SNK, conforme o caso, a 5% de probabilidade. Quando houve diferença significativa entre as médias ( $p < 0,05$ ), também foi utilizado o teste de Dunnett para comparar individualmente as médias dos tratamentos com inclusão de fonte de fibra com o tratamento controle. Respostas qualitativas ou quando os dados violaram o princípio da normalidade e/ou homocedasticidade foram analisados por meio de estatística não paramétrica e as medianas comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis.

### 3.5. Comitê de Ética em Experimentação Animal

A metodologia utilizada neste experimento foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Minas Gerais – CEUA, sob protocolo n° 354/2017.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Parâmetros de Desempenho

O peso das aves ao início do experimento foi semelhante entre os tratamentos ( $p>0,05$ ), comprovando a homogeneidade dos mesmos (Tabela 3). As diferentes fontes de fibra não foram capazes de alterar os principais parâmetros de desempenho, como consumo de ração conversão alimentar, produção e peso dos ovos ( $p>0,05$ ). O consumo de ração foi semelhante entre os todos os tratamentos, o que era previsto, uma vez que as poedeiras regulam seu consumo de acordo com suas necessidades energéticas (Ribeiro et al., 2014) e as rações dos diferentes tratamentos foram formuladas para que apresentassem teores de energia semelhantes. Também não se observou efeito dos tratamentos sobre a produção, o peso dos ovos e o peso das aves ao final do experimento ( $p>0,05$ ), conseqüentemente, os valores de conversão alimentar (por peso e por dúzia) e massa de ovos foram semelhantes entre todos os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 3 – Peso inicial (99 semanas) e final (110 semanas) das aves, consumo médio de ração (CMR), produção e peso dos ovos de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	CMR (g/ave/dia)	Produção (%)	Peso Ovo (g)
Controle	1,721 a	1,719 a	107,13 a	68,49 a	66,53 a
Polpa de beterraba	1,717 a	1,751 a	105,31 a	69,84 a	66,76 a
Farelo de trigo	1,726 a	1,744 a	106,51 a	66,27 a	66,95 a
Lignocelulose	1,718 a	1,744 a	105,44 a	68,86 a	67,76 a
CV (%)	1,84	3,99	4,16	8,54	1,7
Valor de P	0,962	0,856	0,871	0,754	0,300

Médias seguidas por letras iguais na coluna foram consideradas semelhantes pelo teste F ( $p>0,05$ ).

CV: coeficiente de variação

Dessa forma, o teor de PNA solúveis das dietas com inclusão de polpa de beterraba ou de farelo de trigo não prejudicou o desempenho das aves. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Araujo et al. (2008b), que observaram que a inclusão de até 9% de farelo de trigo na dieta não afeta o consumo de ração, o peso vivo final, a produção, o peso e a massa dos ovos e a conversão por massa e por dúzia de ovos.

Apesar dos PNA solúveis estarem associados à pior digestibilidade dos nutrientes (Smits e Annison, 1996; Swiatkiewicz e Koreleski, 2007), alguns autores não observaram redução do desempenho de poedeiras alimentadas com ingredientes com alto teor de PNA solúveis, sendo coerente com os resultados obtidos neste estudo. Lázaro et al. (2003) compararam uma dieta à base de milho com dietas à base de trigo, cevada ou centeio (fontes de fibras solúveis). Os autores não observaram efeito sobre o desempenho produtivo de poedeiras (20 a 44 semanas de idade) e as aves que receberam as dietas com inclusão de cereais com maior teor de fibra solúvel apresentaram maior ganho de peso do que as aves que receberam a dieta à base de milho. Da mesma forma, Pérez-Bonilla et al. (2011), trabalhando com Lohmann Brown de 22 a 54 semanas de idade, avaliaram uma dieta à base de milho e duas dietas com inclusão de 45% de trigo ou cevada, o que resultou em dietas com teores de FDN de aproximadamente 8,5% (milho), 13,3% (milho + trigo) e 18,0% (milho + cevada). Os autores também não observaram efeito sobre a produção, peso e massa dos ovos, consumo de ração, conversão alimentar, mortalidade das aves e qualidade da casca. Entretanto, a dieta com inclusão de 45% de cevada reduziu o ganho de peso das aves.

Assim como ocorre com os PNA solúveis, apesar de muitos trabalhos terem demonstrado benefícios para a fisiologia digestiva das aves com o consumo de PNA insolúveis, nenhum deles mostrou efeito positivo sobre produção, peso ou massa de ovos (Hetland et al., 2003; Hetland et al., 2004; Amaral, 2014), concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Hetland et al. (2003) avaliaram a adição de raspas de madeira *on top* na ração para poedeiras entre 15 a 29 semanas de idade. Os autores verificaram que o acesso às raspas de madeira aumentou a digestibilidade ileal do amido, o peso da moela e do conteúdo da mesma, no qual se observou aumento da concentração de FDN, esses efeitos são atribuídos à maior atividade da moela. Entretanto, não houve efeito sobre a produção de ovos e consumo de ração. Krimpen et al. (2009), ao avaliarem a diluição da ração de poedeiras em início de produção (18 a 26 semanas) por meio da inclusão de fontes de PNA de acordo com sua solubilidade também não observaram efeito sobre a produção de ovos.

Tabela 4 – Conversão alimentar (CA) por peso do ovo e por dúzia de ovos, massa de ovos (MO), número de ovos por ave alojada (ovos/aa) e viabilidade de acordo com os tratamentos

Tratamentos	CA (kg/kg)	CA (kg/dz)	MO	Ovos/aa	Viabilidade (%)
Controle	1,61 a	1,89 a	45,59 a	42,53 a	77,16 b
Polpa de beterraba	1,58 a	1,82 a	46,62 a	45,02 a	85,18* ab
Farelo de trigo	1,60 a	1,94 a	44,36 a	43,96 a	87,65* a
Lignocelulose	1,56 a	1,85 a	46,61 a	46,04 a	90,74* a
CV (%)	4,44	7,48	8,43	10,17	6,12
Valor de P	0,604	0,507	0,711	0,582	0,001

Médias seguidas por letras distintas na coluna foram consideradas diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

\*Valores diferentes em relação ao controle de acordo com o contraste Dunnet.

CV: coeficiente de variação

Houve efeito dos tratamentos sobre a viabilidade das aves ( $p < 0,05$ ). As aves que receberam a dieta com inclusão de lignocelulose ou farelo de trigo apresentaram maior viabilidade em comparação com as aves que receberam a dieta sem inclusão de fonte adicional de fibra. As aves que receberam a dieta com inclusão de polpa de beterraba apresentaram viabilidade intermediária e semelhante às demais fontes de fibra. Entretanto, comparando-se as médias pelo contraste Dunnet, podemos observar que a inclusão de polpa de beterraba na dieta aumentou a viabilidade em comparação com a dieta controle (Tabela 5). Segundo Hetland et al. (2004), uma hipótese que poderia explicar a redução do canibalismo em função da presença da fibra na dieta seria que, devido ao menor tempo de permanência da digesta no trato gastrintestinal, as aves passariam mais tempo ingerindo ração e menos tempo bicando umas às outras. Independente da velocidade de passagem da digesta, essa hipótese poderia explicar parte dos resultados obtidos nesse experimento, pois as rações com inclusão de farelo de trigo ou lignocelulose foram mais volumosas em relação aos demais tratamentos. Dessa forma, ainda que a quantidade (kg) de ração consumida tenha sido semelhante entre os tratamentos, as aves que receberam as dietas com inclusão de farelo de trigo ou de lignocelulose certamente gastaram mais tempo se alimentando e direcionaram mais bicadas à ração em comparação com o grupo controle. Além disso, fatores ainda desconhecidos inerentes às fontes de fibra também podem ter influenciado esse comportamento.

Observou-se que boa parte da mortalidade das aves ocorreu em decorrência de canibalismo, problema manifestado desde o início da fase de produção (Figura 2). Sabe-se que o prolapso pode levar ao canibalismo e vice-versa. Hartini et al. (2002) também observaram desenvolvimento de canibalismo em poedeiras não debicadas concomitantemente com a postura dos primeiros ovos, às 17 semanas de idade. Os autores perceberam que as

aves recebiam bicadas frequentes quando estavam em processo de postura (exposição da cloaca) e que o prolapso levou ao canibalismo, mas nem sempre foi considerado o fator causal do canibalismo.

Nesse mesmo trabalho, Hartini et al. (2002) utilizaram dois grupos de poedeiras, sendo um debicado e o outro não. Como a debicagem é o método mais eficiente para controlar o canibalismo, o efeito da dieta na redução desse problema ocorreu no grupo de aves que não foram debicadas, sendo que a utilização de dietas ricas em fibra solúvel ou insolúvel reduziu a mortalidade devido ao canibalismo. Considerando a dificuldade de interromper um surto de canibalismo já instalado em um lote de poedeiras, os autores trocaram a dieta mais preventiva (dieta rica em fibras insolúveis) pela menos preventiva (dieta comercial) para verificar se os padrões de mortalidade por canibalismo mudariam com a dieta. De acordo com os autores, uma semana depois de fornecer a dieta rica em fibras insolúveis, a mortalidade devido ao canibalismo reduziu nas aves que estavam recebendo a dieta comercial anteriormente. Por outro lado, as aves que mudaram da dieta rica em fibra insolúvel para a dieta comercial começaram a apresentar alta incidência de canibalismo. No presente trabalho, observou-se que o efeito de redução da mortalidade das aves pelas dietas com inclusão de fontes de fibra foi mais evidente a partir da quinta semana de consumo das dietas experimentais (Figura 3).

Alguns trabalhos demonstraram que o consumo de fibras insolúveis reduz o comportamento de bicagem de penas entre as galinhas, especialmente quando essas aves são alimentadas com rações peletizadas (Aerni et al., 2000; El-Lethey et al., 2000). Aerni et al. (2000) verificaram que galinhas alimentadas com dieta farelada gastaram mais tempo se alimentando e tiveram que bicar a ração mais vezes em comparação com as que receberam a ração peletizada. Dessa forma, a utilização de rações peletizadas, por favorecerem o consumo de ração em menor tempo, levaria as aves a redirecionar o tempo economizado para arranque de penas (Harlander-Matauschek et al., 2006). El-Lethey et al. (2000), trabalhando com poedeiras Lohman LSL<sup>®</sup> de 19 a 30 semanas de idade, também observaram maior ocorrência de bicagem de penas entre as aves que não receberam palha como fonte de fibra insolúvel e foram alimentadas com ração peletizada. Os autores observaram que as aves que receberam esse tratamento também demonstraram maiores indicativos de estresse, como duração da imobilidade tônica e relação heterofilos-linfócitos. Dessa forma, concluíram que a ocorrência de bicagem de penas também pode estar relacionada a certo limiar de estresse manifestado pelas aves.

Além do canibalismo na cloaca, também foi observado comportamento de arranque de penas entre as aves experimentais (Figura 2). A bicagem de penas é um comportamento das

aves que também pode levar à mortalidade por canibalismo. Normalmente, as penas arrancadas são ingeridas pelas aves (Harlander-Matauschek et al., 2009). Harlander-Matauschek et al. (2006) observaram que a ingestão de penas reduz o tempo de permanência da digesta no trato gastrintestinal, demonstrando efeitos semelhantes à ingestão de fibras insolúveis. De fato, Hetland et al. (2005) demonstraram que as poedeiras ingerem penas para compensar a falta de componentes estruturais na dieta. Resultados obtidos por Hetland e Svihus (2001) indicaram que as fibras insolúveis e de granulometria grosseira aumentam a atividade de moagem da moela. Sabe-se que os movimentos peristálticos ao longo do intestino são afetados pela atividade da moela (Duke, 1992). Dessa forma, de acordo com Harlander-Matauschek et al. (2006), esse efeito sobre a fisiologia digestiva pode ser um fator crucial no desenvolvimento da bicagem de penas e canibalismo em poedeiras.



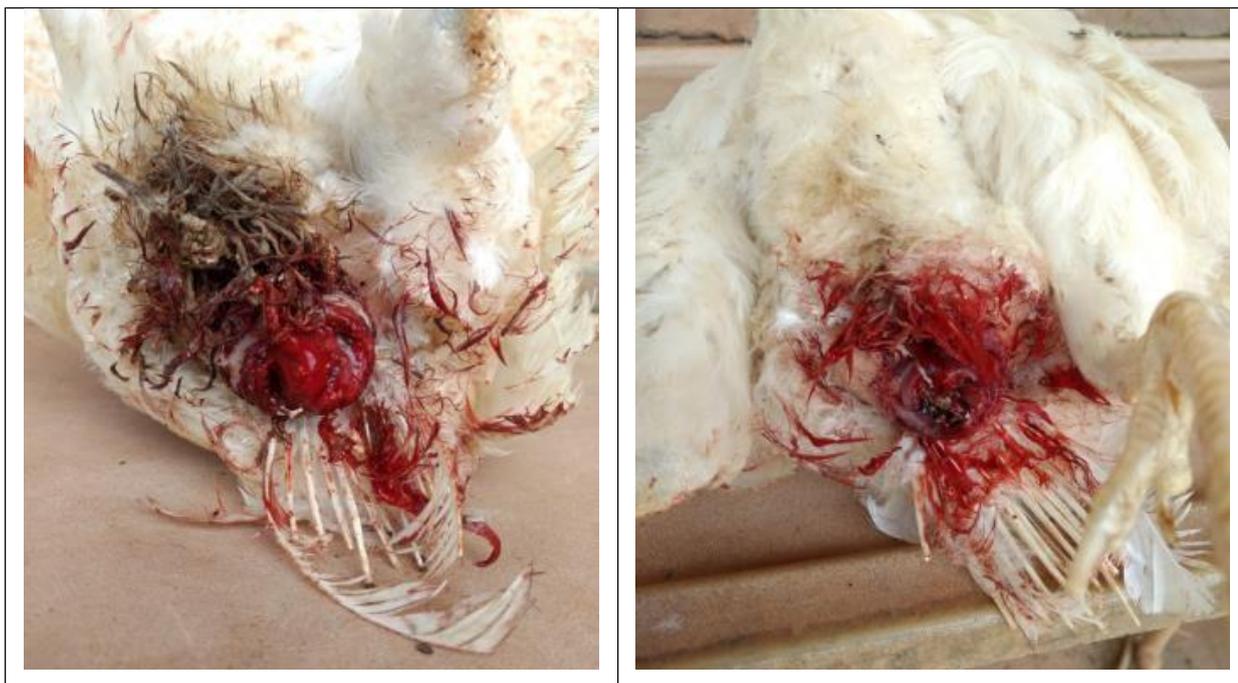


Figura 2: Ocorrência de “arranque de penas” e mortalidade por canibalismo.

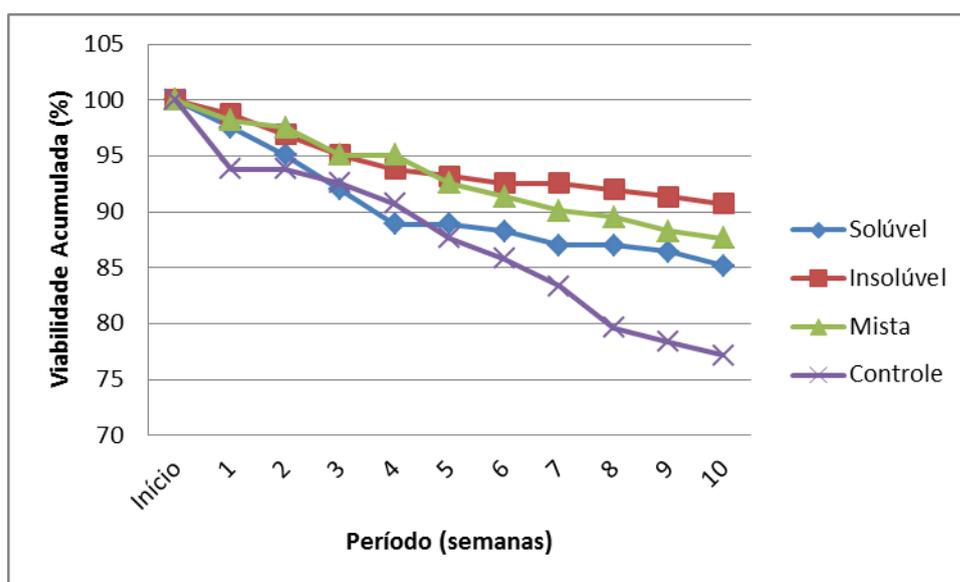


Figura 3: Viabilidade acumulada ao longo do período experimental de acordo com os tratamentos.

Harlander-Matauschek et al. (2009) e Kalmendal e Bessei (2012) avaliaram o comportamento alimentar de poedeiras selecionadas para exibirem alto comportamento de bicagem de penas (ABP) e baixa bicagem de penas (BBP). As aves utilizadas em ambos os estudos originaram-se de um experimento de seleção (Kjaer et al., 2001), no qual as aves foram selecionadas de forma divergente para o comportamento de bicagem de penas por seis

gerações. Os progenitores das aves avaliadas nos experimentos foram obtidos a partir destas linhas de seleção e identificados com base no seu genótipo e fenótipo como aves ABP e BBP. Harlander-Matauschek et al. (2009) forneceram ração peletizada, penas soltas e penas fixas e observaram que as aves ABP consumiram livremente maior quantidade de penas. Kalmendal e Bessei (2012), por sua vez, avaliaram o consumo voluntário de uma dieta controle (à base de trigo e farelo de soja) e de uma dieta suplementada com 8% de casca de espelta (trigo vermelho) por essas galinhas selecionadas com relação ao comportamento de bicagem de penas. Os autores verificaram que poedeiras propensas à bicagem de penas preferiram a dieta com maior teor de fibra, além de arrancarem mais penas de um modelo inanimado e apresentarem condição de plumagem inferior, maior peso corporal e maior consumo de ração em comparação com as aves pouco propensas à bicagem de penas. Esses experimentos demonstraram que há um efeito genético sobre o desenvolvimento da bicagem de penas em poedeiras. A linhagem das aves utilizadas nesse experimento, Lohmann LSL<sup>®</sup>, normalmente apresenta excelente desempenho produtivo, com bom pico e persistência de produção de ovos. Entretanto, alta mortalidade e canibalismo têm sido observados em alguns lotes dessa linhagem.

Os resultados de viabilidade obtidos neste experimento indicam que a inclusão de fontes de fibra na dieta pode contribuir para a redução da mortalidade de poedeiras comerciais. Uma hipótese que poderia explicar o efeito da fibra sobre o canibalismo seria o aumento da sensação de saciedade associado ao maior tempo gasto com o consumo de ração. As diferenças observadas na viabilidade não foram suficientes para alterar o número de ovos por ave alojada, que foi semelhante ( $p > 0,05$ ) entre todos os tratamentos, talvez devido ao curto período de avaliação.

#### **4.2. Parâmetros de Qualidade dos Ovos**

Não houve efeitos dos tratamentos ( $p > 0,05$ ) sobre a composição dos ovos (porcentagem de gema, casca e albúmen) nem sobre as unidades Haugh (Tabela 5). Segundo Grobas et al. (1999) e Leeson & Summers (2005), os teores de proteína, aminoácidos e gordura são os fatores nutricionais mais importantes que afetam o peso do ovo e, conseqüentemente, a proporção de seus componentes, principalmente em aves mais jovens. Como neste estudo, as poedeiras receberam dietas formuladas para conter teores similares de proteína bruta, extrato etéreo, cálcio, sódio, metionina e metionina + cistina e são aves mais

velhas, provavelmente os nutrientes ingeridos pelas aves foram suficientes para que os componentes dos ovos se mantivessem estáveis.

Tabela 5 – Porcentagem de gema, casca e albúmen e unidades Haugh de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Gema (%)	Casca (%)	Albúmen (%)	Unidades Haugh
Controle	27,42 a	8,56 a	64,02 a	96,11 a
Polpa de beterraba	26,89 a	8,59 a	64,51 a	96,13 a
Farelo de trigo	26,84 a	8,59 a	64,58 a	96,03 a
Lignocelulose	26,77 a	8,59 a	64,63 a	97,30 a
CV (%)	5,85	7,01	2,65	7,95
Valor de P	0,468	0,997	0,582	0,281

Médias seguidas por letras iguais na coluna foram consideradas semelhantes pelo teste F ( $p>0,05$ ).

CV: coeficiente de variação

Não houve efeito dos tratamentos ( $p>0,05$ ) sobre peso específico, resistência e espessura da casca dos ovos (Tabela 6). As inclusões das fontes de fibra utilizadas nesse experimento foram relativamente baixas e mesmo outros autores que trabalharam com inclusões bem maiores de fontes de fibra predominantemente insolúveis também observaram que a qualidade da casca dos ovos não foi alterada. Swiatkiewicz e Koreleski (2006) verificaram que a inclusão de até 20% de DDGS não afetou a qualidade da casca de ovos produzidos por poedeiras Lohmann Brown<sup>®</sup> de 26 a 68 semanas de idade. Filardi et al. (2007) também observaram que a qualidade da casca dos ovos de poedeiras Lohmann LSL<sup>®</sup> de 26 a 46 semanas de idade não foi afetada pela inclusão de até 15% de farelo de arroz na dieta. Araujo et al. (2008b) observaram que a inclusão de até 9% de farelo de trigo não influenciou a peso específico dos ovos de poedeiras Lohmann Brown<sup>®</sup> em primeiro ciclo de produção. A inclusão de até 24,8% de farelo de girassol não afetou a porcentagem e espessura da casca dos ovos de poedeiras de 28 a 34 semanas de idade segundo Shi et al. (2012).

A fibra solúvel, principalmente as substâncias pécicas, tem grande capacidade de absorver água e formar substância gelatinosa no trato intestinal, o que inibe a digestão e absorção dos nutrientes de modo geral. Além disso, a fibra que tem alta capacidade de troca catiônica, geralmente a solúvel, exerce ação adsorvente especialmente sobre os cátions bivalentes, como cálcio, tornando-os indisponíveis para absorção, o que teoricamente poderia piorar a qualidade da casca (Annison e Choct, 1991). Entretanto, a inclusão de 3,29% de polpa de beterraba neste trabalho não foi suficiente para prejudicar a qualidade da casca do ovo.

Tabela 6 – Peso específico (g/mL), resistência (g/cm<sup>2</sup>) e espessura da casca (mm), índice de cor de gema e concentração de colesterol na gema (mg/g) de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Peso específico	Resistência	Espessura	Cor	Colesterol
Controle	1,077 a	4104,9 a	0,356	6,52 a	11,67 a
Polpa de beterraba	1,076 a	4190,6 a	0,358	5,92 b	10,60 a
Farelo de trigo	1,075 a	4173,4 a	0,356	5,71 b	10,63 a
Lignocelulose	1,075 a	4227,7 a	0,361	5,77 b	12,36 a
CV (%)	0,5	14,59	6,31		27,44
Valor de P	0,699	0,916	0,873	<0,0001	0,083

Médias seguidas por letras distintas na coluna foram consideradas diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis.

CV: coeficiente de variação

A cor da gema foi influenciada pelos tratamentos (Tabela 6). Os ovos das aves que consumiram a dieta controle apresentaram maiores índices de cor de gema em comparação com os demais tratamentos ( $p \leq 0,05$ ). Como os teores de xantofilas das dietas foram muito parecidos, esses resultados indicam que a fibra talvez possa interferir na absorção de substâncias pigmentantes (Morais, 2006). Amaral (2014) também observou redução do índice de cor de gema com a inclusão de 7,5% de farelo de trigo na dieta em comparação com as aves que receberam a dieta à base de milho e farelo de soja.

Não houve efeito dos tratamentos sobre a concentração de colesterol na gema dos ovos ( $p > 0,05$ ). Alguns autores observaram redução dos níveis de colesterol na gema dos ovos com a inclusão de fontes de fibra na dieta para poedeiras (Nazok et al., 2010; Shi et al., 2012; Laudadio et al., 2014). Considerando a média dos trabalhos citados, a concentração de colesterol na gema dos ovos foi reduzida de 14,0 mg/g para 10,8 mg de colesterol/g de gema com o aumento do teor de fibra na dieta. No presente estudo, as concentrações de colesterol na gema dos ovos foram relativamente baixas (média de 11,3 mg/g), se aproximando mais das concentrações obtidas pelos autores com o aumento do teor de fibra das dietas. Dessa forma, como há um limite inferior para a concentração de colesterol na gema do ovo a partir do qual a produção de ovos é interrompida (Hargis, 1988). Talvez as concentrações obtidas neste experimento já tenham sido baixas o bastante considerando a manutenção do desempenho das aves. Além disso, no presente trabalho, as inclusões das fontes de fibra foram relativamente baixas, podendo ter sido insuficientes para promover a redução da concentração de colesterol na gema dos ovos.

### 4.3. Avaliações do Trato Gastrointestinal

Houve efeito dos tratamentos sobre o peso relativo da moela ( $p < 0,05$ ). As aves que receberam a dieta com inclusão de polpa de beterraba apresentaram maior peso relativo da moela em relação aos demais tratamentos (Tabela 7). O aumento do peso relativo da moela é considerado benéfico para a fisiologia digestiva da ave e não está associado apenas à solubilidade da fonte de fibra, mas também à granulometria desses ingredientes, características que, em conjunto, determinam o tempo de retenção necessário para que determinado componente da ração possa ser moído a um tamanho que permita sua passagem para o duodeno. Quanto mais tempo for necessário para a moagem dessas partículas na moela, maior será o efeito sobre a atividade e, conseqüentemente, sobre o peso desse órgão (Hetland et al., 2003). Diante do exposto, provavelmente a forma peletizada da polpa de beterraba foi capaz de exercer maior estímulo à atividade da moela em relação às demais fontes de fibra. Concordando com os resultados obtidos neste experimento, Guzmán et al. (2015) também verificaram aumento do peso relativo da moela de frangas de dez semanas de idade com a inclusão de 4% de polpa de beterraba na dieta.

Tabela 7 – Peso relativo da moela (g/kg), peso do conteúdo da moela (g) e seu pH e peso relativo (g/kg) do proventrículo e do fígado de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Moela	Conteúdo	pH	Proventrículo	Fígado
Controle	13,44 b	10,03 a	2,86 a	4,41 a	27,18 a
Polpa de beterraba	14,90 a	9,33 a	2,30 a	4,43 a	25,13 a
Farelo de trigo	12,98 b	8,73 a	2,57 a	4,14 a	26,88 a
Lignocelulose	13,03 b	9,97 a	3,00 a	4,39 a	25,54 a
CV (%)	9,29	18,75	25,00	9,73	13,94
Valor de P	0,003	0,293	0,087	0,354	0,577

Médias seguidas por letras distintas na coluna foram consideradas diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

CV: coeficiente de variação

O peso e pH do conteúdo da moela não foram alterados ( $p > 0,05$ ) em função dos tratamentos, assim como o peso relativo do proventrículo e do fígado ( $p > 0,05$ ). Em relação ao pH do conteúdo da moela, Steinfeldt et al. (2007) observaram que o conteúdo da moela de poedeiras ISA Brown que receberam silagens (fontes de fibra insolúvel) apresentou menores valores de pH e maiores concentrações de ácido láctico e de ácido acético em comparação com os demais tratamentos. Nesse caso, a redução do pH do conteúdo da moela poderia ser explicada pela contribuição de ácido láctico e ácido acético presentes nas silagens e não

somente pela maior atividade da moela. Amaral (2014) também observou que a inclusão de 7,5% de farelo de trigo na dieta de poedeiras em início de produção não afetou o peso relativo dos órgãos digestivos. Em relação ao peso do proventrículo e do fígado, Guzmán et al. (2015) também verificaram que os pesos relativos desses órgãos não foram alterados em frangas de dez semanas de idade com a inclusão de 4% de polpa de beterraba na dieta.

Como demonstrado na Tabela 8, não houve efeito sobre o comprimento relativo do intestino delgado e cecos ( $p>0,05$ ). Assim como ocorre com a velocidade de passagem da digesta, talvez as alterações provocadas pela inclusão de diferentes fontes de fibra na dieta sejam mais evidentes em frangos de corte, mas pouco relevantes para aves adultas. Amerah et al. (2009), trabalhando com frangos de corte, observaram que o comprimento relativo do intestino delgado reduziu com a inclusão de fontes de fibra insolúveis na dieta.

Tabela 8 – Comprimento relativo do duodeno, jejuno, íleo, intestino delgado e ceco (cm/kg de PV) de acordo com os tratamentos

Tratamentos	Duodeno	Jejuno	Íleo	ID	Ceco
Controle	15,69 a	45,95 a	70,48 a	132,12 a	64,67 a
Polpa de beterraba	15,96 a	45,63 a	68,49 a	130,08 a	62,31 a
Farelo de trigo	15,85 a	47,79 a	71,58 a	135,22 a	65,85 a
Lignocelulose	16,02 a	47,28 a	70,88 a	134,17 a	64,88 a
CV (%)	11,81	10,91	8,92	9,15	9,40
Valor de P	0,978	0,714	0,691	0,763	0,572

Médias seguidas por letras iguais na coluna foram consideradas semelhantes pelo teste F ( $p>0,05$ ).  
CV: coeficiente de variação

#### 4.4. Avaliação da microbiota cecal

Foram identificadas 19 espécies de bactérias nos cecos das galinhas (Quadro 2) e uma espécie de fungo, *Candida albicans*. Uma das bactérias identificadas nos cecos das galinhas estava sendo fornecida como probiótico no premix das aves, *Bacillus subtilis*, que foi recuperado em  $5 \times 10^3$  em aves submetidas ao tratamento controle e  $1 \times 10^4$  nas aves submetidas aos demais tratamentos.

Quadro 2 – Espécies de micro-organismos isolados de cecos de poedeiras (pool de cinco aves) em diferentes meios de cultura e condições de cultivo, segundo a inclusão de diferentes fontes de fibra na dieta, identificadas por proteômica

Meios	Espécie	Total	Tratamentos					
			Controle	PB	Lignocelulose	FT		
Aerobiose	BHI	<i>Staphylococcus pasteurii</i>	2	1	1	2	2	
		<i>Enterococcus faecium</i>	6	3	3	3	5	
		<i>Staphylococcus epidermidis</i>	2	1	1	0	2	
		<i>Enterobacter asburiae</i>	2	1	1	1	1	
		<i>Escherichia coli</i>	8	3	2	4	2	
		<i>Enterococcus faecalis</i>	1	1	0	0	1	
	MacConkey	<i>Escherichia coli</i>	27	15	7	7	5	
		<i>Escherichia fergusonii</i>	1	1	1	0	1	
		<i>Klebsiella variicola</i>	2	2	0	0	0	
		<i>Klebsiella oxytoca</i>	1	1	0	0	0	
		<i>Citrobacter freundii</i>	1	0	1	0	0	
		<i>Enterococcus faecalis</i>	2	1	1	0	0	
		<i>Enterobacter asburiae</i>	1	1	0	0	0	
	Ágar Sangue	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	2	2	1	1	1	
		<i>Escherichia coli</i>	27	11	7	8	17	
		<i>Enterococcus faecium</i>	1	0	0	1	0	
		<i>Staphylococcus aureus</i>	2	1	2	1	1	
		<i>Enterococcus faecalis</i>	5	2	1	1	2	
		<i>Klebsiella variicola</i>	1	1	0	0	1	
	Anaerobiose	Ágar Sangue	<i>Escherichia coli</i>	18	11	12	8	9
			<i>Bacillus subtilis</i>	1	1	1	1	1
<i>Staphylococcus epidermidis</i>			1	1	0	1	0	
<i>Bacillus cereus</i>			1	0	0	1	0	
<i>Gallibacterium anatis</i>			1	0	0	0	1	
<i>Corynebacterium freneyi</i>			1	0	1	0	0	
<i>Streptococcus alactolyticus</i>			1	1	1	1	1	
MRS		<i>Lactobacillus crispatus</i>	1	1	1	1	1	
		<i>Enterococcus faecium</i>	2	2	2	2	2	
		<i>Lactobacillus reuteri</i>	2	2	2	2	2	

<sup>1</sup>Total de morfotipos identificados como a espécie determinada.

PB: polpa de beterraba; FT: farelo de trigo.

Após a identificação bacteriana, observou-se uma entrada de ar atmosférico na câmara de anaerobiose, o que impediu o crescimento de anaeróbios obrigatórios, como *Clostridium* sp. e *Bacteroides* spp. Por esse motivo, os dados referentes ao meio de cultura BBE foram desconsiderados. A diluição de  $10^{-5}$  foi insuficiente para realizar a contagem de colônias da

maneira adequada no meio MRS, sendo que algumas placas apresentaram mais de 300 colônias do mesmo morfotipo. Nesses casos, considerou-se 300 colônias como o número mínimo para a contagem de colônias do morfotipo em questão. Essa situação ocorreu em três das cinco aves avaliadas (3/5) do tratamento controle e em 4/5, 2/4 e 5/5 para as dietas com polpa de beterraba, farelo de trigo e lignocelulose, respectivamente. Foram observados, em média, três morfotipos por ave no meio MRS.

Não houve efeito dos tratamentos sobre a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC/g) nos meios BHI, ágar sangue e MRS ( $p>0,05$ ), independentemente das condições de cultivo. Entretanto, a inclusão de polpa de beterraba reduziu significativamente a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC/g) no meio MacConkey em comparação com a inclusão de lignocelulose (Tabela 9). Como a fibra solúvel entra no ceco mais facilmente (Józefiak et al., 2004, Svihus et al., 2013; Sergeant et al., 2014) e tem maior suscetibilidade à fermentação (Bach Knudsen e Hansen, 1991), poderia exercer maior efeito sobre a microbiota cecal. Além disso, Marounek et al. (1999), avaliando a fermentação de carboidratos pela microbiota cecal *in vitro*, observaram alta produção de acetato com a fermentação de pectinas e xilanos, componentes importantes da fibra solúvel (Smits e Annison, 1996). E, de acordo com Van der Wielen et al. (2000), o acetato é mais eficiente para inibir o crescimento de micro-organismos da família Enterobacteriaceae, família em que estão incluídas importantes bactérias patogênicas, como *Salmonella* e *Escherichia coli*.

Tabela 9 – Enumeração de microrganismos (UFC/g) isolados de cecos de poedeiras de acordo com a fonte de fibra da dieta e condições de cultivo

Meio	Tratamentos			LC	Média	CV (%)	Valor de P
	Controle	PB	FT				
<b>Aerobiose</b>							
BHI	5,4x10 <sup>8</sup> a	9,4x10 <sup>8</sup> a	3,8x10 <sup>8</sup> a	9,2x10 <sup>8</sup> a	7,1x10 <sup>8</sup>	5,05	0,215
MacConkey	1,1x10 <sup>6</sup> ab	8,9x10 <sup>4</sup> b	1,4x10 <sup>6</sup> ab	1,8x10 <sup>6</sup> a	1,1x10 <sup>6</sup>	11,23	0,043
Ágar Sangue	2,7x10 <sup>8</sup> a	4,1x10 <sup>8</sup> a	3,1x10 <sup>8</sup> a	1,0x10 <sup>8</sup> a	2,8x10 <sup>8</sup>	9,63	0,215
<b>Anaerobiose</b>							
Ágar Sangue	5,5x10 <sup>7</sup> a	1,1x10 <sup>8</sup> a	3,6x10 <sup>7</sup> a	4,8x10 <sup>7</sup> a	6,4x10 <sup>7</sup>	-	0,966
MRS	2,4x10 <sup>8</sup> a	3,5x10 <sup>8</sup> a	2,0x10 <sup>8</sup> a	4,6x10 <sup>8</sup> a	3,1x10 <sup>8</sup>	6,61	0,254

Médias seguidas por letras distintas na linha são diferentes pelo teste SNK ( $p<0,05$ ).

CV: coeficiente de variação; PB: polpa de beterraba; FT: farelo de trigo; LC: lignocelulose

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os obtidos por Jimenez-Moreno et al. (2011), que também verificaram que a inclusão de 5% casca de aveia ou polpa de beterraba na dieta não afetou a contagem de *Lactobacillus* nos cecos de frangos. Por outro

lado, Ishihara et al. (2000) observaram que a inclusão de fibra solúvel aumentou o número de *Bifidobacterium* spp. e *Lactobacillus* spp. Esses autores também observaram redução do número de Enterobacteriaceae na microbiota cecal com a inclusão de fibra solúvel na dieta, corroborando com os resultados obtidos no presente experimento. Pascoal et al. (2015) observaram menor prevalência de *Escherichia coli* no intestino delgado de leitões alimentados com dietas contendo casca de soja e polpa cítrica. De acordo com os autores, os resultados poderiam ser justificados pela maior quantidade de fibra solúvel presente nesses dois ingredientes, que aumenta a fermentação e, conseqüentemente, a produção de ácidos graxos de cadeia curta, inibindo o crescimento dessas bactérias (Mateos et al., 2006).

Observou-se que dentre as bactérias identificadas no meio MacConkey, há várias potencialmente patogênicas, como *Escherichia fergusonii* (Simmons et al., 2014), *Klebsiella variicola*, *Klebsiella oxytoca*, *Enterococcus faecalis* e *Enterobacter asburiae*, que foram identificadas no tratamento controle, mas que foram suprimidas pelos demais tratamentos (Quadro 2). Esses resultados indicam que as fontes de fibra podem ter aumentado a fermentação cecal e, dessa forma, fortaleceram a microbiota comensal. Mesmo na ausência de efeito sobre a contagem de bactérias ácido-láticas, a atividade dessas bactérias pode ter sido aumentada devido à fermentação da fibra (Gibson e Roberfroid, 1995). A fibra dietética parece ser utilizada preferencialmente por espécies de *Lactobacillus* e *Bifidobacteria* que levam à produção de ácido lático e AGCC, resultando na manutenção de populações microbianas normais, baixo pH, aumento do peristaltismo e prevenção do estabelecimento de bactérias patogênicas no trato gastrintestinal (Kaplan e Hutkins, 2000). Steinfeldt et al. (2007) observaram redução dos valores de pH do conteúdo cecal com o consumo de fontes de fibra, independentemente da solubilidade. De acordo com os autores, os valores de pH mais baixos nos conteúdos cecais de galinhas que receberam qualquer as fontes de fibra indicam que estes alimentos fornecem certa quantidade de carboidrato, que escapa da hidrólise enzimática no intestino delgado e é fermentada pela microbiota cecal. Jimenez-Moreno et al. (2009b) também observaram redução do pH do conteúdo cecal de frangos de corte com o consumo de polpa de beterraba e celulose pelas aves.

## 5. CONCLUSÕES

A utilização de fontes de fibra na dieta para poedeiras não alterou o desempenho das aves e nem a qualidade dos ovos.

A inclusão de lignocelulose e farelo de trigo na dieta reduziu significativamente a mortalidade das aves, contribuindo para melhorar o bem estar das aves.

A inclusão de 3,3% de polpa de beterraba aumentou o peso relativo da moela e reduziu o número de Enterobacteriaceae nos cecos das aves, efeitos considerados benéficos para a fisiologia do trato gastrintestinal e que demonstram que certa quantidade de fibra solúvel não é prejudicial para poedeiras.

A inclusão de farelo de trigo na dieta foi eficaz em reduzir a mortalidade das aves e favorecer a fermentação cecal pelo menor custo de ração.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERNI, V.; EL-LETHEY, H.; WECHSLER, B. Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. **British Poultry Science**, v. 41, n. 1, p. 16-21, 2000.

ALLEN, V.M.; FERNANDEZ, F.; HINTON, M.H. Evaluation of the influence of supplementing the diet with mannose or palm kernel meal on salmonella colonisation in poultry. **British Poultry Science**, v. 38, n. 5, p. 485-488, 1997.

ALMIRALL, M.; ESTEVE-GARCIA, E. Rate of passage of barley diets with chromium oxide: influence of age and poultry strain and effect of  $\beta$ -glucanase supplementation. **Poultry Science**, v.73, n.9, p.1433-1440, 1994.

AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G. Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 50. n. 3, p. 366-375, 2009.

AMARAL, L. M. M. **Teores de energia e fibra bruta para poedeiras nas fases de recria e produção**. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

ANNISON, G.; CHOCT, M. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategic minimizing their effect. **World's Poultry Science Journal**, v. 47, n. 3, p. 232-242, 1991.

ARAUJO, D. M.; SILVA, J. H. V.; ARAUJO, J. A.; TEIXEIRA, E. N. M.; FILHO, J. J.; RIBEIRO, M. L. G. Farelo de trigo na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de recria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.67-72, 2008a.

ARAUJO, D. M.; SILVA, J. H. V.; MIRANDA, E. C.; ARAUJO, J. A.; COSTA, F. G. P.; TEIXEIRA, E. N. M. Farelo de trigo e complexo enzimático na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.5, p.843-848, 2008b.

BACH KNUDSEN, K. E. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. **Animal Feed Science and Technology**, v. 67, n. 4, p. 319-338, 1997.

BACH KNUDSEN, K. E.; HANSEN, I. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. **British Journal of Nutrition**, v. 65, n. 2, p. 217– 232, 1991.

BAILEY, R. W.; ULYATT, M. J. Pasture quality and ruminant nutrition II. Carbohydrate and lignin composition of detergent extracted residues from pasture grasses and legumes. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.13, n.3, p.591-604, 1970.

BARNES, E. M.; IMPEY, C. S.; STEVENS, B. J. H.. Factors affecting the incidence and antisalmonella activity of the anaerobic cecal flora of the young chicken. **The Journal of Hygiene**, v. 82, n. 2, p. 263–83, 1979.

BARNES, E. M.; MEAD, G. C.; BARNUM, D. A.; HARRY, E. G. The intestinal flora of the chicken in the period 2 to 6 weeks of age, with particular reference to the anaerobic bacteria. **British Poultry Science**, v. 13, n. 3, p. 311–326, 1972.

BEARSE, G. E.; MILLER, V. L.; MCCLARY, C. F. The cannibalism preventing properties of the fiber fraction of oat hulls. **Poultry Science**, v. 19, n. 3, p. 210–215, 1940.

BELYEA, R. L., RAUSCH, K. D., TUMBLESON, M. E.. Composition of corn and distillers grains with solubles from drygrind ethanol processing. **Bioresource Technology**, v. 94, n. 3, p. 293–298, 2004.

BERGMANS, M .E. F., BELDMAN, G., GRUPPEN, H., VORAGEN, A. G. J. Optimisation of the selective extraction of (glucurono) arabinoxylans from wheat bran: use of barium and calcium hydroxide solution at elevated temperatures. **Journal of Cereal Science**, v.23, n.3, 235–245, 1996.

BRANT, A.W.; OTTE, A.W.; NORRIS, K.H. Recommended standard for scoring and measuring opened egg quality. **Food Technology**, v.5, p.356, 1951.

BRAZ, N. M.; FREITAS, E. R.; BEZERRA, R. M.; CRUZ, C. E. B.; FARIAS, N. N. P.; SILVA, N. M.; SÁ, N. L.; XAVIER, R. P. S. Fibra na ração de crescimento e seus efeitos no desempenho de poedeiras nas fases de crescimento e postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p.2744-2753, 2011.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. 1.ed. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002. 430p.

CALLAWAY, T. R., DOWD, S. E.; WOLCOTT, R. D.; SUN, Y.; McREYNOLDS, J. L.; EDRINGTON, T. S.; BYRD, J. A.; ANDERSON, R. C.; KRUEGER, N.; NISBET, D. J. Evaluation of the bacterial diversity in cecal contents of laying hens fed various molting diets by using bacterial tag-encoded FLX amplicon pyrosequencing. **Poultry Science**, v. 88, n. 2, p. 298–302, 2009.

CARBONNELLE, E.; MESQUITA, C.; BILLE, E.; DAY, N.; DAUPHIN, B.; BERETTI, J.; FERRONI, A.; GUTMANN, L.; NASSIF, X. MALDI-TOF mass spectrometry tools for bacterial identification in clinical microbiology laboratory. **Clinical Biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 104-109, 2011.

CASARTELLI, E. M.; FILARDI, R. S.; JUNQUEIRA, O. M.; LAURENTIZ, A. C.; ASSUENA, V.; DUARTE, K. F. Sunflower meal in commercial layer diets formulated on total and digestible amino acids basis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 8, n. 3, p. 167–171, 2006.

CHEN, X.; WHITFORD, G. M. Effects of caffeine on fluoride, calcium and phosphorus metabolism and calcified tissues in the rat. **Archives of Oral Biology**, v. 44, n. 1, p. 33-39, 1999.

CHWALIBOG, A.; THORBEEK, G. Nutrient oxidation and lipogenesis in hens. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 82, p. 282-293, 1999.

CLASSEN, H. The role of soluble and insoluble fibre in poultry nutrition. In: AFFAB, U;

AMAN, P.; APAJALAHTI, J. et al. (Ed). International Non-Starch Polysaccharide Forum.

Cidade: AB Vista, 2014. p. 35-58.

COATES, M. E.; FORD, J. E.; HARRISON, G. F. Intestinal synthesis of vitamins of the B complex in chicks. **British Journal of Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 493–498, 2002.

CORRIER, D. E.; HINTON, A.; ZIPRIN, R. L.; DELOACH, J. R. Effect of dietary lactose on *Salmonella* colonization of marketage broiler chickens. **Avian Diseases**, v. 34, n. 3, p. 668-676, 1990a.

CORRIER, D. E.; HINTON, A.; ZIPRIN, R. L.; DELOACH, J. R. Effect of dietary lactose on cecal pH, bacteriostatic volatile fatty acids and *Salmonella* Typhimurium colonization of broiler chicks. **Avian Diseases**, v. 34, n. 3, p. 617-625, 1990b.

DAVIS, A. J.; LORDELO, M. M.; DALE, N. The Use of Cottonseed Meal with or without Added Soapstock in Laying Hen Diets. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 11, n. 2, p. 127–133, 2002.

DE VRIES, S. Fiber in poultry nutrition: bonus or burden? In: Czech Republic, Prague. Anais... In: 20th EUROPEAN SYMPOSIUM ON POULTRY NUTRITION. Czech Republic, Prague, 2015.

DEATON, J. W.; McNAUGHTON, J. L.; BURDICK, D. High-fibre sunflower meal as a replacement for soyabean meal in layer diets. **British Poultry Science**, v. 20, n. 2, p. 159-162, 1979.

DENIZ, G.; GEZEN, S. S.; KARA, C.; GENCOGLU, H.; MERAL, Y.; BASER, E. Evaluation of nutrient equivalency of microbial phytase in hens in late lay given maize–soybean or distiller’s dried grains with solubles (DDGS) diets. **British Poultry Science**, v. 54, n. 4, p. 494–502, 2013a.

DENIZ, G.; GENCOGLU, H.; GEZEN, S. S.; TURKMEN, I. I.; ORMAN, A.; KARA, C. Effects of feeding corn distiller’s dried grains with solubles with and without enzyme cocktail

supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters, and feed cost. **Livestock Science**, v. 152, n. 2-3, p. 174-181, 2013b.

DONALSON, L.M.; KIM, W.K.; CHALOVA, V.I.; HERRERA, P.; WOODWARD, C.L.; MCREYNOLDS, J.L.; KUBENA, L.F.; NISBET, D.J.; RICKE, S.C. In vitro anaerobic incubation of *Salmonella enterica* serotype Typhimurium and laying hen cecal bacteria in poultry feed substrates and a fructooligosaccharide prebiotic. **Anaerobe**, v. 13, n.5-6, p. 208–214, 2007.

DONALSON, L.M.; KIM, W.K.; CHALOVA, V.I.; HERRERA, P.; MCREYNOLDS, J.L.; GOTCHEVA, V.G.; VIDANOVIC, D.; WOODWARD, C.L.; KUBENA, L.F.; NISBET, D.J.; RICKE, S.C. In Vitro Fermentation Response of Laying Hen Cecal Bacteria to Combinations of Fructooligosaccharide Prebiotics with Alfalfa or a Layer Ration. **Poultry Science**, v. 87, n. 7, p. 1263–1275, 2008.

DUKE, G.E. Recent studies on regulation of gastric motility in turkeys. **Poultry Science**, v. 71, n. 1, p. 1-8, 1992.

DUNKLEY, K. D., T. R. CALLAWAY, V. I. CHALOVA, J. L. MCREYNOLDS, M. E. HUME, C. S. DUNKLEY, L. F. KUBENA, D. J. NISBET, AND S. C. RICKE. Foodborne *Salmonella* ecology in the avian gastrointestinal tract. **Anaerobe**, v. 15, n. 1-2, p. 26–35, 2009.

DUNKLEY, K. D.; DUNKLEY, C. S.; NJONGMETA, N. L.; CALLAWAY, T. R.; HUME, M. E.; KUBENA, L. F.; NISBET D. J.; RICKE, S. C. Comparison of in vitro fermentation and molecular microbial profiles of high-fiber feed substrates incubated with chicken cecal inocula. **Poultry Science**, v. 86, n. 5, p. 801–810, 2007.

DURANT, J. A.; CORRIER, D. E.; BYRD, J. A.; STANKER, L. H.; RICKE, S. C. Feed deprivation affects crop environment and modulates *Salmonella* Enteritidis colonization and invasion of Leghorn hens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, n. 5, p. 1919–1923, 1999.

DURANT, J. A.; LOWRY, V. K.; NISBET, D. J.; STANKER, L. H.; CORRIER, D. E.; RICKE, S. C. Short-chain fatty acids alter HEp-2 cell association and invasion by stationary growth phase *Salmonella* Typhimurium. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1206–1209, 2000.

EL-LETHEY, H.; AERNI, V.; JUNGI, T.W.; WECHSLER, B. Stress and feather pecking in laying hens in relation to housing conditions. **British Poultry Science**, v. 41, n. , p.22-28, 2000.

ENGLYST, H.; WIGGINS, H. S.; CUMMINGS, J. H. Determination of the Non-starch Polysaccharides in Plant Foods by Gas-Liquid Chromatography of Constituent Sugars as Alditol Acetates. **Analyst**, v. 107, n. 1272, p. 307-318, 1982.

EVERS, T.; MILLAR, S. Cereal grain structure and development: some implications for quality. **Journal of Cereal Science**, v.36, n.3, p.261-284, 2002.

FEEDIPEDIA. Animal feed resources information system. Disponível em: <[https://www.feedipedia.org/cache/normal/www.feedipedia.org/\\_html](https://www.feedipedia.org/cache/normal/www.feedipedia.org/_html)>. Acesso em: 15 ago. 2017.

FILARDI, R. S.; JUNQUEIRA, O. M.; LAURENTIZ, A. C.; CASARTELLI, E. M.; ASSUENA, V.; PILEGGI, J.; DUARTE, K. F. Utilização do farelo de arroz em rações para poedeiras comerciais formuladas com base em aminoácidos totais e digestíveis. **Ciência Animal Brasileira** , v. 8, n. 3, p. 397-405, 2007.

GIBSON, G.R; ROBERFROID, M.B. Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. **The Journal of Nutrition**, v. 125, n. 6, p. 1401–1412, 1995.

GOLDSTEIN, D. L. Absorption by the cecum of wild birds: is there interspecific variation. **The Journal of Experimental Zoology. Supplement**, v. 3, p. 103–110, 1989.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on

productive performance and digestive traits of broilers. **Poultry Science**, v. 86, n. 8, p. 1705–1715, 2007.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effect of inclusion of oat hulls and sugar beet pulp in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from 1 to 42 days of age. **Animal Feed Science and Technology**, v. 162, n. 1-2, p. 37–46, 2010.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; VALENCIA, D. G.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. **Poultry Science**, v. 87, n. 9, p. 1779–1795, 2008.

GROBAS S; MENDEZ J; DE BLAS ; MATEOS GG. Influence of dietary energy, supplemental fat and linoleic acid concentration on performance of laying hens at two ages. **British Poultry Science**, v. 40, n. 5, p.681-687, 1991.

GUINOTTE, F.; GAUTRON, J.; NYS, Y. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. **British Journal of Nutrition**, v.73, n. 3, p.125-139, 1995.

GUSMÁN, P.; SALDAÑA, B.; KIMIAEITALAB M.V.; GARCÍA, J.; MATEOS, G.G. Inclusion of fiber in diets for brown-egg laying pullets: Effects on growth performance and digestive tract traits from hatching to 17 weeks of age. **Poultry Science**, v.94, n. 11, p.2722-2733, 2015.

HA, S. D.; NISBET, D. J., CORRIER, D. E.; DELOACH, J. R., RICKE, S. C. Comparison of *Salmonella* Typhimurium and selected facultative chicken cecal bacteria survivability after specific amino acid-limited batch growth. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 12, p. 1335–1339, 1995.

HARGIS, P. S. Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl-a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 44, n. 1, p. 17-29, 1988.

HARLANDER-MATAUSCHEK, A.; PIEPHO, H.P.; BESSEI, W. The effect of feather eating on feed passage in laying hens. **Poultry Science**, v. 85, n. 1, p.21–25, 2006.

HARLANDER-MATAUSCHEK, A., HAUSLER, K. Understanding feather eating behaviour in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 117, n 1-2, p. 35–41, 2009.

HARTINI, S.; CHOCT, M.; HINCH, G.; KOCHER, A.; NOLAN, J. V. Effects of light intensity during rearing and beak trimming and dietary fiber sources on mortality, egg production, and performance of ISA brown laying hens. **The Journal of Applied Poultry Research** , v. 11, n. 1, p. 104–110, 2002.

HETLAND, H.; CHOCT, M.; SVIHUS, B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 4, p. 415–422, 2004.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 42, n. 3, p. 354-361, 2001.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. Inclusion of dust bathing materials affects nutrient digestion and gut physiology of layers. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, n. 1, p. 22–26, 2007.

HETLAND, H.; SVIHUS, B.; CHOCT, M. Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 14, n. 1, p. 38–46, 2005.

HETLAND, H.; SVIHUS, B.; KROGDAHL, A. Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. **British Poultry Science**, v.44, n. 2, p.275-282, 2003.

IYAMA, K., LAM, T. B. T., STONE, B. A. Covalent cross-links in the cell wall. **Plant Physiology**, v. 104, n. 2, p. 315-320, 1994.

INCHAROEN, T.; MANEECHOTE, P. The effects of dietary whole rice hull as insoluble fiber on the flock uniformity of pullets and on the egg performance and intestinal mucosa of

laying hens. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 8, n. 4, p. 323-329, 2013.

ISHIHARA, N.; CHU, D. C.; AKACHI, S.; JUNEJA, L. R. Preventive effect of partially hydrolyzed guar gum on infection of *Salmonella* Enteritidis in young and laying hens. **Poultry Science**, v. 79, n. 5, p. 689–697, 2000.

JAMROZ, D.; JAKOBSEN, K.; BACH KNUDSEN, K. E.; WILCZKIEWICZ, A.; ORDA, J. Digestibility and energy value of the non-starch polysaccharides in young chickens, ducks and geese, fed diets containing high amounts of barley. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 131, n. 3, p. 657–668, 2002.

JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and fiber inclusion in the diet on gizzard pH and nutrient utilization in broilers at different ages. **Poultry Science**, v. 88, n. 9, p. 1925–1933, 2009a.

JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; COCA-SINOVA, A.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 154, n. 1-2, p. 93–101, 2009b.

JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. **Poultry Science**, v. 89, n. 10, p. 2197–2212, 2010.

JIMÉNEZ-MORENO, E.; CHAMORRO, S.; FRIKHA, M.; SAFAA, H. M.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G. Effects of increasing levels of pea hulls in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from one to eighteen days of age. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 1-2, p. 100–112, 2011.

JØRGENSEN, H.; ZHAO, X. Q.; B. KNUDSEN, K. E.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 379–395, 1996.

JÓZEFIAK, D.; RUTKOWSKI, A.; MARTIN, S. A. Carbohydrates fermentation in the avian ceca. **Animal Feed Science and Technology**, v.113, n. 1, p. 1–15, 2004.

JUVEN, B. J.; MEINERSMANN, R. J.; STERN, N. J. Antagonistic effects of lactobacilli and pediococci to control intestinal colonization by human entero-pathogens in live poultry. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 70, n. 2, p. 95-103, 1991.

KALMENDAL, R.; BESSEI, W. The preference for high-fiber feed in laying hens divergently selected on feather pecking. **Poultry Science**, v. 91, n. 8, p. 1785–1789, 2012.

KALMENDAL, R.; ELWINGER, K.; HOLM, L.; TAUSON, R. High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 52, n. 1, p. 86–96, 2011.

KALMENDAL, R.; JOHANSSON, F.; WALL, H. Effects of fiber supply in furnished cages on performance, egg quality, and feather cover in 2 egg-laying hybrids. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, p. 109–117, 2013.

KALMENDAL, R.; WALL, H. Effects of a high oil and fibre diet and supplementary roughage on performance, injurious pecking and foraging activities in two layer hybrids. **British Poultry Science**, v. 53, n. 2, p. 153–161, 2012.

KARUNAJEEWA, H.; THAM, S. H.; ABU-SEREWA, S. Sunflower seed meal, sunflower oil and full-fat sunflower seeds, hulls and kernels for laying hens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 26, n. 1-2, p. 45-54, 1989.

KAPLAN, H; HUTKINS, R. W. Fermentation of fructooligosaccharides by lactic acid bacteria and Bifidobacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 6, p. 2682–2684, 2000.

KJAER, J. B. Feather pecking in domestic fowl is genetically related to locomotor activity levels: Implications for a hyperactivity disorder model of feather pecking. **Behavior Genetics**, v. 39, n. 5, p. 564–570, 2009.

KOKSAL, B. H.; SACAKLI, P.; ERGUN, A. Effects of phytase and vitamin D3 addition to diets containing distillers dried grains with solubles (DDGS) on performance and some egg traits in laying hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 11, n. 4, p. 259–263, 2012.

LANGHOUT, D. J.; SCHUTTE, J. B. Nutritional implicats of pectins in chickens in relation to estrification and origin of pectins. **Poultry Science**, v. 75, n. 10, p. 1236–1242, 1996.

LAUDADIO, V.; CECI, E., LASTELLA, N.M.B; TUFARELLI, V. Effect of feeding low-fiber fraction of air-classified sunflower (*Helianthus annus L.*) meal on laying hen productive performance and egg yolk cholesterol. **Poultry Science**, v. 93, n. 11, p. 2864–2869, 2014.

LÁZARO, R.; GARCÍA, M.; ARANÍBAR, M. J.; MATEOS, G. G. Effect of enzyme addition to wheat-, barley- and rye-based diets on nutrient digestibility and performance of laying hens. **British Poultry Science**, v. 44, n. 2, p. 256-265, 2003.

LEESON, S.; SUMMERS J.D.; CASTON, L.J. Response of layers to low nutrient density diets. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.10, n.1, p.46-52, 2001.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Comercial poultry nutrition**. 3.ed. Ontario: University Books, 2005. p. 413.

LORDELO, M. M.; CALHOUN, M. C.; DALE, N. M.; DOWD, M. K.; DAVIS, A. J. Relative Toxicity of Gossypol Enantiomers in Laying and Broiler Breeder Hens. **Poultry Science**, v. 86 , n. 3, p. 582–590, 2007.

MAKKAR, H. P. S. Animal nutrition in a 360-degree view and a framework for future R&D work: towards sustainable livestock production. **Animal Production Science**, v. 56, n. 10, p. 1561-1568, 2016.

MAROUNEK, M.; SUCHORSKA, O.; SAVKA, O. Effect of substrate and feed antibiotics on in vitro production of volatile fatty acids and methane in cecal contents of chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 80, n. 3, p.223–230, 1999.

MASA'DEH, M. K.; PURDUM, S. E.; HANFORD, K. J. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. **Poultry Science**, v. 90, n. 9, p. 1960–1966, 2011.

MATEOS, G.G.; MARTIN, F.; LATORRE, M.A.; VICENTE, B.; LAZARO, R. Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice. **Animal Science**, v.82, n. 1,p. 57-63, 2006.

MATEOS, G.G.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; SERRANO, M. P.; Lázaro, R. P. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.21, n. 1, p.156-174, 2012.

MIKKELSEN, L. L.; NAUGHTON, P. J.; HEDEMANN, M. S.; JENSEN, B. B. Effects of physical properties of feed on microbial ecology and survival of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in the pig gastrointestinal tract. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, p. 3485–3492, 2004.

MOHEBBIFAR, A.; TORKI, M.; GHASEMI, H. A. Effect of phytase supplementation of diets with different levels of rice bran and non-phytate phosphorus on productive performance, egg quality traits, leukocytes profile and serum lipids of laying hens reared indoor under high environmental temperatures. **Animal Feed Science and Technology**, v. 207, p. 222-233, 2015.

MONTAGNE, L.; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v. 108, n. 1-4, p. 95–117, 2003.

MANCABELLI, L.; FERRARIO, C.; MILANI, C.; MANGIFESTA, M.; TURRONI, F.; DURANTI, S.; LUGLI, G. A.; VIAPPIANI, A.; OSSIPRANDI, M.C.; VAN SINDEREN, D.;

VENTURA, M. Insights into the biodiversity of the gut microbiota of broiler chickens.

**Environmental Microbiology**, v.18, n. 12, p. 4727-4738, 2016.

MCHAN, F.; SHOTTS, E. B. Effects of short-chain fatty acids on the growth of *Salmonella typhimurium* in an in vitro system. **Avian Diseases**, v. 37, n. 2, p. 396–398, 1993.

MORAIS, F. L. **Carotenoides: características biológicas e químicas**. 2006. Monografia (Especialização em Nutrição) – Universidade de Brasília, Brasília, MG.

NAGALAKSHMI, D.; RAMA RAO, S. V., PANDA, A. K.; SASTRY, V. R. B. Cottonseed meal in poultry diets: a review. **The Journal of Poultry Science**, v. 44, n. 2, p. 119-134, 2007.

NAZOK, A., REZAEI, M.; SAYYAHZADEH, H. Effect of different levels of dried citrus pulp on performance, egg quality, and blood parameters of laying hens in early phase of production. **Tropical Animal Health and Production**, v. 42, n. 4, p. 737–742, 2010.

NRC. **Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994**. Washington, D.C.: National Academies Press, 1994.

OYARZABAL, O. A; CONNOR, D. E. *In vitro* fructooligosaccharide utilization and inhibition of *Salmonella* spp. by selected bacteria. **Poultry Science**, v. 74, n. 9, p. 1418-1425, 1995.

PASCOAL, L.A.F.; THOMAZ, M.C.; WATANABE, P.H.; RUIZ, U.S.; AMORIM, A.B.; DANIEL, E.; SILVA, S.Z. Purified cellulose, soybean hulls and citrus pulp as a source of fiber for weaned piglets. **Scientia Agricola**, v.72, n.5, p.400-410, 2015.

PEREZ, V. G.; JACOBS, C. M.; BARNES, J.; JENKINS, M. C.; KUHLENSCHMIDT, M. S.; FAHEY, G. C.; PARSONS, C. M.; PETTIGREW, J. E. Effect of corn distillers dried grains with solubles and *Eimeria acervulina* infection on growth performance and the intestinal microbiota of young chicks. **Poultry Science**, v. 90, n. 5, p. 958–964, 2011.

PÉREZ-BONILLA, A.; FRIKHA, M.; MIRZAIE, S.; GARCÍA, J.; MATEOS, G. G. Effects of the main cereal and type of fat of the diet on productive performance and egg quality of brown-egg laying hens from 22 to 54 weeks of age. **Poultry Science**, v. 90, n. 12, p. 2801–2810, 2011.

PESTI, G. M.; BAKALLI, R. I.; DRIVER, J. P.; STERLING, K. G.; HALL, L. E.; BELL, E. M. Comparison of peanut meal and soybean meal as protein supplements for laying hens. **Poultry Science**, v. 82, n. 8, p. 1274–1280, 2003.

PIETSCH, M. **Fiber in poultry nutrition**. In: BOSSE, A; PIETSCH, M. (Ed). Fiber in animal nutrition, a practical guide for monogastrics. AGRIMEDIA, 2017. p. 37-50.

POTTGÜTER, R. Fibre in Layer Diets. **Lohmann Information**, v. 43, n. 2, p. 22-31, 2008.

REID, B. L.; GALAVIZ-MORENO, S.; MAIORINO, P. M. Evaluation of Isopropanol-Extracted Cottonseed Meal for Laying Hens. **Poultry Science**, v. 66, n. 1, p. 82-89, 1987.

REZAEI, M.; KARIMI TORSHIZI, M. A.; ROUZBEHAN, Y. The influence of different levels of micronized insoluble fiber on broiler performance and litter moisture. **Poultry Science**, v. 90, n. 9, p. 2008–2012, 2011.

RICKE, S. C. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. **Poultry Science**, v. 82, n. 4, p. 632–639, 2003.

RIBEIRO, P.A.P. Effect of dietary energy concentration on performance parameters and egg quality of white leghorn laying hens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.16, n.4, p.381-388, 2014.

ROBERSON, K. D.; KALBFLEISCH, J. L.; PAN, W.; CHARBENEAU, R. A. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. **International Journal of Poultry Science**, v. 4, n. 2, p. 44–51, 2005.

ROBERTS, S. A.; XIN, H.; KERR, B. J.; RUSSELL, J. R.; BREGENDAHL, K. Effects of Dietary Fiber and Reduced Crude Protein on Nitrogen Balance and Egg Production in Laying Hens. **Poultry Science**, v. 86, n. 8, p. 1716–1725, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. de; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. de T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3 ed. ed. Viçosa, MG: Horacio Santiago Rostagno, 2011.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. T.; BRITO, C. O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017. 488p.

RUSSELL, J. B. Types and Distribution of Anaerobic Bacteria in the Large Intestine of Pigs. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 2, p. 187-193, 1979.

RUSSELL, J. B. Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH: anion accumulation versus uncoupling. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 73, n. 5, p. 363–370, 1992.

SAKI, A. A.; ATRIAN, A. GOUDARZI, S. M.; KHODAKARAMIAN, G.; YOUSEF, A. Intestinal carbohydrase activity and sodium-glucose transporter expression in layers fed diets containing wheat and rice brans supplemented with phytase. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 2, p. 157-162, 2017.

SALDAÑA, B. et al. Influence of feed form and energy concentration of the rearing phase diets on productivity, digestive tract development and body measurements of brown-egg laying hens fed diets varying in energy concentration from 17 to 46 wk of age. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221A, p. 87-100, 2016.

SALIH, M.E.; CLASSEN, H.L; CAMPBELL, G.L. Response of chickens fed on hull-less barley to dietary  $\beta$ -glucanase at different ages. **Animal Feed Science and Technology**, v.33, n.1-2, p.139- 149, 1991.

SAMLI, H. E.; SENKOYLU, N.; AKYUREK, H.; AGMA, AYLIN. Using rice bran in laying hen diets. **Journal of Central European Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 135-140, 2006.

SAUVANT, D.; TRAN, G. Corn distillers. In: Sauvant, D.; Perez, J. M.; Tran, G. (Ed.). *Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials*. Wageningen: WAGENINGEN ACADEMIC PUBLISHERS, 2004. p. 118.

SENKOYLU, N.; DALE, N. Sunflower meal in poultry diets: a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 55, n. 2, p. 153–174, 1999.

SERGEANT, M. J.; CONSTANTINIDOU, C.; COGAN, T. A.; BEDFORD, M. R., PENN, C. W.; PALLEN, M. J. Extensive Microbial and Functional Diversity within the Chicken Cecal Microbiome. **Plos One**, v.9, n. 3, p. 1-13, 2014.

SIMMONS, K.; REMPEL, H.; BLOCK, G.; FORGETTA, V.; VAILLANCOURT, R.JR.; MALOUIN, F.; TOPP, E.; DELAQUIS, P.; DIARRAA, M.S. Duplex PCR Methods for the Molecular Detection of *Escherichia fergusonii* Isolates from Broiler Chickens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 6, p. 1941-1948, 2014.

SINGHAL, N.; KUMAR, M; KANAUIA, P. K.; VIRDI, J. S. MALDI-TOF mass spectrometry: an emerging technology for microbial identification and diagnosis. **Frontiers in Microbiology**, v.6, n. 791, p. 1-16, 2015.

SHI, S. R.; LU, J.; TONG, H. B.; ZOU, J. M.; WANG, K. H. Effects of graded replacement of soybean meal by sunflower seed meal in laying hen diets on hen performance, egg quality, egg fatty acid composition, and cholesterol content. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 367–374, 2012.

SMITS, C. H. M.; ANNISON, G. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition-towards a physiologically valid approach to their determination. **World's Poultry Science Journal**, v. 52, n. 2, p. 203–221, 1996.

SOUSA, L. S. **Efeito da fonte de fibra e uso de xilanase sobre desempenho, qualidade de ovos e biometria dos órgãos gastrointestinais de poedeiras leves**. 2017. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

STEENFELDT, S.; KJAER, J. B; ENGBERG, R. M. Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance, nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behavior. **British Poultry Science**, v.48, n.4, p. 454-468, 2007.

SVIHUS, B. The gizzard: Function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. **World's Poultry Science Journal**, v.67, n. 2, p. 207-224, 2011.

SVIHUS, B.; CHOCT, M.; CLASSEN, H. L. Function and nutritional roles of the avian caeca: a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 69, n. 2, p. 249-264, 2013.

SWIATKIEWICZ, S.; ARCZEWSKA-WLOSEK, A.; KRAWCZYK, J.; PUCHALA, M.; JOZEFIAK, D. Effects of selected feed additives on the performance of laying hens given a diet rich in maize dried distiller's grains with solubles (DDGS). **British Poultry Science**, v. 54, n. 4, p. 478–485, 2013.

SWIATKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 15, n. 2, p. 253–260, 2006.

SWIATKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. Effect of dietary level of maize- and rye distiller dried grains with solubles on nutrient utilization and digesta viscosity in laying hens. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 16, n. 4, p. 668–677, 2007.

TORTUERO, F.; BRENAS, A.; RIPEREZ, J. The influence of intestinal (ceca) flora on serum and egg yolk cholesterol levels in laying hens. **Poultry Science**, v. 54, n. 6, p. 1935–1938, 1975.

TRAINEAU, M.; BOUVAREL, I.; MULSANT, C.; ROFFIDAL, L.; LAUNAY, C.; LESCOAT, P. Effects on performance of ground wheat with or without insoluble fiber or whole wheat in sequential feeding for laying hens. **Poultry Science**, v. 92, n. 9, p. 2475–2486, 2013.

VAN DER WIELEN, P. W. J. J.; BIESTERVELD S.; NOTERMANS, S.; HOFSTRA, H.; URLINGS, B. A. P.; VAN KNAPEN, F. Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 6, p. 2536–2540, 2000.

VAN DER WIELEN, P. W. J. J.; BIESTERVELD S.; LIPMAN, L. J. A.; VAN KNAPEN, F. Inhibition of a glucose-limited sequencing fed-batch culture of *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis by volatile fatty representative of the ceca of broiler chickens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n. 4, p. 1979–1982, 2001.

VAN KRIMPEN, M. M.; KWAKKEL, R. P.; VAN PEET-SCHWERING, C. M. C.; DEN HARTOG, L. A.; VERSTEGEN, M. W. A. Effects of nutrient dilution and nonstarch polysaccharide concentration in rearing and laying diets on eating behavior and feather damage of rearing and laying hens. **Poultry Science**, v. 88, n. 4, p. 759–773, 2009.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 583-3597, 1991.

WALUGEMBE, M.; ROTHSCHILD, M.F.; PERSIA, M.E. Effects of high fiber ingredients on the performance, metabolizable energy and fiber digestibility of broiler and layer chicks. **Animal Feed Science and Technology**, v.188, p.46- 52, 2014.

WINK, C.S.; ROSSOWSKA, M.J.; NAKAMOTO, T. Effects of caffeine on bone cells and bone development in fast-growing rats. **The Anatomical Record**, v. 246, n. 1, p. 30-38, 1996.

YUAN, C.; SONG, H.; ZHANG, X.; JIANG, Y.; ZHANG, A.; AZZAM, M. M.; ZOU, X. Effect of expanded cottonseed meal on laying performance, egg quality, concentrations of free gossypol in tissue, serum and egg of laying hens. **Animal Science Journal**, v. 85; n. 5, p. 549–554, 2014.

ZHU, X. Y.; ZHONG, T.; PANDYA, Y.; JOERGER, R. D. 16S rRNA-based analysis of microbiota from the cecum of broiler chickens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 1, p. 124–137, 2002.