

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

**ESTUDOS SOBRE QUALIDADE DO MILHO E DO FARELO DE ARROZ  
INTEGRAL PARA FRANGOS DE CORTE**

GABRIEL COLOMBO PONTALTI

Eng. Agrônomo / UFRGS

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

Área de Concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil

Março de 2012

### CIP - Catalogação na Publicação

Colombo Pontalti, Gabriel  
ESTUDOS SOBRE QUALIDADE DO MILHO E DO FARELO DE  
ARROZ INTEGRAL PARA FRANGOS DE CORTE / Gabriel  
Colombo Pontalti. -- 2012.  
76 f.

Orientadora: Andréa Machado Leal Ribeiro.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa  
de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS,  
2012.

1. Nutrição Animal. 2. Bromatologia. 3.  
Processamento Térmico por Infravermelho. I. Machado  
Leal Ribeiro, Andréa, orient. II. Título.

GABRIEL COLOMBO PONTALTI  
Engenheiro Agrônomo

## DISSERTAÇÃO

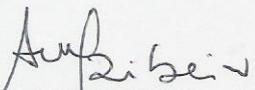
Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

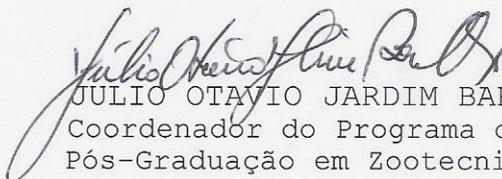
### **MESTRE EM ZOOTECNIA**

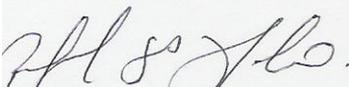
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

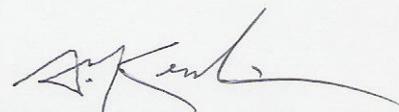
Aprovado em: 27.03.2013  
Pela Banca Examinadora

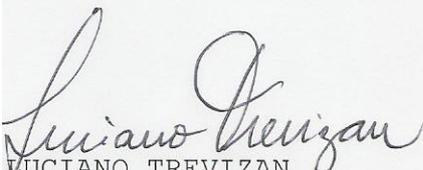
Homologado em: 13.05.2013  
Por

  
ANDRÉA MACHADO LEAL RIBEIRO  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientadora

  
JULIO OTAVIO JARDIM BARC  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia

  
RAFAEL GOMES DIONELLO  
UFRGS

  
ALEXANDRE DE MELLO KESSLER  
PPG Zootecnia/UFRGS

  
LUCIANO TREVIZAN  
PPG Zootecnia/UFRGS

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Charles Clair Pontalti e Arliane Maria Colombo Pontalti que nunca mediram esforços para me propiciar meios de chegar até aqui, minha irmã Luísa Colombo Pontalti pela companhia e paciência.

Quero dedicar também ao meu tio avó Jauner que foi o primeiro Eng. Agrônomo da família.

E uma dedicação especial ao meu avô Osvaldo, e minhas avós Clair e Elvira, a saudade é grande, mas sei que estão orgulhosos de mim.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a Faculdade de Agronomia e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, por oferecer gratuitamente e com excelência a oportunidade de estudo.

A Capes pela bolsa de mestrado concedida.

Agradecimentos especiais a minha orientadora Dra. Andréa Machado Leal Ribeiro, por não apenas me orientar academicamente, mas abrir meus olhos perante minhas qualidades e dificuldades, por me ensinar como se constrói um grupo de trabalho de sucesso como o LEZO além das excelentes aulas recebidas desde a graduação até aqui.

Agradeço também aos professores Enilson Luiz Saccol de Sá; Aroni Sattler; Ingrid Bergman Inchausti de Barros; Maria Teresa Schifino-Wittmann; Josué Sant'Ana e Luiza Rodrigues Redaelli por me orientarem durante a graduação e plantarem a semente do amor a ciência.

Aos professores Alexandre Kessler e Luciano Trevizan pelo apoio técnico e acessibilidade perante minhas frequentes dúvidas técnicas.

A professora Concepta McManus Pimentel pela orientação nas análises estatísticas.

A professora Maitê de Moraes Vieira pela paciência e orientação no Laboratório de Nutrição de Animal.

Ao professor Rafael Gomes Dionello, e seu orientado de doutorado Luidi Eric Guimarães Antunes pelo empréstimo das instalações, insetos, e apoio durante o primeiro experimento.

A empresa Hi Tech, em particular a Heidy Christine Jost por abrir as portas da sua fabrica e permitir o processamento do farelo de arroz além de estar sempre presente desde a montagem do projeto até a sua conclusão.

As minhas colegas Araceli Pacheco Villanueva e Patrícia Ebling, pela ajuda, apoio, idéias durante o desenvolvimento do trabalho, e em especial pela amizade oferecida.

A família LEZO, pela convivência diária, pelo apoio durante todas as etapas do mestrado: Alessandra, Anilce, Daniele, Fábio, Gabriel, Geruza, Giovanni, Luciane, Marcelo, Manuela, Márcia, Mariana, Raquel e Sangoi e aos estagiários: Anderson, Aricson, Cristina, Duane, Luciana e Paula.

A minha família, meu pai Charles, minha mãe Arliane, minha irmã Luísa pelo carinho, apoio e compreensão nos momentos difíceis.

A minha namorada Felícia pela força transmitida, aos meus amigos e ao grupo escoteiro Guaracy 78, sem vocês a vida não teria sentido.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa conquista.

## ESTUDOS SOBRE QUALIDADE DE INGREDIENTES PARA FRANGOS DE CORTE<sup>1</sup>

Autor: Gabriel Colombo Pontalti

Orientadora: Andréa Machado Leal Ribeiro

### RESUMO

O aumento do preço dos ingredientes tradicionais torna viável o uso de produtos ou ingredientes fora dos padrões de qualidade. Além disso, a maior parte dos custos da avicultura está relacionada com a nutrição. Foram conduzidos dois experimentos: O primeiro teve o objetivo de avaliar as alterações bromatológicas do milho infestado por *Sitophilus zeamais* e foi conduzido em arranjo fatorial 5x2 com cinco níveis de infestação - 0, 167, 333, 500 e 667 insetos por kg de milho e dois períodos de exposição - 35 e 70 dias. Avaliou-se matéria seca (MS), cinzas, proteína bruta (PB) e energia bruta (EB) dos grãos. Não houve interação entre os fatores estudados. No entanto, o aumento do nível de infestação diminuiu a MS dos grãos ( $p < 0,05$ ), aumentou as cinzas ( $p < 0,01$ ), mas não resultou em diferenças em PB e EB. Aos 70 dias observou-se menor teor de cinzas ( $p < 0,01$ ) e maiores teores de PB e MS ( $p < 0,01$ ), devido ao consumo do amido pelos insetos. Também entre os períodos não houve diferença significativa entre os teores de EB. O aumento no número de insetos diminuiu a qualidade do grão por aumentar seu teor de umidade. O aumento de PB observado não pode ser considerado um ganho nutricional sem que a digestibilidade *in vivo* dessa proteína seja estudada. O segundo experimento teve por objetivo estudar o efeito do processamento térmico por infravermelho na metabolizabilidade do farelo de arroz integral (FAI) de frangos de corte Cobb, em diferentes tempos (0, 6, 8 e 10 min) e sua estabilidade oxidativa. Uma dieta referência (DR) à base de milho e farelo de soja foi usada e a inclusão dos FAI foi de 20%. Foi usado um delineamento completamente casualizado com 5 tratamentos e 10 repetições de 1 ave. Foi feita a coleta total, com 4 dias de adaptação às dietas e 3 de coleta, entre 21 e 28 dias de idade das aves. A dieta com FAI 6 min teve melhor aproveitamento em relação às demais e a única que não diferiu da DR. Na comparação entre os FAI não houve diferenças estatísticas quanto à metabolizabilidade. No entanto, conforme aumentou o tempo de processamento, diminuiu a solubilidade e a metabolizabilidade da proteína. Após 4 meses de armazenamento não foi observado índice de peróxido nos farelos, porém o FAI 6 min apresentou menor teor de acidez. O processamento térmico por 6 minutos mostrou-se o mais indicado para frangos de corte e é uma maneira de aumentar o tempo de armazenamento deste ingrediente que caracteriza-se por ser muito instável.

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (RS) Brasil (75 p.). Março 2013

## STUDIES ABOUT QUALITY INGREDIENTES FOR BROILER CHICKENS<sup>1</sup>

Author: Gabriel Colombo Pontalti

Adviser: Andréa Machado Leal Ribeiro

### ABSTRACT

In poultry production, nutrition represents the major costs. Traditional ingredients are getting expensive, so there is a demand for using alternative sources or even out-of-quality products for poultry diets. Two experiments were conducted. The first experiment was conducted in a 5x2 factorial arrangement with five levels of infestation - 0, 167, 333, 500 and 667 insects per kg of maize and two exposure periods - 35 and 70 days. We evaluated the dry matter (DM), ash, crude protein (CP) and gross energy (GE) of the grains. There was no interaction between the factors studied. However, increasing the level of infestation decreased grain DM ( $p < 0.05$ ) increased the ash ( $p < 0.01$ ), but did not result in differences in CP and GE. At 70 days showed lower ash content ( $p < 0.01$ ) and higher CP and MS ( $p < 0.01$ ), due to the consumption of starch by insects. There was no significant difference between the levels of GE. Higher number of insects decreases grain quality, due to higher humidity. Despite an observed increase in CP, it cannot be considered a nutritional gain without *in vivo* protein digestibility been performed. The second experiment aimed to study metabolizability in broilers Cobb, to test infrared thermal processing of rice bran (RB) at different times (0, 6, 8 and 10 min) and its oxidative stability. It was used a reference diet (RD) based on corn and soybean in which was included 20% of the RB. The experiment design was completely randomized, with 5 treatments and 10 replicates of one bird. The total collection methodology was used with 4 days of diet adaptation and 3 collection, between 21 and 28 days of age the birds Diet with 6 min RB was better used than the others and the only one that did not differ from RD. Comparing RB processing times, there were no significant difference between them, regarding metabolizability. Processing time was negatively related to protein solubility and protein metabolizability. After 4 months of storage, it was not observed peroxide index in any RB ingredient, but the RB 6 min had lower acidity. The thermal processing for 6 minutes proved to be the most suitable for broilers and is a way to increase the storage time of this ingredient that is characterized by being very unstable.

<sup>1</sup>Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (75 p.). March, 2013.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I .....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1. Ingredientes para dietas de aves e suínos e padrões de qualidade ...	15
2.2 Milho .....	16
2.2.1 Variações na qualidade do milho .....	16
2.2.3 Efeitos do ataque de fungos e insetos no milho .....	17
2.3. Farelo de arroz integral (FAI) .....	18
2.3.1 Variações na qualidade do farelo de arroz integral .....	19
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS .....	25
CAPÍTULO II <sup>1</sup> .....	26
Perdas bromatológicas em milho atacado por diferentes níveis de infestação do gorgulho-do-milho ( <i>Sitophilus zeamais</i> ) .....	27
Resumo .....	27
Chemical changes in maize attacked by maize weevil ( <i>Sitophilus zeamais</i> ) in different levels of infestation .....	28
Introdução .....	29
Material e Métodos .....	30
Resultados e Discussão .....	31
Conclusões .....	35
Agradecimentos .....	35
Bibliografia .....	36
CAPÍTULO III <sup>1</sup> .....	39
Farelo de arroz integral processado por infravermelho em diferentes períodos de tempo na dieta de frangos de corte .....	40
Resumo .....	40

Introdução .....	42
Material e Métodos.....	43
Resultados e Discussão.....	44
Conclusão .....	48
Agradecimentos .....	48
Referências.....	48
Tabelas .....	52
Figuras .....	55
CAPÍTULO IV .....	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
APÊNDICES .....	68
VITA .....	75

## LISTA DE TABELAS

		Página
Capítulo I		
Tabela 1.	Comparação nutricional do FAI com milho .....	19
Capítulo II		
Tabela 1.	Matéria seca, cinzas, proteína bruta e energia bruta dos grãos de milho submetidos a diferentes níveis de infestação e dois períodos de exposição a insetos <i>S. zemais</i> .....	33
Capítulo III		
Tabela 1.	Composição dos ingredientes e níveis nutricionais da dieta referência e dos diferentes farelos de arroz processados .....	53
Tabela 2.	Consumo de matéria seca e coeficientes de metabolizabilidade de dietas contendo FAI cru e processado por infravermelho .....	54
Tabela 3.	Coeficientes de metabolizabilidade dos farelos de arroz cru e processados por infravermelho, por 6, 8 e 10 minutos .....	55

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo III	
Figura 1. Variação da temperatura da massa de FAI durante os diferentes tempos de processamento térmico por infravermelho .....	56
Figura 2. Efeito de processamento na solubilidade da proteína do fareli de arroz .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
CEUA	Comissão de Ética para o Uso de Animais
CONAB	Compania Nacional de Abastecimento
CMEB	Coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta
CMMS	Coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca
CMPB	Coeficiente de metabolizabilidade da proteína bruta
CZ	Cinzas
DR	Dieta referência
EB	Energia bruta
EM	Energia metabolizável
EMA	Energia metabolizável aparente
EMAn	Energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio
FAI	Farelo de arroz integral
KOH	Hidróxido de potássio
MDA	Malonaldeído
MN	Matéria natural
MS	Matéria seca
NaOH	Hidróxido de sódio
NIRS	Near Infra Red Spectrometry
NRC	National Research Council
PB	Proteína bruta
RD	Reference diet
RS	Rice bran
TBA/ TBARS	Teste do ácido tiobarbitúrico

## **CAPÍTULO I**

## 1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente rações para aves são formuladas basicamente com o uso de soja e milho, produtos considerados commodities agrícolas. Sendo assim, o preço desses produtos não está apenas correlacionado com a oferta e demanda local. Existe uma correlação positiva e crescente entre o preço do petróleo e o preço das commodities agrícolas, que pode ser explicado pelo aumento da competitividade no setor de energia. O uso de milho e soja para a produção de biocombustíveis aumenta a demanda destas matérias primas, aumentando seu preço ao nível internacional (Lazzaroto & Hirakuri, 2010).

A produção brasileira de milho na safra 2011/12 foi de aproximadamente 73 milhões de toneladas, concentrando-se no centro oeste do país (CONAB, 2012). Embora os resultados agronômicos sejam excelentes, há problemas de logística e armazenamento. A dificuldade de escoar o cereal das áreas de oferta para as de demanda contribui para o aumento dos preços, enquanto as deficiências de armazenamento deterioram a qualidade dos grãos principalmente pelo ataque de pragas (Canappele et al., 2003). O resultado dessas deficiências é uma matéria prima cara e de baixa qualidade.

Pouco se sabe a respeito do efeito isolado dos insetos na composição bromatológica das matérias primas. Por isso realizou-se um ensaio para verificar as alterações sofridas pelo milho atacado por diferentes níveis de infestação do gorgulho do milho *Sitophilus zeamais*, principal praga em grãos armazenados no Brasil (Guedes, 1990).

Por outro lado existe uma série de subprodutos da agricultura com potencial para formulação de rações e que não são usados devido ao elevado teor de fibras e/ou a fatores antinutricionais. Estes subprodutos de baixo custo algumas vezes são descartados aumentando o passivo ambiental da agricultura. Um exemplo de subproduto é o farelo de arroz integral (FAI). O Rio Grande do Sul produziu na safra de 2011-2012 cerca de 8 milhões de toneladas de arroz (CONAB, 2012), deste montante cerca de 9% é perdido na forma de farelo (Lorenzetti et al., 2012).

O elevado teor de gordura aliado a presença de enzimas lipolíticas torna o FAI suscetível a um aumento de acidez e à rápida perda de qualidade, que pode ocorrer devido à rancificação hidrolítica (Ramezanzadeh et al., 1999a) e oxidativa (Ramezanzadeh et al., 1999b), tornando este ingrediente rapidamente perecível. O tratamento químico com o uso de antioxidantes pode prevenir rancificação oxidativa, porém apresenta limitações técnicas no momento de sua aplicação. Porém as enzimas responsáveis pela rancificação podem ser inativadas por meio de tratamento térmico (Saunders, 1990).

Um dos métodos de estabilização do FAI é a extrusão termoplástica. Existem também métodos alternativos envolvendo o uso de infravermelho, microondas e o aquecimento ôhmico (Pestana et al., 2008), entretanto existe variações muito grande entre os métodos, temperaturas e tempos de processamento para que se produza um FAI estabilizado.

O processamento por infravermelho apresenta como vantagens alta eficiência térmica, maior uniformidade de aquecimento, menores perdas qualitativas dos ingredientes, além de apresentar menores gastos com energia o que torna o processo mais econômico (Krishnamurthy et al., 2008).

Com base nesse cenário, foi realizado um ensaio avaliando a metabolizabilidade do farelo de arroz integral submetido a diferentes tempos de processamento por infravermelho buscando indicar se há um tempo de processamento que torne o ingrediente mais digestível e de melhor qualidade para ser usado na dieta de frangos de corte.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Ingredientes para dietas de aves e suínos e padrões de qualidade

Em países tropicais, dietas para aves e suínos são formuladas basicamente com o uso de milho e farelo de soja, produtos considerados commodities agrícolas. Sendo assim, o preço desses produtos não está apenas correlacionado com a oferta e demanda local. Existe uma correlação positiva e crescente entre o preço do petróleo e o preço das commodities (Lazarotto & Hirakuri, 2010). Além disso, outros fatores estão relacionados à valorização dos ingredientes tradicionais como as quebras de safras, tanto em nível local quanto em outros lugares, os problemas de logística, em que o frete torna-se mais caro que o produto, a competição com a nutrição humana e a produção de bicompostíveis. Todos esses fatores têm desafiado nutricionistas a utilizarem ingredientes alternativos ou fora dos padrões de qualidade.

A qualidade de um ingrediente é determinada pela disponibilidade de energia, matéria seca, teor de proteína, gordura, fibra e minerais como cálcio e fósforo, além da presença de fatores anti-nutricionais e contaminação por microorganismos ou metabólitos como as micotoxinas por eles produzidos. Quantidade de matérias estranhas e impurezas misturadas aos ingredientes também são fatores que afetam a qualidade (Butolo, 2002).

No Brasil, alguns produtos possuem legislação específica no que diz respeito à qualidade. O milho, por exemplo, é classificado como tipo 1, 2 ou 3 de acordo com a quantidade de impurezas, % de quebrados e % de grãos ardidos e brocados podendo ainda apresentar as classes “abaixo do padrão” e “desclassificado” (Brasil, 1976; Brasil, 1996). Nos Estados Unidos é utilizada uma escala de 1 a 5 (Dale, 1994). Por outro lado, existem ingredientes sem especificações legais, como é o caso do farelo de arroz integral (FAI), em que apenas são exigidos os limites máximos tolerados para micotoxinas (Brasil, 2011).

Todos os anos, consideráveis quantidades de grãos fora dos padrões normais e subprodutos do beneficiamento de grãos estão disponíveis para a alimentação animal, com alto deságio dos preços, e caso não tenham seus valores nutricionais corrigidos podem trazer riscos à saúde e ao bem estar dos animais além de comprometerem o desempenho produtivo e o resultado econômico da atividade (Souza, 1999).

Aferir a qualidade de um ingrediente não é uma tarefa fácil. As análises de rotina descrevem apenas o valor potencial dos alimentos, e diversos fatores afetam a qualidade dos ingredientes. A inclusão do fator custo nas

especificações de um ingrediente pode tornar um ingrediente de menor qualidade nutricional em um ingrediente de alto rendimento financeiro, tendo em vista que o custo da alimentação representa a maior fatia dos custos de produção (Donohue & Cunningham, 2009).

Para melhor avaliação da qualidade dos ingredientes, é recomendado avaliar medidas físicas, químicas e biológicas, e não restringir-se à análise da composição química somente (Benati, 1989). No entanto, realizar inúmeras análises para cada lote de ingredientes é uma prática inviável devido aos custos e tempo necessário para obtenção dos resultados. Atualmente, empresas mais tecnificadas dispõem da tecnologia NIRS (Near Infra Red Spectrometry) para a análise rápida de nutrientes, porém a precisão é variável e depende de uma correta calibração do equipamento (Kjmpen & Simmins, 1997). Já o uso de análises físicas, em alguns casos, apresenta melhores resultados que as análises químicas consistindo numa alternativa rápida e econômica (Costa et al., no prelo). Além do conhecimento dos nutrientes, há diversas tecnologias para melhorar o uso dos ingredientes pelos animais como a utilização de enzimas exógenas e o tratamento térmico (Marsman et al., 1991; Gracia et al., 2003).

## **2.2 Milho**

A área total de milho cultivada no Brasil nas duas safras do ano agrícola 2011/2012 foi de pouco mais de 15 milhões de hectares com uma produção de quase 73 milhões de toneladas concentrado - se no centro e no sul do país (CONAB, 2012).

O milho apresenta alta palatabilidade e é o cereal mais importante na nutrição animal sendo utilizado principalmente como fonte de energia, podendo perfazer até 70% de uma dieta de aves e suínos e contribuir com até 20% do conteúdo de proteína (Summers, 2001). No entanto, devido ao balanço de aminoácidos, a proteína do milho é considerada de baixo valor biológico sendo deficiente nos seguintes aminiácidos: Lisina, Tirosina, Triptofano, Arginina, Isoleucina, Valina, Metionina, Fenilalanina e Histidina (Fernandez et al., 1994).

O amido do milho é constituído por aproximadamente 27% de amilose e 73% de amilopectina. Essa conformação faz do milho um ingrediente de alto conteúdo energético, facilmente digerido (Butolo, 2002). Ainda, segundo Butolo (2002), o milho é rico em caroteno, possui alto teor de fósforo quando comparado ao teor de cálcio.

### **2.2.1 Variações na qualidade do milho**

Os principais fatores intrínsecos que afetam o valor nutricional do milho são a variedade, as condições ambientais no momento da produção que afetam as características e conteúdo de amido. A presença de fatores antinutricionais como polissacarídeos não amiláceos e ácido fítico (Cowieson, 2005). Além disso, a qualidade do milho também pode ser afetada pelo manejo dos grãos, desde a semeadura passando pela colheita, beneficiamento e armazenamento. A adubação nitrogenada afeta o teor e a qualidade protéica, sendo que conforme aumenta o teor protéico diminui a qualidade devido à diminuição do aminoácido lisina em relação à proteína (Butolo, 2002).

Insetos e fungos são fatores chave nas perdas quantitativas e qualitativas do milho (Guedes, 1990; Krabbe, 1995; Júnior, 2001). As estimativas de perdas em grãos armazenados podem chegar até 30%, sendo que 10% devem-se diretamente ao ataque de pragas (Schöller et al., 1997).

Ao avaliar 6488 partidas do milho nacional, Costa et al. (no prelo) concluíram que o milho entregue nas fabricas de rações varia devido a muitos fatores incluindo o fornecedor e a época do ano em que foi entregue. Os autores sugerem, a construção de um banco de dados confiável para a avaliação dos fornecedores.

O principal contaminante presente no milho é a presença de sementes de *Cassia sp.*, uma espécie conhecida como fedegoso que pode intoxicar os animais (Butolo, 2002). Aves que consumiram rações com fedegoso apresentaram debilidade, desidratação, excrementos diarréicos com coloração esverdeada, tremores, torcicolo, inapetência, permanência próximo a lâmpada de aquecimento, ataxia e morte. Perdas de desempenho são observadas com níveis de 0,3% de contaminação e mortalidade com níveis superiores a 0,5%. (Gonzales et al., 1994)

### 2.2.3 Efeitos do ataque de fungos e insetos no milho

Os principais insetos que afetam os grãos armazenados são os coleópteros *Sitophilus zeamais*; *Sitophilus oryzae*, *Rhysopertha dominica*, *Tribolium castaneum* e *Tribolium confusum*; e os lepidópteros *Sitotroga cerealella*, *Plodia interpunctella* e *Corcyra cephalonica* (Guedes, 1990). Saber identificar qual a praga de maior prevalência nos grãos armazenados é fundamental para definir a melhor estratégia de controle.

Sabe-se que durante seu desenvolvimento, uma larva de *S. oryzae*, pode consumir até dois terços do endosperma do grão de milho (Faroni, 1992). Ao infestarem um silo, os insetos causam diversos danos aos ingredientes; danos diretos são devidos à alimentação do inseto e os danos indiretos ocorrem pela contaminação com partes de insetos e excreta (Neethirajan et al., 2007). Lopes et al. (1988), ao avaliarem milho com 50% de carunchamento, observaram perda de peso na ordem de 13%. Já Antunes et al. (2011), ao infestarem 600 g de milho com 150 insetos por períodos de 30, 60 e 120 dias, observaram perda de peso dos grãos de até 17%, aos 120 dias de armazenamento. Ao analisarem as perdas de peso hectolitro em trigo atacado por *S. zeamais*, Silva et al. (2003) obtiveram a seguinte equação de regressão: perda de peso hectolitro =  $0,0032 * (\text{insetos por kg de milho})^{0,94}$ , e o  $R^2 = 0,94$ , mostrando que em trigo armazenado 94% das perdas de peso hectolitro devem-se à presença de insetos.

Os fungos também são responsáveis pelas variações quantitativas e qualitativas observadas no milho armazenado, sendo as espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* as mais frequentes (Puzzi, 1986). Este mesmo autor explica que devido ao intenso metabolismo dos fungos, ocorre diminuição dos carboidratos, proteínas, gorduras e vitaminas. Fungos também podem contaminar os grãos ao produzirem micotoxinas provenientes do seu metabolismo secundário.

Existe uma correlação positiva entre a incidência de insetos e fungos

(Caneppele et al., 2003). Ao se alimentar os insetos expõem o endosperma do grão facilitando a invasão do fungo. Além disso, ao movimentarem-se pelos grãos, os insetos carregam esporos disseminando os fungos (Santos, 2006). Afora isso, as mudanças de umidade geradas pelo metabolismo de insetos e fungos aceleram a respiração dos grãos e o processo de degradação dos mesmos (Puzzi, 1986). Fungos e insetos danificam diferentes estruturas do grão de milho: enquanto que insetos preferem a região do endosperma do milho (Puzzi, 1986), rico em amido, fungos consomem preferencialmente os lipídeos presentes no gérmen (Bartov & Paster, 1986; Krabbe, 1995)

No que diz respeito aos efeitos do carunchamento sobre o desempenho dos animais, Braga et al. (2003) não observaram diferenças significativas no desempenho de ratos alimentados com dietas contendo até 38% de milho carunchado. Já Stringhini et al. (2000), ao testarem dietas contendo 20 e 40% de milho infestado com fungos e insetos em frangos de corte, não observaram diferenças significativas de desempenho, porém verificaram maior incidência de alterações hepáticas e problemas no aparelho locomotor. Segundo os autores, as lesões no aparelho locomotor devem-se ao comprometimento da capacidade de absorção de cálcio e fósforo, possivelmente causado pela presença de micotoxinas.

Suínos em crescimento e terminação quando alimentados com milho com até 50% de carunchamento não demonstraram perdas de desempenho (Lopes et al., 1990), porém estudos de metabolismo com 10% de substituição de milho com até 38% de carunchamento, mostraram que para cada 1% no aumento do nível de carunchamento, perdeu-se 7,96 kcal e 0,54% do coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo. Além disso, foi observada diminuição no coeficiente de metabolizabilidade da valina, tirosina e serina.

### **2.3. Farelo de arroz integral (FAI)**

A área total de arroz cultivada no Brasil na safra do ano agrícola 2011/2012 foi de pouco mais de 2,5 milhões de hectares com uma produção de quase 12 milhões de toneladas e se concentra no sul do país com destaque ao estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2012).

O beneficiamento e processamento do arroz com casca geram 9% de farelo de arroz integral (FAI) (Lorenzetti et al., 2012), também conhecido como farelo de arroz gordo. Anualmente são geradas aproximadamente um milhão de toneladas de farelo de arroz integral que podem ser utilizadas na alimentação animal (Saunders, 1990), na extração de óleo (Lakkakula et al., 2004), na extração do ácido fitico (Canan et al., 2011) e na produção de outras substâncias como o  $\gamma$ -orizanol (Paucar-Menacho et al., 2007). O FAI também pode ser comercializado como fonte suplementar de fibras para humanos; é incluído na chamada multimistura, suplemento alimentar utilizado pela Pastoral da Criança no combate à desnutrição (Ferreira et al., 2010).

O FAI é o resíduo gerado durante o processo de brunição do grão de arroz, e representa a porção escura encontrada entre a casca e o endosperma, é constituído pelo pericarpo, testa, aleurona além de quantidade variável de resíduos de casca e amido. Pode ser obtido do arroz branco polido ou do arroz parboilizado. Quando proveniente do arroz branco polido apresenta maior

aporte energético e protéico que o proveniente do arroz parboilizado (Denardin et al., 2004).

O FAI é um co-produto que pode substituir parcialmente o milho. Na comparação dos dois, observa-se que o primeiro apresenta valores mais elevados de proteína bruta, gordura, cálcio e fósforo, porém possui menor teor de energia metabolizável para frangos (Rostagno et al. 2011) (Tabela 1). À primeira vista o FAI apresenta alguma vantagem perante o milho, porém, o uso deste ingrediente é limitado em dietas para monogástricos devido a problemas no armazenamento, causado pelo alto teor de gordura, e a fatores antinutricionais como a elevada porcentagem de polissacarídeos não amiláceos (PNA), presença de ácido fítico ( $C_6H_{18}O_{24}P_6$ ) e alto percentual de fibra bruta, que diminuem o aproveitamento deste ingrediente pelos animais (Vieira et al., 2007).

Tabela 1 – Comparação nutricional do FAI com milho<sup>1</sup>.

Nutriente (%)	FAI	MILHO
Matéria Seca	89,34	87,48
Proteína Bruta	13,13	7,88
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2605	3404
Gordura	14,49	3,65
Fibra Bruta	8,07	1,73
Cálcio	0,11	0,03
Fósforo Total	1,67	0,25
Fósforo Disponível <sup>2</sup>	0,24	0,19

<sup>1</sup>De acordo com (Rostagno et al., 2011); <sup>2</sup>Valores estimados ou calculados

### 2.3.1 Variações na qualidade do farelo de arroz integral

Os principais fatores intrínsecos que afetam o valor nutricional do farelo de arroz integral são o percentual de casca misturada ao farelo, a forma de processamento do grão de arroz (polido ou parboilizado), o tempo de armazenamento e a presença de fatores antinutricionais como polissacarídeos não amiláceos e ácido fítico, além da presença de micotoxinas (Lacerda et al., 2010). Destes, o principal limitante ao uso do FAI na alimentação animal é sua instabilidade oxidativa durante o armazenamento (Mujahid et al., 2004).

O FAI apresenta elevado teor de lipídeos e enzimas oxidativas o que torna esse ingrediente suscetível à degradação e elevação da acidez. Nos primeiros dias após sua obtenção. Os processos de rancificação hidrolítica (Ramezanzadeh et al., 1999a) e oxidativa (Ramezanzadeh et al., 1999b; Silva et al., 2006), podem gerar odores de ranço quando o FAI é armazenado por um período prolongado (Thanonkaew et al., 2012). A principal causa de deterioração do FAI é a hidrólise dos triacilgliceróis gerando ácidos graxos livres e diacilglicerol ou monoacilglicerol podendo em alguns casos chegar a glicerol e ocorre rapidamente durante os primeiros dias após a obtenção do farelo (Ramezanzadeh et al., 1999ab). No grão inteiro os processos de rancificação não ocorrem, pois as enzimas oxidativas (lipases) e o substrato (óleo) não

estão em contato, já que as lipases são armazenadas na testa do grão e o óleo é encontrado na aleurona e no gérmen (Champagne, 1994).

A rancificação oxidativa é um processo que inicia com o rompimento da barreira eletroquímica entre o oxigênio e o ácido graxo insaturado retirando um átomo de H adjacente à ligação dupla do ácido graxo insaturado liberando um radical peróxido. Uma vez iniciada, esta reação segue em cadeia e somente termina quando estiverem esgotadas as reservas de ácidos graxos insaturados e oxigênio (Ferrari, 1998). A enzima lipoxigenase pode atuar no processo catalisando a oxigenação. Os substratos preferidos pela enzima são os ácidos linoléico, linolênico. O radical peroxil formado durante a oxidação pode degradar compostos como o caroteno, a vitamina A e proteínas diminuindo a qualidade do ingrediente (Araújo, 2011). Alimento oxidado apresenta odor alterado diminui a palatabilidade e a aceitação por parte dos animais. Se consumido por animais de companhia, pode gerar redução da resposta imune, perda de visão por formação de catarata e problemas cardíacos (Dale, 2003).

Já a rancificação hidrolítica é um processo mediado por enzimas lipolíticas em que ocorre a liberação de ácidos graxos do triacilglicerol. Os resultados da rancificação hidrolítica é a formação de adores de ranço e sabor de sabão, aumento da acidez e alterações nas propriedades funcionais (Araújo, 2011).

A degradação do FAI ocorre principalmente devido à presença de enzimas endógenas principalmente lípases, lipoxigenases e peroxidases. Enzimas exógenas provenientes de fungos também podem causar rancificação hidrolítica (Butolo, 2002; Ramezanzadeh et al., 2000).

A atividade da lipase é dependente de temperatura, conteúdo de umidade e pH e as condições ótimas de ação são 30-40 °C e pH 7,5 – 8.0 (Qingci et al., 1998). Apesar de se constituir numa molécula de massa molar elevada, a reação química ocorre em uma pequena porção da enzima chamada “sítio ativo”. A estrutura tridimensional que a enzima assume é fundamental para garantir que o sítio ativo mantenha sua conformação favorável para a reação. A estabilidade de sua estrutura enovelada se dá por interações eletrônicas entre as cadeias laterais dos aminoácidos (ligações de hidrogênio, interações iônicas, íon-dipolo, dipolo-dipolo, hidrofóbicas e forças de van der Waals) (Massucatto, 2009) que podem ser alteradas pelo processamento térmico (Campbell, 2006; Pelegrine & Gomes, 2008; Zilic et al., 2010). Assim sendo, é possível a estabilização do ingrediente, ou seja, desativação das enzimas antes da armazenagem por processos térmicos.

Tratamento químico com o uso de antioxidantes pode prevenir a rancificação oxidativa, mas apresenta dificuldades técnicas para uma correta aplicação por isso nem sempre é usado (Butolo, 2002). Por outro lado, as enzimas responsáveis pela rancificação hidrolítica podem ser inativadas por meio de tratamento térmico (Saunders, 1990). As variações entre a forma como o calor é transmitido, a percentagem de umidade, a temperatura e o tempo de processamento alteram os resultados obtidos.

De acordo com Butolo (2002), os métodos clássicos de estabilização do FAI são: estabilização por calor seco em que o FAI é aquecido por 100-110 °C por 20 a 30 minutos; estabilização por calor com adição de umidade, no qual o FAI é aquecido a 100 °C por 3 minutos, através de vapor e após o

processamento seco até 10 a 12% de umidade; e estabilização por calor úmido sob pressão, processo que utiliza a própria umidade do farelo para transferir calor, desnaturar as enzimas e esterilizar o farelo. O primeiro método tem como desvantagem o tempo prolongado e a dificuldade de obter-se uma temperatura constante, em função do farelo apresentar baixa condutividade térmica. O segundo método apresenta maior inativação das lipases, esterilização do produto e menor perda de nutrientes, enquanto que o terceiro necessita da ação de uma extrusora.

De acordo com Qingci et al. (1998), na estabilização por calor com adição de umidade, três minutos a 100 °C são suficientes para desativar a lipase por 30 dias. Para um maior período de armazenamento é necessário aumentar o tempo de processamento.

Além dos métodos clássicos existem métodos alternativos de estabilização do FAI. Entre eles podemos citar o uso de microondas (Tao et al., 1993), o aquecimento ôhmico, que consiste na passagem de corrente elétrica alternada pelo grão ultrapassando os 100 °C (Pestana et al., 2008), o uso de radiação  $\gamma$  (Ramarathnam et al., 1989), a torrefação (Mujahid et al., 2004) e o processamento por infravermelho (Krishnamurthy et al., 2008). O processamento térmico por calor infravermelho tem como vantagem maior uniformidade de aquecimento, redução nas perdas de qualidade, quando comparado com outros tratamentos térmicos, ausência de influencia de solutos e menores gastos com energia (Krishnamurthy et al., 2008). Uma variação do processamento por infravermelho é a micronização. Neste tipo de processamento são empregadas altas temperaturas e períodos de exposição menores que 1 minuto.

O farelo de arroz parboilizado não necessita tratamento térmico, pois o processo de parboilização é suficiente para inibir as enzimas rancificantes (Silva et al., 2006).

A eficiência do processamento térmico na desativação das enzimas lipolíticas pode ser avaliada através do estado oxidativo dos lipídios presentes nos alimentos. Os métodos mais utilizados são o índice de acidez, o índice de peróxidos e avaliação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA) (Soares et al., 2012).

A medida do índice de acidez avalia indiretamente a quantidade de ácidos graxos livres presentes na amostra através da neutralização destes ácidos com NaOH. Conforme aumenta o índice, mais oxidado encontra-se o ingrediente, porém a escala de avaliação depende da composição de ácidos graxos da amostra (Cecchi, 2003). Em 40 partidas de FAI foi observado índice médio de acidez de 4,42 mg NaOH/g logo após a obtenção do produto, o valor máximo encontrado foi de 7,41 mg NaOH/g e o mínimo de 1,21 mg NaOH/g. Já aos 60 dias de armazenamento estes valores foram de 10,07 mg NaOH/g a 14,18 mg NaOH/g (dados não publicados).

A metodologia do índice de peróxidos é realizada pela reação do iodeto de potássio com o efeito oxidante dos peróxidos. O iodeto liberado é titulado com tiosulfato de sódio. O resultado é dado em meq.kg<sup>-1</sup> (Prates, 2007). Para o consumo humano, óleos vegetais devem possuir índice de peróxido inferior a 10 meq.kg<sup>-1</sup> (ANVISA, 1999). Gordura com elevado índice de peróxidos afetou negativamente a palatabilidade da ração para cães, pois o aumento do índice

de peróxidos de  $1,3 \text{ meq. kg}^{-1}$  para  $15,5 \text{ meq. kg}^{-1}$  diminuiu o consumo da ração (Deffenbaugh, 2003). Por outro lado, DeRouchey et al. (2004) não observaram perdas de desempenho em leitões de 21 dias e peso inicial de 6,8 kg quando forneceram dietas com índice de peróxido de até  $40 \text{ meq. kg}^{-1}$ . Racanicci et al. (2008) compararam o desempenho de frangos de corte recebendo dietas com índice de peróxido de  $2,86 \text{ meq.kg}^{-1}$  e  $10,53 \text{ meq.kg}^{-1}$ . Ao contrário do esperado, as aves alimentadas com gordura oxidada apresentaram melhor conversão alimentar não diferindo nos demais parâmetros. Mariod et al. (2012) avaliaram o índice de peróxidos do farelo de arroz desengordurado armazenado a  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Logo após a obtenção o FAI apresentou índice de peróxido de  $3,5 \text{ meq.kg}^{-1}$  aumentando até  $34,4 \text{ meq.kg}^{-1}$  após 168 horas.

O teste de ácido tiobarbitúrico (TBA) é baseado na reação do ácido tiobarbitúrico com os produtos de decomposição dos hidroperóxidos. O principal composto formado no processo oxidativo é o malonaldeído. Neste ensaio o malonaldeído reage com duas moléculas de TBA formando uma substância avermelhada medida espectrofotometricamente a  $532 \text{ nm}$  de comprimento de onda. Os valores são expressos em unidades de absorvância por unidade de massa de amostra ou valor TBA definidos como a massa, em mg, de malonaldeído por kg de amostra (Osawa et al., 2005). O malonaldeído pode oxidar a álcoois orgânicos e ácidos não mensurados no teste (Hoyland & Taylor, 1991). Ingredientes oxidados a um maior período de tempo tendem a apresentar menor valor TBA que ingredientes no pico de oxidação (Osawa et al., 2005). Loypimai et al. (2009) observaram valor TBA de  $1,3 \text{ mgMDA/kg}$  logo após a obtenção do FAI cru. Após 14 dias de armazenamento o FAI cru apresentou um pico no valor TBA próximo a  $3 \text{ mgMDA/kg}$  e chegou próximo de  $2,6 \text{ mgMDA/kg}$  aos 21 dias de armazenamento. Ao estabilizar o FAI através de aquecimento ôhmico (20, 30 e 40% de umidade e campo elétrico de 75, 150 e  $225 \text{ Vcm}^{-1}$ ) os mesmos autores observaram aumento do valor de TBA até o 21<sup>o</sup> dia variando de  $1,9 \text{ mgMDA/kg}$  até  $2,5 \text{ mgMDA/kg}$  dependendo do processamento. O valor TBA do farelo de arroz desengordurado aumentou de  $0,9 \text{ mgMDA/kg}$  logo após a obtenção chegando em  $20,04 \text{ mgMDA/kg}$  transcorridas 168 horas de armazenamento a  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Mariod et al., 2012).

O tratamento térmico de rações e ingredientes, incluindo o FAI, pode melhorar o aproveitamento destes pelos animais também pelo aumento da disponibilidade do amido (Lobo & Silva, 2003; Summers, 2001), da digestibilidade da proteína (Sagum & Arcot, 2000) e pode inativar fatores antinutricionais (Carvalho et al., 2002), além de reduzir micotoxinas como a fumonisina se tratado acima de  $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Humpf & Voss, 2004). Entretanto, altas temperaturas ou excessivo período de exposição de um ingrediente ao processamento podem ter consequências negativas como diminuição da energia metabolizável, redução da solubilidade protéica e formação de compostos tóxicos (Friedman & 1992; Mazzuco et al., 2002).

Sob determinadas condições de temperatura o amido sofre gelatinização e retrogradação alterando o valor nutricional dos ingredientes. O processo de gelatinização ocorre devido à ruptura das pontes de hidrogênio permitindo a entrada de água tornando o ingrediente mais facilmente digerível. Já o processo de retrogradação ocorre, após a gelatinização, as cadeias de amilose se agregam mais rapidamente que as de amilopectina, formando

duplas hélices. Essa estrutura apresenta maior resistência à hidrólise enzimática (Lobo & Silva, 2003), diminuindo seu aproveitamento pelos animais, afetando diretamente a energia metabolizável dos ingredientes (Cowieson, 2005).

A temperatura para gelatinização da maioria dos tipos de amidos é de 70 °C; no entanto, o aumento da quantidade de amilose torna o amido mais resistente à gelatinização. Milho com alta quantidade de amilose só gelatiniza completamente em temperaturas de 170 °C (Summers, 2001).

Com relação à proteína, o tratamento térmico aumenta sua digestibilidade até certo grau. A maioria das proteínas são desnaturadas quando expostas ao aquecimento. Do ponto de vista nutricional, a desnaturação parcial das proteínas melhora a digestibilidade e a disponibilidade biológica de aminoácidos essenciais. Porém, o excesso da temperatura causa dano à proteína e diminui a metabolizabilidade (Carvalho et al., 2009). As cadeias laterais de aminoácidos podem ser alteradas, impedindo a ação de enzimas e dificultando a digestão e absorção destes nutrientes (Sagum & Arcot, 2000). Com o aumento do tempo de processamento térmico ocorre redução na solubilidade da proteína. Esse resultado deve-se a alterações na estrutura secundária e terciária da proteína (Araújo, 2011). Aumento de temperatura aumenta as vibrações no interior da molécula protéica e a energia dessas vibrações pode romper as interações não-covalentes (Campbell, 2006). A maior quantidade de calor absorvido pelos ingredientes favorece a interação dos grupos hidrofóbicos presentes na proteína, reduzindo as interações proteína-água, diminuindo a solubilidade (Pelegri & Gasparetto, 2005; Pelegri & Gomes, 2008).

A exposição ao calor faz com que ocorra integração entre açúcares redutores e aminoácidos, em um processo conhecido como reações de caramelização. Essas reações podem melhorar características físicas dos alimentos como sabor e coloração, porém podem destruir aminoácidos e produzir substâncias anti-nutritivas (Jaeger et al., 2010), aumentando a perda na digestibilidade da proteína.

O processamento térmico dos ingredientes, incluindo os efeitos da gelatinização do amido podem ser questionados quanto à melhoria nutricional do ingrediente para os animais não ruminantes, com resultados contraditórios. Segundo El-Khalek & Janssens, (2010), amido gelatinizado, ao ser digerido, aumenta a viscosidade intestinal, o que geralmente provoca queda na taxa de difusão de substratos e enzimas digestivas dificultando a interação efetiva da mucosa intestinal com o alimento em frangos de corte. Vicente et al. (2009), trabalhando com suínos, observaram que o cozimento do arroz com vapor (15 min a 100 °C e 10 min a 105 °C) aumentou a quantidade de amido gelatinizado e melhorou a digestibilidade. Com o aumento da intensidade de cozimento (15 min a 100 °C e 10 min 120 °C) ocorreu maior gelatinização do amido, porém não ocorreram mudanças de digestibilidade. Além disso, os suínos que receberam dietas contendo arroz cozido em maior temperatura apresentaram comprometimento da mucosa do médio-íleo, em parte justificando a falta de melhoria na digestibilidade. González-Alvarado et al. (2007) observaram diminuição do ganho de peso nos quatro primeiros dias de vida de pintos alimentados com arroz e milho tratados termicamente por vapor (60 min. a 104

°C para o milho e 45 min. a 90 °C para o arroz), não observando efeito após essa idade. Por outro lado, Gracia et al. (2003) determinaram efeitos benéficos no ganho de peso de pintos alimentados com cevada tratada termicamente por vapor (50 min. a 99 °C) nos quatro primeiros dias, mas piora na conversão alimentar até os 21 dias. Jiménez-Moreno et al. (2009) observaram que o processamento térmico por cocção (15 min a 90 °C, 10 min a 117 °C e 35 min de descanso para o milho e 45 min a 90 °C e 35 min de descanso para o arroz) melhorou a metabolizabilidade da matéria seca, do extrato etéreo e a energia metabolizável aparente do milho, mas efeito contrário foi observado no arroz. Esses trabalhos indicam que diferentes ingredientes reagem diferentemente ao processamento térmico, o que está de acordo com o encontrado por Dust et al. (2004), quando compararam a qualidade de diferentes ingredientes (grãos de cevada, farelo de milho, farelo de aveia, farinha de soja, casca de soja e farelo de trigo) submetidos ao processo de extrusão.

Leitões alimentados com arroz quebrado, milho e farinha escura de trigo tratados termicamente por processo de cozimento não apresentaram diferenças no ganho de peso, quando comparados aos alimentados com ingredientes crus (Ebert et al., 2005). Leitões com quatro semanas de vida, alimentados com milho sem processamento e processado termicamente por extrusão (12,5 e 18% de umidade e temperatura final de 130, 160, 190 e 210 °C) e por calor infravermelho (46 segundos e temperatura final de 110-120°C), não apresentaram diferenças significativas nos coeficientes de digestibilidade (Van Der Poel et al., 1989).

Niu et al. (2003) avaliaram trigo com 20% de umidade submetido a três temperaturas de micronização (90, 105 e 120 °C) por 50 segundos e observaram maiores ganhos de peso nos frangos de corte que receberam trigo processado a 90 e 105 °C, sem terem observado diferenças na EMA.

Carvalho et al. (2004) avaliaram os efeitos da temperatura de secagem de milho, não encontrando diferenças significativas na composição química e na energia bruta de milhos secos ao ar e em temperaturas de 80, 100 e 120 °C. Porém observaram efeito quadrático para a EMA. A equação que descreve o comportamento da EMA conforme a temperatura de secagem e tempo de armazenamento do milho é descrita por:  $EMA = 3772 + 0,0044537x - 0,00000453x^2 - 0,0008519z$  em que  $x$  = temperatura de secagem (°C) e  $z$  = tempo de armazenamento do milho em dias,  $r^2 = 0,90$ . Já Bokor et al. (2010) não encontraram diferenças significativas na metabolizabilidade do milho seco em temperaturas de 60, 70 e 80 °C, usado na dieta de frangos de corte.

Mujahid et al. (2004) compararam o FAI cru, processado por extrusão e por torrefação e observaram que a extrusão foi mais efetiva que a torrefação. Esses autores concluíram que frangos de corte recebendo dieta com 30% de FAI processado por extrusão (5 s a 135 °C) tiveram o mesmo desempenho que aves que receberam 20% de FAI processado por torrefação (três intervalos de 5 min em 70, 90 e 100 °C) ou 10% de FAI cru.

### 3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

As hipóteses sustentadas no presente estudo são: (1) A infestação por *Sitophilus zeamais* afeta a qualidade do milho. (2) Maior nível de infestação e tempo de exposição aos insetos diminui sua qualidade nutricional. (3) O processamento térmico por infravermelho afeta a qualidade nutricional do farelo de arroz integral, sua estabilidade e seu uso pelas aves. (4) Há um tempo de processamento ideal do farelo de arroz integral, a fim de alcançar máxima eficiência de uso. (5) O processamento térmico por infravermelho pode inativar as enzimas que causam degradação do farelo de arroz integral aumentando sua vida útil.

Os objetivos deste trabalho foram:

1 Avaliar as alterações bromatológicas do milho infestado por *S. zeamais* em diferentes níveis e períodos de infestação.

2 Avaliar o efeito dos diferentes tempos de processamento térmico por infravermelho na estabilidade e na metabolizabilidade do farelo de arroz integral ingerido por frangos de corte.

## CAPÍTULO II<sup>1</sup>

## **Perdas bromatológicas em milho atacado por diferentes níveis de infestação do gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*)**

Gabriel Colombo Pontalti<sup>1-3</sup>; Luidi Eric Guimarães Antunes<sup>2</sup>; Rafael Gomes Dionello<sup>2</sup>; Concepta McManus<sup>3</sup>; Andréa Machado Leal Ribeiro<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 7712, CEP 91540, Porto Alegre/RS.

<sup>3</sup> Departamento de Zootecnia, Faculdade de Agronomia – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 7712, CEP 91540, Porto Alegre/RS.

<sup>1</sup> Autor correspondente: gabriel\_pontalti@yahoo.com.br

Resumo - A infestação em silos de armazenamento de milho, principal componente das rações animais, é uma realidade, porém pouco se sabe sobre os efeitos isolados do ataque de insetos na composição bromatológica deste ingrediente. O objetivo do trabalho foi avaliar as alterações bromatológicas do milho submetido a diferentes níveis de infestação por *Sitophilus zeamais* (gorgulho). O experimento foi conduzido em arranjo fatorial 5x2, com cinco níveis de infestação - 0, 167, 333, 500 e 667 insetos por kg de milho e dois períodos de exposição - 35 e 70 dias. As infestações foram realizadas em copos de 500 mL com tampa de tecido *voile* preenchidos com cerca de 300 g de milho em grão Tipo 1. Avaliou-se matéria seca, cinzas, proteína bruta (PB) e energia bruta dos grãos. Não houve interação entre os fatores estudados. No entanto, o aumento do nível de infestação diminuiu a matéria seca dos grãos ( $p<0,05$ ), aumentou as cinzas ( $p<0,01$ ), mas não resultou em diferenças em PB e energia bruta. Aos 70 dias observou-se menor teor de cinzas ( $p<0,01$ ) e maiores teores de PB e matéria seca ( $p<0,01$ ), devido ao consumo do amido pelos insetos. Não houve diferença significativa entre os teores de energia bruta em nenhum período ou nível de infestação. Aumento no número de insetos diminuiu a qualidade do grão devido à maior umidade. O aumento de proteína observado não pode ser considerado um ganho nutricional sem que a digestibilidade *in vivo* dessa proteína seja estudada.

Palavras - chave: armazenamento, insetos, qualidade nutricional

## Chemical changes in maize attacked by maize weevil (*Sitophilus zeamais*) in different levels of infestation

Gabriel Colombo Pontalti<sup>1-3</sup>; Luidi Eric Guimarães Antunes<sup>2</sup>; Rafael Gomes Dionello<sup>2</sup>; Concepta McManus<sup>3</sup> Andréa Machado Leal Ribeiro<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 7712, CEP 91540, Porto Alegre/RS.

<sup>3</sup> Departamento de Zootecnia, Faculdade de Agronomia – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 7712, CEP 91540, Porto Alegre/RS.

<sup>1</sup> Corresponding author: gabriel\_pontalti@yahoo.com.br

Abstract – Maize is the main component of animal feed. Insect attacks in stored maize are common but little is known about the effects of this attack on chemical composition of the ingredient. The aim of this study was to evaluate the chemical changes in maize under different levels of insect infestation. An experiment was conducted in a 5x2 factorial design with five levels of infestation – 0, 167, 333, 500 and 667 insects per kg of maize and two exposure periods of 35 and 70 days. Infestations were performed in 0.5 L plastic glasses filled out with 0.3 kg of maize covered with a voile fabric lid. Dry matter, ash content, crude protein and gross energy were evaluated in the grains. The increase in the level of insect infestation decreased dry matter ( $p < 0.05$ ) and increased ash content ( $p < 0.01$ ). No differences were observed in crude protein content between treatments. At 70 days of exposure there was a lower ash content ( $p < 0.01$ ) and increased dry matter and protein content ( $p < 0.01$ ). There was no significant difference between the levels of gross energy for any period or level infestation level. Increasing number of insects generates increase moisture and ash content in the grain. Longer period of infestation causes elevation of protein content.

Key – words: stored grains, insect, nutritional quality

## Introdução

O milho é o cereal mais usado na alimentação animal, perfazendo em média 60% de uma ração para frangos de corte, podendo satisfazer 65% da energia metabolizável necessária (Dahlke *et al.* 2001). É considerado um ingrediente rico em energia e pobre em proteína, porém, devido à quantidade usada nas dietas, pode representar até 20% do conteúdo proteico de uma ração inicial para aves (Summers, 2001). O milho apresenta variação na composição química e nutricional o que torna imprecisas o uso de tabelas genéricas de composição de alimentos (Cowieson, 2005).

Um dos principais fatores que afeta a qualidade do milho na pós-colheita é a presença de insetos (Costa *et al.*, no prelo), sendo o gorgulho do milho- *Sitophilus zeamais* (Motschulky) (Coleoptera: Curculionidae)- um dos mais importantes e de maior prevalência em silos nas regiões tropicais (Silveira *et al.*, 2006). As estimativas de perdas em grãos armazenados podem chegar até 30%; destas, 10% devem-se diretamente ao ataque de pragas (Scholler *et al.*, 1997). Além de reduzir a massa de grãos e aumentar os grãos quebrados e brocados (Antunes *et al.*, 2011), os insetos contaminam os grãos armazenados com resíduos do seu metabolismo e fragmentos do seu corpo (Neethirajan *et al.*, 2007). Durante o desenvolvimento, uma larva do gênero *Sitophilus* pode consumir até dois terços do endosperma do grão de milho (Faroni, 1992).

Existe uma correlação positiva entre a incidência de insetos e fungos (Caneppele *et al.*, 2003). Ao se alimentarem os insetos expõem o endosperma do grão facilitando a invasão do fungo, e ao movimentarem-se pelos grãos, os insetos carregam esporos disseminando-os (Santos, 2006).

Apesar disso, pouco se sabe a respeito dos danos qualitativos provocados pelo ataque de *Sitophilus zeamais* aos cereais armazenados. O objetivo deste trabalho foi

avaliar as alterações bromatológicas do milho infestado por esses insetos em diferentes níveis e períodos de ataque.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em sala climatizada com  $25\pm 5$  °C de temperatura e  $60\pm 10\%$  de umidade relativa.

Utilizou-se um arranjo fatorial 5x2, com cinco níveis de infestação de insetos *S. zeamais*- 0, 167, 333, 500 e 667 insetos por kg de milho e dois períodos de exposição de 35 e 70 dias. Os insetos utilizados foram criados nas mesmas condições ambientais citadas acima, alimentados com grãos de milho livres de agrotóxicos, produzidos na Estação Experimental Agronômica da UFRGS. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, as quais foram constituídas de 0,3 kg de milho em grão Tipo 1, adquiridos em agropecuária local acondicionadas em copos plásticos de 0,5 L com tampa de tecido *voile*.

No início e no final de cada período experimental o milho foi peneirado em peneira com crivos circulares de 5 mm simulando a pré-limpeza. Avaliou-se matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB) e energia bruta (EB) dos grãos no Laboratório de Nutrição Animal da UFRGS.

As análises foram realizadas de acordo com a AOAC (Association of Official Analytical Chemists) e Prates (2007) para MS, CZ, PB e EB (bomba calorimétrica modelo C2000 – IKA Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemanha).

As médias dos tratamentos foram analisadas através do programa estatístico SAS (v. 9.0, Cary, North Carolina) usando o procedimento GLM e as médias comparadas pelo LSMEANS. Na presença de um F significativo, analisou-se os modelos de regressão

linear, quadrático, cúbico e quarto grau, através de contrastes e o modelo exponencial usando o procedimento NLIN (non-linear regression) elegendo o modelo de melhor explicação para a variação dos dados. Também foi realizado o teste de correlação de Pearson utilizando o procedimento CORR.

## Resultados e Discussão

Não foi observada interação entre os níveis de infestação e períodos de exposição para nenhuma resposta verificada ( $p > 0.05$ ). No entanto, o aumento do nível de infestação diminuiu o teor de matéria seca e aumentou o teor de cinzas dos grãos de milho (Tabela 1).

Ao avaliar os modelos de regressão observou-se, com o aumento do nível inicial de infestação, comportamento linear decrescente para matéria seca e crescente para cinzas. Para teor de proteína e energia bruta nenhum modelo de regressão foi significativo.

A equação que melhor representa o aumento da umidade em função do nível de infestação por insetos no intervalo avaliado é dada por:  $\% \text{ MS} = 88,24 - 0,0049 \times \text{n}^\circ$  de insetos por kg de milho ( $r^2 = 0,40$   $p < 0,001$ ). Isso significa que aproximadamente 40% da variação do teor de matéria seca deve-se à presença de insetos na massa de grãos.

**Tabela 1.** Matéria seca, cinzas, proteína bruta e energia bruta dos grãos de milho submetidos a diferentes níveis de infestação e dois períodos de exposição a insetos *S. zeamais*

Resposta <sup>a</sup>	Níveis de Infestação (Nº de insetos por kg de milho)					P <sup>b</sup>	EPC <sup>c</sup>
	0	167	333	500	667		
Matéria Seca (%) <sup>1</sup>	88,13 a	88,01 ab	87,81 b	87,52 c	87,19 d	≤0,05	0,10
Cinzas (%) <sup>1</sup>	1,29 a	1,32 ab	1,34 bc	1,40 c	1,41 d	≤0,01	0,13
Proteína Bruta (%)	8,95	8,74	9,00	8,94	9,12	≥0,20	0,13
Energia Bruta (kcal/kg)	4485	4495	4493	4519	4518	≥0,07	52,81
	Período de Exposição			P <sup>b</sup>	EPC <sup>c</sup>		
	35	70					
Matéria Seca (%)	87,41 b	88,08 a		≤0,01	0,06		
Cinzas (%)	1,38 a	1,32 b		≤0,01	0,08		
Proteína Bruta (%)	8,8 b	9,1 a		≤0,01	0,08		
Energia Bruta (kcal/kg)	4497	4507		≥0,28	6,31		

<sup>a</sup>Médias seguidas por letras iguais na linha, não diferem entre si pelo LS-Means,

<sup>b</sup>Significância estatística <sup>c</sup>Erro padrão <sup>1</sup>Regressão Linear

Em condições experimentais com menores variações ambientais (25± 2°C e 70± 5% UR), Caneppele *et al.* (2003) encontraram correlação de 0,85 entre o número de insetos e o teor de umidade do milho armazenado. Segundo esses autores, em condições ideais de armazenamento, os insetos são o principal fator no aumento da umidade dos grãos. No presente experimento com condições ambientais de 25± 5°C e 60± 10% de umidade foi encontrada uma correlação de 0,63 entre o número de insetos e o teor de umidade do milho (p < 0,001).

A diminuição do teor de matéria seca dos grãos infestados deve-se ao metabolismo dos insetos (Faroni, 1992) resultando na produção de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Além disso, ao alimentarem-se, os insetos perfuram o tegumento dos grãos expondo os carboidratos higroscópicos presentes no endosperma, facilitando a absorção de umidade (Howe, 1973; Puzzi, 1986 e Antunes *et al.* 2011).

A variação no teor de cinzas é representada pela equação  $\%Cinzas = 1,291 + 0,00057 * n^{\circ}$  de insetos por kg de milho ( $r^2 = 0,41$ ,  $p < 0,001$ ). O fato dos insetos consumirem preferencialmente o endosperma do milho (Puzzi, 1986), rico em amido (Paes, 2006) explica o aumento relativo do percentual de cinzas. Outra explicação plausível para este fenômeno é que ao infestar os grãos, o inseto adiciona compostos minerais inerentes a sua própria composição. Khusro *et al.* (2012) em um trabalho de revisão demonstraram que insetos em geral são ricos em minerais como ferro, magnésio, cobre e zinco e normalmente pobres em cálcio. Apesar da simulação de pré-limpeza feita no presente experimento, alguns insetos permaneceram escondidos no interior do milho (galerias), influenciando os resultados. A correlação encontrada entre número de insetos e teor de cinzas foi da ordem de 0,64 ( $p < 0,001$ ).

Contrariamente à falta de diferenças no teor de proteína bruta entre níveis de infestação observada no presente experimento, e dos resultados de Antunes *et al.* (2011), Pinto *et al.* (2002) encontraram aumento no teor de proteína bruta usando uma carga muito menor de infestação e maior período de armazenamento de trigo (0, 2, 4, 6 e 8 insetos para 1,5 kg por até 90 dias de armazenamento), porém nenhuma medida foi tomada para separar os insetos e resíduos dos insetos da massa de grãos, levando ao aumento do teor de N total. No presente trabalho, a simulação de pré-limpeza removeu as excretas dos insetos e eles próprios, podendo explicar a falta de aumento da proteína bruta. A análise de correlação entre número de insetos e PB não foi significativa.

Não foram observadas variações da energia bruta dos grãos devido aos níveis de infestação, resultado esperado, visto que a energia bruta é calculada em  $\text{kcal.kg}^{-1}$  de produto. Sendo assim as perdas de energia mantiveram proporcionalidade à perda de peso dos grãos.

O aumento do período de exposição aos insetos de 35 para 70 dias fez aumentar o teor de matéria seca e proteína bruta dos grãos de milho e diminuir o teor de cinzas. Por outro lado, energia bruta não variou, da mesma forma que também não variou com o nível de infestação.

O aumento no teor de matéria seca devido ao tempo de armazenamento pode ter como explicação as condições de temperatura e umidade da sala. Brooker *et al.* (1982) observaram que a matéria seca do milho é muito dependente da umidade e temperatura do local. Com relação às cinzas, o maior período de armazenamento permitiu o desenvolvimento dos insetos, mas também a diminuição da quantidade de alimento disponível, obrigando os insetos a abandonarem o interior dos grãos para buscar alimentos. Sendo assim, aos 70 dias, a simulação de pré-limpeza pode ter sido mais, eficiente, resultando na diminuição do teor de cinzas.

O aumento do período de exposição aumentou o teor de proteína bruta dos grãos de milho, estando de acordo com o observado por Lopes *et al.* (1988), Stringhini *et al.* (2000) e Pinto *et al.* (2002), diferindo, porém, dos resultados de Antunes *et al.* (2011) que não acharam diferenças. Esses resultados podem ser explicados pela preferência alimentar dos insetos, diminuindo amido e aumentando proporcionalmente a proteína ou pela presença de insetos no interior dos grãos analisados. Este aumento de proteína não pode ser considerado um ganho nutricional, sem que a digestibilidade *in vivo* da proteína seja estudada. Jood & Kapoor (1992), trabalhando com ratos, avaliaram a qualidade da proteína do trigo infestado por insetos e observaram pior desempenho e redução na digestibilidade quando formularam uma ração com 75% de milho infestado. Suínos em crescimento e terminação não apresentaram perdas de desempenho quando receberam ração com até 50% de milho carunchado (Lopes *et al.*, 1990). Por outro lado,

ensaios de metabolismo com milho infestado (até 37% de carunchamento) mostraram diminuição da energia digestível e dos coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta e do extrato etéreo (Souza, 1999). Caneppele *et al.* (2003) e Stringhini *et al.* (2000), com aves, não observaram perdas de desempenho em dietas com até 38% e 40% de carunchamento, respectivamente. Isso sugere que apesar das variações bromatológicas observadas, o desempenho das aves e dos suínos não é afetado pela presença de grãos carunchados.

Alteração na composição da proteína de milho atacado por insetos foi estudada por Lopes *et al.* (1988) que verificaram aumento nos teores de fenilalanina, leucina, histidina, arginina, valina e treonina e redução de isoleucina.

Maior período de exposição não afetou a energia bruta dos grãos. O consumo preferencial dos insetos pelo amido, menos concentrado em energia que os lipídeos, pode explicar a falta de resposta. Ao contrário, trabalhos com milho atacado por fungos, que consomem preferencialmente os lipídeos, mostram diminuição nos valores de energia bruta (Bartov & Paster 1986; Krabbe, 1995).

## Conclusões

Milho infestado por *S. zeamais* apresenta mudanças na composição bromatológica. O aumento do número de insetos presentes na massa de grãos aumenta a umidade permitindo a ação de fungos desvalorizando o produto. O tempo de exposição aos insetos altera a composição nutricional elevando os teores de proteína bruta dos grãos de milho. Porém a qualidade dessa proteína deve ser avaliada.

## Agradecimentos

Agradeço a CAPES pela bolsa concedida, ao departamento de Fitotecnia pelos insetos e empréstimo das instalações e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudo e aprimoramento pessoal.

## Bibliografia

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995 Official Methods of Analysis. 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem.. Washington. DC.

Antunes LEG, Viebrantz PC, Gottardi R, Dionello RG. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus Zeamais* durante o armazenamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2011; 51:615-620

Bartov I, Paster N. Effect of early stages of fungal development of the nutritional value of diets for broiler chicks. British Poultry Science 1986; 27: 415-420

Brooker DRF, Bakker-Arkema FW, Hall CW Drying and storage of grains and oilseeds, New York; N. Y Springer; 1992

Caneppele MAB, Caneppele C, Lázari FA, Lázari SMN. Correlation between the infestation level of *Sitophilus Zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea Mays* L. (Poaceae). Revista Brasileira de Entomologia 2003; 47 (4): 625-630

Costa SIFR, Stringhini JH, Ribeiro AML, Pontalti GC, McManus C. Quality assessment of maize received by a feed Mill in the Brazilian Cerrado. Brazilian Journal of Poultry Science, no prelo

Cowieson AJ. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. Animal feed science and technology 2005; 119 (3-4) 293-305

Dalhke F, Ribeiro AML, Kessler AM, Tamanho da partícula do milho e forma física da ração e seus efeitos sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. Revista Brasileira Ciência Avícola. 2001 3:241-248.

Faroni LEDA. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. *Revista Brasileira de Armazenamento* 1992; 17: 36-43

Howe RW Loss viability of seed in storage attributable to infestations of insects and mites. *Seed Science and Technology* 1973; 1 : 562 – 586

Jood S, Kapoor AC. Biological evaluation of protein quality of wheat as affected by insect infestation. *Food Chemistry* 1992; 45 : 169-174

Khusro M, Andrew NR, Nicholas A. Insects as poultry feed: a scoping study for poultry production systems in Australia. *World's Poultry Science Journal* 2012; 68 : 436 - 446

Krabbe EL. Efeito do desenvolvimento fúngico em grãos de milho durante o armazenamento e do uso de ácido propionico sobre as características nutricionais e o desempenho de frangos de corte. [Dissertation]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995

Lopes DC, Alvarenga JC, Donzele JL, Fontes, RdeA, Vieira AA. Efeito do nível de carunchamento do milho sobre o desempenho de suínos em crescimento/terminação. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia* 1990; 19 (3): 147-151

Lopes DC, Fontes RdeA, Donzele JL, Alvarenga JC. Perda de peso e mudanças na composição química do milho (*Zea mays* L.) devido ao carunchamento. *Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia* 1988 17 (4): 367-371

Neethirajan S, Karunakaran C, Jayas DS, White NDG. Detection techniques for stored-product insects in grain. *Food Control* 2007; 18 (2): 157-162

Paes, MCD Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas MG. Brasil 2006

Pinto UM, Faroni LRDA, Alves WM, Silva AALda Influência da densidade populacional de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) sobre a qualidade do trigo destinado a

panificação. *Acta Scientiarum* 2002; 24 (5): 1407-1412

Puzzi D. *Abastecimento e Armazenamento de Grãos*. Campinas São Paulo Brasil 1986

Santos JPdos *Cultivo do milho e pós colheita*. Sete Lagoas MG. Brasil 2006

Scholler M, Prozell S, Al-Kirshi AG, Reichmuth CH. Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. *Journal of Stored Products Research* 1997; 33 (1): 81-97

Silveira RD, Faroni LDDA, Pimentel MAG, Zocollo GJ. Influência da temperatura do grão de milho, no momento da pulverização, e mortalidade de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, pela mistura de bifenthrin e piramifós-metil. *Revista Brasileira de Armazenamento* 2006; 31 (2): 120-124

Souza, AVC de. *Composição química e valor nutritivo do milho com diferentes níveis de carunchamento para suínos*. [Dissertation]. Viçosa (MG). Universidade Federal de Viçosa; 1999

Stringhini JH, Mogyca NS, Andrade MA, Fleury G, Café MB, Borges SA. Efeito da qualidade do milho no desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2000; 21 (1): 191 - 198

Summers, JD. Maize factors affecting its digestibility and variability in its feeding value. In: Bredford MR, Partrifge GC. Editors. *Enzymes in farm animal*. Wallingfor, Oxon UK: CABI; 2001 p. 109 - 12

## **CAPÍTULO III<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Submetido a Pesquisa Agropecuária Brasileira

## **Farelo de arroz integral processado por infravermelho em diferentes períodos de tempo na dieta de frangos de corte**

Gabriel Colombo Pontalti<sup>(1)</sup>, Patrícia Diniz Ebling<sup>(1)</sup>, Araceli Pacheco Villanueva<sup>(1)</sup>  
Luciana Gonçalves Teixeira<sup>(1)</sup> e Andréa Machado Leal Ribeiro<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Zootecnia, Faculdade de Agronomia – UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 7712, CEP 91540, Porto Alegre/RS. E-mail: Gabriel\_pontalti@yahoo.com.br, pati\_sps@yahoo.com.br, araceli\_980@hotmail.com, lucianagoncteixeira@hotmail.com, aribeiro@ufrgs.br,

**Resumo** - Trata-se de um estudo de metabolizabilidade em frangos de corte Cobb, para testar os benefícios do processamento térmico por infravermelho no farelo de arroz integral (FAI) em diferentes tempos (0, 6, 8 e 10 min). Uma dieta referência (DR) à base de milho e farelo de soja foi usada e a inclusão dos FAI, pelo método de substituição, foi de 20%, em um delineamento completamente casualizado com 5 tratamentos e 10 repetições de 1 ave. Foi feita a coleta total de excretas, com 4 dias de adaptação às dietas e 3 de coleta, entre 21 e 28 dias de idade das aves. A dieta com FAI 6 min teve melhor aproveitamento em relação às demais e foi a única que não piorou os coeficientes de metabolizabilidade em relação à DR. Na comparação da metabolizabilidade dos ingredientes isolados, não houve diferenças estatísticas. Porém, conforme aumentou o tempo de processamento, diminuiu a solubilidade e a metabolizabilidade da proteína. O processamento térmico por infravermelho não foi capaz de melhorar a metabolizabilidade do FAI para frangos de corte.

Termos para a indexação: ingredientes, lipase, metabolizabilidade, processamento térmico

### **Full fat rice bran processed by infrared in different time periods in broiler diets**

**Abstract** - This is a study of metabolizability in broilers Cobb, to test rice bran infrared (RB) thermal processed at different times (0, 6, 8 and 10 min). It was used a reference diet (RD) based on corn and soybean in which 20% of RB was included. The experiment design was completely randomized, with 5 treatments and 10 replicates. Each replicate was a 21 day old bird. After 4 days of diet adaptation, total excreta was collected, during 3 subsequent days. Diet with RB processed at 6 was better used than the others, the only one that did not differ from RD. Comparing RB processing times, there were no significant difference between them, regarding digestibility. Processing time was negatively related to protein solubility and protein metabolizability. Infrared heat processing was not able to improve FAI metabolizability for broilers.

Index terms: ingredients, lipase, metabolizability, thermal processing

## Introdução

O aumento dos custos das commodities agrícolas torna viável o uso de alimentos alternativos na alimentação de frangos de corte. O farelo de arroz integral (FAI) é um subproduto da indústria orizícola produzido em grande quantidade. O processamento do arroz para consumo humano gera em torno de 9% de FAI (Lorenzetti et al., 2012) que pode ser utilizado na alimentação animal. Entretanto, devido ao elevado teor de gordura polinsaturada, este ingrediente apresenta problemas de rancificação hidrolítica (Ramezanzadeh et al., 1999a) e oxidativa (Ramezanzadeh et al., 1999b), comprometendo a qualidade nutricional e a vida útil do produto (Park et al., 2012).

O uso de antioxidantes pode prevenir a rancificação oxidativa, mas ainda seu uso não é comum. Também o processamento térmico é utilizado com êxito na inibição de fatores antinutricionais, como no caso do fator antitripsina da soja. Porém, altas temperaturas ou excessivo período de exposição de um ingrediente ao processamento podem ter consequências negativas como diminuição da energia metabolizável, redução da solubilidade protéica e formação de compostos tóxicos. Durante o processamento, ocorre uma série de reações químicas entre os açúcares redutores e aminoácidos conhecidas como reações de Maillard. Essas reações podem melhorar características físicas dos alimentos como sabor e coloração, porém podem destruir aminoácidos, produzir substâncias anti-nutritivas e afetar negativamente a solubilidade da proteína (Jaeger et al., 2010).

O método tradicional para estabilização do FAI é a extrusão termoplástica com aplicação de calor (125-135 °C) por 1 a 3 minutos e umidade do grão entre 11 e 15% (Pestana et al., 2008). Existem também métodos alternativos envolvendo o uso de microondas (Ramezanzadeh et al., 1999b), aquecimento ôhmico, que consiste na passagem de corrente elétrica alternada pelo grão ultrapassando os 100 °C (Pestana et al., 2008), torrefação (Mujahid et al., 2004), parboilização (Silva et al., 2006) e processamento por calor infravermelho (Krishnamurthy et al., 2008). O processamento por infravermelho apresenta maior uniformidade de aquecimento resultando em menores perdas qualitativas dos ingredientes. Por não utilizar água, não existe influência de solutos e apresenta menores gastos com energia tornando o processo mais econômico (Krishnamurthy et al., 2008). No entanto, há poucos resultados quanto a aplicação deste último processo em ingredientes de dietas para animais e seu efeito na

digestibilidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a metabolizabilidade do farelo de arroz integral submetido a diferentes tempos de processamento por calor infravermelho na dieta de frangos de corte.

### **Material e Métodos**

Os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de ética no uso de animais (CEUA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob o protocolo nº 22326.

Foram utilizados 50 frangos de corte machos Cobb, com 21 dias de idade. As aves foram alojadas em gaiolas metabólicas individuais de 0,10 m<sup>2</sup>, distribuídas em sala climatizada. A água e as rações experimentais foram ofertadas à vontade. As aves receberam 24 horas de luz artificial por dia.

O FAI de um mesmo lote foi adquirido de um engenho de arroz comercial localizado no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Imediatamente após sua obtenção, o farelo foi estabilizado termicamente por infravermelho sob diferentes tempos de processamento. A variação da temperatura da massa foi mensurada através de um termopar instalado no meio da mesma e pode ser observada da Figura 1.

Foi formulada uma dieta referência (DR) de acordo com as Tabelas Brasileiras (Rostagno et al., 2011) (Tabela 1), e quatro dietas teste foram desenvolvidas usando o método de substituição (Matterson et al., 1965), substituindo 20%, em matéria seca, da ração basal por FAI recém obtido dos diferentes tempos de processamento térmico. Os tratamentos foram: (1) FAI cru – (DR + FAI sem processamento); (2) FAI 6 – (DR + FAI processado por 6 minutos); (3) FAI 8 – (DR + FAI processado por 8 minutos); (4) FAI 10 – (DR + FAI processado por 10 minutos); (5) referência, à base de milho e farelo de soja.

O delineamento experimental foi completamente casualizado com cinco tratamentos e dez repetições, sendo que a unidade experimental foi composta por um animal.

O experimento foi realizado com coleta total de excretas, com quatro dias para adaptação e três para as coletas (Cortez et al. 2009), tendo iniciado em junho 2012. As coletas foram realizadas duas vezes ao dia e as excretas coletadas foram pesadas, armazenadas em sacos plásticos e conservadas em câmara fria a -10 °C. Ao final do

experimento foram descongeladas, homogeneizadas, acidificadas com ácido sulfúrico 1 N para evitar perdas nitrogenadas (Ribeiro et al., 2001), secas em estufa de ventilação forçada (60 °C por 72 horas) e moídas para posterior análise laboratorial.

As análises das dietas, excretas e farelos foram realizadas de acordo com a AOAC (1995), para matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia bruta (EB). Também foram realizadas as análises de solubilidade da proteína em KOH e índice de acidez, de acordo com a AOAC (1995) e a análise de TBAR/MalonAldeido, segundo Pikul et al. (1989), para medir a peroxidação da gordura do FAI. As duas primeiras análises foram feitas no momento do preparo das rações, quando os diferentes FAI tinham recém sido obtidos. A análise de TBARS foi feita após 4 meses de armazenamento dos FAI.

Foram calculados os coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), da proteína bruta (CMPB), da energia bruta (CMEB), além da energia metabolizável aparente (EMA) e a energia metabolizável aparente corrigida para retenção de nitrogênio (EMAn) das dietas segundo os procedimentos padrão descritos em Sakomura & Rostagno (2007). Para o cálculo da EM dos farelos foi usada a fórmula desenvolvida por Campbell et al. (1983) :  $EM_{FAI} = EB_{FAI} - [(EF_{FAD} - (1 - X) * EF_{DR})/X]$ , em que  $EM_{FAI}$  = energia metabolizável do FAI;  $EB_{FAI}$  = Energia bruta do FAI;  $EF_{FAI}$  = Energia bruta das fezes dos tratamentos com FAI;  $EF_{DR}$  = Energia bruta das fezes da dieta referência; X = percentagem de inclusão do FAI à dieta referência.

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do procedimento GLM (General Linear Model) e as médias comparadas pelo LS Means, usando o software SAS (V. 9.0). Foram testados os modelos de regressão usando contrastes. Quando significativos, as equações de regressão foram geradas.

## **Resultados e Discussão**

Durante o processamento térmico ocorreu aumento da temperatura da massa de FAI (Figura 1). As temperaturas observadas no processamento por 6 e 8 minutos foram bastante semelhantes, chegando ao máximo de  $105 \pm 3$  °C. No processamento por 10 minutos, a temperatura da massa sofreu um aquecimento mais intenso principalmente após 8 minutos, sendo que a temperatura registrada no termopar chegou a 135 °C. Na Figura 2, observa-se que o maior tempo de exposição ao calor teve efeito sobre a qualidade da proteína do FAI, com redução na solubilidade da proteína em KOH. Com

o aumento da temperatura aumentam as vibrações no interior da molécula protéica e a energia dessas vibrações pode romper as interações não-covalentes, favorecendo a interação dos grupos hidrofóbicos podendo gerar agregação seguida de coagulação e precipitação da proteína (Pelegrine & Gasparetto, 2005; Pelegrine & Gomes, 2008), resultando em redução na solubilidade da proteína (Zilic et al., 2010). Por outro lado, a desnaturação parcial da proteína pode melhorar a digestibilidade e a disponibilidade biológica de aminoácidos essenciais (Carvalho et al., 2009).

Os resultados na Tabela 1 mostram que todos os farelos tinham baixo índice de acidez em análise feita dois após o processo. Também os valores de TBARS, em mg/kg, foram baixos: 1,11; 1,46; 1,30 e 1,34 para os FAI Cru, 6, 8 e 10 min, respectivamente, após 4 meses de armazenamento. Observa-se que o FAI cru armazenado também tem níveis baixos de TBARS, mesmo numa situação em que as lipases são ativas e levam à produção de ácidos graxos livres e oxidação dos mesmos (Ramezanzadeh et al., 1999b). Isto pode ser explicado pelo fato do malonaldeído, que é a substância quantificada no teste, não ser estável por longos períodos de tempo, oxidando-se a álcoois orgânicos e ácidos (Osawa et al., 2005). Loypimai et al. (2009) analisaram TBARS do FAI submetido a aquecimento ôhmico e observaram que logo após o processamento térmico os valores ficaram entre 1,2 e 1,4 mg/kg (inclusive FAI cru) e que o pico de TBARS para o FAI cru foi encontrado 14 dias após a obtenção e chegou a patamares de 3 mg/kg. No entanto aos 21 dias este valor já estava ao redor de 2,6 mg/kg. Para os FAI processados o valor TBARS aumentou até os 21 dias (última medição) variando entre 1,8 até 2,4 mg/kg.

A adição de farelo de arroz cru e termicamente processado não influenciou o consumo de ração (Tabela 2), resultado este positivo, pois diferentes consumos podem influenciar nos resultados de metabolizabilidade (Gianfelici et al., 2011). No entanto, a inclusão do FAI diminuiu os coeficientes de metabolizabilidade e a energia metabolizável das dietas. A dieta com inclusão de FAI 6 foi a única que não diferiu da dieta referência para nenhuma resposta, enquanto que a dieta com FAI 10 foi pior do que a referência para todos os coeficientes analisados. Esses resultados indicam que um processamento mais rápido melhorou as qualidades nutricionais do FAI e que o aumento do tempo de processamento exerceu efeitos negativos no aproveitamento do ingrediente pelos frangos de corte (Tabela 2).

Embora pelo teste de médias, apenas as dietas com FAI processados por 8 e 10 min tenham diferido estatisticamente da dieta referência com relação ao CMPB, obteve-se uma regressão linear negativa de acordo com a equação  $CMPB = 64,62 - 0,33 * \text{minutos de processamento}$ ,  $P < 0,05$ ,  $R^2 = 0,10$ , mostrando que o aumento do tempo de processamento diminuiu o aproveitamento da proteína bruta. Esse resultado está coerente com o gráfico da solubilidade da proteína em KOH. Com maiores tempos de processamento, as cadeias laterais dos aminoácidos provavelmente foram alteradas, impedindo a ação de enzimas e dificultando a digestão e consequente absorção destes nutrientes (El-Khalek et al., 2009).

O processamento por 10 minutos, que resultou no pior produto pode ter propiciado integração entre açúcares redutores e aminoácidos, em um processo conhecido como reações de Maillard. Essas reações podem melhorar características físicas dos alimentos como sabor e coloração, porém podem destruir aminoácidos e produzir substâncias antinutritivas (Jaeger et al., 2010), ajudando a explicar os piores coeficientes observados nesse tratamento.

Observa-se que a dieta com FAI 6 foi a única que teve maior EMAn na comparação com o FAI Cru ( $P < 0,05$ ), sem apresentar diferença com os demais. A dieta contendo FAI cru apresentou a menor EMAn; este resultado está de acordo com Mujahid et al. (2004) que ao avaliarem FAI cru contra extrusado e cozido, encontraram pior metabolizabilidade do extrato etéreo para o primeiro. Segundo os autores, o aumento da acidez quando não há processamento representa a degradação dos triglicerídeos em ácidos graxos livres e diacilglicerol monoacildlicerol podendo em alguns casos chegar a glicerol, diminuindo o conteúdo energético da ração.

Embora tenha havido diferenças na comparação entre as dietas, não foi possível obter diferença estatística entre os coeficientes de metabolizabilidade dos farelos (Tabela 3). No método por diferença, os cálculos para os ingredientes teste são indiretos e podem levar a variações muito grandes, como pode ser observado no erro padrão. Ainda assim é possível observar que os dados são coerentes com a Tabela 2. Por outro lado, para a metabolizabilidade da proteína, obteve-se uma regressão linear negativa de acordo com a equação  $CMPB = 57,15 - 0,63 * \text{tempo de processamento}$  ( $R^2 = 0,16$ ), mostrando o mesmo fenômeno observado para as dietas experimentais, no qual o aumento do tempo de processamento piorou o aproveitamento da proteína pelas aves.

O CMPB do FAI Cru (56,58%) foi inferior ao valor de 77,70% publicado por Rostagno et al., (2011). Também, o valor de gordura nas tabelas desses autores é maior (14,49%) do que o encontrado para os farelos do presente experimento, porém os valores de EMAn são inferiores (2521 kcal/kg) aos encontrados nesse experimento. Também Kunrath et al. (2010), trabalhando com suínos, verificaram menor coeficiente de digestibilidade e menor EMAn para farelo de arroz desengordurado do que os encontrados em Rostagno et al (2011). Variações na composição do FAI são comuns, sendo que o teor de polimento, resíduo e casca e tipo de arroz são as principais fontes de variação (Pestana et al. 2008).

Segundo Mujahid et al. (2004), o tratamento térmico a priori, não melhora a qualidade do FAI, porém diminui a velocidade de deterioração da qualidade nutricional durante o armazenamento. Estes mesmos autores concluíram que o FAI termicamente processado e armazenado por quatro meses pôde ser usado em até 20% em rações para frangos de corte. A hidrólise dos triacilgliceróis em ácidos graxos livres e glicerol é a principal causa de deterioração do FAI e inicia durante os primeiros dias após a obtenção (Ramezanzadeh et al. 1999ab). No presente experimento os farelos foram ofertados às aves logo após a sua obtenção, sendo assim, o FAI cru pode não ter sofrido oxidação, o que pode ter subestimado os efeitos do tratamento por infravermelho. A menor produção de amido resistente também seria outra possibilidade de benefício do tratamento por infravermelho (Zaragoza et al. 2010). Neste caso, este tratamento seria vantajoso quando comparado com outro tipo de processamento, o que pode ser verificado em futuros trabalhos.

Nas condições experimentais testadas, o tratamento térmico por infravermelho não resultou em incremento do valor nutricional do FAI para frangos de corte. Na literatura encontram-se resultados contraditórios a esse respeito. Por um lado Mujahid et al. (2004) observaram aumento no ganho de peso e melhora na conversão alimentar de aves alimentadas com farelo processado termicamente. Niu et al. (2003), trabalhando com grão de trigo moído cru e micronizado também observaram aumento de ganho de peso e eficiência alimentar das aves que receberam trigo processado a 90 e 105 °C, mas efeitos negativos com trigo processado em maiores temperaturas (120 °C). Por outro, González-Alvarado et al. (2007) não observaram melhor desempenho das aves com grão de milho ou de arroz submetidos ao cozimento. Adicionalmente, o processamento

térmico por extrusão do amido de milho, arroz quebrado e farinha de trigo escura não afetou o desempenho nem o metabolismo de leitões (Ebert et al., 2005).

Considerando que o FAI no ano de 2013 custa em torno de R\$ 400,00/ t o processamento térmico por infravermelho acresce em 50% o valor do produto o que pode dificultar o seu uso em dietas para frangos de corte.

### **Conclusão**

1. O processamento térmico por infravermelho, nos períodos de tempo e temperatura utilizados, não foi capaz de melhorar a metabolizabilidade do farelo de arroz para frangos de corte.

2. Para os períodos de tempo empregados, 6 minutos de processamento mostrou-se o mais adequado, pois com o aumento do período de aquecimento há a diminuição da digestibilidade da proteína do farelo de arroz.

### **Agradecimentos**

Agradeço a CAPES pela bolsa concedida, a empresa Hi Tech, em particular a Heidy Christine Jost por permitir o processamento do farelo de arroz e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudo e aprimoramento pessoal.

### **Referências**

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official Methods of Analysis**. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1995

CARVALHO, D.C.O.; ALBINO, L.F.T.; JUNIOR, J.G.V.; TOLEDO, R.S.; OLIVEIRA, J.E. SOUZA, R.M. Coeficientes de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetidos a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35 p. 850-856, 2009

CAMPBELL, G.L.; CAMOBELL, L.D.; BLAIR, R. Calculation of metabolizable energy for ingredients incorporated at low levels into a reference diet. **Poultry Science**, v.62 p.705-707, 1983

- CÓRTEZ, M. E. M.; RIBEIRO, A. M. L.; GIANFELICI, M. F.; KESSLER, A. de M.; MORAES, M. L. de. Study of methodological variations in apparent nutrient metabolism determination in broiler chickens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38 p. 1921 – 1927, 2009
- EBERT, A.; RIBEIRO A. KESSLER, A de M. Desempenho e digestibilidade de leitões recém desmamados recebendo grãos de arroz, milho ou farinha de trigo escura. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, v. 13 p. 43 – 50, 2005
- EL-KHALEK, E. A.; KALMAR, I.; WEYENBERG, S.V.; JANSSENS G. P. J. Effect of starch gelatinization on nutrient digestibility and plasma metabolites in pigeons. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 93 p. 395 – 365, 2009
- GIANFELICI, M. F.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ, J. A. M. KESSLER, A. M.; VIEIRA, M. M.; MACHISNSKY, T. Determination of apparent metabolizable energy of crude glycerin in broilers chickens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 13 n. 4 p. 255-258, 2011
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; LÁZARO, R.; MATEO, 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 p. 1705 – 1715, 2007
- JAEGER, H.; JANOSITZ A.; KNORR D. The maillard reaction and its control during food processing. The potencial of emerging technologies. **Pathologie Biologie**. V. 58 p. 207-213, 2010
- KRISHNAMURTHY, K.; KHURANA, H.K.; JUN, S.; IRUDAYARAJ, J.; DEMIRCI, A. Infrared heating in food processing: An Overview. **Comprehensive reviews in food science and food safety**. V. 7 p. 2-13, 2008
- KUNRATH, M.A.; KESSLER, A. de M.; RIBEIRO, A.M.L.; SILVA, G.L.da; PEIXOTO, F.D.; Metodologias de avaliação do valor nutricional do farelo de arroz desengordurado para suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 45 n.10 p. 1172-1179, 2010
- LORENZETT, D.B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N.T. Gestão de resíduos na indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial** v. 8 p. 219-232, 2012
- LOYPIMAI, P.; MOONGGARM, A.; CHOTTANOM, P. Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** v. 3 p. 3642-3652, 2009
- MATTERSON, L.D.; POTTER, L.M.; STUTZ, M.W. SINGSEN, E.P. **The metabolizable energy of feed ingredients of chickens**. Connecticut US 1965 119 p.

MUJAHID, A.; HAQ, I.; ASIF, M.; GILIANI, A. Effect of various processing techniques and storage on nutritional value of rice bran for broiler chicks. **The Journal of Poultry Science**, n. 41 p. 38-49, 2004

NIU, Z.Y.; CLASSEN, H.L. SCOTT, T.A. Effects of micronization, tempering, and flaking on the chemical characteristics of wheat and its feeding value for broiler chicks. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83 p. 113-121, 2003

OSAWA, C.; FELÍCIO, P.de; GONÇALVEZ, L. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28 p. 655-663, 2005

PARK, C. E.; KIM, Y.S.; PARK, K.J. KIM, B.K. Changes in physicochemical characteristics of Rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research** v. 48 p. 25-29, 2012

PELEGRINE, D.H.G.; GASPARETTO, C.A. Whey protein solubility as function of temperature and pH. **Food Science and Technology**, v. 38 p. 77-80, 2005

PELEGRINE, D. H. G.; GOMES, M.T.de M.S. Whey proteins solubility curves at several temperatures value. **Ciência e Natura**, v. 30 p. 17-25, 2008

PESTANA, V.; MENDOÇA C.; ZAMBIAZI, R. Farelo de arroz: características, benefícios à saúde e aplicações. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.26 p. 29-40, 2008

PIKUL, J.; LESZCZYNSKI, D.E.; KUMMEROW, F.A. Evaluation of three modified TBA methods for measuring lipid oxidation in chicken meat. **Journal of agricultural and food chemistry** v. 37 p. 1309-1313, 1989

RAMEZANZADEH, F.M.; RAO, R.M. WINDHAUSER, M.; PRINYAWIWATKUL, W.; TULLEY, R.; MARSHALL, W.E. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran during storage. **Journal of agricultural and food chemistry**. v. 47 p. 3050 – 3052, 1999a

RAMEZANZADEH, F. M.; RAO, R. M.; WINDHAUSER, M.; PRINAYWIWATKUL, W.; MARSHALL, W.E. Prevention of oxidative rancidity in rice bran during storage. **Journal of agricultural and food chemistry**. v. 47 p. 2997-3000, 1999b

RIBEIRO, A.M.L.; PENZ, A.M.; BELAY, T.K.; TEETER, R.G. Comparison of different drying techniques for nitrogen analysis of poultry excreta, feces, and tissue. **Journal of Applied Poultry Research** v. 10 p. 21-23, 2001

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F. LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.de T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas Brasileiras para**

**aves e suínos** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011 252 p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO , H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos** Jaboticabal: FUNEP, 2007, 283 p.

SILVA, M.A. da; SANCHES, C.; AMANTE, E.R.; Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. **Journal of Food Engineering** v. 75 p. 487-491, 2006

ZARAGOZA, E.F.; NAVARRETE, M.J.R.; ZAPATA, E.S.; ÁLVAREZ, J. A.P.; Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International** v. 43 p. 931-942, 2010

ZILIC, S.; SUKALOVIC, V.; MILASINOVIC, M.; IGNJATOVIC-MICIC, D.; MAKSIMOVIC, M.; SEMENCENKO, V. Effect of micronisation on the composition and properties of the flour from white, yellow and red maize. **Food Technology and Biotechnology** v.48 p. 198-206, 2010

### Tabelas

**Tabela 1.** Composição dos ingredientes e níveis nutricionais da dieta referência e dos diferentes farelos de arroz processados

Ingredientes	% de inclusão				
Milho Grão	60,81				
Farelo de Soja (46% PB)	31,58				
Cálcio	1,13				
Fosfato de Cálcio	0,94				
Sal Comum	0,46				
Premix Mineral <sup>1</sup>	0,06				
Premix Vitamínico <sup>2</sup>	0,04				
DL – Metionina	0,31				
L – Lisina	0,12				
L – Treonina	0,14				
Óleo de Soja	4,34				
Monensina 40%	0,03				
Composição Analisada	DR	FAI Cru	FAI 6	FAI 8	FAI 10
Matéria Seca (%)	89,27	88,78	90,93	90,24	89,50
Proteína Bruta (%)	19,8	14,89	15,03	15,05	13,60
Extrato Etéreo (%)	5,20	10,39	9,24	9,26	9,05
Fibra Bruta (%)	3,12	3,41	3,53	3,59	3,52
Cálcio (%)	0,88	-	-	-	-
Fósforo Disponível (%)	0,43	-	-	-	-
Sódio (%)	0,2	-	-	-	-
Arginina Digestível (%)	1,29	-	-	-	-
Met + Cis Digestível (%)	0,83	-	-	-	-
Metionina Digestível (%)	0,49	-	-	-	-
Triptofano Digestível (%)	0,22	-	-	-	-
Treonina Digestível (%)	0,76	-	-	-	-
Energia Bruta (kcal/kg)	4701	4657	4686	4686	4725
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3140	-	-	-	-
Índice de acidez (mg NaOH/g)		3,47	1,84	2,91	3,26

1 Fornecido por quilograma de ração: a vitamina A, a partir de 9280 UI de acetato de retinol, vitamina D, 2240 UI de colecalciferol, vitamina E, 20,8 UI de DL- $\alpha$ -tocoferol, vitamina K, 2,4 mg de menadiona bissulfito; tiamina, 2,4 mg mononitrato de tiamina; riboflavina, 7,2 mg; piridoxina, 3,6 mg de cloridrato de piridoxina; cobalamina, 0,016 mg de cianocobalamina, ácido pantoténico, 17,6 mg de ácido D-pantoténico; niacina, 52,8 mg de ácido nicotínico, ácido fólico, 0,96 mg; biotina, 0,08 mg de D-biotina.

2 Fornecido por quilograma de alimento: Mn, 105 mg de MnSO<sub>4</sub>, Zn, de 70 mg a partir de ZnO; Fe, 56 mg de FeSO<sub>4</sub>, Cu, 10,5 mg de CuO, I, 0,84 mg de KI; Se, a partir de 0,3 mg Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>.

**Tabela 2.** Consumo de matéria seca e coeficientes de metabolizabilidade de dietas contendo FAI cru e processado por infravermelho <sup>(1)</sup>

Variável	Dietas <sup>a</sup>					P <sup>2</sup>	EPC <sup>3</sup>
	DR	FAI Cru	FAI 6 <sup>b</sup>	FAI 8 <sup>c</sup>	FAI 10 <sup>d</sup>		
Tratamento							
Consumo matéria seca (g)	422,7	378,7	410,8	417,9	379,2	0,54	24,11
Coef. de metabolizabilidade							
Matéria Seca (%)	72,22a	68,52b	70,14ab	68,57b	68,12b	<<0,05	1,28
Proteína Bruta <sup>4</sup> (%)	67,01a	63,91ab	64,38ab	61,94bc	60,11c	<<0,07	1,24
Energia Bruta (%)	78,70a	75,77b	77,10ab	75,80b	75,71b	<0,08	0,91
EMAn (kcal/kg)	3229a	3075c	3170ab	3106bc	3134bc	<0,07	34,65

<sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais na linha, não diferem entre si pelo LS-Means,

<sup>2</sup> Significância estatística, <sup>3</sup> Erro padrão, <sup>4</sup> Regressão Linear (p < 0,05)

<sup>a</sup> Exceto para DR, as demais dietas foram compostas por 20% de FAI

<sup>b</sup> processado por 6 minutos, <sup>c</sup> processado por 8 minutos, <sup>d</sup> processado por 10 minutos

**Tabela 3.** Coeficientes de metabolizabilidade dos farelos de arroz cru e processados por infravermelho, por 6, 8 e 10 minutos

Variável	Farelos de arroz integral				P <sup>a</sup>	EPC <sup>b</sup>
	FAI cru	FAI 6	FAI 8	FAI 10		
Coef. de metabolizabilidade						
Matéria Seca (%)	56,37	53,05	53,97	51,71	0,87	4,32
Proteína Bruta <sup>1</sup> (%)	56,58	48,82	46,69	40,17	0,15	5,25
Energia Bruta (%)	64,04	66,83	64,18	63,74	0,95	4,17
EMAn (kcal/kg) MN	2927	3136	2959	2986	0,81	173,52

<sup>a</sup> Significância estatística <sup>b</sup> Erro padrão <sup>1</sup> Regressão Linear (p < 0,05)

## Figuras

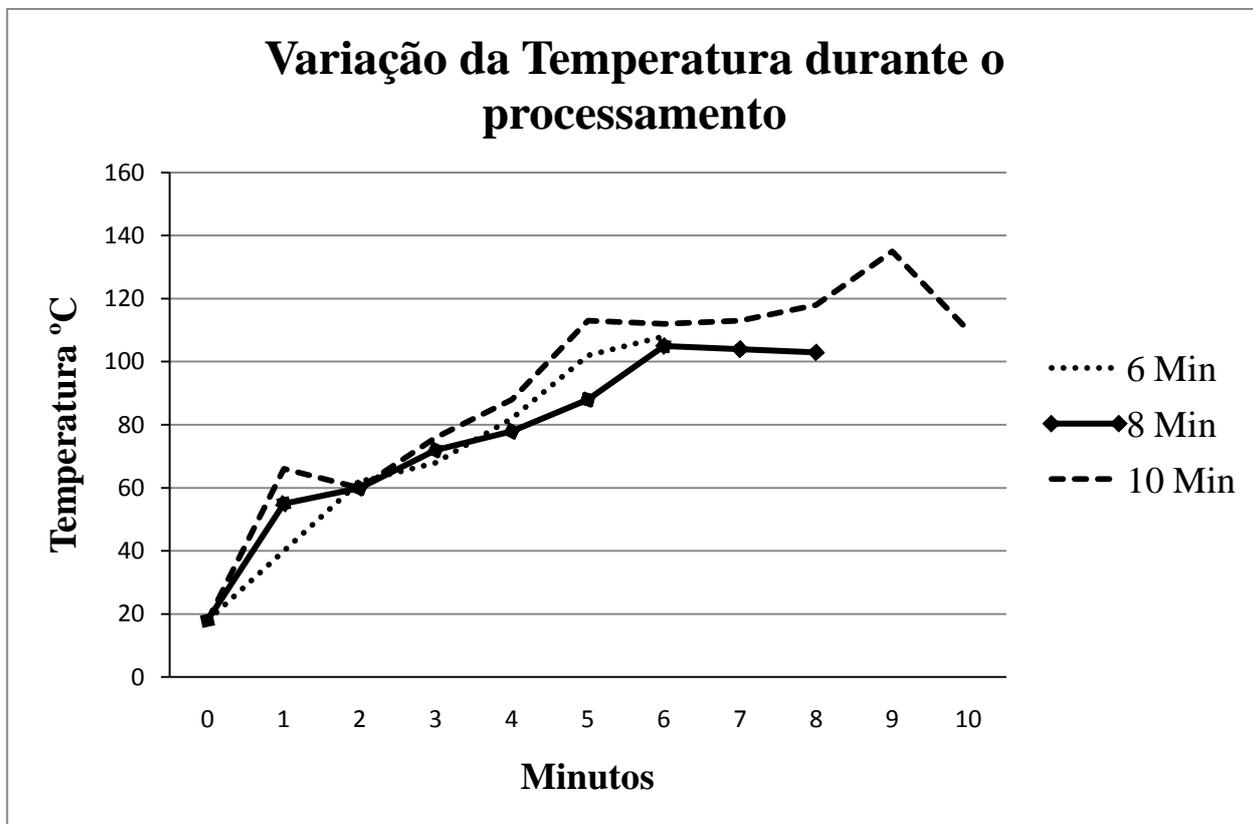


Figura 1. Variação da temperatura da massa de FAI durante os diferentes tempos de processamento térmico por infravermelho

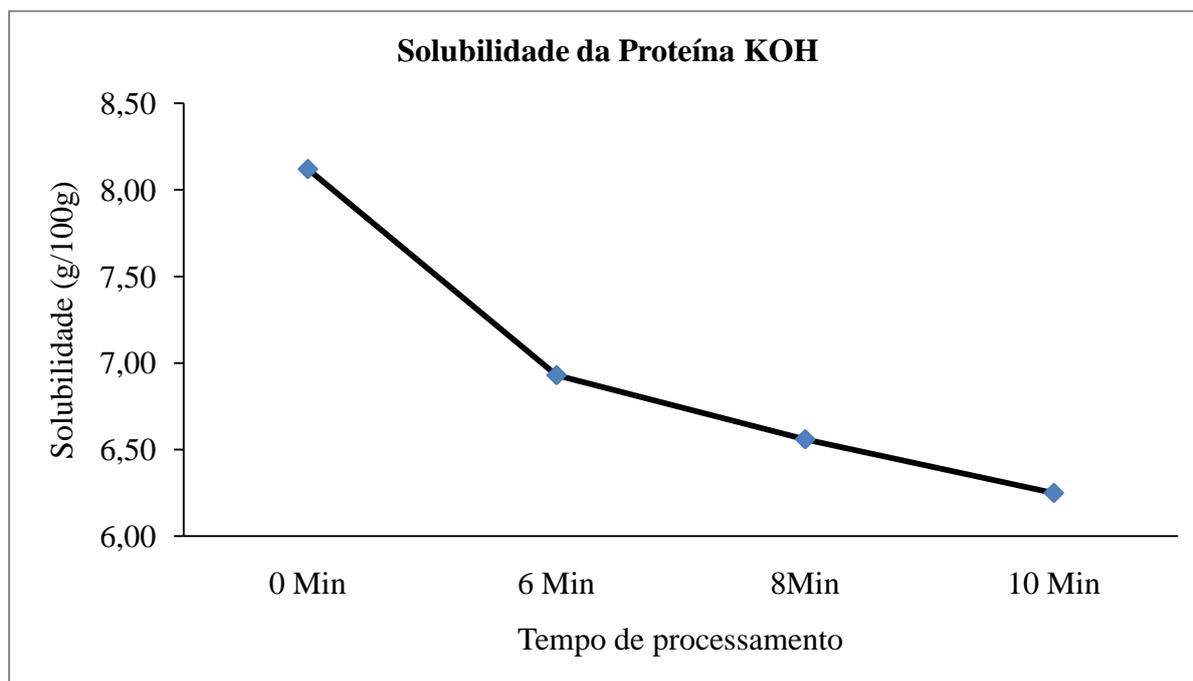


Figura 2. Efeito do tempo de processamento na solubilidade da proteína do farelo de arroz

## **CAPÍTULO IV**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro experimento observou-se que o aumento do nível de infestação diminuiu a qualidade do milho devido ao aumento de umidade; isso pode facilitar o desenvolvimento fúngico e a produção de micotoxinas. Para futuros trabalhos devemos avaliar características físicas dos grãos como a perda de peso, densidade e massa específica aparente, e assim calcular o dano real da infestação por insetos nos grãos armazenados.

Embora um maior período de infestação tenha aumentado o teor de proteína, esse resultado isoladamente não pode ser considerado um ganho qualitativo. Faz-se necessária a avaliação da metabolizabilidade *in vivo* de grãos infestados por insetos para concluir corretamente se as alterações bromatológicas observadas são benéficas aos animais.

No segundo experimento foi verificado que o processamento térmico por infravermelho do farelo de arroz integral parece ser capaz de desativar as enzimas responsáveis pela rancificação hidrolítica conforme as análises de acidez.

Houve uma falha metodológica visto que as análises de índice de peróxidos e TBARS deveriam ter sido realizadas várias vezes em períodos mais curtos do que os quatro meses propostos neste trabalho, visto que as principais degradações ocorrem no primeiro mês.

A metodologia de substituição fornece informações valiosas sobre os coeficientes de metabolizabilidade. Entretanto, ao calcularmos os coeficientes de metabolizabilidade dos ingredientes, utilizamos valores médios da dieta referência. Qualquer erro de análise no laboratório, principalmente de matéria seca, que influencia todos os demais, pode levar a erros maiores que ao se somarem resultam em falta de significância entre as médias dos tratamentos. Esse resultado fica evidente ao observarmos o aumento no erro padrão. No cálculo da metabolizabilidade dos nutrientes do FAI. Experimentos com maior número de repetições (embora tenhamos usado 10) e trabalhar com grupo de animais no lugar de coletas individuais poderia diminuir esses erros.

O experimento de metabolizabilidade foi realizado logo após a obtenção e processamento do FAI. Sugere-se que futuros trabalhos avaliem a metabolizabilidade do FAI cru e processado após diferentes períodos de armazenamento buscando estabelecer o tempo de validade do produto, comprovando os resultados que apontam que o processamento térmico melhora a estabilidade do FAI.

O processamento térmico por infravermelho tende a melhorar a palatabilidade devido à caramelização do FAI. O paladar das aves não é muito desenvolvido, tornando essa informação de menor valia. Por outro lado, ao

utilizar o FAI para espécies mais sensíveis como suínos e equinos, dietas contendo FAI processado termicamente podem apresentar melhores resultados

O uso de ingredientes alternativos na alimentação de aves é uma necessidade. Em breve já não restarão terras disponíveis para o aumento da agricultura. Sendo assim devemos aproveitar todo e qualquer subproduto na alimentação animal para garantir uma fonte de proteína saudável e de qualidade. Espero que esse trabalho tenha contribuído no entendimento das perdas bromatológicas do milho infestado por insetos e os efeitos do processamento térmico por infravermelho do farelo de arroz integral no metabolismo das aves.

O farelo de arroz integral é um ingrediente abundante na região sul do país região que atualmente também concentra a produção avícola. Melhorar o uso de ingredientes disponíveis localmente e evitar perdas naquele que é o mais importante grão para produção animal são fatores chave para aumentar ainda mais a competitividade do setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, L. E. G. et al. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 15, n. 6, p. 615-620, 2011.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos teoria e prática**. 5. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 601 p.

BARTOV, I.; PASTER, N. Effect of early stages of fungal development on the nutritional value of diets for broiler chicks. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 27, p. 415-420, 1986.

BENATI, M. Critérios para avaliação de ingredientes para ração. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1989, Campinas. **Anais...**Campinas: FACTA, 1989. p. 117-137.

BOKOR, L. et al. Efeitos de diferentes métodos de secagem sobre os valores de energia metabolizável aparente do milho para frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SBZ, 2010. 1 CD-ROM.

BRAGA, L. G. T. et al. Uso de Ratos de Laboratório para Determinar o Valor Nutritivo do Milho em Diversos Níveis de Carunchamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 331-336, 2003.

BRASIL. Portaria nº 11, de 12 de abril de 1996. Adequação da Portaria nº 845, de 8 de novembro de 1976, no que se refere a conceitos e critérios para a classificação do milho. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 abr. 1996. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 02 abr. 2013.

BRASIL. Portaria nº 845, de 8 de novembro de 1976. Especificações para a padronização, classificação e comercialização interna do milho. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF 8 nov. 1976. Disponível em: <[http://www.claspar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/milho845\\_76.pdf](http://www.claspar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/milho845_76.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2013.

BRASIL. Resolução - RDC Nº 7 de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil** Brasília, DF 18 fev. de 2011. Disponível em:

<[ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpseesp/bibliote/informe\\_eletronico/2011/iels.mar.11/els44/U\\_RS-MS-ANVISA-RDC-7-REP\\_180211.pdf](ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpseesp/bibliote/informe_eletronico/2011/iels.mar.11/els44/U_RS-MS-ANVISA-RDC-7-REP_180211.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2013.

BRASIL. Resolução - ANVISA nº 482 de 23 de setembro de 1999. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil** Brasília, DF, 23 set. 1999. Disponível em:

<[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/482\\_99.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/482_99.htm)>. Acesso em: 01 mar. 2013.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agros Comunicação, 2002. 430 p.

CAMPBELL, M. K. Componentes das células: estrutura e função. In: CAMPBELL, M. K. (Ed.). **Bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2006. p. 88-202 .

CANAN, C. et al. Studies on the extration and purification of phytic acid from rice bran. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 24, p. 1057-1063, 2011.

CANEPPELE, M. A. B. et al. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 625-630, 2003.

CARVALHO, D. C. O. et al. Composição química e energética de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa v. 33, n. 2, p. 358-364, 2004.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Unicamp, 2003. 208 p.

CHAMPAGNE, E. T. Brow rice stabilization. In: MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. (Ed.). **Rice science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 17-36.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 11/2012**: décimo segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2012. 30 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_09\\_06\\_09\\_18\\_33\\_boletim\\_graos\\_-\\_setembro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2013.

COSTA, S. I. F. R. et al. Quality assessment of maize received by a feed mill in the Brazilian Cerrado. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas,

[2013]. No prelo.

COWIESON, A. J. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 119, n. 3-4, p. 293-305, abr. 2005.

DALE A. H. Specialty ingredients: considerations and use. In: KVAMME J. L.; PHILLIPS T. D. (Ed.). **Petfood technology**. Mt. Morris: Watt Publishing, 2003. p. 85-100.

DALE, N. Eferito da qualidade no valor nutritivo do milho In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1994, Santos. **Anais...** Santos: FACTA, 1994. p. 67-72.

DEFFENBAUGH L. Preserving palatability. In: KVAMME J. L.; PHILLIPS T. D. (Ed.). **Petfood technology**. Mt. Morris: Watt Publishing, 2003. p. 194-202.

DENARDIN, C. C. et al. Composição mineral de cultivares de arroz integral, parbolizado e branco. **Alimentação e Nutrição**, Araraquara, v. 15, p. 125-130, 2004.

DEROUCHEY J. M. et al. Effects of rancidity and free fatty acids in choi-ce white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, p. 2937-2944, 2004.

DONOHUE, M.; CUNNINGHAM, D. L. Effects of grain and oilseed prices on the costs of US poultry production. **The Journal of Applied Poultry Research**, Champaign, v. 18, n. 2, p. 325-337, 2009.

DUST, J. M. et al. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, n. 10, p. 2989-96, 2004.

EBERT, A.; RIBEIRO, A.; KESSLER, A. Desempenho e digestibilidade de leitões recém desmamados recebendo grãos de arroz, milho ou farinha de trigo escura. **Archivo Latinoamericano Produccion Animal**, Mayaguez, v. 13, n. 2, p. 43-50, 2005.

EL-KHALEK, E.; JANSSENS, G. P. J. Effect of extrusion processing on starch gelatinisation and performance in poultry. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 66, n. 1, p. 53-64, 2010.

FARONI, L. R. D. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 17, p. 36-43, 1992.

FERNANDEZ, S. R.; AOYAGI, S.; HAN, Y. Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. **Poultry Science**, Champaign v. 73,

p. 18871896, 1994.

FERRARI, C. K. B. Oxidação lipídica em alimentos e sistemas biológicos: mecanismos gerais e implicações nutricionais e patológicas. **Revista Nutrição**, Campinas, v.11, n. 1, p. 3-14, 1998.

FERREIRA, H. S.; CAVALCANTE, S. A.; ASSUNÇÃO, M. L. DE. Composição química e eficácia da multimistura como suplemento dietético : revisão da literatura. **Ciência e Saúde Coletiva**, Manguinhos, v. 15, p. 3207-3220, 2010.

FRIEDMAN, M. Dietary impact of food processing. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 12, p. 119-137, 1992.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M. et al. 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**, Champaign, v. 86, n. 8, p. 1705-15, ago. 2007.

GRACIA, M. I. et al. Heat processing of barley and enzyme supplementation of diets for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 8, p. 1281-1291, 2003.

GUEDES, R. N. C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 3-11, 1990.

HOYLAND, D. V.; TAYLOR, A. J. A review of the methodology of the 2-thiobarbituric acid test. **Food Chemistry**, Whiteknights, v. 40, p. 271-291, 1991.

HUMPF, H.-U.; VOSS, K. A. Effects of thermal food processing on the chemical structure and toxicity of fumonisin mycotoxins. **Molecular Nutrition & Food Research**, Weinheim, v. 48, n. 4, p. 255-269, 2004.

JAEGER, H.; JANOSITZ, A; KNORR, D. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. **Pathologie-Biologie**, Mayenne, v. 58, n. 3, p. 207-213, 2010.

JIMÉNEZ-MORENO, E. et al. 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**, Champaign, v. 88, n. 9, p. 1925-33, set. 2009.

JÚNIOR, P. B. **Avaliação da qualidade nutricional do milho pela utilização de técnicas de análise multivariadas**. 2001. 161 f. (Tese) - Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

KEMPEN, A. T. G. V.; SIMMINS P. H. Near - infrared reflectance spectroscopy in precision feed formulation. **Applied Poultry Science**, Athens, v. 6, n. 4, p. 471-477, 1997.

KRABBE, E. L. **Efeito do desenvolvimento fúngico em grãos de milho durante o armazenamento e do uso de ácido propionico sobre as características nutricionais e o desempenho de frangos de corte.** 1995. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

KRISHNAMURTHY, K. et al. Infrared heating in food processing : an overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 7, p. 2-13, 2008.

LACERDA, D. B. C. L. et al. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 521-530, out. 2010.

LAKKAKULA, N. R.; LIMA, M.; WALKER, T. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. **Bioresource Technology**, Trivandrum, v. 92, n. 2, p. 157-161, abr. 2004.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. Análises de correlações entre cotações internacionais de petróleo e de commodities agrícolas In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 38., 2010, Cruz Alta. **Anais...** Cruz Alta: [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57037/1/anal.correl.rpsrsul2010.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LOPES, D. C. et al. Perda de peso e mudanças na composição química do milho (*Zea mays* L.) devido ao carunchamento. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 17, n. 4, p. 367-371, 1988.

LOPES, D. C. et al. Efeito do nível de carunchamento do milho sobre o desempenho de suínos em crescimento/terminação. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 147-151, 1990.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos pela indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 8, n. 1, p. 219-232, 2012.

LOYPIMAI, P. et al. Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amman, v. 3, n. 4, p. 3642-3652, 2009.

MARIOD A. A. et al. Antioxidative effects of stabilized and unstabilized defatted rice bran methanolic extracts on the stability of rice bran oil under accelerated

conditions. **Grasas y Aceites**, Sevilla v. 61, n. 4, p. 409-415, 2010.

MARSMAN, G. J. P. et al. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 76, p. 864-872, 1991.

MASSUCATO, D. **Investigação da cinética de lipase através de espectroscopia de fluorêscencia**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Ciências, na Área de Físico Química de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2009.

MAZZUCO, H. et al. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 2216-2220, 2002.

MUJAHID, A. et al. Effect of various processing techniques and storage on nutritional value of rice bran for broiler chicks. **The Journal of Poultry Science**, Ibaraki, v. 41, p. 38-49, 2004.

NEETHIRAJAN, S. et al. Detection techniques for stored-product insects in grain. **Food Control**, San Luis, v. 18, n. 2, p. 157-162, fev. 2007.

NIU, Z. Y.; CLASSEN, H. L.; SCOTT, T. A. Effects of micronization, tempering, and flaking on the chemical characteristics of wheat and its feeding value for broiler chicks. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, p. 113-121, 2003.

PAUCAR-MENACHO, L. M. et al. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do  $\gamma$ -orizanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 45-53, 2007.

OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E. de; GONÇALVES L. A. G. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 655-663, 2005.

PELEGRINE, D. H. G.; GASPARETTO, C. A. Whey proteins solubility as function of temperature and pH. **Food Science and Technology**, Zürich, v. 38, n. 1, p. 77-80, fev. 2005.

PELEGRINE, D. H. G.; GOMES, M. T. de M. S. Whey proteins solubility curves at several temperatures values. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 17-25, 2008.

PESTANA, V.; MENDOÇA, C.; ZAMBIAZI, R. Farelo de arroz: características, benefícios à saúde e aplicações. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Cutitiba, v. 26, n. 1, p. 29-40, 2008.

- PRATES, Ê. R. **Técnicas de pesquisa em nutrição animal**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 413 p.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: Instituto campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 613 p.
- QINGCI, H. et al. Experimental study on the storage of heat-stabilized rice bran. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED-PRODUCTS PROTECTION, 7., 1998, Beijing. **Anais...** Beijing: House of Science and Technology, 1998. p. 1685-1688.
- RACANICCI, A. M. V. et al. Dietary oxidized poultry offal fat: broiler performance and oxidative stability of thigh meat during chilled storage. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 29 -35, 2008.
- RAMARATHNAM, N. et al. Studies on changes in fatty acid composition and content of endogenous antioxidants during y irradiation of rice seeds. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Boulder, v. 66, n. 13, p. 105-108, 1989.
- RAMEZANZADEH, F. M. et al. Prevention of oxidative rancidity in rice bran during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, n. 8, p. 2997-3000, 1999a.
- RAMEZANZADEH, F. M. et al. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, n. 8, p. 3050-3052, 1999b.
- RAMEZANZADEH, F. M. et al. Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 2, p. 464-7, 2000.
- ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252 p.
- SAGUM, R.; ARCOT, J. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylose. **Food Chemistry**, Whiteknights, v. 70, p. 107-111, 2000.
- SANTOS, J. P. DOS. **Cultivo do milho, colheita e pós-colheita**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/colpragas.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/colpragas.htm)>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- SAUNDERS, R. M. the properties of rice bran as a foodstuff. **Cereal Food**

**World**, St. Paul, v. 35, n. 7, p. 632 - 636, 1990.

SCHÖLLER, M. et al. Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. **Journal of Stored Products Research**, Manhattan, v. 33, n. 1, p. 81-97, 1997.

SILVA, A. A. L. et al. Modelagem das perdas causadas por *Sitophilus zeamais* e *Rhyzopertha dominica* em trigo armazenado 1 and *Rhyzopertha dominica* in stored wheat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 292-296, 2003.

SILVA, M. A. DA; SANCHES, C.; AMANTE, E. R. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 75, n. 4, p. 487-491, ago. 2006.

SOUZA, A. V. C. de. **Composição química e valor nutritivo do milho com diferentes níveis de carinçamento para suínos**. 1999. 76 f. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 1999.

STRINGHINI, J. H. et al. Efeito da qualidade do milho no desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 191-198, 2000.

SUMMERS, J. Maize: factors affecting its digestibility and variability in its feeding value. In: BREDFORD, M. R.; PARTRIDGE, G. G. (Ed.). **Enzymes in farm animals**. Wallingfor: CABI, 2001. p. 109-124.

TAO, J.; RAO, R.; LIUZZO, J. Microwave heating for rice bran stabilization. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Nuevo León, v. 28, n. 3, p. 156-164, 1993.

THANONKAEW, A. et al. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.). **Food Science and Technology**, Zürich, v. 48, n. 2, p. 231-236, out. 2012.

VAN DER POEL, A. et al. Effects of infrared irradiation or extrusion processing of maize on its digestibility in piglets. **Animal Feed Science and Technology**, Davis, v. 26, p. 29-43, 1989.

## APÊNDICES

APÊNDICE 1. Dados brutos: Matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), energia bruta (EB) e umidade

Período (d)	Infestação (insetos/ kg)	MS (%)	CZ <sup>1</sup> (%)	PB <sup>1</sup> (%)	EB <sup>1</sup> (Kcal/kg)	Umidade (%)
35	0	87,87	1,339	9,37	4510,29	12,13
35	0	87,87	1,344	8,97	4510,98	12,13
35	0	87,99	1,331	8,79	4489,15	12,01
35	0	88,05	1,323	8,68	4440,88	11,95
35	167	87,70	1,348	8,47	4469,82	12,30
35	167	87,83	1,356	9,08	4493,36	12,17
35	167	87,51	1,380	8,35	4503,15	12,49
35	167	87,80	1,345	8,89	4500,64	12,20
35	333	87,57	1,362	9,00	4455,06	12,43
35	333	87,63	1,359	8,52	4484,63	12,37
35	333	87,54	1,364	8,63	4502,18	12,46
35	333	87,59	1,361	9,09	4467,63	12,41
35	500	87,57	1,332	8,79	4494,46	12,43
35	500	87,53	1,300	8,76	4525,77	12,47
35	500	86,88	1,412	8,74	4536,07	13,12
35	500	86,86	1,435	7,57	4536,67	13,14
35	667	85,70	1,551	9,28	4445,58	14,30
35	667	86,81	1,459	8,84	4562,94	13,19
35	667	87,00	1,428	9,05	4490,18	13,00
35	667	86,97	1,414	.	4528,43	13,03
70	0	88,40	1,306	8,91	4506,02	11,60
70	0	88,41	1,271	8,92	4479,30	11,59
70	0	88,29	1,221	8,98	4498,40	11,71
70	0	88,59	1,180	8,98	4446,79	11,41
70	167	88,45	1,260	8,90	4465,02	11,55
70	167	88,49	1,272	8,61	4486,02	11,51

APÊNDICE 1. CONTINUAÇÃO Dados brutos: Matéria seca (MS), cinzas (CZ),

proteína bruta(PB), energia bruta (EB) e umidade

Período (d)	Infestação (insetos/ kg)	MS (%)	CZ <sup>1</sup> (%)	PB <sup>1</sup> (%)	EB <sup>1</sup> (Kcal/kg)	Umidade (%)
70	167	88,37	1,300	8,78	4500,72	11,63
70	167	87,94	1,339	8,80	4542,65	12,06
70	333	88,32	1,312	.	4506,29	11,68
70	333	88,13	1,312	9,21	4496,64	11,87
70	333	87,87	1,340	9,13	4529,21	12,13
70	333	87,86	1,351	9,23	4502,69	12,14
70	500	88,05	1,332	9,01	4512,87	11,95
70	500	87,76	1,378	9,37	4521,88	12,24
70	500	87,62	1,368	9,88	4509,48	12,38
70	500	87,89	1,393	.	4515,09	12,11
70	667	87,72	1,361	9,17	4568,06	12,28
70	667	87,57	1,361	9,42	4531,61	12,43
70	667	87,74	1,367	8,94	4481,57	12,26
70	667	88,04	1,336	.	4540,65	11,96

<sup>1</sup>Dados expressos na matéria seca.

APÊNDICE 2. Solubilidade da proteína em KOH, Índice de acidez, Índice de peróxido e valor TBARS dos farelos de arroz cru e submetidos ao

processamento térmico por infravermelho:

Ingrediente	Solubilidade da proteína*	Índice de acidez*	Índice de peróxido**	TBARS (mg/kg)**
FAI Cru	8,12	3,47	0	1,11
FAI 6	6,93	1,84	0	1,46
FAI 8	6,56	2,91	0	1,30
FAI 10	6,25	3,26	0	1,34

\*\* Ingrediente enviado para análise logo após a obtenção

\*\* Ingrediente enviado para análise após 4 meses de armazenamento

APÊNDICE 3. Dados Brutos: Consumo de ração (coletas), coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), proteína bruta (CMPB), energia

bruta (CMEVB), energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) das dietas experimentais

Tratamento	CMMS (%)	CMEB (%)	CMPB (%)	EMA (kcal/kg)	EMAn (kcal/kg)	Consumo (g)
Cru	67,13	74,99	61,39	3106,21	3055,18	323
Cru	69,80	77,05	66,16	3191,52	3123,60	399
Cru	67,71	75,39	64,35	3122,51	3052,64	422
Cru	69,06	75,67	54,75	3134,53	3109,59	177
Cru	69,80	77,46	66,52	3208,52	3152,20	329
Cru	69,52	76,72	67,24	3177,74	3104,38	424
Cru	70,92	78,18	65,08	3238,13	3170,65	403
Cru	63,77	70,88	60,79	2935,82	2867,30	438
Cru	70,42	77,10	68,84	3193,39	3114,38	446
Cru	67,07	74,27	64,02	3076,19	3006,02	426
6	69,55	76,77	63,90	3219,83	3165,03	357
6	75,52	81,50	71,14	3417,99	3341,09	450
6	64,85	72,23	60,89	3029,29	2967,85	420
6	67,11	75,06	62,66	3148,06	3082,58	435
6	69,16	76,42	60,19	3204,98	3147,29	399
6	78,79	84,03	73,33	3524,41	3445,49	448
6	68,74	76,41	62,62	3204,57	3149,67	365
6	65,20	71,90	62,91	3015,35	2951,43	423
6	71,99	79,12	63,84	3318,19	3252,09	431
6	70,47	77,57	62,36	3253,33	3196,40	380
8	67,50	75,42	60,85	3154,58	3089,91	430
8	68,92	76,78	66,54	3211,48	3141,25	427
8	72,37	78,97	63,53	3302,97	3252,41	322
8	67,04	74,10	61,97	3099,08	3025,70	479
8	69,30	76,59	62,49	3203,57	3134,07	450
8	73,47	79,47	65,87	3323,66	3241,12	507
8	66,13	73,64	57,59	3080,18	3015,13	457
8	70,48	77,21	62,72	3229,24	3166,15	407
8	65,92	74,27	58,18	3106,18	3066,49	276
8	64,55	71,53	59,65	2991,87	2929,35	424

APÊNDICE 3. CONTINUAÇÃO Dados Brutos: Consumo de ração (coletas), coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), proteína bruta

(CMPB), energia bruta (CMEVB), energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) das dietas experimentais

Tratamento	CMMS (%)	CMEB (%)	CMPB (%)	EMA (kcal/kg)	EMAn (kcal/kg)	Consumo (g)
10	68,44	76,77	55,81	3234,89	3193,90	317
10	69,64	77,34	64,88	3259,12	3199,28	398
10	68,79	76,84	60,20	3238,16	3176,92	439
10	64,34	71,75	59,43	3023,60	2959,83	463
10	67,24	74,47	59,21	3138,14	3065,42	530
10	72,88	79,48	66,33	3349,46	3297,05	341
10	50,04					184
10	64,49	73,24	53,69	3086,29	3052,82	269
10	67,68	74,98	59,39	3159,82	3098,44	446
10	69,54	76,51	62,10	3224,32	3166,04	405
Basal	73,12	79,84	64,77	3351,12	3275,90	434
Basal	74,04	79,28	67,51	3327,65	3248,17	440
Basal	74,10	80,11	71,95	3362,80	3276,93	446
Basal	73,51	79,86	69,84	3352,06	3270,77	435
Basal	71,66	78,10	66,81	3278,30	3196,42	458
Basal	71,38	79,32	63,30	3329,27	3269,31	354
Basal	74,87	81,02	67,94	3400,87	3321,43	437
Basal	64,42	72,63		3048,47	3019,38	288
Basal	69,28	75,92	62,43	3186,69	3126,22	362
Basal	75,80	80,95	68,62	3397,93	3292,72	573

APÊNDICE 4. Dados Brutos: Coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), proteína bruta (CMPB), energia bruta (CMEVB), energia

metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) dos farelos.

Tratamento	CMMS (%)	CMEB (%)	CMPB (%)	EMA ( kcal/kg)	EMAn (kcal/kg)
Cru	46,78	60,16	38,89	2893,91	2797,22
Cru	60,12	70,46	62,73	3323,99	3165,47
Cru	49,67	62,12	53,66	2976,09	2841,08
Cru	56,45	63,53		3036,68	3026,18
Cru	60,15	72,51	64,54	3409,67	3246,43
Cru	58,74	68,79	68,13	3254,51	3081,97
Cru	65,71	76,08	57,31	3558,96	3414,48
Cru		39,59	35,89	2034,97	1946,05
Cru	63,21	70,68	76,14	3333,40	3140,08
Cru	46,50	56,53	52,01	2742,61	2611,89
6	58,89	69,05	51,41	3294,61	3224,32
6		92,68	87,61	4301,75	4143,07
6	35,39	46,34	36,38	2326,14	2292,57
6	46,70	60,50	45,22	2929,82	2874,66
6	56,90	67,28	32,89	3219,14	3194,08
6					
6	54,82	67,23	45,02	3217,05	3162,37
6	37,15	44,68	46,45	2255,29	2197,12
6	71,06	80,78	51,12	3794,52	3724,94
6	63,48	73,05	43,75	3464,84	3413,27
8	48,65	62,31	36,19	2949,75	2893,36
8	55,71	69,11	64,62	3237,72	3110,19
8	72,97	80,05	49,58	3700,84	3610,94
8	46,35	55,67	41,78	2668,78	2598,40
8	57,62	68,17	44,36	3197,70	3120,87
8	78,50	82,52	61,26	3805,54	3686,44
8	41,77	53,41		2573,13	2557,61
8	63,53	71,23	45,52	3327,63	3247,91
8	40,74	56,52		2704,74	2681,75
8	33,87	42,86	30,19	2126,16	2084,79
10	53,33	69,02		3211,14	3260,71
10	59,34	71,89	56,32	3333,12	3276,80

APÊNDICE 4. CONTINUAÇÃO Dados Brutos: Consumo de ração (coletas), coeficiente de metabolizabilidade da matéria seca (CMMS), proteína bruta

(CMPB), energia bruta (CMEVB), energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) dos farelos

Tratamento	CMMS (%)	CMEB (%)	CMPB (%)	EMA ( kcal/kg)	EMAn (kcal/kg)
10	55,09	69,41	32,93	3227,60	3225,88
10	32,85	43,95	29,10	2147,04	2154,27
10	47,32	57,54	27,98	2723,89	2733,74
10	75,51	82,61	63,55	3788,08	3714,88
10	.	.	.	.	.
10	33,57	51,39	.	2462,78	2537,06
10	49,55	60,11	28,86	2833,06	2840,84
10	58,82	67,76	42,44	3157,89	3133,98

## VITA

Gabriel Colombo Pontalti, filho de Charles Clair Pontalti e Arliane Maria Colombo Pontalti, nasceu em 7 de novembro de 1987 em Caxias do Sul RS.

Cursou ensino fundamental e médio no Colégio Nossa Senhora de Lourdes em Farroupilha RS.

Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no segundo semestre de 2005 e obteve o título da graduação em dezembro de 2010. Foi bolsista de iniciação científica no departamento de Fitossanidade e no departamento de Agrometeorologia e Plantas Forrageiras desta instituição e foi monitor da disciplina de apicultura.

Em 2009, participou do programa de intercâmbio acadêmico da AUGM (Asociacion de Universidades Grupo Montevideo) cursando um semestre de agronomia na Universidad Nacional de Assuncion no Paraguai onde além das atividades acadêmicas participou do XXXIX Curso Nacional de Apicultura recebendo o certificado de Apicultor. Em março de 2011, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, área de concentração em Produção Animal e linha de pesquisa em Nutrição e Alimentação de Não-Ruminantes, sob a orientação da Dra. Andréa Machado Leal Ribeiro, com término em março de 2012. Durante o mestrado, participou de diversos projetos de pesquisa em nutrição de aves e suínos além de participar de vários seminários e congressos.