

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 03/08/2017.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**GRANULOMETRIA DA MATÉRIA PRIMA E
CONFIGURAÇÃO DA EXTRUSORA SOBRE OS
PARÂMETROS DE PROCESSO, CARACTERÍSTICAS DO
EXTRUSADO E DIGESTIBILIDADE DE RAÇÕES PARA
GATOS**

Karina Nogueira Venturelli Gonçalves
Médica Veterinária

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**GRANULOMETRIA DA MATÉRIA PRIMA E
CONFIGURAÇÃO DA EXTRUSORA SOBRE OS
PARÂMETROS DE PROCESSO, CARACTERÍSTICAS DO
EXTRUSADO E DIGESTIBILIDADE DE RAÇÕES PARA
GATOS**

Karina Nogueira Venturelli Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Medicina Veterinária (Clínica Médica Veterinária).

2016

G635g Gonçalves, Karina Nogueira Venturelli
Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora
sobre os parâmetros de processo, características do extrusado e
digestibilidade de rações para gatos / Karina Nogueira Venturelli
Gonçalves. – – Jaboticabal, 2016
xi, 93 p.; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Aulus Cavalieri Carciofi
Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Ricardo Souza
Vasconcellos, Rodrigo Sousa Bazolli, Thaila Cristina Putarov
Bibliografia

1. Configuração extrusora. 2. Moagem. 3. Gatos. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.5:636.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

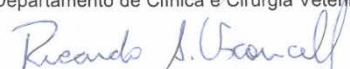
TÍTULO DA TESE: GLANULOMETRIA DA MATÉRIA PRIMA E CONFIGURAÇÃO DA EXTRUSORA
SOBRE OS PARÂMETROS DE PROCESSO, CARACTERÍSTICAS DO
EXTRUSADO E DIGESTIBILIDADE DE RAÇÕES PARA GATOS

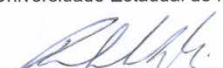
AUTORA: KARINA NOGUEIRA VENTURELLI GONÇALVES

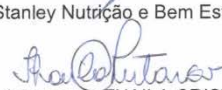
ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em MEDICINA
VETERINÁRIA, área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. AULUS CAVALIERI CARCIOFI
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. RICARDO SOUZA VASCONCELLOS
Universidade Estadual de Maringá / UEM - Maringá/PR


Dr. RODRIGO SOUSA BAZOLLI
Dr. Stanley Nutrição e Bem Estar Ltda / Indaiatuba/SP


Pós-doutoranda THAILA CRISTINA PUTAROV
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 03 de agosto de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

KARINA NOGUEIRA VENTURELLI GONÇALVES, nascida em 04 de julho de 1979, em Santos, estado de São Paulo, filha de Ricardo Venturelli Gonçalves e Maria da Conceição Nogueira Venturelli Gonçalves, graduada em Medicina Veterinária pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” em dezembro de 2003. Durante o curso de graduação, fez iniciação científica e ao final do curso optou em realizar um trabalho de graduação na área de Nutrição e Nutrição Clínica sob a orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi. Obteve o título de mestre em Medicina Veterinária - Clínica Médica com ênfase em Nutrição de Cães e Gatos na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” em 2006 sob a orientação do Prof. Dr. Flávio Prada e prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi. Iniciou o curso de Doutorado em Medicina Veterinária - Clínica Médica na mesma instituição em março de 2012, onde atuou na área de Nutrição de Cães e Gatos, sob a orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi. Em novembro de 2005 começou a atuar no mercado profissional de alimentos para cães e gatos na empresa Guabi, no departamento técnico. Desde abril de 2013 é gerente técnica na Farmina Pet Foods Brasil e responsável pelas áreas de Pesquisa e Desenvolvimento, Garantia de Qualidade, Serviço de Atendimento ao Consumidor e Assuntos Regulatórios.

Dedico

Aos meus amados e queridos pais, Ricardo e Conceição e irmãos Terezinha e Ricardo, por serem meu porto seguro e por quem tenho um imenso orgulho.

Ofereço

À Deus, pelo dom da vida, por tudo que meu deu e
por ser o Senhor da minha vida!

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus por tudo o que já fez, faz e fará em minha vida. Em especial por diversas situações que ocorreram na minha vida pessoal e profissional ao longo do curso desse Doutorado. De início não pude compreender e aceitar, mas ao longo do tempo amadureci, cresci e me tornei mais forte. Tenho a certeza plena que foi o melhor que poderia ter acontecido, tudo foi conduzido de forma perfeita e com um propósito. Te louvo e dou graças meu Pai.

À Nossa Senhora que segue comigo sempre e vai na frente, clareando meus caminhos.

Aos meus amados pais, Ricardo Venturelli e Maria da Conceição, pelo amor, pelos valores de vida que carrego comigo, compreensão e apoio. Tenho um imenso orgulho de ser filha de vocês!

Aos meus amados irmãos, Terezinha e Ricardo, pelo amor, alegria, companheirismo e paciência. Ter irmãos é um presente divino.

À toda minha família, avós, tios, tias, primos e primas e cunhado que mesmo distante fisicamente, estão dentro do meu coração e sempre presentes em minha memória e orações.

Às minhas queridas amigas e companheiras de Campinas, Maria Paula Leis e Bruna Fernandes. Pelo companheirismo, motivação, alegrias e gargalhadas e claro algumas vezes choro.

A todos meus amigos e colegas recentes ou de longa data e que estão perto ou distante. Todos contribuíram de uma forma ou de outra e me deram apoio ao longo desses quatro anos.

Ao meu querido e eterno orientador, Professor Dr. Aulus, pelo qual tenho grande e sincera admiração pessoal e profissional. Agradeço em especial por ter me aceitado novamente como pós graduanda, mas agora na condição de cursar o

doutorado e trabalhar ao mesmo tempo. Por sempre me incentivar e afirmar que “tudo vai dar certo”.

Ao Sr. Wanderlei Saraiva Costa, presidente da empresa Guabi no ano de 2011, pelo apoio, incentivo e por ter permitido meu ingresso no curso de Doutorado.

À Farmina Pet Foods Brasil, em especial a figura do meu gestor, Sr. Marcelo Basso Garcia, por ter me aceitado na condição de aluna de doutorado, ter acreditado no meu desempenho profissional e pela doação de ingredientes. À toda equipe técnica da Farmina pelo apoio e companheirismo. E ao meu amigo Vilmar Alberti que possui um conhecimento fantástico sobre extrusão.

A todos os colegas do laboratório de nutrição, em especial Mayara Baller, Peterson e Thaila, mas também a Mayara Peixoto, Bruna Agy, Ana Paula, Fernanda Mendonça, Ludmilla, Katiani, Mariana Monti, Francine, Érico e Vivian pela grande ajuda, risadas e desabafos.

E a todos que não foram citados aqui, mas que estiveram ao longo dessa caminhada comigo e que de alguma forma contribuíram com a conquista desse sonho.

À Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal e ao Programa de Pós Graduação, berço de toda minha formação acadêmica. Tenho um orgulho imenso em ter estudado em uma instituição pública, séria e que incentiva e promove pesquisas científicas relevantes.

A todos os funcionários do laboratório de nutrição e da FCAV UNESP Jaboticabal, em especial a Cláudia Nogueira.

À Guabi Pet Care pelo apoio ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos da FCAV/UNESP. E a figura do Sr. Sávio Ambrozini, meu gestor por muitos anos, que favoreceu meu ingresso no Doutorado e a condução do mesmo durante o meu primeiro ano de curso.

À Folem, na figura de Lendro e Edegar; à Tectron, por intermédio de Dimas e à Marcelo Beraldo da AFB Brasil pela doação de alguns ingredientes utilizados na formulação das dietas.

À Manzoni Industrial pela doação da extrusora à FCAV UNESP Jaboticabal, equipamento utilizado para a produção das dietas e objeto de estudo da presente tese.

À SPF Brasil e ao Panellis, pela condução dos testes de palatabilidade do presente estudo.

SUMÁRIO

	Página
CEUA - COMISSÃO DE ÉTIO USO DE ANIMAIS.....	iii
Resumo	iv
Abstract	vi
Lista de tabelas	viii
Lista de abreviaturas	x
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura.....	3
2.1. Mercado de alimentos industrializados para animais de estimação	3
2.2. Princípios gerais do processo de extrusão.....	3
2.3. Efeito da extrusão sobre os nutrientes	6
2.3.1 Amido	6
2.3.2 Proteínas	8
2.3.3 Lipídios	9
2.4 Redução do tamanho de partículas da matéria prima	10
2.5 Efeitos do processamento sobre a digestibilidade dos nutrientes	13
2.5 Implicações das aplicações de energia mecânica e térmica.....	16
3. Objetivos	17
4. Referências Bibliográficas	19
CAPÍTULO 2 – Raw material particle size and extruder open area on processing parameters, kibbles traits, and digestibility of extruded cat foods...	26
Abstract	27
1. Introduction	29
2. Material and Methods	31
2.1 Diets and experimental design.....	31
2.2 Kibble macrostructure, starch gelatinization, in vitro digestibility, and reactive lysine.....	35
2.3 <i>In vivo</i> digestibility protocol	37
2.4 Statistical analysis	39
3. Results	40
3.1 Extrusion traits.....	40

3.2 Kibble macrostructure, starch gelatinization and <i>in vitro</i> digestibility.....	45
3.3 Reactive lysine content	48
3.4 Nutrient intake, apparent total tract digestibility and fecal characteristics.....	51
4. Discussion.....	54
5. Conclusion.....	60
6. References	60
CAPÍTULO 3 – Extruder open area and screw configuration on processing parameters, kibble traits, and digestibility of extruded cat foods	66
Abstract	67
1. Introduction	69
2. Material and Methodos.....	70
2.1 Diet and experimental design.....	70
2.2 Kibble macrostructure, starch gelatinization and <i>in vitro</i> digestibility.....	74
2.3 <i>In vivo</i> digestibility protocol	76
2.4 Statistical analysis	78
3. Results.....	78
3.1 Extrusion traits.....	78
3.2 Kibble macrostructure, starch gelatinization and <i>in vitro</i> digestibility.....	83
3.3 Nutrient intake, apparent total tract digestibility and fecal characteristics.....	87
4. Discussion.....	89
5. Conclusion.....	91
6. References.....	91



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



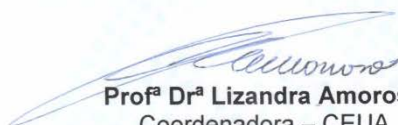
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado **"Efeito da granulometria da matéria-prima e da configuração da extrusora sobre os parâmetros de processo, macroestrutura dos kibbles, cozimento do amido e digestibilidade em rações para gatos"**, protocolo nº 2070/16, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL -SP, em reunião ordinária de 16 de fevereiro de 2016.

Vigência do Projeto	15/03/2016 a 15/08/2016
Espécie / Linhagem	Gatos - SDR
Nº de animais	36
Peso / Idade	4,5kg - 8 anos
Sexo	Machos e fêmeas
Origem	Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos "Prof. Dr. Flávio Prada"

Jaboticabal, 16 de fevereiro de 2016.


Profª Drª Lizandra Amoroso
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal - SP - Brasil
Tel. 16 3209 2600 - fax 16 3202 4275 www.fcav.unesp.br

Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora sobre os parâmetros de processo, características do extrusado e digestibilidade de rações para gatos

RESUMO - A maior parte dos alimentos industrializados destinados à gatos são secos e extrusados. A aplicação de energia termomecânica durante a extrusão promove mudanças físico-químicas e nutricionais nos ingredientes com eficiência e baixo custo relativo. Por outro lado, ela também pode promover efeitos indesejáveis, incluindo destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos, destruição e redução na disponibilidade da proteína e aminoácidos, principalmente a lisina. Não foram encontradas na literatura as implicações do tamanho da partícula da matéria prima e o efeito de diferentes configurações de extrusora em alimentos para gatos sobre a formação dos “kibbles” e aspectos nutricionais. O presente estudo teve como objetivo estudar as implicações nutricionais, à macroestrutura de extrusados e aos parâmetros de processo de alimentos para gatos produzidos a partir de diferentes graus de moagem da matéria prima e configurações de extrusora. Para tanto foram conduzidos dois experimentos. O primeiro avaliou o efeito do tamanho da partícula da matéria-prima e área aberta da matriz da extrusora sobre os parâmetros de processamento, gelatinização do amido (GA), digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, macroestrutura dos “kibbles”, digestibilidade *in vivo* dos nutrientes (DIV) e teor de lisina. O experimento seguiu um arranjo fatorial 6 x 2 (6 áreas abertas e 2 tamanhos de partículas), totalizando 12 tratamentos. Uma dieta para gatos adultos foi formulada e moída em moinho de martelo em duas aberturas de peneira (0,5 e 1,2mm), as quais geraram diâmetro geométrico médio (DGM) de 195 e 254 μm respectivamente. O material foi extrusado a partir das seguintes áreas abertas (AA) alvo: 59, 118, 177, 236, 294, 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$. Todos os outros parâmetros de software e de hardware da extrusora não foram alterados. A DIV feita pelo método de coleta total de fezes, nas dietas com 195 μm e 59 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 195 μm e 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 254 μm e 59 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 254 μm e 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, usando 6 gatos por dieta. A lisina total, ligada e reativa foi analisada em 5 tratamentos: mistura dos ingredientes não extrusada e nos 4 tratamentos escolhidos para a DIV. Os dados foram submetidos à análise de variância considerando os efeitos de DGM e AA e suas interações e as médias foram comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). Para a DIV interação foi considerada significativa quando $P < 0,15$. Os resultados de lisina foram comparados pelo teste de Dunnett ($P < 0,05$), sendo a mistura não extrusada considerado como referência. Com relação aos parâmetros de processo interação entre DGM e AA foi observada na pressão e na temperatura da última camisa da extrusora, sendo que os menores valores foram observados no menor DGM. Os valores de flash off foram semelhantes entre ambos DGM e diminuíram linearmente com aumento da AA. A energia mecânica específica (EME) e a energia térmica específica (ETE) foram influenciadas pela interação entre DGM e AA. Em ambos DGM houve redução quadrático na EME e aumento ETE com o aumento da AA. Todos os parâmetros da macroestrutura dos “kibbles” foram influenciados pela interação. As dietas com maiores DGM apresentaram maior densidade aparente e específica, comprimento específico e menor expansão radial. A GA e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica não foram influenciados pela AA,

apenas pelo DGM. Foi verificada uma interação ($P < 0,15$) para a digestibilidade da proteína bruta e da matéria seca e orgânica. Os menores resultados foram vistos no menor DGM e área mais restrita. Houve aumento da lisina total e reativa em todas as dietas extrusadas, mas não na lisina ligada. O efeito conjunto do DGM e da AA influenciaram fortemente os parâmetros do processo, a transferência de EM e as características dos “kibbles”. O segundo estudo avaliou o efeito de diferentes configurações de extrusão sobre os parâmetros de processamento, GA, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, macroestrutura dos “kibbles” e DIV. O experimento seguiu um arranjo fatorial 4 x 2 (4 áreas abertas e 2 restrições após rosca da extrusora), totalizando 8 tratamentos. A mesma dieta usada no primeiro experimento foi extrusada com uma combinação de 60 ou 90% de restrição após a rosca da extrusora (RAR) e quatro AA alvo: 59, 118, 236 e 353 mm²/ton/h). Todos os outros parâmetros de software e de hardware da extrusora não foram alterados. A DIV foi feita pelo método de coleta total de fezes, nas dietas com 90% de restrição e 353 mm²/ton/h e restrição de 60% e 59 mm²/ton/h, usando 6 gatos por dieta. Os dados foram submetidos à análise de variância, considerando os fatores RAR e AA e suas interações. As médias foram comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). A amperagem do motor foi influenciada pela interação, sendo que as maiores médias foram observadas nas dietas com 90% de RAR e foi notado redução com aumento AA. A umidade no canhão da extrusora foi semelhante entre os tratamentos. A pressão da massa medida antes da matriz alterou somente com AA. Houve redução no flash off apenas nas dietas com 90% de RAR e diminuiu com aumento AA. Houve redução na temperatura média da quarta camisa com aumento da AA. A EME não sofreu influência da interação e foi maior para as dietas com 90% RAR. A ETE foi semelhante entre os tratamentos e a energia total aplicada foi semelhante para todas AA nas dietas com 60% de RAR, mas reduziu com o aumento da AA nas extrusadas com 90% de RAR. Foi observado efeito ($P < 0,05$) de AA para todas as características dos “kibbles”. Houve interação para a densidade aparente e específica e aumento nas maiores AA. A expansão mais elevada foi verificada nas dietas com 90% RAR. Gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* não foram influenciadas pela interação. A digestibilidade *in vitro* foi alterada de acordo com AA, mas a DIV não mudou ($P > 0,05$) entre os tratamentos. A RAR e AA exercem forte impacto sobre os parâmetros de processos, transferência de EME e formação dos “kibbles”. A DIV não foi influenciada pela expansão dos “kibbles”.

Palavras-chave: gato, extrusão, moagem, configuração da extrusão

Abreviaturas: AA: área aberta da extrusora, DGM: diâmetro geométrico médio, DIV: digestibilidade *in vivo* dos nutrientes, EME: energia mecânica específica, ETE: energia térmica específica, GA: gelatinização do amido; RAR: restrição após rosca da extrusora.

Raw material particle size and extruder configuration on processing parameters, kibble macrostructure, starch cooking and digestibility of cat diets

ABSTRACT – Most processed foods intended for cats are dried and extruded. Application of thermomechanical energy during extrusion promotes physical-chemical and nutritional changes in the ingredients in an efficient and relatively low cost. Moreover, it can also promote undesirable effects, including the destruction of vitamins, lipid oxidation, destruction and reduction in the availability of protein and amino acids, especially lysine. The author was not able to found scientific literature on the implication of the raw material particle size and extruder configuration on kibble formation and the nutritional aspects of extruded foods for cats. Taken these considerations, this study aimed to evaluate the implications of two raw particle size and changes in extruder configuration on the extrusion traits, kibbles, starch gelatinization (SG) degree and digestibility of cat food formulation. It was conducted two experiments. The first evaluated the effect of raw material particle size and extruder open area (Eoa) on the processing parameters, SG, *in vitro* digestibility of organic matter, kibble macrostructure, *in vivo* nutrient digestibility (IVND) and content of lysine. The experiment followed a factorial 6 x 2 (6 Eoa and 2 raw particle size), totaling 12 treatments. A diet was formulated for adult cats and ground in a hammer mill in two sieve openings (0.5 and 1.2) which generated mean geometric diameter of raw material (MGD) of 195 and 254 μm respectively. The material was extruded with these Eoa target: 59, 118, 177, 236, 294, 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$. All other software parameters and extruder hardware have not changed. The IVND was conducted by the method of total collection of feces, in the diets of 195 μm and 59 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 195 μm and 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 254 μm and 59 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, 254 μm and 353 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$, using 6 cats per diet. The results of total, linked and reactive lysine were measured at 5 treatments: raw material and four treatments chosen for IVND. Data were submitted to analysis of variance considering the MGD and Eoa effects and their interactions, and means were compared by polynomial contrasts ($P < 0.05$). The digestibility interaction was considered significant when $P < 0.15$. Lysine results were compared by the Dunnett test ($P < 0.05$) and raw material was considered as the reference. Regarding the process parameters interaction between MGD and Eoa were observed in die pressure and temperature of the last extruder jacket, and the lowest values were observed in the diets with 195 μm MGD. Flash off values were similar between MGD and decreases linearly with increasing Eoa. Specific mechanical energy (SME) and specific thermal energy (STE) were influenced by the interaction. In both MGD there was a reduction in quadratic SME, and STE increased with increasing Eoa. All macrostructure parameters of kibbles were influenced by interaction. Diets with larger MGD presented higher bulk and piece density, specific length and less radial expansion rate. The SG and *in vitro* digestibility of organic matter were not affected by Eoa, only by MGD. For digestibility a significant interaction ($P < 0.15$) between MGD and Eoa was observed on crude protein and dry and organic matter. The lower results were seen in the smaller MGD and more restricted area (195 μm and 59 $\text{mm}^2/\text{ton/h}$). There was increase in total and reactive lysine in all extruded diets, but not on lysine linked. The combined effect of DGM and Eoa strongly

influence the process parameters, the transference of SME and kibbles traits. The second experiment evaluated the effect of different extruder configuration on the processing parameters, SG, *in vitro* digestibility of organic matter, kibble macrostructure, and IVND of extruded cat foods. The experiment followed a 4 x 2 factorial arrangements of treatments, with 4 Eoa and 2 restrictions after extruder screw (RASc), a total of 8 treatments. A single food was formulated for cat maintenance, and processed in a single screen extruder with a combination of 60% or 90% RASc, and 4 Eoa target: 59, 118, 236, 353 mm²/ton/h. All other extruder software and hardware parameters was unchanged during the study. IVND was measured by the total collection of feces method on the diets processed with 90% RASc and 353 mm²/ton/h, and 60% RASc and 59 mm²/ton/h, using 6 cats per diet. Data were submitted to analysis of variance considering RASc and Eoa effects, as well their interactions. Means were compared by polynomial contrasts ($P < 0.05$). For motor amperage was verified an interaction between RASc and Eoa, with greater means for the 90% RASc diets and a reduction with increase Eoa. In barrel moisture was similar among treatments. Die pressure did not change according to RASc, only Eoa, it decreased. Flash off was different only in diets with 90% of RASc and decreased with the increase Eoa. There was a reduction in mean temperatures of forth extruder jacket with increase Eoa. SME application did not suffer influence of the interaction between RASc and Eoa, but was higher for 90% RASc diets. STE was similar among treatments. Total specific energy application was similar for all Eoa on 60% RASc, but decreased with the increase on Eoa for 90% RASc. A significant effect of Eoa was observed for all analyzed kibble traits. There was an interaction for bulk and piece density and both item showed an increase with increase on Eoa. Higher expansion were verified for 90% RASc diets. SG and *in vitro* digestibility were not influenced by the interaction of RASc and EOA. *In vitro* digestibility changed according to Eoa, but IVND was similar ($P > 0.05$) between treatments and did not suffer influence of bulk density. RARs and Eoa have a strong impact on the process parameters, transference of SME and kibble traits.

Key words: cat, extrusion, grind, extruder configuration.

Abbreviation: Eoa, extruder open area; IVND, *in vivo* nutrient digestibility, MGD, mean geometric size, SG, starch gelatinization, SME, specific mechanical energy; STE, specific thermal energy; RASc, restriction after extrusion screw.

LISTA DE TABELAS

	Página
Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets	31
Table 2. Particle size distribution of the raw material mixtures and ground with screen sieve size of 0.5 and 1.2mm.....	32
Table 3. Processing parameters of a cat food ground to two mean geometric diameters (MGD) of raw materials and extruded with six extruder open area (Eoa).....	41
Table 4. Kibble macrostructure and characteristics of a cat food ground to two mean geometric diameters (MGD) of raw materials and extruded with six extruder open area (Eoa).....	45
Table 5. Total lysine, reactive lysine, and linked lysine content of the raw material mixture and cat foods ground to two mean geometric diameters (MGD) and extruded with different extruder open areas (mm ² /ton/h). Values in g/kg of dry matter	48
Table 6. Intake and apparent total tract digestibility, and fecal characteristics of cats fed a food ground to two mean geometric diameters (MGD) of raw materials and extruded with two extruder open areas (Eoa).....	50
Table 7. Ingredient and chemical composition of the experimental diet for cats.....	70
Table 8. Processing parameters of a cat food extruded with two restrictions after screw (RASc) and four extruder open areas (Eoa)	78

Table 9.	Kibble macrostructure and characteristics of a cat food extruded with two restrictions after screw (RASc) and four extruder open areas (Eoa).....	83
Table 10.	Intake and apparent total tract digestibility, and fecal characteristics of cats fed a diet extruded with two restrictions after screw (RASc) and four extruder open areas (Eoa).....	86

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Ampere
AA	Área aberta da matriz
ABINPET	Associação brasileira da indústria de produtos para animais de estimação
AOAC	Association of the official agricultural chemists
CDV	Calorimetria diferencial de varredura
cm	Centímetro
cm³	Centímetro cúbico
DGM	Diâmetro geométrico médio
DIV	Digestibilidade in vivo dos nutrientes
DPG	Diâmetro padrão geométrico
EET	Energia específica total
EME	Energia mecânica específica
Eoa	Extruder open area
ETE	Energia total específica
EPM	Erro padrão da média
FEDIAF	Federação Europeia das Indústrias de Pet Food (The European Pet Food Industry Federation)
g	Grama
GA	Gelatinização do amido
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
IVND	<i>In vivo</i> nutriente digestibility
Kgf	Kilo grama força
Kw-h	Kilo watts hora
MGD	Mean geometric diameter

mm	Milímetro
mm²	Milímetro quadrado
OM	Organic matter
RAR	Restrição após rosca da extrusora
RASc	Restriction after extruder screw
SAS	Statistical analysis system
SEM	Standard error of the mean
SME	Specific mechanical energy
SG	Starch gelatinization
STE	Specific thermal energy
ton	Tonelada

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

Dados da Associação brasileira da indústria de produtos para animais de estimação revelam que o segmento de “pet food” possui uma considerável importância econômica e social, pois representa valor considerável no PIB brasileiro e promove benefícios para a saúde e bem estar na interação entre homens e animais (ABINPET, 2016).

Atualmente 95% dos alimentos secos para cães e gatos são produzidos com tecnologia de extrusão termoplástica (SPEARS; FAHEY, 2004). O processo de extrusão é amplamente utilizado pela indústria, pois permite o processamento de vários ingredientes e coprodutos de origem vegetal e animal. Este consiste na cocção de mistura homogênea de ingredientes, promovendo sanitização, texturização e formatação, que ocorrem pela presença de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica em curto espaço de tempo (RIAZ, 2007; TRAN et al., 2008). O processo inclui as etapas de condicionamento, extrusão propriamente dita, corte e secagem, com funções específicas no cozimento e na qualidade do produto final.

O uso generalizado da extrusão termoplástica na indústria “pet food” deve-se ao fato dela promover mudanças físicas e químicas nos ingredientes, alterando sua qualidade e propriedades físicas, aumentando seu valor nutricional com eficiência e baixo custo relativo (GRIFFIN, 2003; TRAN et al., 2008). A elevada aplicação de energia termomecânica no processo induz alterações vantajosas e desejáveis em alimentos para gatos, como: aumento da digestibilidade dos cereais, melhora da palatabilidade do alimento, modificações de atributos texturais favorecendo a apreensão e mastigação, inativação de fatores antinutricionais, destruição de microrganismos, aumento da vida de prateleira, ampliação das possibilidades de uso de matérias primas, desnaturação de proteínas com melhora de sua digestibilidade (CHEFEL, 1986; LANKHORST et al., 2007). O ganho em digestibilidade e palatabilidade dos cereais talvez seja o efeito mais notório, promovido pela gelatinização e plasticização do amido, que se torna mais digerível pelas enzimas digestivas dos carnívoros (MURRAY et. al., 2001).

No entanto, a extrusão também pode promover efeitos indesejáveis, incluindo destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos, destruição e redução na disponibilidade de aminoácidos, principalmente da lisina envolvida na reação de “Maillard” (LANKHORST et al., 2007). Devido a isto, e também de modo a se evitar gastos desnecessários, o balanço entre os efeitos desejáveis e indesejáveis deve sempre ser buscado. Para que isso ocorra todas as etapas do processo necessitam ser controladas e seus efeitos conhecidos.

O mercado “pet food” está cada vez mais competitivo e exigente, impulsionado principalmente por proprietários que consideram seus animais como membros da família e se interessam em fornecer alimentos de alta qualidade e sabor. Além disso, deve-se considerar o fato do crescente conhecimento entre as pessoas da estreita relação da alimentação com a promoção de saúde, bem estar e expectativa de vida. Segundo Carciofi e Jeremias (2010) é crescente o número de pesquisas direcionadas ao conhecimento de diversas áreas que envolvem a nutrição de cães e gatos. Contudo, provavelmente um dos campos onde exista maior escassez de informações científicas é relativa ao processamento dos alimentos extrusados e suas implicações nutricionais e nas respostas metabólicas promovidas nos animais.

Dentro deste contexto, a presente Tese de Doutorado teve como objetivo geral estudar as implicações nutricionais, à macroestrutura de extrusados e aos parâmetros de processo de alimentos para gatos produzidos a partir de diferentes graus de moagem da matéria prima e configurações de extrusora.

a

6. References

AHMED, A., ZULKIFLI, I., FARJAM, A.S., ABDULLAH, N., LIANG, J.B.
Extrusion enhances metabolizable energy and ileal amino acids digestibility of
canola meal for broiler chickens. **Italian Journal of Animal Science**, v.13,
44-47, 2014.

AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G.; THOMAS, D. G. Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digest parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. **Poultry Science**, v.87, 2008.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Whashington DC.

BAZOLLI, R. S.; VASCONCELLOS, R. S.; DE-OLIVEIRA, L. D; SÁ, F. C.; PEREIRA, G. T., CARCIOFI, A. C. Effect of the particle size of maize, rice and sorghum in extruded diets for dogs on starch gelatinization, digestibility, and the fecal concentration of fermentation products. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 2956-296, 2015.

BHATTACHARYA, M., HANNA, M. Extrusion processing to improve nutritional and functional properties of corn gluten. **Lebensm.-Wiss. Technology**, v.21, 20-24, 1988.

BJÖRCK, I.; ASP, N.G. The effects of extrusion cooking on nutritional value, a literature review. **Journal of Food Engineering**, p. 281-308, 1983.

CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v.68, p.200-205, 1991.

CAMIRE, M.E., 2000. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: Extruders. In: Riaz, M.N. **Extruders in Food Applications**. CRC Press, Boca Raton, p. 127-148.

CARCIOFI, A.C.; PALAGIANOB, C.; SA, F.C.; MARTINSA, M.S.; GONÇALVES, K.N.V.; BAZOLLI, R.S.; SOUZA, D.F.; VASCONCELLOS, R.S. Amylase utilization for the extrusion of dog diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 177, p. 211– 217, 2012.

COWELL, C. S.; STOUT, N. P.; BRINKMAN, M. F.; MOSER, E. A.; CRANE, S. W. **Making commercial pet foof**. In: HAND, M. et al. Small animal clinical nutrition, 4ed Kansas: Mark Morris Institute, 2000. p. 127-146.

CRANE, S.W.; GRIFFIN, R.W.; MESSENT, P.R. **Introduction to commercial pet foods**. In: HAND. M. et al. Small animal clinical nutrition. 4 ed. Kansas: Mark Morris Institute. 2000, p. 111-126.

DEFFENBAUGH, L. Optimizing pet food, aquatic and livestock feed quality. In: Riaz, M.N., editor, **Extruders and expanders in pet food, aquatic and livestock feeds**. Agrimedia GmbH, Clenze, Germany, p. 327-342, 2007.

DESRUMAUX, A.; BOUVIER, J. M.; BURRI, J. Corn grits particle size and distribution effects on the characteristics of expanded extrudates. **Journal of Food Science**, v.63, p.857-863, 1998.

DE-OLIVEIRA, L. D., CARCIOFI, A. C., OLIVEIRA, M. C. C., VASCONCELLOS, R. S., BAZOLLI, R. S., PEREIRA, G. T., and PRADA, F. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 2237-2246, 2008.

FRAILHA, M. Benefício do investimento energético na redução do tamanho de partículas na alimentação animal. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9, Bauru, **Anais...**, 2005.

FEDIAF. Fédération Européenne de l'industrie des Aliments pour Animaux Familiers. **Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs**. Bruxelles, 2014.

GIBSON, M.; ALAVI, S. Pet Food Processing-Understanding Transformations in Starch during Extrusion and Baking. **Cereal Foods World**, v.58, p. 232-236, 2013.

GUY, R. **Extrusion Cooking: Technologies and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2001, p. 206.

HAYAKAWA, I., LINKO, Y., LINKO, P. Mechanism of high pressure denaturation of proteins. **LWT-Food Science and Technology**, v.29, 756-762, 1996.

HENDRIKS, W.H., EMMENS, M.M.A., TRASS B., et al. Heat processing changes the protein quality of canned cat foods as measured with a rat bioassay. **Journal of Animal Science**, v. 77, 669–676, 1999.

HENDRIX, D.L. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissue. **Crop Science**, v. 25, p. 1306-1311, 1993.

HERVERA, M.D., BAUCCELLS, F., BLANCH, C., CASTRILHO, M. Prediction of digestible energy content of extruded dog food by *in vitro* analyses. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 91, 205-209, 2007.

HILCKO, K. P.; FÉLIX, A. P.; OLIVEIRA, S. G.; BORTOLO, M.; MAIORKA, A.; BRITO, C. B. M.; ALVES, P. F. Different milling in diets for dogs. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.2511-2515, 2009.

KARKLE, E.N.L. **Carbohydrate components of pomace in corn-based extrudates: interactions, expansion dynamics, and structure-texture relationships**. Doctoral Thesis (Philosophy Department of Grain Science and Industry). College of Agriculture Kansas State University, Manhattan, Kansas, 2011.

LANKHORST, C.; TRAN, Q.D.; HAVENAAR, R.; HENDRIKS, W.H.; VAN DER POEL, A.F.B. The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by *in vitro* indicators. **Animal Feed Science and Technology**, v. 138, p. 285–297, 2007.

MATHEW, J. M.; HOSENEY, R. C.; FAUBION, J. M. Effects of corn hybrid and growth environment on corn curl and pet food extrudates. **Cereal Chemistry**, v.76, p.625-628, 1999.

MAURON, J. The Maillard reaction in food; a critical review from the nutritional standpoint. **Progress Food and Nutrition Science**, v.5, 5–35, 1981.

MAURON, J. Influence of processing on protein quality. **Journal of Nutrition Science and Vitaminology**, v.36, 57–69, 1990.

MÓSCICKI, L., AND WÓJTOWICZ, A. **Raw materials in the production of extrudates.** In L. Móscicki (Ed.), *Extrusion-cooking techniques*. 2011, p. 45-63.

MOUGHAN, P.J., RUTHERFURD, S.M. A new method for determining digestible reactive lysine in foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, 2202-2209, 1996.

MOUGHAN, P. J. Amino acid availability: aspects of chemical analysis and bioassay methodology. **Nutrition Research Review**, v.16, p.127-141, 2003.

NRC. **Nutrient Requirements of Dogs and Cats.** National. Academy Press, Washington, DC, USA, 2006.

OPSTVEDT J. **Influence of drying and smoking on protein quality**, In: Burt J.R. *Fish smoking and drying*. Elsevier Applied Science, London and New York, p. 23–40, 1989.

PASAWAT, N.; JANGCHUD, K.; JANGCHUD,A.; WUTTIJUMMONG, P.; SAALIA, F.K.; EITENMILLER, R.R.; PHILLIPS, R.D. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 632-641, 2008

RIAZ, M. N. Selecting the right extruder, In: GUY, R. **Extrusion cooking: Technologies and applications.** Boca Rafon, FL: CRC Press, 2001. cap. 3, p. 29-49, 2001.

RIAZ, M.N. **Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds.** Agrimedia, Clenze, p. 400, 2007.

ROOIJEN, van C. et al. The Maillard reaction and pet food processing: effects on nutritive value and pet health. **Nutrition Research Reviews**, v.26, 130–148, 2013.

SÁ, F. C.; VASCONCELLOS, R. S.; BRUNETTO, M. A.; FILHO, F. O. R.; GOMES, M. O. S.; CARCIOFI, A. C. Enzymes use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility. **Journal Animal Physiology and Animal Nutrition**, p.51-59, 2013.

SÁ, F. C. **Energia mecânica, energia térmica e moagem na extrusão de alimentos para cães e gatos**. 2015. 104f. Doctoral Thesis (Doutorado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

SAS INSTITUTE. 2008. SAS 9.1 USER'S GUIDE. SAS INSTITUTE INC., CARY, NC.

SON, J.H., RAVINDRAN, V. 2012. Influence of extrusion of white lupins (*lupinus albus* L.) on the apparent metabolizable energy and ileal nutrient digestibility for broilers. **International Journal of Poultry Science**, v. 11, p.565-569, 2012.

TRAN, Q.D.; HENDRIKS, W.H.; VAN DER POEL, A.F. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 9, p. 1487-1493, 2008.

TRAN Q.D., HENDRIKS W.H.; van der Poel, A.F.B. Effects of drying temperature and time of a canine diet extruded with a 4 or 8 mm die on physical and nutritional quality indicators. **Animal Feed Science and Technology**, v.165, 258–264, 2011.

WONDRA, K. J.; HANCOCK, J. D.; BEHNKE, K. C.; HINES, R. H.; STARK, C. R. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 757-763, 1995.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. EMBRAPA–CNPSA, p. 15, 1996.