

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 08/07/2017.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA NO CONDICIONADOR
NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES**

Peterson Dante Gavasso Pacheco

Zootecnista

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA NO CONDICIONADOR
NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES**

Peterson Dante Gavasso Pacheco

Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi

Coorientadora: Dra. Thaila Cristina Putarov

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia

2016

P116a Pacheco, Peterson Dante Gavasso
Aplicação de energia térmica no condicionador na extrusão de
alimentos para cães / Peterson Dante Gavasso Pacheco. --
Jaboticabal, 2016
vi, 50 p. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Aulus Cavalieri Carciofi
Coorientadora: Thaila Cristina Putarov
Banca examinadora: Alexandre de Mello Kessler, Jane Maria
Bertocco Ezequiel
Bibliografia

1. Energia térmica específica. 2. Éxtrusão. 3. Gelatinização do
amido. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 636.085.7:636.7



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: APLICAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA NO CONDICIONADOR NA EXTRUSÃO
DE ALIMENTOS PARA CÃES

AUTOR: PETERSON DANTE GAVASSO PACHECO

ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

CO-ORIENTADORA: THAILA CRISTINA PUTAROV

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela
Comissão Examinadora:


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

Prof. Dr. ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Porto Alegre/RS


Profa. Dra. JANE MARIA BERTOCCO EZEQUIEL
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de julho de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Peterson Dante Gavasso Pacheco, nascido em 24 de janeiro de 1990, na cidade de Alta Floresta - MT, ingressou no curso de Zootecnia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Botucatu - SP, em março de 2009, graduando-se em dezembro de 2013. Em março de 2014, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, campus de Jaboticabal - SP. Durante esse período, desenvolveu parte do seu projeto de pesquisa na Kansas State University, Manhattan - KS, EUA.

“ Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso, antes de mais nada, querer. ”

Amyr Klink

DEDICO

Aos meus tios, Ana Maria Pacheco e Renato Luiz Terence, pelo apoio,
incentivo e carinho. Sou muito grato!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar a conclusão de mais uma etapa.

Aos meus amados tios, Ana Maria Pacheco Terence e Renato Luiz Terence, família que me deu a oportunidade de ser o que sou hoje, sempre me incentivando, ensinando e apoiando.

Aos meus queridos primos, Maurício e Ana Cláudia, pela amizade, pelos conselhos e pelo apoio.

A minha querida tia Vera Lúcia e aos primos Vanize e Fabrício, pela amizade, pelo carinho, pelo respeito e momentos de diversão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, pela oportunidade de trabalhar em sua equipe, paciência, confiança e ensinamentos. Muito obrigado!

A minha coorientadora, Dra. Thaila C. Putarov, pela ajuda no desenvolvimento deste projeto, orientação, amizade, pelo apoio e conselhos.

Aos meus queridos amigos com quem tive a oportunidade de conviver e compartilhar momentos incríveis na Rep. Misto Quente: Dábia, Déia, Filipe e Jorge. Em especial, para as minhas queridas amigas Aline e Denise, que me receberam muito bem. Agradeço a amizade, o carinho, o companheirismo de vocês e pelos momentos de alegria.

Ao meu dog Spike e aos da República: Didi, Lola, Florzinha, Princesa, Nina e Xavante.

A minha grande amiga e comadre Natália, pelos momentos de alegria, pelas conversas, pelo apoio, carinho e respeito. A minha amiga Paloma, pela amizade e carinho.

Aos queridos funcionários Diego e Elaine, pelo cuidado e carinhos aos animais, a Claudinha pelo auxílio nas análises. Obrigado pelas conversas e pelos momentos de descontração. Sou muito grato em tê-los como amigos.

Aos meus queridos amigos de trabalho do LabNutri: Aninha, Bruna, Érico, Fer, Fer Kroll, Fabiano, Fran, Ludmilla, Mari, Mayara Baller, Mayara Peixoto, Raquel e Kati. Muito obrigado pela ajuda, pelas conversas divertidas, pelo respeito e pela amizade. Tenho muito orgulho em fazer parte desta equipe.

Aos funcionários da Fábrica de Rações Hélinho, Batista (*in memorian*) e Lucas. Muito obrigado pela ajuda e pelos momentos de distração ao longo destes anos.

À Guabi Petcare, pelo apoio financeiro e técnico ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal.

À Manzoni pela doação da extrusora (modelo Mex-250), que possibilitou o desenvolvimento desse estudo.

Ao Prof. Dr. Sajid Alavi e ao funcionário Eric Maichel, pela oportunidade de permanecer e aprender no Departamento de Grain Science and Industry da Kansas State University.

À Júlia Pezzali pela imensa ajuda e amizade durante meu estágio na K-STATE.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelas bolsas de Mestrado (2014/13252-0) e BEPE (2014/26255-8).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudo (131977/2014-8) e pelo auxílio financeiro (447751/2014-0) concedido para o desenvolvimento deste projeto.

SÚMARIO

	Página
CEUA	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1. Efeito da extrusão no amido	3
2.2. Efeito da extrusão nos lipídeos.....	3
2.3. Efeito da extrusão nas proteínas	4
2.4. Efeito da extrusão na palatabilidade	5
2.5. Implicações da aplicação de energia mecânica e térmica	6
2.6. Justificativa	8
3. REFERÊNCIAS.....	9
CAPÍTULO 2 – Thermal energy application to the conditioner on the extrusion of dog foods	13
Abstract.....	14
1. Introduction	15
2. Material and Methods.....	17
2.1. Experimental design and food formulation.....	17
2.2. Extrusion processing and experimental treatments	19
2.3. Specific mechanical energy and specific thermal energy calculations	21
2.4. Kibble macrostructure, starch cooking and in vitro digestibility	24
2.5. Food palatability test.....	24
2.6. Digestibility protocol.....	25
2.7. Faecal pH and fermentation products.....	26
2.8. Statistical analysis.....	27
3. Results	28
3.1. Extrusion traits	28
3.2. Kibble macrostructure, starch gelatinization and in vitro digestibility	33
3.3. Nutrient intake, apparent total tract digestibility and fecal characteristics	36
3.4. Faecal characteristics and fermentation products.....	38
3.5. Food palatability test.....	40

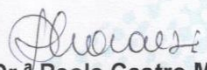
4. Discussion.....43
5. Conclusion47
References.....47

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 018909/14 do trabalho de pesquisa intitulado **"Adição de diferentes quantidades de energia térmica no condicionador sobre o cozimento do amido, digestibilidade e palatabilidade de rações extrusadas para cães"**, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 09 de outubro de 2014.

Jaboticabal, 09 de outubro de 2014.


Prof.^a Dr.^a Paola Castro Moraes
Coordenadora – CEUA

APLICAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA NO CONDICIONADOR NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES

RESUMO – O uso generalizado da tecnologia de extrusão em alimentos para cães deve-se ao fato desta promover mudanças físicas e químicas no ingrediente tornando possível seu uso na alimentação animal. Estas mudanças ocorrem principalmente devido a aplicação de energia térmica específica (ETE) e energia mecânica específica (EME) aplicada ao processo de extrusão. Diversos estudos evidenciam o uso e a quantidade de EME para o adequado processamento de alimentos, contudo, ainda se desconhecem as diferenças nutricionais e a influência na macroestrutura dos kibbles resultantes do cozimento por ETE em relação a aqueles obtidos pela aplicação de EME. Desta forma, os objetivos deste estudo foram avaliar a aplicação de seis quantidades de energia térmica específica (ETE) no pré-condicionador, em dois sistemas de extrusão, sobre os parâmetros de processo, a gelatinização do amido, a macroestrutura dos kibbles, a digestibilidade *in vitro* e *in vivo* de alimento para cães e produtos da fermentação microbiana no cólon. O estudo foi dividido em dois experimentos. O primeiro experimento avaliou o efeito da aplicação de ETE em dois sistemas de extrusão sobre os parâmetros de processo e a partir destes resultados, as dietas que apresentaram maior variação em relação ao cozimento do amido foram utilizadas para o segundo experimento que avaliou a digestibilidade, produtos da fermentação e palatabilidade de rações para cães. Uma dieta padrão para cães adultos em manutenção foi formulada de acordo com as recomendações nutricionais do Fédération Européenne de l'industrie des Aliments pour Animaux Familiars (FEDIAF, 2014). As rações foram produzidas em extrusora Wenger X-20 (extrusora A) e extrusora Manzoni Mex-250 (extrusora B) por meio da modulação de adição de água e vapor para obtenção das temperaturas desejadas que corresponderiam a aplicação de seis ETE (Temperaturas: 45°C; 55°C; 65°C; 75°C; 85°C; 95°C). Para o primeiro experimento foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 (ETE) x 2 (extrusora) com 12 tratamentos e 4 repetições (amostra de ração coletada a cada 10 minutos durante o tempo de processamento) por tratamento. Para o segundo experimento, 36 cães adultos foram divididos em seis tratamentos, o experimento seguiu um delineamento em blocos casualizado, com 3 blocos de 12 animais cada e duas repetições por bloco. As variáveis de processo estudadas foram ETE, EME, energia específica total (EET), relação ETE/EME e pressão da saída da extrusora. As variáveis para avaliação da macroestrutura do kibble foram gelatinização do amido (GA) da massa do condicionador e do produto seco, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, comprimento específico, taxa de expansão radial, densidade aparente e densidade específica. A digestibilidade dos nutrientes e a palatabilidade do alimento foram avaliados nos alimentos produzidos na extrusora B devido a maior amplitude dos resultados de gelatinização do amido. Os dados de processo e macroestrutura foram submetidos a análise de variância, considerando-se os efeitos de extrusora, ETE e suas interações, sendo as médias comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). Os dados do segundo experimento foram submetidos a análise de variância considerando-se os efeitos de ETE e bloco e as médias comparadas por contrastes polinomiais ($P < 0,05$). Houve interação entre extrusora e ETE para umidade na massa no pré-condicionador e umidade no canhão da extrusora. Não houve efeito de

interação para a produtividade do pré-condicionador e extrusora. Houve efeito quadrático em ambas as extrusoras para temperatura da massa antes da matriz e relação ETE/EME, sendo que a aplicação de ETE elevou os valores. A amperagem e pressão na saída da extrusora reduziram quadraticamente, enquanto que não houve efeito de interação para SME, ETE, EET. Houve efeito de extrusora para EME e EET, a extrusora A apresentou os maiores valores. Houve efeito de ETE para EME e EET, a EME reduziu linearmente com a aplicação de ETE e as demais energias aumentaram linearmente. Houve interação entre extrusora e ETE para todas as características de macroestrutura. A densidade específica e a taxa de expansão radial reduziram quadraticamente nos dois sistemas de extrusão com a aplicação de ETE. O comprimento específico apresentou comportamento quadrático para a extrusora B, sendo que o menor comprimento específico foi verificado a temperatura de 74,4 °C, não ocorrendo o mesmo para a extrusora A. A densidade aparente reduziu linearmente nas duas extrusoras com o aumento de ETE, e a extrusora A apresentou os menores valores em todas as temperaturas estudadas. A GA da massa do pré-condicionador aumentou quadraticamente para as duas extrusoras. A GA do produto seco aumentou quadraticamente para a extrusora A e linearmente para a extrusora B com o aumento da ETE. Ocorreu aumento linear da digestibilidade *in vitro* em ambas as extrusoras, sendo que os valores da extrusora B foram maiores. Não foi verificado alteração para a palatabilidade, qualidade fecal, digestibilidade *in vivo* dos nutrientes e produtos da fermentação com a aplicação de ETE. A aplicação de ETE no pré-condicionador parecer ter mais efeito sobre a macroestrutura dos kibbles e parâmetros de processo de alimentos para cães do que sobre a digestibilidade de nutrientes e qualidade fecal. Porém, mais estudos são necessários para avaliar a ETE em outras condições de extrusão.

Palavras-chave: energia térmica específica, extrusão, gelatinização do amido

THERMAL ENERGY APPLICATION TO THE CONDITIONER ON THE EXTRUSION OF DOG FOODS

ABSTRACT – The generalized use of extrusion in pet food is due to the modification of the physical and chemical characteristics of the ingredient, which make possible its use in animal food. These changes occur mainly due to the application of specific thermal energy (STE) and specific mechanical energy (SME) to the extrusion process. Several studies demonstrate the suitable use and quantity of SME for proper pet food processing, however, there are no information about the STE application to the conditioner on the nutritional differences and its influences on the macrostructure of kibbles of dog food. Thus, the objectives of this study were to evaluate the application of six amounts of specific thermal energy (STE) in the preconditioner, in two extrusion systems, on the process parameters, starch gelatinization, macrostructure of kibbles, *in vitro* and *in vivo* digestibility and fermentation products of dog food. The study was divided in two experiments. The first experiment evaluated the effect of STE application in two extrusion systems on process parameters and from these results, the diets with higher amplitude of starch cooking were used for the second experiment, which evaluated the digestibility, fermentation products and palatability of dog food. A standard diet for adult dogs in maintenance was formulated according to the nutritional recommendations of the Fédération Européenne de l'industrie des Aliments pour Animaux familiers (FEDIAF, 2014). The diets were produced in the extruder Wenger X-20 (extruder A) and extruder Manzoni Mex-250 (extruder B) by the modulation of water and steam addition to reach the desired temperatures which correspond to application of six STE (temperatures: 45°C, 55°C, 65°C, 75°C, 85°C, 95°C). For the first experiment, a completely randomized design in a factorial arrangement of treatments 6 (STE) x 2 (extruder) was used, totaling 12 treatments and 4 replications (feed sample collected every 10 minutes during the processing time) for treatment. For the second experiment, 36 adult dogs were divided into six treatments, the experiment followed a randomized block design with three blocks of 12 animals each and two repetitions per block. The studied processing variables were STE, SME, total specific energy (TSE), STE/SME ratio, motor load and the extruder output pressure. The variables for the evaluation of the macrostructure of the kibble were starch gelatinization (SG) of the dough from the conditioner and the dried product, *in vitro* digestibility, specific length, radial expansion ratio, bulk density and piece specific density. The digestibility of nutrients, fermentation products and food palatability were evaluated in the foods produced in the extruder B due to the higher range of the results of the SG. For the first experiment the effects of extruder, STE and their interactions were considered, and the means were compared by polynomial contrasts ($P < 0.05$). The second experiment data were submitted to analysis of variance considering the effects of STE and block and means compared by polynomial contrasts ($P < 0.05$). There was interaction between extruder and STE for preconditioner discharge mass moisture and in-barrel moisture. No significant effects of interaction were verified for productivity from the preconditioner and extruder. There was a quadratic effect on both extruders for mass temperature before the die and STE/SME ratio; the application of STE increased the values. The motor load and pressure showed a quadratic reduction in both extruders, while there were no interaction effect for SME, STE and TSE. There was extruder effect for SME and TSE, the extruder A showed the highest values. There was STE effect for SME, STE and

TSE, the SME linearly reduced with the application of STE and STE and TSE increased linearly. There was interaction between extruder and STE for all the macrostructure traits. The piece specific density and radial expansion rate had a quadratic reduction in both extrusion systems with the application of STE. The specific length had a quadratic behavior in extruder B, and the lowest specific length was verified at temperature of 74.4°C, which did not occur with extruder A. The bulk density had a linear decrease with increasing STE, independent on the extruders; the extruder A showed the lowest values at the studied temperatures. The SG of the dough from conditioner had a quadratic augment in both extruders. The SG of the dried product showed a quadratic and linear increase in extruder A and B, respectively, with increasing the STE. There was a linear increase for *in vitro* digestibility in both extruders, with higher values for extruder B. There were no significant effects on palatability, fecal quality, nutrients digestibility and fermentation products, except for starch digestibility that reduced linearly with the application of STE. The application of STE into preconditioner seems to have more effect on the macrostructure of kibbles and pet food process parameters than on nutrient digestibility and fecal quality. However, more studies are needed to better understand the STE in other extrusion conditions.

Keywords: specific thermal energy, extrusion, starch gelatinization

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

As rações comerciais para animais de estimação podem ser classificadas, quanto ao processamento, em três tipos básicos: seca, semi-úmida e úmida. Os alimentos secos compõem o maior segmento da indústria *pet* e 95% desses são obtidos pela tecnologia de extrusão (SPEARS; FAHEY, 2004). O Brasil é o segundo maior produtor de alimentos extrusados para cães e gatos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (Abinpet), em 2015, foram produzidas 2,53 milhões de toneladas de pet food, com faturamento de 18 bilhões de reais (ABINPET, 2016).

Extrusão é um processo no qual a mistura de ingredientes é cozida, sanitizada, texturizada e formatada na presença de umidade, pressão, temperatura e fricção mecânica, em curto espaço de tempo (RIAZ, 2007; TRAN; HENDRIKS; VAN DER POEL, 2008). O processo inclui as etapas de pré-condicionamento, extrusão propriamente dita, corte e secagem. Cada uma desempenha função específica tanto no cozimento quanto na formação do produto final.

No pré-condicionador, adiciona-se energia térmica à mistura de ingredientes moídos, pela injeção de vapor direto e água, obtendo-se uma massa uniforme, mediante a ação de um sistema de barras cilíndricas com pás dispostas radialmente, girando a velocidade variável (BAZOLLI, 2007). A adição de energia térmica que tem, como objetivo, aumentar a umidade e temperatura da massa, promove o início do cozimento do amido e assim favorece a hidratação interna dos grânulos, a plasticização, a sanitização, a estabilidade da extrusora e a qualidade do produto final. Além disso, a adição de energia térmica na forma de vapor é vantajosa em termos econômicos, por ser mais barata e simples e resultar em menos desgaste do equipamento e menor consumo de energia elétrica mediante a aplicação de energia mecânica (RIAZ, 2000).

Em seguida, a massa em processamento é conduzida para o canhão da extrusora, um tubo com sistema de rosca sem fim, que gira a velocidade ajustável em

seu interior. No canhão da extrusora a massa recebe energia mecânica, adicionada pela rotação do parafuso da extrusora, que promove cisalhamento da massa contra seu revestimento e a comprime contra a matriz, na extremidade do cilindro, criando pressão, fricção e temperatura. As pressões e temperaturas no final do canhão podem atingir, respectivamente, mais de 60 bars e 160°C, embora seja usual trabalhar com pressões de 20 a 40 bars e temperaturas de 120 a 140°C. Toda essa energia e compressão em um fluxo laminar modificam profundamente os amidos e as proteínas, como será discutido mais adiante. A energia aplicada permite o cozimento completo do amido em poucos segundos e a baixa umidade, entre 20% e 35%, o que é bastante vantajoso em relação ao cozimento em pressão atmosférica, que necessita mais de 10 minutos e duas partes de água para uma de amido, para que este se gelatinize completamente (GIBSON; ALAVI, 2013).

O uso generalizado da tecnologia de extrusão na indústria *pet food* deve-se ao fato de 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, 2008). A elevada aplicação de energia termomecânica no processo induz alterações vantajosas e desejáveis em alimentos para cães e gatos, como: aumento da digestibilidade dos cereais, melhora da palatabilidade do alimento, modificações de atributos texturais que favorecem a apreensão e a mastigação, inativação de fatores antinutricionais, destruição de microrganismos, aumento da vida de prateleira, ampliação das possibilidades de uso de matérias primas e desnaturação de proteínas com melhora de sua digestibilidade (CHEFTEL, 1986; LANKHORST et al., 2007). O ganho em digestibilidade e palatabilidade dos cereais talvez seja o efeito mais notório do processo de gelatinização e plasticização do amido, que se torna mais digerível pelas enzimas digestivas dos carnívoros (MURRAY et. al., 2001).

A extrusão também pode promover efeitos indesejáveis, como destruição de vitaminas, oxidação de lipídeos, redução na disponibilidade de aminoácidos, principalmente da lisina envolvida na reação de Maillard (LANKHORST et al., 2007). Devido a isso, e também de modo a evitar gastos desnecessários, o balanço entre os efeitos desejáveis e indesejáveis deve sempre ser buscado com a aplicação necessária de energia térmica e mecânica, mas não excessiva.

Pretendeu-se, com este projeto, levantar informações sobre a aplicação de energia térmica no processo de extrusão de alimentos para cães, dados que permitirão definir melhores parâmetros de processamento, que aliem eficiência energética e de custos com adequada transformação das matérias primas, garantindo elevada digestibilidade e palatabilidade ao alimento. Desta forma, os objetivos dessa dissertação foram avaliar os efeitos da adição de seis quantidades de energia térmica no pré-condicionador, em dois sistemas de extrusão, sobre a gelatinização do amido, digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia, produtos da fermentação microbiana no cólon, palatabilidade e macroestrutura de alimentos extrusados para cães.

2. Revisão de Literatura

2.1. Efeito da extrusão no amido

Os grãos de cereais (arroz, milho, trigo e sorgo) são as fontes de amido mais utilizadas em rações para animais de companhia. Estruturalmente, o amido dos cereais se encontra como partículas semi-esféricas altamente ordenadas, denominadas grânulos, formados por cadeias de amilose e amilopectina (RATNAYAKE; JACKSON, 2003). O amido é o principal substrato para que o processo de extrusão ocorra de forma apropriada (CRANE; GRIFFIN; MESSENT, 2000). Durante esse processo, grânulos de amido são umedecidos e recebem calor, atrito mecânico, corte e pressão, sofrendo o fenômeno de gelatinização: incham, derretem e perdem sua estrutura cristalina (ZENG et al., 1997; RATNAYAKE; JACKSON, 2009). O amido gelatinizado, perdendo sua ordenação e estrutura, torna-se solúvel em água e mais suscetível à degradação enzimática do que o amido cru (DONA et al., 2010). Estudos demonstraram que o amido dos cereais, se extrusado adequadamente, apresenta digestibilidade aparente superior a 95% para gatos (DE-OLIVEIRA et al., 2008) e 98% para cães (CARCIOFI et al., 2008).

2.2. Efeito da extrusão nos lipídeos