

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ENERGIA MECÂNICA, ENERGIA TÉRMICA E MOAGEM NA
EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS**

Fabiano Cesar Sá
Médico Veterinário

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ENERGIA MECÂNICA, ENERGIA TÉRMICA E MOAGEM NA
EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS**

Fabiano Cesar Sá

Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi

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

S111e Sá, Fabiano Cesar
Energia mecânica, energia térmica e moagem na extrusão de alimentos para cães e gatos / Fabiano Cesar Sá. – – Jaboticabal, 2015
vii, 94 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Aulus Cavalieri Carciofi
Banca examinadora: Ricardo Souza Vasconcellos, Luciano Trevisan, Atushi Sugohara, Dalton José Carneiro
Bibliografia

1. Extrusão. 2. Dieta. 3. Cães. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.5:636.7

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
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

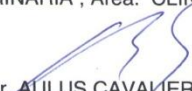
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ENERGIA MECÂNICA, ENERGIA TÉRMICA E MOAGEM NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS

AUTOR: FABIANO CESAR SÁ

ORIENTADOR: Prof. Dr. AULUS CAVALIERI CARCIOFI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM MEDICINA VETERINÁRIA, Área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. AULUS CAVALIERI CARCIOFI

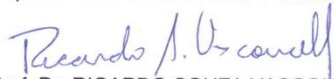
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ATUSHI SUGOHARA

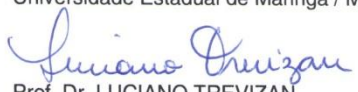
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. DALTON JOSE CARNEIRO

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. RICARDO SOUZA VASCONCELLOS

Universidade Estadual de Maringá / Maringá/PR


Prof. Dr. LUCIANO TREVIZAN

Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Porto Alegre/RS

Data da realização: 20 de março de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Fabiano Cesar Sá – filho de Joatan Furtado Sá e Vera Aparecida Cesar Sá nasceu em 24 de janeiro de 1982, na cidade de Lages, SC. Em dezembro de 2008 graduou-se no curso de Medicina Veterinária pela Universidade do Estado de Santa Catarina no Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC/CAV), na cidade de Lages-SC, durante o qual foi bolsista de Iniciação Científica na área de nutrição de monogástricos, sob orientação do Prof. Dr. Clóvis Eliseu Gewehr. Em março de 2009 ingressou no curso de Mestrado em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), na cidade de Jaboticabal-SP, sob orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi. Em março de 2011 ingressou no curso de Doutorado em Medicina Veterinária pela mesma instituição sob orientação até o momento, do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi. De 2011 a 2014, foi Responsável Técnico e Coordenador do Laboratório de Pesquisas em Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos da mesma instituição. Em agosto de 2012 ingressou no curso de especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na cidade de Campinas-SP, concluiu e recebeu o diploma em fevereiro de 2014, como especialista em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Atualmente é Coordenador de pós vendas da Wenger Manufacturing do Brasil, na cidade de Valinhos-SP.

Dedico

A meus pais

Quando pequeno e indefeso, era protegido pelo amor de meu grande pai e minha corajosa mãe.

Agora crescido e vivido honro os ensinamentos e exemplos repassados, virtudes essas que hoje deixaram a maior marca em minha vida, a própria vida a ser vivida.

De seu filho que tanto os ama.

Ofereço

A meus irmãos

*Exemplos de família e respeito
que se concretiza de geração a geração
para um futuro espelhado no passado
e que traz para o presente a felicidade desejada.*

Do irmão caçula, todo amor desse mundo.

AGRADECIMENTO

Ao Poder Superior que me concede a oportunidade de caminhar e alcançar meus sonhos mais uma vez, sem esquecer de que vivo um dia de cada vez.

Aos meus guias terrenos Joatan e Vera, pais queridos que me ensinaram o respeito, o amor, a dedicação, a honestidade e que hoje me proporcionam essa vitória e sempre me incentivam a criar meus sonhos e vê-los crescer, amo muito vocês.

A Maria Florência dos Santos “DIDI” (*in Memorium*), por onde deva estar, possa ela saber da minha alegria em querer saudá-la com essa conquista e com esplendor amar-te como o filho que não teve, mas o sentimento verdadeiro de como se o fosse.

Aos meus irmãos Juliano e Luciano pelo seu companheirismo, amor e união de uma verdadeira família que se ajuda e se ama, cada lado do coração e de cada um de vocês.

A minhas cunhadas Geovana e Tatiana por continuar esse elo de família, contribuindo para que fique maior e mais forte.

A Juliana, por ser minha confidente, mulher, colega, e acima de tudo a pessoa que escolho só por hoje ser minha companheira amada. "Hoje você terá uma surpresa".

Aos meus amigos do coração de meu Grupo de escolha, a quem amo tanto e que me ensinam lições de vida a todo momento. A meu padrinho tio lu que me ensinou a ver a vida da maneira que deve ser vivida.

A meus tios e tias pelo apoio familiar e calor humano de nossa família.

A nova família (Oliveira & Paloschi) por ter me acolhido tão bem e respeitosamente, como grandes amigos do coração.

Aos locais e pessoas de Jaboticabal, por me ajudarem ao aprendizado de conviver em sociedade, em especial a República Mixto Quente (Mirrasga e Denise).

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, que me possibilitou a felicidade de conhecer novos campos do conhecimento na nutrição e a uma nova amizade que suplementa me com exemplos de pessoa e profissional dedicado, muito obrigado por tudo, nesses 6 anos, espero sempre manter o contato de amigo e profissional.

A universidade e seus funcionários como um todo que me proporcionaram, 6 anos de muito trabalho mais de muita felicidade também. Agradecimento ao setor de nutrição de cães e gatos e colegas da Unesp-Jaboticabal, assim como todos os estagiários da instituição e de fora. A empresa Mongiana Alimentos pelo suporte do laboratório e de minha bolsa de estudos. Não esquecendo em especial é óbvio de todos os grandes amigos e colegas: Márcio, Márcia, Juliana, Ricardo, Claudia, Sandra, Eliana, Helinho, Batista (*"in Memorium"*), Sr. Oswaldo, Dona Sandra, Neto, Lucas, Elaine, Diego, Thaila, Katiane, Érico, Bruna, Chayanne, Flavio, Danilo, Fernando, Iris, Karina, Mariana (Pretinha), Raquel, Ana, Fernanda, Mayara, Ludmila, Micheli, Peterson, Letícia, Raquel Labres, Leandro.

I would like to thank in particular friends of Kansas State University and Manhattan-KS/USA, the opportunity to work together and to live during the nine months, they have given me very professional and personal growth (Dr. Sajid, Lijia, Michael Joseph, Michael Gibson, Max, Eric, Tujar, Manjot, Xu Jingwen, Tiya, Gustavo, Oscar, Barb, Tony Gabriel, Sarah, Daniel and others much loved in my memory.)

A empresa Wenger, por me proporcionar mais conhecimento na área que tanto gosto e agradecer a posição de trabalho atual na mesma, que os diretores e amigos Ed Souza e Lais Souza me proporcionaram, além disso, agradecer a parceria firmada nessa tese de doutorado na relação de trabalho para a realização dos experimentos junto a a parceria da empresa.

A meus animais de estimação (Alf, Maradona, Max, Jack, Plymouth, *"in Memorium"*), Akelsin, Nina, Marrie, Eak, Dora, que me proporcionam tanta felicidade e prazer em ser Médico Veterinário, e que me fazem acreditar no estudo da relação nutrição vs processamento de alimentos pet, pois afinal não posso acreditar no milagre se não usar da oração.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	01
1. INTRODUÇÃO.....	02
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Princípios da extrusão de alimentos	04
2.2. Modificações nos nutrientes promovidas pela extrusão	07
2.3. Efeitos do tamanho de partículas da matéria prima sobre a qualidade do alimento	11
2.4. Efeitos do processamento sobre a digestibilidade dos nutrientes	13
2.5. Efeitos do processamento sobre parâmetros de saúde do intestino	15
2.6. Efeitos do processamento sobre a palatabilidade dos alimentos	16
3. REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO ENTRE ENERGIA TÉRMICA E MECÂNICA NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS	23
Resumo	25
Abstract	27
1. Introdução	29
2. Material e métodos	31
3. Resultados	41
4. Discussão	52
5. Conclusão	56
6. Referências.....	57
CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DE RAÇÕES PARA CÃES À BASE DE SORGO	61
Resumo.....	63
Abstract.....	65
1. Introdução	67
2. Material e métodos	70
3. Resultados	79
4. Discussão	88
5. Conclusão	91
6. Referências	91



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



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 001751/13 do trabalho de pesquisa intitulado "**Avaliação da aplicação de três quantidades de energia mecânica na extrusão de rações para cães e gatos**", sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal, adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 05 de fevereiro de 2013.

Jaboticabal, 05 de fevereiro de 2013.


Prof. Dr. Andriago Barboza De Nardi
Coordenador - CEUA

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

Atualmente 95% dos alimentos secos para cães e gatos são produzidos com tecnologia de extrusão termoplástica (SPEARS; FAHEY, 2004). Empresas de "Pet food" e fornecedores de maquinários tem como objetivo produzir extrusados bem processados e de elevada qualidade, o que é comercialmente importante para atrair o consumidor durante a decisão de compra. A maioria das empresas tentam produzir extrusados expandidos, com bordas arredondadas, aparência uniforme e estrutura celular interna fina. Segundo Moscicki (2011a), para atingir estas características, quantidades suficientes de energia mecânica e térmica devem ser aplicadas durante o processo de extrusão, além de cuidados iniciais com as matérias-primas que devem ser moídas em tamanho de partícula pequenas, de modo a possibilitar adequado cozimento, expansão, formação de textura e impedir que o proprietário possa identificar visualmente os constituintes que o compõem no extrusado.

A redução de partículas e a implementação de energia mecânica durante a extrusão consomem grandes quantidades de energia elétrica. Esse consumo elétrico pode ser acompanhado pela quantidade consumida de quilowatts por hora (kWh). No ramo de alimentos, de acordo com Moscicki (2011b), o consumo elétrico é geralmente expresso em kWh por tonelada de alimento produzido (kWh/t). A energia térmica na extrusão é oriunda do vapor d'água e pode ter várias origens, à depender do sistema empregado, podendo ser produzido à partir da eletricidade, queima de gás, óleo diesel, lenha e outros materiais orgânicos combustíveis. No entanto, a energia mecânica oriunda do consumo elétrico ainda é um fator de alto custo em comparação a geração de vapor, para a produção de alimentos extrusados, necessitando ser controlada, considerada e otimizada durante o processamento (COUTO, 2008).

Toda esta implementação de energia, nas formas mecânica e térmica, induz mudanças na composição química e na estrutura física dos ingredientes (MOSCICKI; WÓJTOWICZ, 2011), alterando sua digestibilidade, valor energético, forma de apreensão e palatabilidade (GRIFFIN, 2003). Infelizmente, muito pouca informação científica sobre as implicações nutricionais e à palatabilidade do alimento

resultantes de diferentes características do processo de extrusão está disponível para cães e gatos. Não se conhece, ainda, as melhores condições de processamento para se otimizar a digestibilidade, retenção de nutrientes (ou minimizar sua perda), saúde do intestino e as respostas metabólicas pós-prandiais. Devido a isso, praticamente todas as decisões de processamento de rações *pet* são ainda orientadas por alvos comerciais, relativos à aparência e densidade do produto. Implicações do processamento à saúde do animal e mesmo aos custos de produção não são considerados de modo consistente.

Será então, que estamos produzindo "rosquinhas" excessivamente processadas para cães e gatos? Ingredientes finamente moídos e extrusados com elevada aplicação de energia resultam em produto muito bem expandido, de boa aparência e provavelmente elevada digestibilidade dos nutrientes, mas este conceito de produção não leva em conta outros aspectos importantes para a saúde do animal, como o impacto à composição microbiana do intestino, respostas pós-prandiais, resposta metabólicas ao alimento, perda de nutrientes durante o processo, etc. Não considera, também, a melhor característica estrutural do extrusado para que o animal mastigue e tenha saúde dentária. Por fim, Mottaz; Bruyas (2001) relatam que sem conhecimento e controle das aplicações de energia térmica e mecânica, não há como estabelecer corretamente os parâmetros de processo, sem conseguir equilibrar custos e qualidade nutricional do alimento.

Dentro deste contexto, a presente Tese de Doutorado teve como objetivo geral avaliar as implicações nutricionais, macroestrutura e microestrutura dos extrusados de diferentes implementações de energia mecânica e energia térmica, bem como avaliar os efeitos da granulometria do sorgo na extrusão de alimentos para cães.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Princípios da extrusão de alimentos

Para a adequada extrusão de alimentos para *pets*, cuidados especiais com mistura homogênea das matérias primas e redução suficiente do tamanho de suas partículas são fundamentais para que o processo seja constante e uniforme (MOSCICKI, 2011b). Diversos autores relatam (GUY, 2001; RIAZ, 2003; MOSCICKI; VAN ZUILICHEM, 2011), que a mistura segue sequência lógica no processo de extrusão, e acompanha os diferentes equipamentos (Figura 1) e respectivas transformações induzidos pelo sistema de extrusão nas matérias primas. A mistura primeiramente é transportada para o pré-condicionador da extrusora, onde recebe líquidos e vapor, responsáveis por aumentar a umidade (que pode variar de 15 a 35%) e a temperatura (que pode variar de 64 a 99 °C) dos ingredientes. No pré-condicionador inicia-se o processo de gelatinização do amido e é preparada a massa para ser extrusada. Após, o material é conduzido para o canhão da extrusora, onde a massa pode alcançar temperaturas e pressões acima de 130°C e 40bars, respectivamente. Esta parte do equipamento é composta por um cilindro com rosca interna, que pode ser simples ou dupla. Para alimentos *pets*, a maioria das fábricas adotam extrusoras de rosca simples (MOSCICKI; VAN ZUILICHEM, 2011). A rosca é firmemente montada sobre um eixo que promove sua circunvolução, internamente e em contato com camisas cuja configuração geométrica pode aumentar ou diminuir o atrito da massa com esses componentes internos. O movimento da rosca comprime a massa contra uma matriz, fazendo com que esta seja pressurizada, aquecida e derretida, adquirindo consistência semilíquida. No final da extrusora o material derretido passa através dos orifícios da matriz. Ao ganhar a atmosfera a água se vaporiza e expande a estrutura plástica criada pelo amido e proteínas funcionais fundidos que retêm parcialmente o vapor de água promovendo a expansão e formação da estrutura celular dos extrusados.

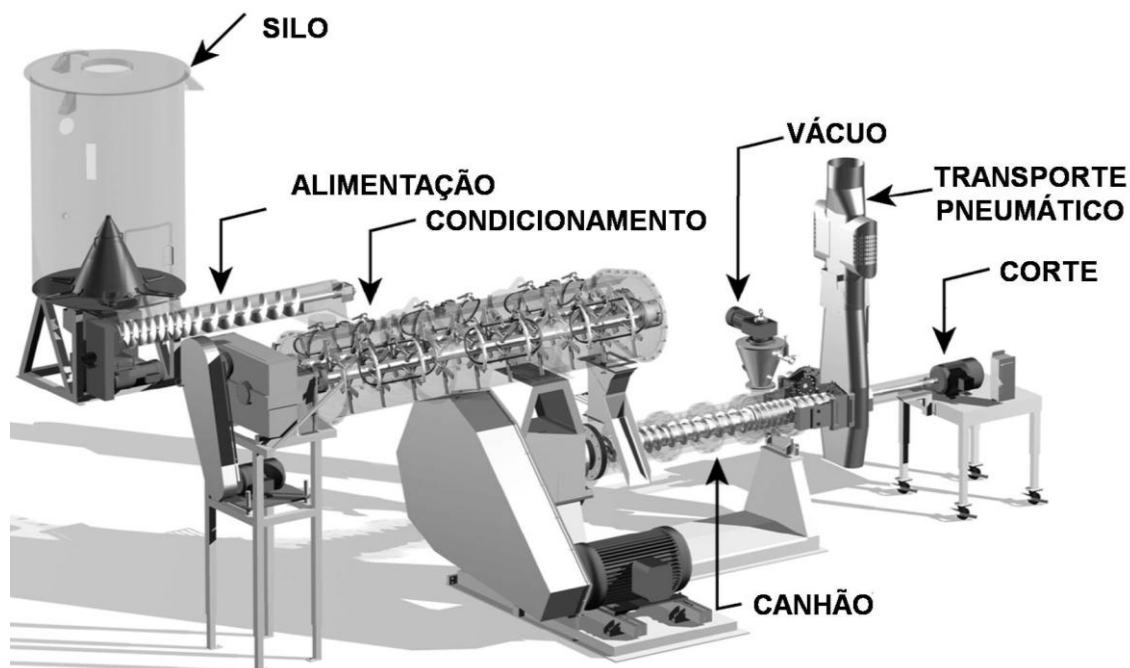


Figura 1. Diferentes equipamentos que compõe um aparelho extrusor.

O processo de extrusão, induz diferentes modificações físicas e químicas nos ingredientes (GRIFFIN, 2003). Estas mudanças estão diretamente ligadas e dependem da energia total transferida para a massa. Segundo Guy (2001), a energia total do sistema de extrusão é composta pela Energia Mecânica Específica (EME) e pela Energia Térmica Específica (ETE). A ETE é implementada por injeção direta de vapor. Isto ocorre principalmente no pré-condicionador, mas também o vapor pode ser injetado na massa, no interior do canhão extrusor. A EME é implementada pela revolução da rosca da extrusora, que transporta e comprime a massa. Esse transporte constante causa o cisalhamento da massa contra a camisa interna e comprime a massa contra a matriz na extremidade do canhão. Este processo cria pressão, fricção e aumento da temperatura. A EME e ETE devem ser calculadas, somente com esses valores e é possível compreender, controlar e replicar o processo de fabricação (RIAZ, 2007).

Segundo Steel et al. (2012), dependendo das matérias-primas e das características desejadas para o produto final, extrusoras podem operar com baixo, médio ou alto cisalhamento mecânico. Desta forma a extrusão de alimentos é classificada em: Extrusão a frio ou convencional, exemplos de baixo cisalhamento, massas e produtos de carne processados; Extrusão termoplástica, exemplos de

médio cisalhamento, análogos de carne, dietas secas e semi-úmidas para animais, exemplos de alto cisalhamento, "snacks", cereais matinais e proteínas vegetais texturizadas. A aplicação de extrusão em alimentos para o homem inclui principalmente o uso de farinhas e féculas que são destinadas para a produção de alimentos extrusados práticos, como os cereais matinais, "snacks" (expandidos ou não, como o caso dos extrusados sofrem fritura para se expandir), alimentos infantis, sopas instantâneas, farinhas para empanamento, doces, macarrões e macarrões instantâneos (ASCHERI et al., 2000; CAPRILES; ARÊAS, 2005). Na produção de macarrão por extrusão convencional, emprega-se extrusão de baixo cisalhamento, com cozimento parcial e molde do alimento (STEEL et al., 2012), sendo esta muito diferente da empregada em "pet food" que utiliza a extrusão termoplástica. A extrusão de cereais matinais já é mais próxima da empregada para cães e gatos, mas muitas diferenças importantes existem entre elas. Por se tratar da extrusão de cereais amiláceos, com baixa proteína e gordura, pouca ou nenhuma ETE é utilizada e a transferência de EME com elevado cisalhamento na rosca extrusora é a principal fonte de energia utilizada. Emprega-se reduzida umidade de processo e o pré-condicionador principalmente homogeneiza ingredientes líquidos e secos preparando-os para a extrusão. Como muito da informação e literatura a respeito de extrusão provem deste tipo de processamento, houve de início maior ênfase à EME em detrimento da ETE no processo.

O cozimento de proteína, no entanto, requer muito mais umidade e energia que o cozimento de amido (MOSCICKI, 2011b). Formulações para cães e gatos necessitam, assim, de importante aplicação de ETE no condicionador, devido ao elevado teor proteico e limitação, em parte, da transferência de EME promovida pelo maior teor de gordura interna. Desta forma, alimentos completos e balanceados para cães e gatos tiveram que ser repensados em relação à implementação de energia, em comparação aos cereais matinais para o homem. Isto fez com que com o tempo o pré-condicionador dos sistemas de extrusão para cães e gatos ganhasse importância, aumentasse de tamanho e capacidade de implementar ETE. Muito deste desenvolvimento nos conceitos de processamento se baseou em aspectos de engenharia e necessidade de cozimento e formatação adequada dos extrusados. No entanto, permanece ainda não elucidado como o cozimento por EME ou ETE

influencia as transformações e digestibilidade dos nutrientes e da energia, a retenção de nutrientes termolábeis, as respostas metabólicas, a palatabilidade e a cinética de consumo das rações. Considerando-se que o sistema de extrusão é um sistema de cozimento contínuo dos ingredientes, mesmo esta informação básica que é o quanto cozer não está estabelecida de forma clara e técnica. É implícito que cozimento abaixo do necessário resulta em baixa digestibilidade e má formação de fezes. É conhecido que cozimento acima do necessário pode resultar em alterações químicas indesejáveis, perda ou menor aproveitamento de determinados nutrientes como vitaminas e aminoácidos e elevação desnecessária do custo de produção (MOSCICKI; WÓJTOWICZ, 2011).

2.2. Modificações nos nutrientes promovidas pela extrusão

O amido é particularmente alterado durante a extrusão. Nos grãos as moléculas de amilose e amilopectina, compostas por cadeias de glicose, organizam-se em estruturas cristalinas altamente ordenadas denominadas grânulos. Esta organização confere a característica de birrefringência, o que é típico de substâncias cristalinas organizadas. Durante a extrusão, na presença de água, calor, cisalhamento e pressão, os grânulos de amido sofrem o fenômeno de gelatinização, quando incham, derretem e perdem a sua estrutura cristalina (ZENG et al., 1997). O amido gelatinizado é solúvel em água e mais susceptíveis à degradação enzimática do que o amido não cozido (DONA et al., 2010). Estudos com rações extrusadas demonstraram que o amido dos cereais, adequadamente processado apresenta digestibilidade superior a 95% para gatos (DE-OLIVEIRA et al., 2008) e superior a 98% para cães (CARCIOFI et al. 2008).

A extensão da gelatinização do amido que ocorre durante o processo de extrusão pode ser expressa em porcentagem, sendo análise muito importante para aferição e monitoramento da eficiência do processo de cozimento da ração. Esta pode ser feita por dois métodos principais, por Calorimetria Diferencial de Varredura (CDV) e pelo método enzimático com emprego de amiloglicosidase (SÁ et al., 2013). A CDV é uma técnica de análise térmica que registra o fluxo de energia calorífica associado a transições nos materiais em função da temperatura. É um método de

variação entálpica (ΔH), a diferença no fornecimento de energia calorífica entre uma substância e um material de referência é medida em função da temperatura, enquanto ambas são submetidas a um mesmo programa de aquecimento ou arrefecimento, rigorosamente controlado (DE PILLI et al., 2008). Estas medidas fornecem dados qualitativos e quantitativos em processos endotérmicos (absorção de energia calorífica) e exotérmicos (libertação de energia calorífica), permitindo se obter informações referentes a alterações de propriedades físicas e/ou químicas como: temperaturas características (fusão, cristalização, transição vítrea), grau de cristalinidade de um polímero, diagrama de fases, entalpias de transição de fase e de reação, estabilidade térmica e oxidativa, grau de pureza e cinética de reações. O método parece ser mais interessante para materiais homogêneos, como quando se processam cereais simples. Para matrizes complexas de composição química, como rações balanceadas para cães e gatos com múltiplos ingredientes o método parece não ser tão eficiente.

O método da amiloglicosidase baseia-se no princípio de que esta enzima atua somente nas cadeias de amilose e amilopectina gelatinizadas, não degradando amido na forma de grânulos cristalinos crus (CHIANG; JOHNSON, 1977; SÁ et al., 2013). Assim, numa amostra composta de ingredientes, como as rações para cães e gatos, determina-se o teor total de amido e sua fração cozida e crua. Por se tratar de método enzimático, admite-se que apresente associação com a digestão enzimática nos animais, sendo representativo do ponto biológico e bastante interessante como medida da extensão e qualidade do processamento (GIBSON; ALAVI, 2013). Infelizmente, no entanto, a gelatinização do amido não é apresentada na maioria dos experimentos com cães e gatos, e nem medida de forma rotineira pela indústria sendo aspecto que ainda requer muito estudo.

Não se conhece quanto é necessário gelatinizar o amido para que cães e gatos digiram adequadamente este nutriente, nem mesmo se a extensão de gelatinização necessária varia entre os diferentes cereais. Além da digestibilidade, a extensão do processamento do amido guarda relação com a resposta pós-prandial induzida de glicose e insulina (JENKINS et al., 1981), aspectos que também poderiam ser explorados para animais de companhia.

Durante o resfriamento e armazenamento do amido gelatinizado pode ocorrer o fenômeno de retrogradação, resultado da recristalização da amilose e amilopectina em estruturas organizadas cristalinas (ENGLYST; HUDSON, 1996), que podem resistir à atividade hidrolítica da amilase, passando inalterada pelo intestino delgado (BROWN, 2004), sendo denominado amido resistente tipo IV. O termo amido resistente ainda alberga outras formas de amido não digeríveis: tipo I quando o amido do grão está fisicamente protegido contra a digestão por estar parcialmente moído; tipo II quando o grânulo de amido está intacto, não gelatinizado, como na batata crua; tipo III quando o amido está quimicamente modificado (ENGLYST; HUDSON, 1996; KLEESSEN et al., 1997).

A gelatinização do amido não é fenômeno isolado durante o processamento. No interior do canhão extrusor, o amido gelatinizado, principalmente as cadeias de amilose gelatinizadas, podem formar complexos com a gordura que está naturalmente presente nos ingredientes, denominados complexo amido-lipídio. Estes são formados pelo encapsulamento de moléculas de triglicerídeos no interior da cadeia de amilose (GIBSON; ALAVI, 2013). Suas consequências para a alimentação e fisiologia dos animais ainda não foram estudadas. Embora geralmente se admita que sejam completamente digeríveis (SPEARS; FAHEY, 2004), seu comportamento no intestino, digestibilidade e influência no metabolismo de glicose não foram investigados para cães e gatos.

Para os lipídios, além da formação de complexos amido-lipídio, modificações químicas induzidas durante a extrusão facilitam a ocorrência das reações de oxidação, favorecendo o desenvolvimento de odor rançoso e perda de ácidos graxos essenciais e vitaminas lipossolúveis durante o armazenamento. A complexação de lipídios com carboidratos também altera a textura do extrusado e limita em muito sua expansão, promovendo formação de extrusados duros e densos (LLO et al., 2000; LALUSH et al., 2005). A extrusão interfere, ainda, na recuperação de gordura durante a análise química do produto final, tornando necessário um passo prévio de hidrólise ácida da amostra com ácido clorídrico antes da extração por éter. Esta hidrólise rompe os complexos amido-lipídio possibilitando a quantificação completa da gordura (AOAC, 2002). Estas interações entre lipídeo e amidos também afetam o comportamento e as propriedades de gelatinização e retrogradação dos amidos,

sendo a formação destes complexos afetada pelos tipos de lipídeo e de amido presentes no alimento, assim como pelas condições em que os mesmos são processados (SOUZA, 2013).

Ao longo do processo de extrusão, a força de cisalhamento, pressão e temperatura elevadas modificam profundamente as proteínas (CAMIRE, 1991). Os efeitos da extrusão sobre os componentes protéicos podem ser benéficos ou prejudiciais para as características físicas e nutricionais da mistura alimentar, à depender de sua intensidade. Ela pode inativar fatores antinutricionais à base de proteínas, destruindo a integridade de sua estrutura e, consequentemente, evitando sua ação antinutricional (VAN DER POEL et al., 1990; ALONSO et al., 2000; SOUZA, 2013). A desnaturação das proteínas pode torná-las mais suscetíveis a enzimas digestivas e, portanto, melhorar a sua digestibilidade (HENDRIKS; SRITHARAN, 2002). As enzimas presentes nos ingredientes podem causar efeitos deteriorantes durante a sua armazenagem, sua inativação pela extrusão contribui para estabilizar o armazenamento e aumentar a vida de prateleira de alimentos secos para animais (CHEFTEL, 1986; GUY, 2001).

Os efeitos indesejáveis do tratamento termomecânico incluem a destruição de aminoácidos, a perda de aminoácidos, as ligações inter e extrapeptídicas e uma série de reações químicas, tais como as de Maillard, de reticulação proteína-proteína e formação de complexos proteína-lipídeo e proteína-carboidrato (BJÖRCK; ASP, 1983). As reações de Maillard são responsáveis por formação de cor e sabor no material durante a fase de cozimento. Desta forma pode aumentar a palatabilidade mas pode limitar a disponibilidade de alguns aminoácidos (CAMIRE, 1991). Estas reações podem danificar estas estruturas com perda de seu valor nutricional. A umidade, temperatura e tempo de extrusão parecem ser os parâmetros mais importantes para a reação de Maillard, a taxa desta reação aumenta com a redução da umidade, aumento da temperatura e tempo de processo. Segundo Cheftel (1986), a temperatura do produto deve ser mantida abaixo de 180°C, para minimizar as perdas nos alimentos para animais.

2.3. Efeitos do tamanho de partículas da matéria prima sobre a qualidade do alimento

A eficiência do processo de extrusão dos alimentos está diretamente relacionada à eficiência na moagem dos ingredientes. Dados antigos indicam que a indústria de alimentos para cães empregava, em geral, moagem dos ingredientes em moinhos de martelos com telas de 1,6mm (ROKEY; HUBER, 1994). Acredita-se que, no Brasil, as empresas utilizem peneiras de 1,0 a 1,2mm de abertura dos furos, porém nada foi publicado a esse respeito. A redução da granulometria é utilizada principalmente para melhorar a apresentação visual do produto, sem se ater aos aspectos nutricionais e à eficiência e custo de processamento.

A redução do tamanho das partículas tem como principais funções no processo proporcionar mistura homogênea dos ingredientes e facilitar sua extrusão (FRALHA, 2005). O principal método de redução do tamanho das partículas é a moagem com moinhos de martelo (COWELL et al., 2000). Segundo Bellaver e Nones (2000), a moagem e a mistura dos ingredientes são o “coração” de uma fábrica de ração e a consistência desses processos produz forte impacto na qualidade final dos produtos.

O moinho de martelos consiste basicamente em um conjunto de facas rombas, denominados de martelos. Esses martelos possuem alguns milímetros de espessura. São perfilados paralelamente uns aos outros e fixos a um eixo com capacidade de girar a alta rotação. Ao redor desse sistema é fixada uma peneira. O diâmetro dos furos das peneiras varia, dependendo da característica final desejada para o produto. A peneira faz a seleção do tamanho de partículas, permitindo passar as que já estão pequenas o suficiente (menores que seu diâmetro) e retraindo as partículas grandes na câmara de moagem até que seu tamanho seja reduzido o suficiente para que passem adiante (ALLES, 2003).

Os ingredientes que serão moídos entram na câmara de moagem por ação da gravidade e fluxo positivo de ar aspirado, encontrando os martelos que estão em alta rotação. Esse contato irá reduzir o material, dependendo da

característica do ingrediente utilizado. Isso ocorre devido ao grande diferencial de velocidade entre os martelos e o material que entra. Além disso, o material será propelido contra a placa de impacto, promovendo seu rompimento. Após essa primeira ação, as partículas que restam igualam sua velocidade à dos martelos. O atrito gerado entre os ingredientes e os martelos e placa de impacto irá proporcionar a redução do tamanho das partículas. Uma vez reduzidas, as partículas irão passar pelos forames da peneira, impulsionadas pelo ar em movimento que é sugado e retirado de dentro da câmara de moagem (OWENS; HEIMANN, 1994).

Diferentes estudos foram conduzidos sobre a influência do tamanho das partículas da matéria-prima sobre a qualidade de cereais matinais e "snacks" extrusados para o homem, e todos concordaram que redução do tamanho de partículas corresponde a aumento da gelatinização do amido, expansão do extrusado e aumento de sua capacidade de absorção de água. Por exemplo Chauhan e Bains (1985), verificaram que a diminuição da granulometria da matéria prima de 0,542 milímetros para 0,175 milímetros melhorou a gelatinização do amido, expansão do extrusado, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água de "snacks" à base de arroz. Desrumaux et al. (1998) avaliaram grãos de milho de diferentes tamanhos de partículas (de 0,1 a 0,6 mm), demonstrando que quando há aumento do tamanho de partícula da matéria-prima o extrusado adquire textura mais dura e reduzido coeficiente de expansão longitudinal. Estudando a granulometria da fibra em extrusados compostos por mistura de farinha de milho e fibra de beterraba com diferentes tamanhos (de 2 a 0,074 mm), Lue et al. (1991) concluíram que com a diminuição do tamanho do material fibroso há maior expansão radial e menor expansão longitudinal do extrusado, sem diferenças em relação às frações de fibra solúvel, insolúvel e total. No estudo de Fohse (2011) foram comparados diferentes tamanhos de partículas da ervilha (de 0,407 a 0,288mm), os extrusados com partículas menores tiveram menor quantidade de amido resistente e digestão *in vitro* mais rápida do amido. Em um estudo com "pet food", diferentes tamanhos de partículas de milho entre 1,5 mm e 0,75 milímetros foram avaliadas por Mathew et al. (1999), que verificaram que quanto menores são as partículas, maior será a expansão e o índice de absorção de água dos extrudados. A redução de

partículas, no entanto, consome grande quantidade de energia. Pozza et al. (2005) mensuraram a energia gasta em 10 granjas de suínos, produtoras de ração e observaram que os gastos variaram entre 6 e 20 kWh/t de ração, ilustrando a necessidade de se aperfeiçoar a moagem de forma a maximizar o aproveitamento do alimento e racionalizar o uso da energia. O tamanho final desejado para as partículas tem enorme impacto no custo, Healy et al. (1994) demonstraram que a energia elétrica gasta para a moagem do grão de milho a 900 μ m foi de 5,3 kWh/t, com produção de 1,76 t/h. Com a redução do tamanho de partículas para 300 μ m ocorreu aumento no consumo de energia elétrica para 24,5 kWh/t e redução na produção de ração para 0,65 t/h. O ingrediente utilizado tem também influência direta na produtividade e consumo de energia dos moinhos de martelo. Healy et al. (1994) observaram que a energia consumida para a moagem do grão de milho a 500 μ m foi superior à energia gasta para a moagem do sorgo na mesma granulometria. Enquanto para moer uma tonelada de milho foram gastos 15,7 kWh, para moer o sorgo foram gastos apenas 3,8 kWh. A mesma relação foi encontrada para a produtividade dos moinhos, em uma hora, foram moídas 0,63 toneladas de milho mas 2,37 toneladas de sorgo.

Infelizmente, estes dados não estão disponíveis para formulações para cães e gatos. Não foram localizados dados à respeito do consumo de energia elétrica na moagem em função da formulação, inclusão de proteína de origem animal ou vegetal, teor de gordura, fibra, tipo de cereal e tamanho geométrico final desejado. Mesmo a influência do tamanho de partículas na eficiência de extrusão e macroestrutura dos extrusados não estão disponíveis no momento.

2.4. Efeitos do processamento sobre a digestibilidade dos nutrientes

Em um dos poucos estudos sobre o tamanho de partículas de matérias-primas para rações extrusadas para cães, a pesquisa de Bazolli (2007) avaliou arroz, milho e sorgo moídos entre 0,277 milímetros e 0,619 milímetros de diâmetro geométrico médio, que foram posteriormente incorporados em dietas completas que foram extrusadas. O aumento da granulometria da matéria-prima resultou em

reduções na gelatinização do amido de todas as dietas. A relação entre tamanho de partícula e cozimento pôde ser explicada por: Gelatinização do amido = $106.32 - [0.0699 * \text{tamanho geométrico médio do cereal}]$ ($r^2=0.85$; $P < 0.001$). A gelatinização foi dependente apenas do tamanho das partículas de cereal, não diferindo entre os 3 grãos estudados. A digestibilidade dos nutrientes, entretanto, mudou de acordo com o ingrediente: em dietas à base de quirera de arroz, não se alterou a digestibilidade dos nutrientes em função do grau de gelatinização ou do tamanho geométrico do cereal, enquanto dietas à base de milho apresentaram aumento quadrático na digestibilidade e as à base de sorgo aumento linear na digestibilidade dos nutrientes com a redução da granulometria e aumento do cozimento dos cereais. Rações para cães adultos à base de milho foram estudadas por Hilcko et al. (2009), estes moeram a mistura completa de ingredientes em peneiras de 0,8, 1,0, 1,2, e 1,5 milímetros e verificaram redução quadrática da digestibilidade de gordura e do extrativo não nitrogenado, com o aumento no tamanho das partículas.

O estudo de Roberti-Filho, (2013) avaliou dietas para cães à base de milho e farinha de vísceras de frango, utilizando para isto arranjo fatorial de tratamentos com 4 diferentes moagens (peneiras de 0,5 milímetros, 0,8 milímetros, 1,4 milímetros e 2,0 milímetros em um moinho de martelos) e duas configurações de extrusão (área aberta da matriz de $63,9\text{mm}^2$ e $23,7\text{mm}^2$). Foi verificado que a configuração da extrusora afetou a gelatinização do amido, mas não alterou a digestibilidade dos nutrientes. Por outro lado, a digestibilidade dos nutrientes reduziu linearmente quando o tamanho da partículas da dieta aumentou. A redução da digestibilidade verificada foi atribuída à redução na gelatinização do amido (redução de 86% para 69% de gelatinização) e à indisponibilidade dos grânulos inteiros, grosseiramente moídos com o aumento do tamanho de partículas. Nestas condições existe limitação do contato entre as enzimas e o substratos no trato digestivo, com menor aproveitamento da dieta (AMERAH et al., 2008).

Outro aspecto relativo ao tamanho de partículas da matéria-prima é o consumo de energia para a extrusão do alimento. No experimento de Roberti-Filho (2013), a implementação de EME diminuiu linearmente com o aumento no tamanho de partículas de milho. Isto pode ser explicado pela redução da viscosidade consequente à menor gelatinização do milho grosseiramente moído, reduzindo a

resistência da massa ao fluxo no interior da extrusora. Esta limitação de aplicação de energia pode parecer vantajosa, por reduzir os custos de produção, mas na realidade representa a ocorrência de processamento inadequado, as partículas grosseiramente moídas não hidratam e seu amido permanece cru e com digestibilidade limitada.

2.5. Efeitos do processamento sobre parâmetros de saúde do intestino

Os cães e os gatos têm população microbiana no intestino capaz de fermentar os hidratos de carbono, esses organismos completam a digestão de componentes alimentares que escaparam da digestão enzimática e absorção (MURRAY et al., 2001). Os hidratos de carbono que alcançam o cólon são fermentadas por comunidade complexa e densa de microorganismos, que produzem ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR), amônia, lactato e muitos outros compostos. Este processo de fermentação e formação de AGCC é essencial para manter o estado de eubiose e saúde do intestino, com influência direta sobre: digestão dos nutrientes; síntese de vitaminas; estimulação do sistema imunitário; proteção/reforço da mucosa como barreira contra invasão de microrganismos e absorção de toxinas, e efeitos antagonistas contra microrganismos patogênico (WENK, 2006).

Apenas dois estudos para cães foram localizados sobre os efeitos do processamento dos alimentos em parâmetros de fermentação intestinal. Bazolli (2007), avaliando quirera de arroz, milho e sorgo moído entre 0,277 e 0,619 mm não encontrou efeito do tamanho da partícula de quirera de arroz sobre os parâmetros avaliados, mas os cães alimentados com dietas à base de milho e sorgo mostraram redução do pH das fezes e aumento da concentração fecal de butirato e propionato com granulometrias maiores desses dois grãos. Roberti-Filho (2013) verificaram com o aumento da granulometria do milho diminuição da amônia e pH das fezes, com aumento linear do ácido propiônico e quadrático do butirato das fezes. Além disso, os autores verificaram aumento linear na concentração de *bifidobacterium* das fezes após o consumo de dietas extrusadas feitas com milho na moagem mais grossa. Todos estes parâmetros juntos, em ambos os estudos sinalizam melhor atividade

fermentativa e microbiota no intestino grosso dos cães (NRC, 2006). Os AGCC, especialmente o butirato, melhoram a saúde da mucosa e integridade intestinal, por estimular a proliferação, maturação e diferenciação de colonócitos nas criptas, facilitando as funções secretoras e absortivos normais do cólon. Eles também estimulam a síntese de proteínas e produção de mucina, assegurando a integridade e a eficácia da barreira física (TOPPING; CLIFTON, 2001).

2.6. Efeitos do processamento sobre a palatabilidade dos alimentos

As condições de processamento, incluindo umidade no canhão da extrusora, tempo de residência no pré-condicionador e rosca da extrusora, transferência de EME e ETE, velocidade de rotação e configuração da rosca, relação entre a área aberta da matriz e produção horária, temperatura da camisa e da matriz, tipo e velocidade das facas, dentre vários outros parâmetros irão determinar as características macroestruturais do extrusado (RIAZ, 2007). Estes parâmetros, juntamente com a composição química e tipo de ingredientes do alimento irão determinar expansão do produto, se esta será radial ou longitudinal, a densidade específica e a densidade aparente da ração, sua estrutura celular, dureza e crocância (TRIVEDI; BENNING, 2003). No conjunto, estas características mais a forma e tamanho das partículas são fundamentais para a apreensão dos alimentos, mastigação e palatabilidade.

Infelizmente, quase não existem estudos publicados sobre macroestrutura e características do processamento por extrusão e sua influência sobre a apreensão e palatabilidade de alimentos para cães e gatos. Trivedi e Benning (2003) sugerem para gatos preferência por alimentos processados com elevada EME. No entanto, não apresentam dados de ETE e nem o grau de gelatinização do amido, de modo que as características do processo estão incompletamente apresentadas. Assim, este é ponto importante ainda por ser explorado pelo fabricante, que pode tirar vantagem de parâmetros adequados de extrusão, criando sabor e texturas desejadas que favoreçam a preferência e palatabilidade de seu alimento.

3. REFERÊNCIAS¹

ALLES, G. Particle reduction technology. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois: Mt. Morris, 2003, p. 327-335.

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 digesta parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. **Poultry Science**, Cary, v.87, 2008. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.3382/ps.2008-00149>>.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in fava and kidney beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 2, p. 159-165, 2000.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; MATSUURA, F. C. A. U. Elaboração de pellets de farinha de raspa de mandioca por extrusão termoplástica (escala piloto e industrial). **Alimentaria**, Madri, v.37, n.309, p.101-106, 2000.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists, 2002. **Official Methods of Analysis**, 18th ed. AOAC, Washington, DC, USA.

BAZOLLI, R. S. **Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães**. 2007. 71f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

BELLAVER, C.; NONES, K. A Importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 4, 2000, Goiânia. **Anais...**, 2000, p. 59-78.

BJÖRCK, I.; ASP, N.G. The effects of extrusion cooking on nutritional value. **Journal of Food Engineering**, London, v.2, 281-308, 1983.

BROWN, I. L. Application and uses of resistant starch. **Journal of Association of Official Analytical Chemists International**, Rockville, v.87, p.727-732, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15287672>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

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

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos trans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.2, p.363-369, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v25n2/25039.pdf>> Acesso em: 23 fev. 2015.

¹ - Elaborada de acordo com normas da NBR – 6023 – ago/2002.

CARCIOFI, A. C.; TAKAKURA, F. S.; DE-OLIVEIRA, L. D.; TESHIMA, E.; JEREMIAS, J. T.; BRUNETTO, M. A.; PRADA, F. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. **Journal Animal Physiology Animal Nutrition**, Berlin, v.92, p.326–336, 2008. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00794.x>>

CHAUHAN, G. S.; BAINS, G. S. Effect of granularity on the characteristics of extruded rice snacks. **Food Technology**, Chicago, v.20, p.305-309, 1985. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb00380.x>>

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.20, 263-283, 1986.

CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and O-toluidine reagent. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.54, p.429-435, 1977.

COUTO, H. P. **Fabricação de rações e Suplementos para Animais - Gerenciamento e Tecnologias**. Viçosa:CPT, 2008. 226p.

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

DE-OLIVEIRA, L. D.; CARCIOFI, A. C.; OLIVEIRA, M. C.; VASCONCELLOS, R. S.; BAZOLLI, R. S.; PEREIRA, G. T.; PRADA, F. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.86, p.2237-2246, 2008. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18469063>. Acesso em: 24 jan. 2015. <<https://dx.doi.org/10.2527/jas.2007-0354>>

DE PILLI, T.; JOUPPIA, K.; IKONEN, J.; KANSIKAS, J.; DEROSI, A.; SEVERINI, C., Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour. **Journal of Food Engineering**, London, v.87, 495–504. 2008.

DESRUMAUX, A.; BOUVIER, J. M.; BURRI, J. Corn grits particle size and distribution effects on the characteristics of expanded extrudates. **Journal of Food Science**, Hoboken, v.63, p.857-863, 1998. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1998.tb17914.x/pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

DONA, A. C.; PAGES, G.; GILBERT, R. G.; KUCHEL, P. W. Digestion of starch: *In vivo* and *In vitro* kinetic models used to characterize oligosaccharide or glucose release. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v.83, p.1775-1786, 2010. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710000111>>. Acesso em: 02 jan. 2015. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.002>>

ENGLYST, H. N.; HUDSON, G. J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.57, n.1, p.15-21, 1996. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308814696000568>> Acesso em: 9 jan. 2014.

FOUHSE, J. **Effect of particle size and extrusion processing parameters on *in vitro* starch fractions, *in vivo* starch starch digestibility and glycemic index of field pea in dogs**. Saskatchewan, Canada. 2011. Dissertation (Master degree in Animal Science). University of Saskatchewan, 2011. Available in: <<http://ecommons.usask.ca/handle/10388/ETD-2011-08-83>>. Acesso em: 06 jan 2014.

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.

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

GRIFFIN, R. W. Palatability testing: Parameters and analyses that influence test conclusions. In: KVAMME, J.L.; PHILLIPS, T.D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris, 2003, p.187-193.

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

HEALY, B. J.; HANCOCK, J. D.; KENNEDY, G. A.; Bramel-Cox, P. J.; Behnke, K. C.; Hines, R. H. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, p. 2227-2236, 1994.

HENDRIKS, W. H.; SRITHARAN, K. Apparent ileal and fecal digestibility of dietary protein is different in dogs. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v.132, p.1692S-1694S, 2002.

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.

JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLO, R. H.; BARKER, H.; FILDEN, H., BALDIN, J. M.; BOWLIN, A. C.; NEWMAN, H. C.; JENKINS, A. L.; GOFF, D. V. Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. **The American Journal Clinical Nutrition**, Bethesda, v.34, p.362-366, 1981. Disponível em: <<http://ajcn.nutrition.org/content/34/3/362.full.pdf+html>>. Acesso em: 3 jan. 2014.

KLEESSEN, B.; STOOF, G.; PROLL, J.; SCHMIEDL, D.; NOACK, J.; BLAUT, M. Feeding resistant starch affects fecal and cecal microflora and short-chain fatty acids in rats. **Journal of Animal Science**, Champaign , v.75, p. 2453-2462, 1997.

Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/75/9/2453.full.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

LALUSH, I.; BAR, H.; ZAKARIA, I.; EICHLER, S.; SHIMONI, E. Utilization of amylose-lipid complexes as molecular nanocapsules for conjugated linoleic acid. **Biomacromolecules**, Washington, v. 6, p.121–130, 2005.

LLO, S.; SCHOENLECHNER, R.; BERGHOFER, E. Role of lipids in the extrusion cooking processes. **Grasas y Aceites**, Madrid, v. 51, n. 1/2, p. 97-110, 2000.

LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content, **Cereal Chemistry**, v.68, p. 227-234, 1991.

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**, St. Paul, v.76, p.625-628, 1999. Disponível em: <<http://cerealchemistry.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CCHEM.1999.76.5.625?journalCode=cchem>>. Acesso em: 04 jan. 2015.

MOSCICKI, L. **Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability**. Weinheim: WileyVCH, 2011a, p.234.

MOSCICKI, L. Pet Food and Aquafeed. In: MOSCICKI, L. **Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability**. Weinheim: WileyVCH, 2011b, p.139-149.

MOSCICKI L.; VAN ZUILICHEM D.J. Extrusion-Cooking and Related Technique In: MOSCICKI, L. **Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability**. Weinheim: WileyVCH, 2011, p.1-24.

MOSCICKI, L., WÓJTOWICZ, A. Raw materials in the production of extrudates. In: MOSCICKI, L. **Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability**. Weinheim: WileyVCH, 2011, p. 45-63.

MOTTAZ, J.; BRUYAS, L. Optimised thermal performance in extrusion. In: GUY, R. **Extrusion Cooking: Technologies and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2001, p. 51-82.

MURRAY, S. M.; FLICKINGER, E. A.; PATIL, A. R. *In vitro* fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chyme from dogs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.79, p.435-444, 2001.

NRC. National Research Council. **Nutrient requirements of dogs and cats**. Washington, DC: The National Academy, 2006. 398p.

OWENS, J. M.; HEIMANN, M. Material processing cost center In: McELLINEY, R. R. **Feed Manufacturing Technology IV**. Arlington:VA, 1994, p. 81-92.

POZZA, P. C.; POZZA, M. S. S.; RICHART, S.; OLIVEIRA, F. G.; GASPAROTTO, E. S. SCHLICKMANN, F. Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, pp. 235-238, 2005.

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

RIAZ, M. N. Extrusion basics. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris, 2003, p.347-360.

ROBERTI-FILHO, F. **Influência da granulometria da matéria-prima e da configuração da extrusora no conteúdo de amido resistente, digestibilidade, fermentação intestinal e respostas metabólicas de cães**. 2013. 54f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

ROKEY, G.; HUBBER, G. Pet foods In: McELLINEY, R. R. **Feed manufacturing technology IV**. Arlington:VA, 1994, p. 479-493.

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**, Berlin, p.51-59, 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpn.12047/epdf>>. Acesso em: 02 jan. 2014. <<http://dx.doi.org/10.1111/jpn.12047>>

SOUZA, D. F. **Soja crua em dietas extrusadas para gatos**. 2013. 67f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

SPEARS, J. K.; FAHEY, G. C. JR. Resistant starch as related to companion animal Nutrition. **Journal of AOAC International**, Gaithersburg, v.87, p.787-791, 2004. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/aoac/jaoac/2004/00000087/00000003/art00030?crawler=true>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

STEEL, C. J.; VERNAZA LEORO, M. G.; SCHMIELE, M., FERREIRA, R. E.; CHANG, Y. K. Thermoplastic extrusion in food processing. In: El-Sonbati, A. Z., **Thermoplastic elastomers**. InTech., 2012, p. 265-290.

TOPPING, D. L.; CLIFTON, P. M. Short-Chain Fatty Acids and Human Colonic Function: Roles of Resistant Starch and Nonstarch Polysaccharides. **Physiological Reviews**, Bethesda, v.81, p.1031-1064, 2001. Disponível em:

<<http://physrev.physiology.org/content/81/3/1031.full.pdf+html>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

TRIVEDI, N.; BENNING, J. Palatability Keys. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. **Petfood technology**. Illinois Mt Morris, p. 178-179, 2003.

VAN DER POEL, A. F. B.; LIENER, I. E.; MOLLEE, P. W.; HUISMAN, J. Variations among species of animals in response to the feeding of heat-processed beans (*Phaseolus vulgaris* L.). 2. Growth and organ weights of chickens and rats and digestibility for rats. **Livestock Production Science**, Amsterdam v.25, pp. 137-150, 1990.

WENK, C. **Prebiotics in companion animals**. In *Recent Advances in Pet Nutrition*. Nottingham: University Press. 2006, p.45-55.

ZENG, M.; MORRIS, C. F.; BATEY, I. L.; WRIGLEY, C. W. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.74, p.63-71, 1997. Disponível em: <<http://cerealchemistry.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CCHEM.1997.74.1.63>>. Acesso em: 01 jan. 2015.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO ENTRE ENERGIA TÉRMICA E MECÂNICA NA EXTRUSÃO DE ALIMENTOS PARA CÃES E GATOS

Running head Extrusion of dog and cat diets.

Thermal and mechanical energy ratio on extrusion of dog and cat diets ¹

F. C. Sá^{ab}, G. Rokey^b, E. M. Souza^b, A. C. Carciofi^{a,*}

^a São Paulo State University – UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Jaboticabal, SP 14.884-900, Brazil.

^b Wenger Technical Center, Sabetha, KS, USA.

Presented orally at the 18th Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, Utrecht, The Netherlands, 11-13 September 2014

* *Abbreviations:* AAFCO, American Association of Feed Control Officials; AGCC, ácidos graxos de cadeia curta; AGCR, ácidos graxos de cadeia ramificada; CDA, coeficiente de digestibilidade aparente; EET, energia específica total; EME, energia mecânica específica; ETE, energia térmica específica; OMIU, O-metilisourea NRC, National Research Council; SAS, Statistical Analysis Systems..

* Corresponding author. Tel.: +55 16 3209-2631; fax: +55 16 3203-1226.

E-mail address: aulus.carciofi@gmail.com (A.C. Carciofi).

¹ **Escrito de acordo com as normas da revista Animal Feed Science and Technology**

Relação entre energia térmica e mecânica na extrusão de alimentos para cães e gatos

Resumo

A eficiência do processo de extrusão está diretamente relacionada à energia total transferida para a massa de ração. Extrusoras de rosca simples usualmente implementam ao redor de 20kWh/ton de energia mecânica específica (EME), mas menos se conhece à respeito da implementação de energia térmica específica (ETE) e das implicações da relação entre ETE:EME no processamento de alimentos para cães e gatos. O presente estudo avaliou os efeitos da implementação de três relações entre ETE:EME sobre a macroestrutura dos estrusados, gelatinização do amido, perda de nutrientes, digestibilidade dos nutrientes e palatabilidade de alimentos para cães e gatos. Para cada espécie, o experimento incluiu uma formulação processada de modo a se obter 3 relações ETE:EME, totalizando 3 dietas por espécie. A digestibilidade dos nutrientes foi estudada com 18 cães ou 18 gatos, pelo método de coleta total de fezes. A palatabilidade das dietas foi comparada pelo método de duas vasilhas, com no mínimo 30 animais por comparação. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e comparados pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Foi possível a produção de rações com diferentes EME (8, 20 e 30 kWh/t) e relações ETE:EME, mas com energia específica total próximas. Estas apresentaram mesma densidade aparente, gelatinização do amido e teor de amido resistente. Fornecidas aos animais, tiveram digestibilidade dos nutrientes e da energia semelhantes, resultaram em produção e características das fezes semelhantes e também não alteram a concentração de produtos da fermentação nas fezes. Houve, no entanto, maior complexação de gordura à medida que se aplicou mais EME nos produtos ($P<0,05$). Cães e gatos apresentaram menor consumo da ração com 30 kWh/t, em comparação às demais ($P<0,05$). Cães preferiram ainda a ração com 20 em detrimento da com 8 kWh/t ($P<0,05$), enquanto para gatos estas últimas tiveram consumo semelhante. Após a extrusão houve aumento do teor de alguns aminoácidos e redução média de 55% de seu teor de selênio ($P<0,05$). Concluiu-se que diferentes relações entre EME e ETE podem ser aplicadas na produção de rações para cães e gatos, havendo suficiente transferência de energia específica total e cozimento do amido, a digestibilidade dos

nutrientes e produtos de fermentação nas fezes não se alteram. Aminoácidos são compostos químicos estáveis ao processos de extrusão, enquanto importante volatilização de selenito de sódio pode ocorrer. A aplicação de ETE e EME influi marcadamente na palatabilidade dos alimentos para cães e gatos, aspecto que merece maiores estudos.

Palavras-chave: aminoácidos, butirato, digestibilidade, palatabilidade, selênio, gelatinização.

Thermal and mechanical energy ratio on extrusion of dog and cat diets

Abstract

The efficiency of the extrusion process is directly related to the total energy transferred to the dough feed. Single screw extruders usually implement around 20kWh / ton of specific mechanical energy (SME), but less is known about the implementation of the specific thermal energy (STE) and the implications of the relationship between STE/SME processing of dog food and cats. This study evaluated the effects of the implementation of three relations between STE/SME on the macrostructure of estrusados, gelatinization, loss of nutrients, nutrient digestibility and palatability of food for dogs and cats. For each species, the experiment included a formulation processed in order to obtain three relations STE/SME totaling three diets for species. Nutrient digestibility was studied in 18 dogs or 18 cats, the total collection of feces. The palatability of the diets was compared for the two vessels method, at least 30 animals by comparison. The data were submitted to ANOVA and Tukey's test ($P < 0.05$). Feed production was possible with different SME (8, 20 and 30 kWh / t) and relations STE/SME, but with total specific energy next. These had the same bulk density, gelatinization of starch and resistant starch. Provided to animals showed digestibility and similar energy production and resulted in similar characteristics of feces and does not alter the concentration of the fermentation product in the feces. There was, however, greater complexation fat as applied SME over the products ($P < 0.05$). Dogs and cats had lower consumption of feed with 30 kWh / t, compared others ($P < 0.05$). Dogs further preferred feed 20 over the 8 kWh / t ($P < 0.05$), while for the latter cats had similar consumption. After extrusion was increasing content of some amino acids and an average reduction of 55% of its selenium content ($P < 0.05$). It was concluded that different relations between SME and STE can be applied in the production of food for dogs and cats, with sufficient transfer of total specific energy and starch cooking, nutrient digestibility and fermentation products in the stool do not change. Amino acids are stable chemical compounds of the extrusion, as an important sodium selenite volatilization can occur. The application of STE and SME markedly influences the palatability of food for dogs and cats, aspect that deserves further study.

Keywords: amino acids, butyrate, digestibility, palatability, selenium, gelatinization

1. Introdução

Alimentos secos para cães e gatos são produzidos pelo processo de extrusão termoplástica (Spears e Fahey, 2004; Moscicki, 2011). Seu uso generalizado deve-se ao fato de promover através de tratamento termomecânico, mudanças físicas e químicas nos ingredientes, aumentando seu valor nutricional e palatabilidade com eficiência e baixo custo relativo (Griffin, 2003 e Tran et al., 2008). Segundo Kvamme e Phillips (2003) estas transformações nas matérias primas originadas do tratamento térmico, são consequentes à implementação de energia térmica específica (ETE) e energia mecânica específica (EME). A adição de ETE ocorre por injeção direta de vapor no pré-condicionador ou rosca extrusora, tem como objetivo aumentar a umidade e temperatura da massa, iniciando o cozimento do amido e com isto favorecendo a hidratação interna dos grânulos, plasticização, sanitização, estabilidade da extrusora e qualidade do produto final (Riaz, 2007). No canhão da extrusora a massa recebe EME, 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 (Riaz, 2001). Toda esta energia e compressão em um fluxo laminar modificam profundamente os amidos e proteínas, permitindo cozimento em poucos segundos e com baixa umidade (Gibson e Alavi, 2013).

Esta elevada aplicação de energia termomecânica induz aumento da digestibilidade dos cereais, melhora da palatabilidade do alimento, modifica seus atributos texturais favorecendo a apreensão e mastigação, inativa fatores antinutricionais, destrói microrganismos, aumenta sua vida de prateleira, amplia as possibilidades de uso de matérias primas e desnatura proteínas com melhora de sua digestibilidade (Kvamme e Phillips, 2003; 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., 1998; Carciofi et. al., 2008). 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 ser buscado com a aplicação necessária ETE e EME, mas não excessiva.

Infelizmente, pouca informação científica sobre as implicações nutricionais e à palatabilidade do alimento resultantes de diferentes aplicações de ETE e EME está disponível para cães e gatos. Não se conhece, ainda, as melhores condições de processamento para se otimizar a digestibilidade e a palatabilidade do alimento, minimizar perda de nutrientes e manter baixos os custos de produção (Plattner, 2007). Extrusoras de rosca simples são as mais largamente empregadas para alimentos para cães e gatos (Riaz, 2001). Apesar de muito variável entre diferentes tipos e marcas de equipamento e mesmo entre as diversas formulações de ingredientes, acredita-se que estas promovam implementação média de aproximadamente 15 a 25kWh/ton de EME para adequado processamento (Strathman, 2007, Moscicki, 2011). Não se localizou informações sobre a implementação de ETE, talvez devido à maior dificuldade técnica para sua mensuração. Sem este valor não se conhece a implementação de energia específica total (EET) e a importância relativa da EME e ETE no processamento de rações para cães e gatos. É possível que menor implementação de EME possa ser compensada com maior ETE, mantendo semelhante a EET. As implicações nutricionais e à macroestrutura dos kibbles de diferentes relações nestes parâmetros, no entanto, necessitariam ser estudadas com vistas a se otimizar as condições de processamento. Desta forma, este estudo avaliou o efeito da aplicação de três proporções de ETE e EME na produção de rações extrusadas para cães e gatos sobre a digestibilidade dos nutrientes e da energia, produtos de fermentação nas fezes, palatabilidade dos alimentos, microestrutura do extrusado e degradação de alguns nutrientes.

2. Materiais e métodos

Os procedimentos experimentais deste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética e Bem-estar animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil, protocolo n° 001751/13.

2.1. Dietas experimentais

Duas dietas experimentais foram formuladas, uma para cães e outra para gatos (Tabela 1), de acordo com as recomendações nutricionais para a manutenção de animais adultos da AAFCO (2012). Durante a formulação, os aminoácidos sintéticos DL-metionina, L-lisina e L-triptofano foram adicionados não com propósito nutricional, mas para verificação de sua estabilidade durante o processo de extrusão das rações. Após mistura dos ingredientes, estes foram moídos em moinho de martelos, equipado com peneiras com orifícios com 1,19 milímetros para cães e 0,8 milímetros de abertura para gatos. Após moagem, as distribuições do tamanho das partículas foram determinadas de acordo com o procedimento descrito por Zanotto e Bellaver (1996), usando conjunto de peneiras de tela de 1,4 mm, 1,2 mm, 1,0 mm, 0,7 mm, 0,5 mm, 0,35 mm, 0,125 mm e o prato. Os valores finais foram calculados com o software GranuCalc (Embrapa-CNPSA, Concórdia, Brasil). Para a extrusão, um único lote de ingredientes e mistura foi utilizado para cães e outro para gatos.

Dentro de cada espécie, cada formulação foi desdobrada em três tratamentos, mediante aplicação de 30, 20 e 8 kWh/t de EME. Os tratamentos com alta EME (20 e 30 kWh/t para cães e para gatos) foram fabricados em extrusora de rosca simples modelo X-165 (Wenger Mfg., Sabetha, Kansas), com média de temperatura da massa no final do extrusor de 140°C e pressão de 21 bars. Os tratamentos com baixa EME (8 kWh/t para cães e para gatos) foram fabricados em extrusora dupla rosca modelo TT-760 (Wenger Mfg., Sabetha, Kansas), com média de temperatura da massa no final do extrusor de 161°C e pressão de 20 bars. Nos dois equipamentos a taxa de alimentação de ração moída no condicionador foi de 1 ton/h.

Tabela 1. Ingredientes e composição química analisada das dietas experimentais para cães e gatos extrusadas com diferentes relações entre energia térmica e mecânica

Item		Cães			Gatos	
Ingredientes (g/kg, na matéria natural)						
Milho		553.2			417.2	
Farinha de vísceras de frango		300.0			338.0	
Glúten de milho [60% PB]		-			104.5	
Gordura de frango		85.0			75.0	
Polpa de beterraba		40.0			40.0	
Cloreto de sódio		5.0			5.0	
Cloreto de potássio		4.5			4.0	
Premix mineral ^a		2.0			2.5	
Premix vitamínico ^b		1.5			1.5	
Cloreto de colina		2.0			3.5	
Sorbato de potássio		1.0			1.0	
L-lisina		2.5			2.5	
DL-Metionina		2.0			2.0	
L-Triptofano		0.8			0.8	
Taurina		-			2.0	
Antioxidante ^c		0.5			0.5	
Diâmetro Geométrico Médio, (µm)		545			402	
Desvio Padrão Geométrico médio, (µm)		1,50			1,61	
Composição química analisada, (g/kg na matéria natural)						
		Cães			Gatos	
	8 ^d	20	30	8	20	30
Umidade	62.0	79.0	56.0	71.0	70.0	78.0
Matéria Mineral	73.0	68.0	67.0	93.0	93.0	92.0
Proteína Bruta	272.0	262.0	269.0	387.0	379.0	387.0
Extrato etéreo hidrólise ácida	138.0	131.0	132.0	129.0	132.0	128.0
Fibra Bruta	36.0	33.0	37.0	26.0	26.0	26.0
Extrativos não nitrogenados	419.0	427.0	439.0	294.0	300.0	289.0
Energia Bruta, MJ/Kg	19.5	18.3	18.7	20.4	20.5	20.4
Índice gelatinização do amido, %	76.7	74.5	76.7	83.1	88.1	85.4
Amido resistente, g/kg	18.6	19.6	20.2	15.4	14.5	16.1

^a - Adicionado por kg de dieta: Ferro, 100 mg; cobre, 9.25 mg; magnésio, 6.25 mg; zinco, 150 mg; iodo 1.87 mg; selênio 0,13 mg;

^b - Adicionado por kg de dieta: ; vit. A 18750 UI; vit. D 1500 UI; vit. C 125 mg; vit. K, 0.15 mg; tiamina, 5 mg; riboflavina, 16 mg; ác. pantotenico, 35.75 mg; niacina, 62.5 mg; piroxidina, 7.5 mg; cobalamina, 45 mcg; folic acid, 0.75 mg.

^c - Naturox, Alltech Agroindustrial Ltda: BHA, BHT, propil galato, e carbonato de cálcio.

^d - Energia mecânica específica implementada: 8 - aplicação de 8kWh/t; 20 - aplicação de 20kWh/t; 30 - aplicação de 30kWh/t.

A transferência de energia mecânica e térmica foi controlada em cada tratamento, para se atingir os valores desejados. A aplicação de ETE foi aumentada

à medida que se reduziu a aplicação de EME, na tentativa de se produzir alimentos com EET próximos. Para isto foi ajustada a proporção de vapor e água injetada no pré-condicionador e no canhão da extrusora. Para manter a mesma umidade de processamento, redução da adição de vapor foi compensada por maior adição de água, de modo que a umidade da massa no extrusor não foi diferente entre os tratamentos durante o processamento. Modificações na aplicação de EME no extrusor X-165 foram feitas controlando-se a área aberta de saída no final do tubo extrusor. Nos dois equipamentos, a temperatura da massa no final do pré-condicionador ficou próxima à 90°C, com tempo de residência de 180 segundos. Durante o procedimento, foram registrados continuamente a produção horária, carga do motor, velocidade da rosca, adição de água e vapor.

Com os dados obtidos foi calculada a implementação de EME e ETE de cada um dos tratamentos. A EME foi calculada de acordo com Riaz (2000).

$$\text{EME (kJ/kg)} = \text{Qme(kJ/h)} / \text{FR(kg/h)}$$

Onde: Qme é a entrada de energia mecânica total; FR é a taxa da alimentação da dieta seca.

$$\text{Qme} = (\text{kWe} \times \text{Le} \times \text{rpma} / \text{rpmf} \times 36) \text{ kJ/h}$$

Onde: kWe é a potência nominal do motor da extrusora em kW (sendo 187,5 kW para a extrusora X-165 e 112,5 kW para a extrusora TT-760); Le é a carga do motor da extrusora, expressa em porcentagem; rpma é a rotação por minuto (RPM) do eixo da extrusora; rpmf é o RPM máximo do eixo da extrusora (600 RPM para a extrusora X-165 e 720 RPM para a extrusora TT-760).

A ETE (kJ/kg) é a soma do total das contribuições de energia térmica da matéria-prima, da água e do vapor d'água do processo, dividido pela taxa de alimentação (kg/h). Esta foi calculada pela seguinte fórmula (Riaz, 2000):

$$\text{ETE (kJ/kg)} = \text{Qte(kJ/h)} / \text{me(kg/h)}$$

Onde: Qte é a energia térmica total; me é a quantidade de alimento que passa pelo sistema.

$$\text{Qte (kJ/hr)} = \text{Qdr} + \text{Qs} + \text{Qw}$$

Onde: Qdr é a energia térmica da dieta seca; Qs é a energia térmica do vapor; Qw é a energia térmica da água.

$$\text{Qdr} = (\text{mdr}) * (\text{Cpdr}) * (\text{Tempdr})$$

Onde: m_{dr} é a quantidade de dieta seca; C_{pdr} é o calor específico da dieta seca; T_{empdr} é a temperatura da dieta seca.

$$Q_s = (h_s) \cdot (m_s)$$

Onde: h_s é a entalpia do vapor; m_s é a quantidade do vapor

$$Q_w = (C_w) \cdot (m_w) \cdot (T_{empw})$$

Onde: C_w é o calor específico da água; m_w é a quantidade de água; T_{empw} é a temperatura da água.

A EET foi calculada pela soma da EME com a ETE. Os resultados finais dos cálculos foram convertidos da unidade de valor kJ/kg para kWh/t.

Depois da extrusão, os alimentos foram secos durante cerca de 20 minutos a 125 °C, para se reduzir a umidade abaixo de 8%. Os valores do balanço de energia e estimativas de custo de extrusão das dietas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Aplicação de energia mecânica específica (EME), energia térmica específica (ETE) e energia específica total (EET) durante a extrusão das dietas experimentais para cães e para gatos e o custo estimado de produção.

Item	Implementação de EME		
	8	20	30
<i>Cão</i>			
EME (kWh/t)	8.0	20.0	28.0
ETE (kWh/t)	98.4	62.0	47.6
EET (kWh/t)	106.4	82.0	75.6
ETE/EME	12.3	3.1	1.7
Temperatura da matriz (C°)	140.0	112.0	113.0
Umidade de processo (%)	28.9	28.4	26.5
Custo de processo (US\$/t) ^a	4.2	5.0	5.9
<i>Gato</i>			
EME (kWh/t)	7.3	20.8	29.3
ETE (kWh/t)	90.5	94.3	105.5
EET (kWh/t)	97.8	115.1	134.8
ETE/EME	12.4	4.6	3.6
Temperatura da matriz (C°)	143.0	161.0	151.0
Umidade de processo (%)	29.1	32.3	30.1
Custo de processo (US\$/t) ^a	4.4	6.1	6.4

^a- Estimativas baseadas nos custos assumidos no 2° semestre do ano de 2013: Custo da água \$1.15/1000 kg; Custo do vapor \$22.60/1000 kg; Custo da energia elétrica \$0.065/kWh; Custo de manutenção e reparo \$1.25/22 kWh/t de EME.

2.2. Animais, manejo e delineamento experimental

Para avaliação *in vivo* dos alimentos, dois experimentos separados foram realizados. No experimento 1, dezoito cães adultos da raça beagle, com $7,0 \pm 1,2$ anos e $11,9 \pm 0,8$ kg de peso corporal foram utilizados. No experimento 2, dezoito gatos adultos, sem raça definida, com $6,9 \pm 1,4$ anos e $5,1 \pm 1,2$ kg de peso corporal foram utilizados. Todos os animais apresentaram escore de condição corporal entre 4 e 6 (Laflamme, 1997) e foram considerados saudáveis após exames físico e hematológicos. Dentro de cada espécie, o experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, com três rações, 18 animais e seis animais por ração. Adaptação à dieta ocorreu dos dias 1 ao 10, coleta total de fezes e urina para o ensaio de digestibilidade dos dias 11 ao 17 e coleta de fezes frescas (dentro do no máximo de 15 min após eliminação) para avaliação de produtos da fermentação e pH dos dias 18 ao 20.

Durante a adaptação à dieta os cães foram alojados em 3 animais por canil, tendo estes as dimensões de 1,50m x 4,50m. Os cães eram soltos diariamente em "play ground" para prática de exercício e socialização. Durante os períodos de coleta de fezes os cães foram alojados individualmente em gaiolas metabólicas em inox, com dimensões de 0,9m x 0,9m x 1,0m, equipadas com sistema para separar fezes e urina para a coleta total dessas excretas. Os gatos foram alojados individualmente em gaiolas metabólicas com 0,80m x 0,80m x 1,0m. Durante a adaptação à dieta os gatos eram soltos para exercício e socialização das 8h às 16 h, em um gatil com 50m². Ficaram restritos às suas gaiolas das 16h às 8h, quando recebiam seu alimento experimental. Durante o período de coleta de fezes e urina os gatos ficaram permanentemente restritos às gaiolas metabólicas.

Para definição da quantidade de alimento a ser fornecida, a energia metabolizável das dietas foi estimada à partir de sua composição química (NRC, 2006). A quantidade oferecida foi calculada individualmente para gatos como 418 kJ/kg^{0,67} e para cães como 544 kJ/kg^{0,75} (NRC, 2006). Para os cães, a quantidade total de alimentos foi dividida em duas refeições diárias iguais, fornecidas às 8h e às 17 h. Depois de 30 minutos as tigelas de comida eram removidas e qualquer alimento restante pesado e registrado. Os gatos foram alimentados uma vez por dia, às 16 h e as tigelas de comida eram removidas às 8h do dia seguinte, sendo as sobras pesadas e registradas. A água foi fornecida à vontade.

2.3. *Digestibilidade dos nutrientes, produção e características das fezes*

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e da energia foram determinados pelo método de coleta total de fezes, de acordo com recomendações e cálculos da AAFCO (2012). A ingestão de alimentos foi registrada diariamente pesando-se as quantidades oferecidas e eventuais sobras de cada refeição. As fezes foram recolhidas duas vezes por dia (8h e 17h), pesadas e embaladas em sacos de plástico individuais, previamente identificados e em seguida seladas e armazenadas em congelador (-15°C) para análise posterior. No final do período de coleta, as fezes foram descongeladas e homogeneizadas em uma amostra única por animal. As fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (320-SE, Fanem, São Paulo, Brasil), a 55 °C durante 72 h. Fezes e dietas foram moídos em moinho de facas (Mod 340, Art Lab, São Paulo, Brasil), equipado com peneira com tela de 1 mm. Amostras de urina (aproximadamente 90 g) foram pesadas e colocadas em placas de Petri e secas em estufa de ventilação forçada (320-SE, Fanem, São Paulo, Brasil), a 55 °C durante 24h.

Alimentos e fezes foram analisados quanto a MS em estufa de ventilação forçada (método 945,15) e segunda MS (método 934,01), cinzas por incineração em mufla (método 942,05), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl (método 954,01), extrato etéreo hidrólise ácida usando aparelho de Soxhlet (método 954,02) e fibra bruta (método 978,10) de acordo com a AOAC (2002). Energia bruta (EB) dos alimentos, fezes e urina foi determinada em bomba calorimétrica adiabática (modelo 1261, Parr Instrument Company, Moline, IL, EUA). A porcentagem de gelatinização do amido das rações foi determinada pelo método da amiloglicosidade (Sá et al., 2013). Amostras de alimentos antes e após a extrusão foram ainda analisadas quanto ao extrato etéreo comum, sem hidrólise ácida prévia (método AOAC 945,16). O teor de amido resistente das rações foi analisado utilizando amilase e amiloglucosidase, de acordo com AOAC (2002), utilizando-se kit comercial (K-TSTA 08/11, Megazyme, Wicklow, Irlanda). Todas as análises foram realizadas em duplicata e repetidas quanto o coeficiente de variação foi maior do que 5%.

Durante a coleta, a qualidade das fezes foi medida com o seguinte sistema de pontuação, de acordo com (Carciofi et al., 2008): 0 = fezes líquidas; 1 = macia, sem forma; 2 = fezes moles, mal formadas, que assume a forma do recipiente; 3 = macia,

formada e úmida, que mantém a forma; 4 = bem formado e fezes coerentes, que não adere ao chão; 5 = fezes secas e duras.

2.4. *pH e produtos de fermentação nas fezes*

Amostras de fezes frescas (coletados e processadas até 15 min da eliminação) foram utilizadas para medir o pH e determinar alguns produtos de fermentação. O pH das fezes foi medido imediatamente após a coleta, misturando-se 10 mL de água destilada com 5 g de fezes frescas e o resultado foi mensurado em medidor de pH (DM20; Digicrom Analítica Ltda, São Paulo, Brasil). O resultado médio dos 3 dias de avaliação de cada cão foi utilizado para avaliação dos alimentos. Para os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR), imediatamente após a colheita as amostras de fezes foram misturadas em 30 mL de solução de ácido fórmico a 16% (v/v) e armazenados a 4°C durante 72 h. As amostras foram centrifugadas (5804R; Eppendorf, Hamburgo, Brasil) três vezes a 4500g e 15°C, durante 15min, aproveitando-se o sobrenadante e desprezando-se o precipitado. O sobrenadante foi então centrifugado a 20.000 g durante 1 hora a 5°C por uma vez e as amostras congeladas a -20 °C até análise. A concentração de AGCC (acético, propiónico e butírico) e AGCR (isobutírico, valérico e isovalérico) foi determinada por cromatografia em fase gasosa (Finnigan 9001) de acordo com Erwin et al. (1961), com a coluna de vidro com 30 metros de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno, revestida com coluna HP-Innowax (Filme: 0,5 mM). O cromatógrafo (Shimadzu, GC-2014, Shimadzu Scientific Instruments, Tóquio, Japão) foi calibrado pela injeção de 1 mL de solução de padrão misto e a curva em avaliada pelo software Solution GC (versão do software 02:41:00 SU1). Usou-se nitrogênio como gás transportador (taxa de fluxo de 50 mL/min.), ar sintético como gás oxidante (taxa de 175 mL/min de fluxo) e hidrogênio como gás combustível (taxa de 15 mL/min de fluxo), operando-se às temperaturas de 200 °C no injetor, 240 °C na coluna e 250 °C no detector de ionização de chama. O ácido láctico foi medido de acordo com Pryce (1969) utilizando método colorimétrico (espectrofotômetro rápido - Lab, Drake, São José do Rio Preto, Brasil). Para avaliar a concentração de amônia (NH₃) foram utilizados os extratos preparados para a determinação dos AGCC, estes foram descongeladas à temperatura ambiente,

diluídos em água destilada (2:13 v/v) e amônia destilada em destilador de proteína (TE Tecnal - 036/1, Piracicaba, Brasil), de acordo com Vieira (1980). Todas as análises foram realizadas em duplicata e repetidas quando o coeficiente de variação foi maior do que 5%.

2.5. *Palatabilidade do alimento, força de corte e microestrutura do extrusado*

Dentro de cada um dos experimentos (cães ou gatos) as três dietas foram submetidas a avaliações de palatabilidade em dois locais diferentes. Três comparações foram feitas entre as diferentes implementações de EME (8, 20 e 30 kWh/t) e suas respectivas relações ETE:EME: oito *versus* 20 EME, oito *versus* 30 EME e 20 *versus* 30 EME. Para a avaliação da palatabilidade, foi adicionado apenas gordura de aves por cobertura aos extrusados, de acordo com a formulação da Tabela 1, sem nenhuma adição de palatilizante comercial. A palatabilidade foi avaliada pelo método de duas vasilhas, segundo (Griffin, 2003). Em cada comparação no mínimo 38 animais alojados individualmente (cães ou gatos), de diferentes raças e pesos corporais, foram testados em duas refeições consecutivas. As 8h e as 17h os animais receberam duas vasilhas, cada uma contendo quantidade *ad libitum* de um dos alimentos experimentais, que eram disponibilizados durante 30 min. A posição das vasilhas de comida era alternada na refeição seguinte. A quantidade oferecida de cada alimento superava a capacidade de consumo do animal, para garantir ingestão livre do alimento preferido. Após 30 min as vasilhas eram removidas, os restos pesados e o consumo calculado. Devido às diferenças nos pesos corporais, os resultados foram calculados como consumo relativo de cada dieta e a ingestão média das duas refeições foi considerada. A razão de consumo foi calculada pela fórmula:

$$\text{Razão de consumo (\%)} = \frac{\text{Consumo da Dieta A}}{\text{Consumo da Dieta A} + \text{Consumo da Dieta B}} \times 100$$

Os extrusados foram submetidos ao teste de ruptura para avaliação da crocância, realizado com texturômetro (TA-XT2 SMS, Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) definido para a operação no modo de força/compressão,

retorno para começar a opção ativada, na velocidade pré-teste de 2 mm/s, velocidade durante o ensaio de 0,5 mm/s e a velocidade antes do teste de 10 mm/s. O teste foi realizado em 20 unidades para cada dieta, utilizando sonda com conjunto de lâminas com faca Warner Bratzler (pesados plataforma/set lâmina), com distância de corte de 10 mm. Os dados foram analisados com o software Texture Expert (Stable Micro Systems, Godalming, UK).

A estrutura celular dos Kibbles foi avaliada por microscopia eletrônica usando microscópio eletrônico de varredura (JEOL, JSM-7500F, JEOL Ltd., Tóquio, JP), no Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC), Instituto de Química da UNESP, Araraquara, Brasil. As amostras foram fixadas com fita dupla face aos suportes de alumínio e revestidas com camada de ouro paládio de 36 nm, em dispositivo de vácuo (Denton DESK vácuo II, Frehold, New Jersey, EUA). O microscópio foi operado a 10 KV.

2.6. *Determinação de aminoácidos totais, livres e lisina reativa*

A composição em aminoácidos das dietas foi determinada antes e após a extrusão a fim de se estudar a retenção de nutrientes após o processamento. Quatro amostras de cada alimento foram avaliadas, a fim de permitir avaliação estatística. Aminoácidos totais e livres foram avaliadas no laboratório da empresa Ajinomoto do Brasil Ind. e Com. de Alimentos Ltda, com sede na cidade de Laranjal Paulista, SP. Estes foram quantificados por cromatografia líquida de alto desempenho em cromatógrafo (Shimadzu LC-10A, Shimadzu Corporation, Quioto, Japão), com detecção por fluorescência, após coloração por ninidrina, de acordo com o Compêndio Brasileiro de Nutrição Animal (2009). A técnica permite a quantificação de aminoácidos adicionados separadamente livres e o teor de aminoácidos total da amostra.

A análise de lisina reativa foi realizada no laboratório Nutricontrol Laboratory, Veghel, Holanda. Esta foi conduzida de acordo com o método de O-metilisourea (OMIU) como descrito por Moughan e Rutherfurd (1996). Neste método, a lisina com o grupo ϵ -amino livre é convertida em homoarginina pelo uso de OMIU e a lisina reativa é calculada a partir da quantidade molar de homoarginina formada. Esta análise envolveu a incubação da amostra (5 mg) com 0,5-1,0 mL de 0,6 M OMIU em

banho-maria com agitação a 21 °C durante 3 d. O homoarginina formada foi medida na amostra seca de acordo com o procedimento de análise de aminoácidos descrita anteriormente.

2.7. *Avaliação da complexação de gorduras*

Considerando que a extrusão pode promover formação de complexos amilose-lipídios, a influência do processamento sobre sua formação foi avaliada pelas análises de extrato etéreo hidrólise ácida e extrato etéreo comum. A avaliação parte do princípio que após a hidrólise ácida da amostra todos os lipídeos são mensurados, enquanto os lipídeos complexados pelo tratamento termomecânico não são medidos pelo método de extrato etéreo comum, sem hidrólise ácida, apenas os lipídios livres (AOAC, 2002). Desta forma, a diferença entre o extrato etéreo hidrólise ácida (lipídeos totais) e extrato etéreo comum (lipídeos livres) corresponde aos lipídeos complexados. Estas análises foram conduzidas na ração antes da extrusão e após a extrusão com diferentes relações de ETE:EME.

2.8. *Análise do teor de selênio das dietas para cães*

A concentração de selênio nas rações para cães antes e após extrusão foi analisada no laboratório de Espectrometria Atômica Aplicada do Departamento de Química e Bioquímica da UNESP, campus de Botucatu. Foi utilizada a técnica de espectrometria atômica e o método por atomização em forno de grafite (SILVA et al, 2007; MORAES et al., 2009). Foi empregado espectrômetro de absorção atômica (Shimadzu AA-6800, Shimadzu Corporation, Quioto, Japão) equipado com corretor de absorção de fundo, lâmpada de deutério, sistema de *auto reverse* (SR) e tubo de grafite pirolítica com plataforma integrada a um auto-amostrador (ASC-6100, Shimadzu Corporation, Quioto, Japão). As análises foram realizadas em quadruplicata e repetidas quando variaram mais do que 5%.

2.9. *Análise estatística*

Os experimentos com cães e gatos foram avaliados de forma independente. Em ambos, os dados foram analisados segundo delineamento inteiramente casualizado, com três rações e seis animais por ração. Para as análises de

aminoácidos, selênio e complexação do amido a unidade experimental foi considerada a amostragem da ração no tempo, com quatro repetições por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando diferenças foram verificadas pelo teste F, médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Quando oportuno, contrastes polinomiais foram realizados para se avaliar o efeito da aplicação de EME sobre os parâmetros em estudo ($P < 0,05$). Todas as variáveis atenderam as pressuposições da análise de variância. As análises foram realizadas no programa estatístico SAS (versão 9.1; SAS Institute, Cary, NC, EUA).

3. Resultados

3.1. Processamento das dietas

A composição das dietas variou de acordo com a espécie, como esperado em função das formulações, dentro de cada espécie, no entanto, a composição química foi semelhante para as três relações entre ETE:EME, Tabela 1. A mistura moída de ingredientes para cães apresentou elevado diâmetro geométrico médio, que foi quase 150µm maior que o dos ingredientes para gatos. Houve menor gelatinização do amido e maior quantidade de amido resistente nas rações para cães, Tabela 1. A aplicação de EME foi próxima à proposta, tanto para cães como gatos Tabela 2. Nos alimentos para cães, a implementação de ETE aumentou com a diminuição da EME, mas houve maior aumento proporcional da ETE, resultando em aumento da EET na ração com baixa EME. Nas rações para gatos aumento de ETE acompanhou o aumento da EME, resultando em maior EET para a ração com maior EME. Mesmo assim, a relação ETE:EME diferiu entre os tratamentos, com maior proporção de ETE nos alimentos processados com baixa EME.

3.2. Consumo e digestibilidade dos nutrientes

Todos os alimentos foram adequadamente consumidos, sem recusa, vômitos ou diarreia. A ingestão de nutrientes não variou entre as dietas. A digestibilidade dos nutrientes e da energia também não diferiu em função das diferentes relações entre

ETE:EME, como pode ser visto nas Tabelas 3 e 4, para cães e gatos, respectivamente.

Tabela 3. Ingestão de nutrientes e coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia de dietas experimentais para cães extrusadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de P
	8	20	30		
Peso do animal (kg)	12.1	11.8	11.85	0.36	0.8721
<i>Ingestão de nutrientes (g/cão/dia)</i>					
Matéria seca	166.2	158.4	162.7	5.49	0.6135
<i>Coeficiente de digestibilidade aparente</i>					
Matéria seca	0.798	0.795	0.797	0.35	0.9721
Matéria orgânica	0.833	0.835	0.838	0.29	0.8503
Proteína bruta	0.795	0.797	0.807	0.36	0.5418
Extrato etéreo hidrólise ácida	0.877	0.880	0.871	0.30	0.6422
Fibra bruta	0.449	0.366	0.402	1.61	0.2895
Extrativos não nitrogenado	0.873	0.876	0.882	0.32	0.6865
Energia Bruta	0.834	0.834	0.839	0.29	0.7706
ME, MJ/g de MS	15.6	15.3	15.7	0.02	0.0693

^a- Erro padrão da média (n = 18).

Tabela 4. Ingestão de nutrientes e coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia de dietas experimentais para gatos extrusadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de p
	8	20	30		
Peso do animal (kg)	4.87	5.28	5.09	0.53	0.8647
<i>Ingestão de nutrientes (g/gato/dia)</i>					
Matéria seca	57.6	68.0	62.7	6.48	0.5402
<i>Coeficiente de digestibilidade aparente</i>					
Matéria seca	0.793	0.785	0.787	2.68	0.8943
Matéria orgânica	0.839	0.829	0.835	0.84	0.6995
Proteína bruta	0.842	0.826	0.842	1.07	0.4926
Extrato etéreo hidrólise ácida	0.845	0.822	0.808	1.36	0.1832
Fibra bruta	0.180	0.183	0.172	5.77	0.9905
Extrato não nitrogenado	0.881	0.881	0.885	0.71	0.9062
Energia Bruta	0.842	0.837	0.826	0.98	0.5301
ME, MJ/g of MS	17.2	16.9	17.1	0.05	0.6754

^a- Erro padrão da média (n = 18).

3.3. Produção, pH e características das fezes

A produção pH e características das fezes não variou para cães (Tabela 5) e gatos (Tabela 6).

Tabela 5. Produção, pH, características e concentração de alguns produtos de fermentação nas fezes de cães alimentados com rações extrusadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de <i>p</i>
	8	20	30		
pH	5.81	6.01	6.11	0.09	0.4243
Escore	3.82	3.81	3.81	0.07	0.8182
Matéria seca (g/kg)	0.34	0.35	0.34	0.91	0.7845
g fezes/cão/d (MN)	95.44	93.14	94.64	3.71	0.9046
g fezes/cão/d (MS)	33.15	33.03	32.84	1.20	0.9870
<i>mmol/kg (na MS)</i>					
Ác. Acético	454.73	440.84	422.75	14.77	0.3316
Ác. Propiônico	153.83	156.55	141.54	8.90	0.4615
Ác. Butírico	52.04	46.94	43.94	4.01	0.3800
Ác. Isobutírico	3.15	3.04	2.73	0.26	0.5173
Ác. Isovalérico	6.72	6.33	5.75	0.53	0.3909
Ác. Valérico	1.43	1.43	1.31	0.10	0.8996
Ác. graxos totais	671.84	655.05	617.71	25.67	0.3392
Ác. láctico	6.53	6.65	5.51	0.58	0.3653
<i>Mg/kg (na MS)</i>					
Amônia	88.01	80.25	81.60	7.16	0.7176

^a- Erro padrão da média (n = 18).

Tabela 6. Produção, pH, características e concentração de alguns produtos de fermentação nas fezes de gatos alimentados com rações extrusadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	EME (kWh/t)			SEM ^a	P value
	8	20	30		
pH	5.91	5.84	5.54	0.32	0.0713
Escore	3.61	3.53	3.63	0.13	0.9591
Matéria seca (g/kg)	0.35	0.34	0.38	2.93	0.6848
g fezes/gato/d (MN)	33.52	41.13	37.32	4.87	0.5561
g fezes/gato/d (MS)	31.73	38.84	35.22	4.63	0.5701
<i>mmol/kg (na MS)</i>					
Ác. Acético	372.71	384.22	334.24	32.90	0.5446
Ác. Propiônico	34.33	102.42	68.70	36.40	0.4368
Ác. Butírico	17.53	24.53	14.63	3.50	0.1605
Ác. Isobutírico	5.52	14.03	9.84	3.70	0.2956
Ác. Isovalérico	8.52 ^b	18.84 ^a	11.63 ^{ba}	2.70	0.0433
Ác. Valérico	26.42	45.63	29.43	6.50	0.1164
Ác. graxos totais	464.93	533.03	441.55	40.60	0.2838
Ác. láctico	6.43	9.02	8.63	1.30	0.3334
<i>mg/kg (na MS)</i>					
Amônia	117.62	124.10	129.20	10.40	0.7377

^a- Erro padrão da média (n = 18).

Todas as dietas propiciaram formação de fezes adequadas pelos animais. Os produtos de fermentação também foram semelhantes nas fezes mediante o consumo das rações com diferentes relações ETE:EME.

3.4. *Palatabilidade da dieta, crocância e microestrutura do extrusado*

Ao teste de palatabilidade foi verificado diferença na preferência dos alimentos em função de suas características de processamento. Os resultados de palatabilidade foram semelhantes para cães e gatos e concordantes entre os dois locais onde esta avaliação foi realizada (Tabela 7). Cães preferiram a dieta processada com 20 kWh/t, em relação às processadas com 8 ou 30 kWh/t ($P<0,001$). Preferiram também a dieta processada com 8 em relação à processada com 30 kWh/t ($P<0,05$, significativo apenas no Local 1). Gatos preferiram a ração processada com 8 em relação à com 30 kWh/ e a processada com 20 em relação a 30 kWh/h ($P<0,01$), não apresentando preferência entre as processadas com 8 ou com 20 kWh/t.

Tabela 7. Consumo relativo durante os testes de palatabilidade de rações extrusadas para cães e para gatos com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	EME (kWh/t)	Local 1 (Ingestão relativa)	Local 2 (Ingestão relativa)
<i>Cães</i>			
Teste 1 (n=38)	8	0,30	0,14
	20	0,70**	0,86**
Teste 2 (n=38)	8	0,60*	0,54
	30	0,40	0,46
Teste 3 (n=38)	20	0,81**	0,74**
	30	0,19	0,26
<i>Gatos</i>			
Teste 1 (n=50)	8	0,58	0,54
	20	0,42	0,46
Teste 2 (n=50)	8	0,66**	0,70**
	30	0,34	0,30
Teste 3 (n=50)	20	0,69**	0,76**
	30	0,31	0,24

* Dentro de cada teste, diferença estatística na ingestão relativa da dieta ($P<0,05$).

** Dentro de cada teste, diferença estatística na ingestão relativa da dieta ($P<0,01$).

O teste de ruptura e de densidade de cada tratamento está apresentado na Tabela 8. A microestrutura do extrusado pode ser visto em fotomicrografias nas figuras de 1 a 6. O teste de ruptura demonstrou diferenças entre a resistência à quebra dos extrusados para cães, sendo esta maior no tratamento processado com 20 kWh/t, intermediária no processado com 30 kWh/t e menor no produzido com 8 kWh/t ($P < 0,001$). Nos alimentos para gatos, maior força de corte ocorreu na dieta 30 kWh/t, menor na 20 kWh/t e intermediária na que recebeu 8 kWh/t ($P < 0,001$). Estes dados encontram-se na Tabela 8. Não se verificou, assim, correspondência entre a aplicação de EME, ETE ou EET e a força de ruptura do extrusado. Para cães, a preferência pelo alimento também não pôde ser explicada pela força de ruptura, uma vez que o alimento de maior (20 kWh/t) e de menor (8 kWh/t) dureza foram preferidos em relação ao de dureza intermediária. Para gatos, é possível que a dureza tenha interferido na aceitação do alimento, uma vez que o alimento mais duro (30 kWh/t) foi rejeitado pelos animais em detrimento dos outros dois.

Tabela 8. Força de corte e densidade aparente de rações extrusadas para cães e para gatos processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Especímenes (EME):					
Item	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de <i>p</i>
	8	20	30		
Cães					
Força de ruptura (kgf)	7.1 ^d	9.0 ^b	8.0 ^c	0.13	<.0001
Densidade (g/L, seco)	398	428	430	-	-
Gatos					
Força de ruptura (kgf)	4.1 ^c	3.7 ^c	5.0 ^b	0,17	<.0001
Densidade (g/L, seco)	412	391	398	-	-

^a - Erro padrão da média (n = 20 kibbles por ração).

^{b, c, d} - Médias nas linhas sem uma letra em comum são diferentes ($P < 0.05$).

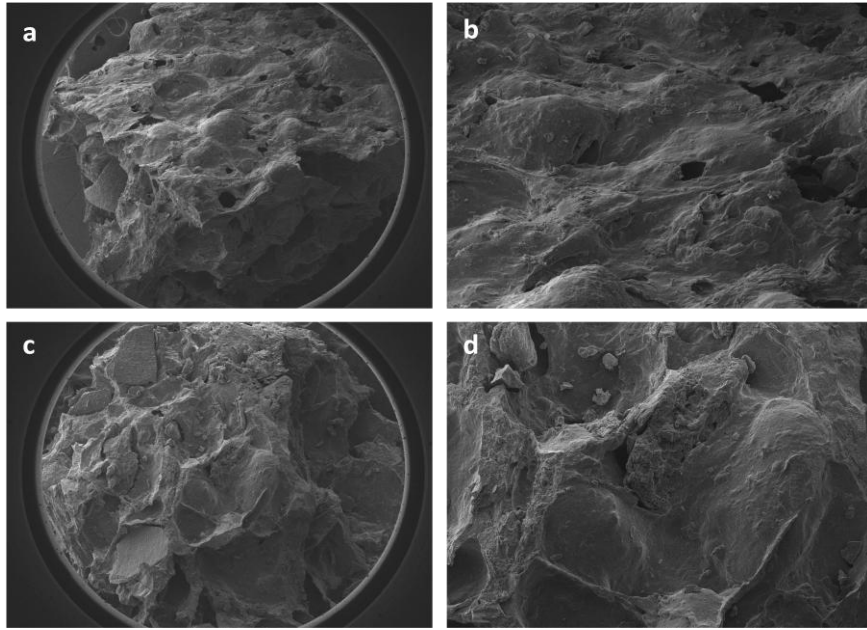


Figura 1. Fotomicrografia de extrusado para cães, processado com 8 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

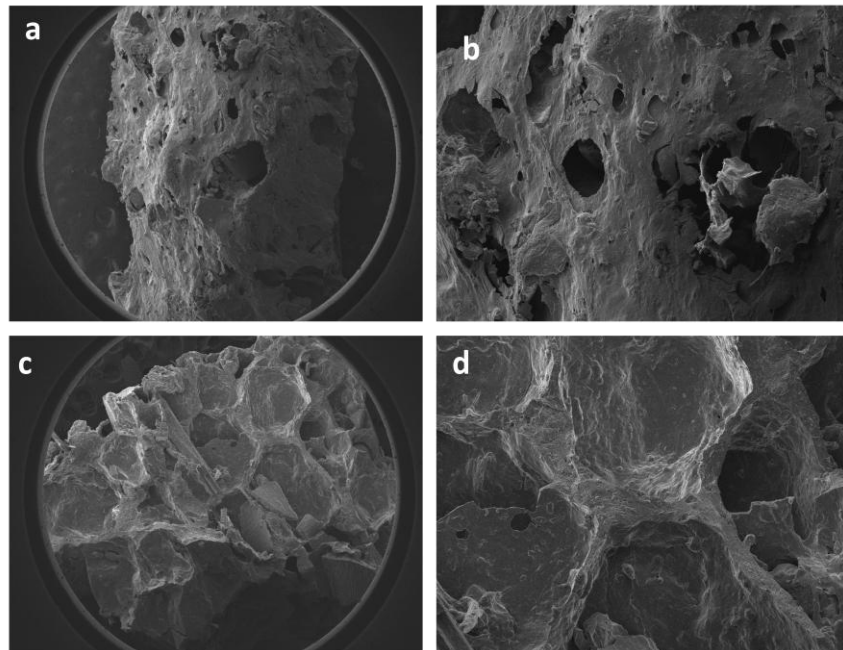


Figura 2. Fotomicrografia de extrusado para cães, processado com 20 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

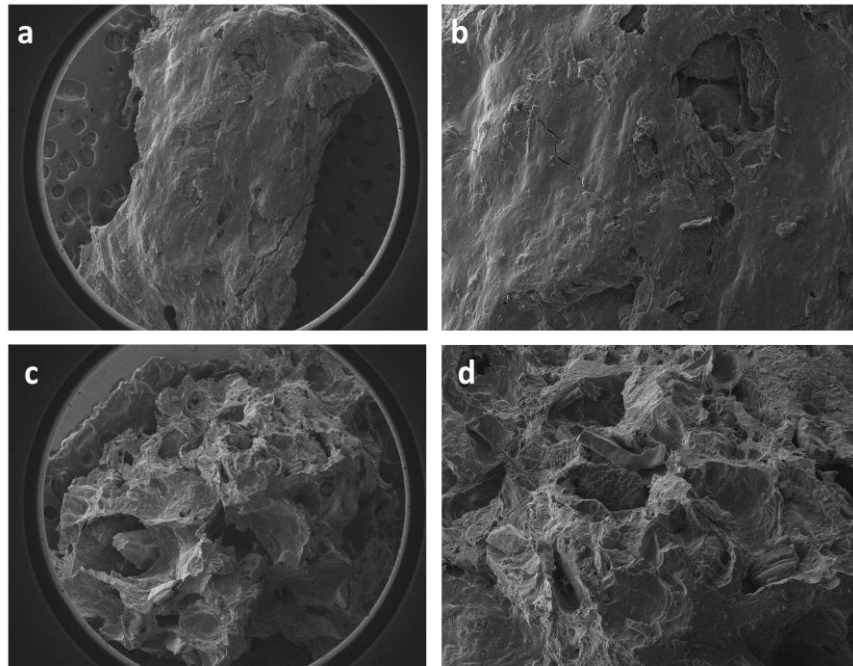


Figura 3. Fotomicrografia de extrusado para cães, processado com 30 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

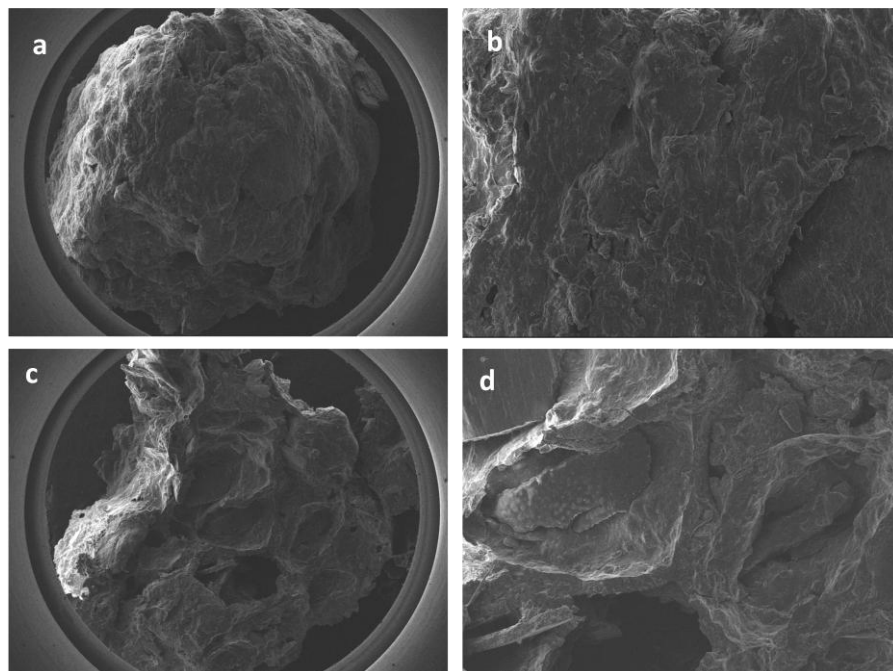


Figura 4. Fotomicrografia de extrusado para gatos, processado com 8 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

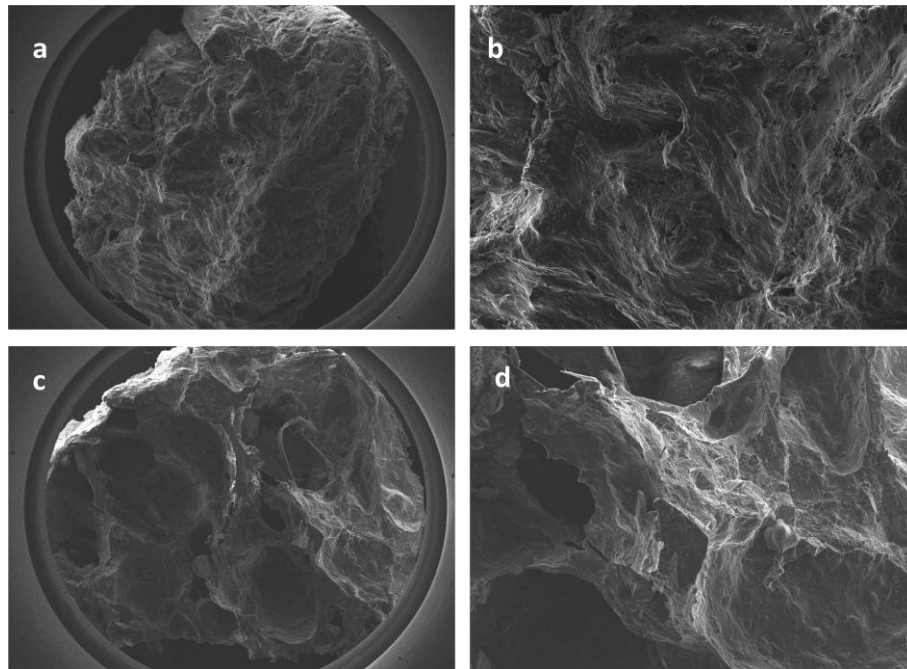


Figura 5. Fotomicrografia de extrusado para gatos, processado com 20 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

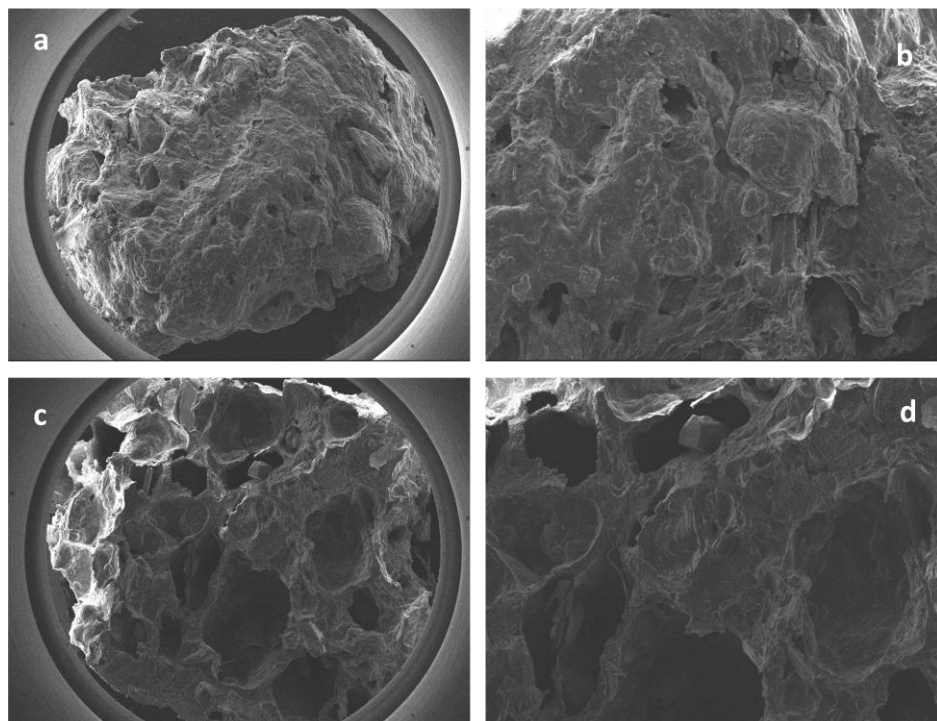


Figura 6. Fotomicrografia de extrusado para gatos, processado com 30 kWh/t de energia mecânica. Áreas superficial (a,b) e interna (c, d). Aumentos de 36x (a, c) e 120x (b, d).

3.5. Complexação de gorduras.

Importante complexação das gorduras dos ingredientes ocorreu durante a extrusão. Na Tabela 9 encontram-se os resultados de extrato etéreo hidrólise ácida e extrato etéreo comum das rações. Estes correspondem aos resultados das rações antes de serem recobertas com gordura, sendo os lipídeos naturalmente presentes nos ingredientes extrusados. A diferença entre a extração lipídica com ou sem prévia hidrólise ácida foi de aproximadamente 33g/kg, ou de 47% nas rações para cães e de 36 g/kg ou 49% nas rações para gatos. Nas duas rações, houve redução dos lipídios livres (extrato etéreo comum) conforme aumentou a aplicação de EME ($P < 0,05$), indicando que a elevação da aplicação de EME promove maior complexação de gorduras.

Tabela 9. Teores de extrato etéreo e extrato etéreo hidrólise ácida de rações extrusadas para cães e para gatos processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME). Resultados do produto antes do recobrimento com gordura.

Item	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de <i>p</i>
	8	20	30		
Cães					
Extrato etéreo (g/kg)	40.2 ^b	38.5 ^c	33.2 ^d	0.02	<.0001
Extrato etéreo hidrólise ácida (g/kg)	71.1 ^b	70.7 ^b	69.3 ^b	0.12	0.5619
Gatos					
Extrato etéreo (g/kg)	40.4 ^b	36.9 ^c	33.4 ^d	0.02	<.0001
Extrato etéreo hidrólise ácida (g/kg)	75.2 ^b	71.9 ^b	71.6 ^b	0.15	0.2292

^a- Erro padrão da média (n = 16).

^{b,c,d}- Diferença = extrato etéreo hidrólise ácida – extrato etéreo comum. Corresponde aos lipídios complexados pelo processo de extrusão.

3.6. Retenção de aminoácidos e selênio depois da extrusão

Alguns aminoácidos e o selênio foram escolhidos para se estudar o impacto de diferentes aplicações de EME na retenção de nutrientes após a extrusão. Para fazer isso, durante a formulação, três aminoácidos (L-lisina, DL-metionina e L-triptofano) e selenito de sódio foram adicionados à dieta. A composição de aminoácidos da mistura de ingredientes moídos, antes da extrusão e das diferentes

dietas experimentais estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11, para cães e gatos, respectivamente.

Tabela 10. Teores de aminoácidos de rações extrusadas para cães processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	Antes Extrusão	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor P	Contraste Cru x Ext ^b
		8	20	30			
Umidade (g/Kg)	93.9	62.8	77.0	60.9	0.31	-	-
Aminoácidos totais (g/kg)	261.8 ^d	274.3 ^c	266.3 ^{dc}	263.6 ^{dc}	0.27	0.0308	0.0685
<i>Aminoácidos Indispensáveis (g/kg, sobre a MS)</i>							
Arginina	17.28 ^d	18.47 ^c	17.88 ^{dc}	17.77 ^{dc}	0.02	0.0057	0.0040
Lisina	16.25 ^d	17.51 ^c	16.86 ^{dc}	16.98 ^{dc}	0.32	0.0327	0.0126
Treonina	10.83 ^d	11.47 ^c	11.15 ^{dc}	11.10 ^{dc}	0.01	0.0191	0.0112
Fenilalanina	11.59	12.05	11.93	11.68	0.02	0.2302	0.1522
Metionina	7.43	8.02	7.44	7.19	0.02	0.0671	0.6107
Isoleucina	9.56	10.34	9.99	9.87	0.02	0.0915	0.0450
Histidina	5.74 ^d	6.12 ^c	5.75 ^d	5.89 ^{dc}	0.01	0.0183	0.0770
Leucina	22.19	23.09	22.56	22.42	0.03	0.1421	0.1183
Triptofano	3.74	3.75	3.55	2.70	0.04	0.1511	0.3197
Valina	12.24 ^d	13.00 ^c	12.61 ^{dc}	12.47 ^{dc}	0.02	0.0067	0.0501
<i>Aminoácidos livres (g/kg, sobre a MS)</i>							
Lisina	2.75 ^e	2.93 ^c	2.85 ^d	2.83 ^d	0.001	<.0001	<.0001
Metionina	2.10 ^e	2.37 ^c	2.19 ^d	2.25 ^d	0.002	<.0001	<.0001
Triptofano	0.79 ^e	0.99 ^c	0.90 ^d	0.91 ^d	0.001	<.0001	<.0001

^a - Erro padrão da média (n=16)

^b - Contraste ortogonal: dieta antes da extrusão *versus* dietas com 8 + 20 + 30 kWh/t.

^{c, d, e} - Médias nas linhas sem uma letra em comum são diferentes (P<0.05).

Nas rações para cães, após extrusão foi verificada tendência de aumento das concentrações de aminoácidos totais e histidina (P<0,10) e aumento das concentrações de arginina, lisina, treonina, isoleucina, valina e dos aminoácidos livres lisina, metionina e triptofano (P<0,05). Nas rações para gatos, Tabela 11, houve aumento dos aminoácidos totais, arginina, lisina, treonina, fenilalanina, isoleucina, histidina, valina e dos aminoácidos livres lisina e metionina (P<0.05).

Tabela 11. Teores de aminoácidos de rações extrusadas para gatos processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	Antes extrusão	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor <i>p</i>	Contraste Cru x Ext ^b
		8	20	30			
Umidade (g/kg)	83.9	55.7	67.2	81.4	0.07	-	-
Aminoácidos totais (g/kg)	360.6 ^e	373.6 ^{de}	368.9 ^e	385.1 ^d	3.58	0.0027	0.0027
<i>Aminoácidos Indispensáveis (g/kg, sobre a MS)^c</i>							
Arginina	24.37 ^e	28.51 ^d	27.82 ^d	28.48 ^d	0.74	0.0032	0.0004
Lisina	20.62 ^e	22.93 ^d	22.46 ^d	23.15 ^d	0.04	0.0016	0.0002
Treonina	14.43 ^e	15.56 ^d	15.10 ^{de}	15.68 ^d	0.02	0.0014	0.0004
Fenilalanina	17.20 ^e	17.54 ^{de}	17.32 ^e	18.09 ^d	0.02	0.0172	0.0448
Metionina	9.86	9.89	9.75	10.20	0.02	0.5046	0.7387
Isoleucina	14.12 ^e	14.96 ^d	14.66 ^d	15.17 ^d	0.01	0.0004	0.0001
Histidina	7.63 ^e	8.17 ^{de}	8.13 ^{de}	8.53 ^d	0.02	0.0183	0.0055
Leucina	35.76 ^{de}	35.33 ^e	34.64 ^e	36.98 ^d	0.03	0.001	0.7461
Valina	17.20 ^e	18.16 ^d	18.16 ^{de}	18.29 ^d	0.02	0.0019	0.0005
<i>Aminoácidos livres (g/kg, sobre a MS)</i>							
Lisina	2.59	2.59	2.43	2.61	0.004	0.0886	0.3894
Metionina	2.03 ^{de}	2.05 ^c	1.89 ^e	1.94 ^{de}	0.003	0.0234	0.1161

^a - Erro padrão da média (n=16)

^b - Contraste ortogonal: dieta antes da extrusão *versus* dietas com 8 + 20 + 30 kWh/t.

^c - Análise conduzida sem avaliação de triptofano

^{d, e} - Médias nas linhas sem uma letra em comum são diferentes (P<0.05).

A análise de lisina reativa se encontra na Tabela 12. Para esta análise não foi possível se respeitar as quatro amostragens de cada ração, tendo sido realizada em uma única amostra representativa do lote de produção. Não foram observadas alterações expressivas nestes compostos, embora os alimentos para cães e gatos processados com 8 kWh/t tenham apresentado menor valor de lisina ligada que a ração antes da extrusão ou processada com mais EME. Apesar de ser necessário mais estudos neste sentido, os resultados sugerem que cozimento com menor EME e maior ETE parece danificar menos a lisina dos alimentos.

Os teores de selênio dos alimentos só puderam ser avaliados nas rações para cães. Importante redução do selênio foi verificada após a extrusão das rações, com redução média de 55% da concentração do microelemento (Tabela 13).

Tabela 12. Lisina total, reativa e ligada de rações extrusadas para cães e para gatos processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME). Valores em g/kg, sobre a matéria seca.

Lisina (g/kg) - Valores em g/kg, sobre a matéria seca.				
Item	Antes extrusão	EME (kWh/t)		
		8	20	30
Cães				
Lisina total	1,8	1,89	1,82	1,9
Lisina reativa	1,49	1,6	1,51	1,52
Lisina ligada	0,31	0,29	0,31	0,37
Gatos				
Lisina total	2,04	1,97	2,03	2,1
Lisina reativa	1,77	1,74	1,77	1,8
Lisina ligada	0,27	0,23	0,26	0,3

Valores únicos de amostra representativa do alimento, analisados em duplicata.

Tabela 13. Concentração de selênio de rações extrusadas para cães processadas com diferentes relações entre energia térmica e energia mecânica específica (EME).

Item	Antes extrusão	EME (kWh/t)			EPM ^a	Valor de <i>p</i>	Contraste
		8	20	30			Cru x Ext ^b
Se (µg/kg)	277 ^c	144 ^d	123 ^d	106 ^d	9.7	<.0001	<.0001

^a - Erro padrão da média (n=16)

^b - Contraste ortogonal: dieta antes da extrusão *versus* dietas com 8 + 20 + 30 kWh/t.

^{c, d} - Médias nas linhas sem uma letra em comum são diferentes (P<0.05).

4. Discussão

O processo básico de produção de alimentos processados para cães e gatos é a extrusão (Spears e Fahey, 2004). Durante este processo, ocorre o aumento da disponibilidade de nutrientes que ocorre por ação da umidade, calor, energia mecânica, pressão e modificação de pH (Hauck, 1994), esses fenômenos agrupados melhoram a biodisponibilidade dos nutrientes. No entanto, as diferenças de processamento podem afetar a digestibilidade dos nutrientes (Brand, 1985; Johnson et al., 1998; Svihus et al., 2005). A digestibilidade dos nutrientes e energia foram semelhantes, sem diferenças entre as aplicações de EME (P> 0,05). Estes

resultados semelhantes foram consistentes com o grau de gelatinização do amido das dietas para cada espécie e sugerem que quantidades de ETE foram aplicadas suficientemente nas diferentes relações de energia mecânica e térmica, sem diferenças na digestibilidade dos macronutrientes (Tabela 2). Isso sugere que as diferenças em relação entre SME e aplicação de ETE não influenciaram na digestibilidade e absorção de macronutrientes no intestino delgado e na fermentação no cólon.

O nível de energia mecânica específica (EME), influenciou a densidade do produto, estrutura celular, absorção de gordura, textura, cozimento e palatabilidade, geralmente os requisitos de energia mecânica para extrusar rações de gatos estão entre 30 a 35 kWh de energia mecânica por tonelada de produto produzido, alimentos para cães, geralmente requerem apenas 18 a 25 kWh por tonelada, para alcançar um produto final que satisfaça as espécies com as características adequadas para a dieta (Dunsford et al., 2002). A preferência alimentar de animais de estimação está ligado a palatabilidade dos alimentos processados, assim, a palatabilidade é uma preocupação com a soma dos aspectos sensoriais de sabor, cheiro, mastigação, textura, forma e tamanho do alimento (Griffin, 2003). Neste estudo observou-se que cães preferiram alimentos processados com 20 kWh/t de alimentos processados com 8 ou 30 kWh/t e gatos preferiram os alimentos processados com 8 e 20 kWh/t do que o processado com 30 kWh/t. Estes resultados com cães e gatos mostraram-se diferentes dos observados por Trivedi e Benning (2003), que tinham sugerido preferência por alimentos processados, com mais EME. A ingestão relativa dos cães e gatos seguiu o mesmo padrão de preferência, o que sugere que tanto o cheiro e o sabor dos alimentos podem ter sido alterados pela implementação de diferentes proporções de EME e ETE. Considerando-se que a mastigação, vigor, crocância, dureza e densidade também são importantes para a seleção de alimentos, não foi encontrado nenhum acordo consistente entre força de corte e palatabilidade para cães, a dieta preferida com 20 kWh/t, apresentou a maior força de corte ($P < 0,05$), mas o alimento com menor consumo com 30 kWh/t possuía força de corte intermediária, sem mostrar um padrão claro de influência da dureza na seleção do alimento. No experimento com gatos, no entanto, os animais apresentaram menor preferência para os alimentos processados com 30 kWh/t, que

também foi o alimento com maior força de corte ($P < 0,05$), sugerindo que os gatos não gostaram de alimentos que tornam a mastigação mais difícil. De acordo com Plattner (2007), existe uma correlação muito forte entre a EME e densidade. Neste estudo, houve um aumento de 7,2% na densidade aparente do produto final, em comparação com a dieta de cães com menor EME, uma vez que a dieta do gato, houve um aumento de 4,4% na densidade aparente do produto final, em comparação com as dietas com mais alto EME, no entanto, não foi observado relação direta entre a densidade e força de corte com a palatabilidade. Uma das observações mencionadas por Dunsford et al. (2002), é que a estrutura da célula torna-se muito uniforme e menor quanto mais o EME é aumentada. As amostras com a EME inferior também tendem a ter uma parede celular muito mais espessa. Foi possível observar isso nas dietas para cães com 30 kWh/t e 8 kWh/t, respectivamente. Isso pode estar relacionado a uma melhor aceitação da dieta para cães com 20 kWh/t, pois Dunsford et al. (2002) relatam ainda que a estrutura celular é extremamente importante quando considera-se a absorção de óleo na retenção e na textura do produto, no entanto, nos alimentos para gatos do estudo não observou-se esta relação. Outro ponto interessante para analisar é o nível de umidade das dietas para cães (Tabela 1), segundo Bourgeois (2004) o teor de umidade é determinante para a palatabilidade do alimento, a dieta que recebeu 20 kWh/t teve uma umidade maior do que as demais, essa variação pode ter influenciado também na escolha pelos animais, nas dietas com gatos não foi observado essa diferença na umidade das dietas.

Foram observados níveis de complexação amido-lipídeo na análise de EE para as rações de cães e gatos, quanto maior a quantidade de EME maior é a sua complexação, Tabela 9. Esses valores com maiores teores de complexo amido-lipídeo podem apresentar características funcionais (De Pilli et al., 2011). Sua formação pode explicar a redução do CDA do EEHA das rações para gatos (Tabela 4), esses resultados concordam com achados de Souza (2013), que observou diferenças nos Coeficientes de digestibilidade aparente do EEHA quando ofereceu dietas ricas em complexo amido-lipídico, que foram formados durante o processo de extrusão. Murray et al. (1998) observaram menores digestibilidades aparente e ileal da gordura em cães alimentados com dietas contendo complexo amido-lipídico. No

entanto, os níveis maiores de complexos amido-lipídeos do tratamento com maior energia mecânica não foram suficientes para observar diferenças no CDA da gordura para o experimento com cães deste estudo.

Segundo Case et al., (2011), proteínas são necessárias para o organismo pois proporcionam os aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas e o nitrogênio necessário para a síntese de aminoácidos prescindíveis e outros compostos essenciais que contêm nitrogênio. Os aminoácidos essenciais para cães e gatos são 10 (Lisina, Treonina, Isoleucina, Arginina, Histidina, Leucina, Glicina, Valina, Fenilalanina, Triptofano), mais a taurina para gatos. Seguindo esta informação, deve se ter cuidado com as possíveis alterações no conteúdo desses nutrientes. Por exemplo a lisina é muito sensível ao calor, o que a torna desta forma um bom indicador do controle de cozimento dos alimentos (Tran et al., 2008). Em tratamentos térmicos muito agressivos, há uma reação com açúcares redutores (reação de Maillard), que tornam esse aminoácido indisponível ao organismo. Essa reação química entre o açúcar redutor e um grupo amino livre num aminoácido tem consequências funcionais e nutricionais importantes para os produtos extruzados (Camire et al., 1990). Reações de Maillard ocorrem durante a extrusão, especialmente em altas temperaturas e baixa umidade. Essa reação é favorecida por condições de altas temperaturas $> 180^{\circ}\text{C}$ e de cisalhamento $> 100\text{ RPM}$, em combinação com a baixa umidade $<15\%$ (Camire, 2000 ; Moscicki e Wojtowicz, 2011), porém estas temperaturas e umidade foram controlados no presente estudo, tabela 2, o que desfez a preocupação em controlar a reação de Maillard.

Os aminoácidos lisina e outros mostraram um aumento no teor de aminoácidos após o processamento das dietas. Todos os resultados de aminoácidos foram expressos com base na matéria seca, sem influência da água em seus valores. Foi possível observar valores aumentados da maioria dos Aminoácidos, (experimento cães: lisina, treonina, metionina, arginina, valina, triptofano; experimento gatos: lisina, treonina, metionina, isoleucina, arginina, histidina, leucina, glicina, valina, fenilalanina, alanina, ácido aspartâmico, serina, tirosina) também foi possível de observar esse aumento, em outros estudos que utilizaram o processo de extrusão em rações para frangos (Son e Ravindran, 2012; Ahmed et al., 2014), isso pode estar ligado ao fenômeno durante a extrusão que pode estar atribuído a quebra

ligações covalentes de alta energia, tais como dissulfeto, juntamente com quebra de ligações covalentes fracas, tais como ligações hidrófobas. (Bhattacharya e Hanna, 1988; Hayakawa et al, 1996, Camire., 2000). O processo de extrusão também condiciona uma hidrólise e extração mais fácil e melhor dos aminoácidos, o que leva a uma maior e melhor quantificação dos mesmos. A desnaturação de proteínas e reorientação durante a extrusão é um processo que em teoria poderia facilitar a extração por hidrólise química dos aminoácidos, o que explica também essa melhor quantificação.

O conteúdo de selênio de dietas experimentais foi reduzida após a extrusão, o mineral foi volatilizado durante o processamento. Perdas durante o processamento térmico de selênio são descritos (Weyl, 1978) mas nunca foi descrito sua redução para dietas de cães e gatos. O selênio é um mineral essencial, indispensável para a saúde animal, a exigência é baixa e o intervalo entre a exigência e níveis tóxicos são estreitos (NRC, 2006). Devido isto dietas comerciais incluem geralmente selênio em formulação com cuidado e em quantidades limitadas. O selênio pode ser apresentado em quatro estados oxidativos (Eisler, 1985), selenato ($\text{Se} + 6$), selenito ($\text{Se} + 4$), selênio elementar (SE0) e seleneto ($\text{Se}-2$). O Selenito de sódio (Na_2SeO_3) é a fonte mais comum de selênio utilizado em rações *pet food* e também foi utilizado no presente experimento. Os resultados destacam a importância do tratamento térmico por tecnologia de extrusão sobre a retenção de selênio, A maior implementação de energia mecânica induziu perdas de selênio mais elevados, com níveis reduzidos na comparação entre dietas para cães, processados com 8 e 30 kWh/t, perante isso vale incentivar novos estudos com diferentes doses e fontes desse elemento que é tão importante para a saúde animal.

5. Conclusão

Concluiu-se que diferentes relações entre EME e ETE podem ser aplicadas na produção de rações para cães e gatos, havendo suficiente transferência de energia específica total e cozimento do amido, a digestibilidade dos nutrientes e produtos de fermentação nas fezes não se alteram. Aminoácidos são compostos

químicos estáveis ao processos de extrusão, enquanto importante volatilização de selenito de sódio pode ocorrer. A aplicação de ETE e EME influi marcadamente na palatabilidade dos alimentos para cães e gatos, aspecto que merece maiores estudos.

6. Referências

- Ahmed, A., Zulkifli, I., Farjam, A.S., Abdullah, N., Liang, J.B., 2014. Extrusion enhances metabolizable energy and ileal amino acids digestibility of canola meal for broiler chickens. *Ital J Anim Sci.* 13, 44-47.
- Association of American Feed Control Officials, 2012. Dog and Cat Nutrient Profiles. Official Publication of the Association of American Feed Control Officials Incorporated. AAFCO, Oxford, IN, USA.
- Association of Official Analytical Chemists, 2002. Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC, Washington, DC, USA.
- Bhattacharya, M., Hanna, M., 1988. Extrusion processing to improve nutritional and functional properties of corn gluten. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 21, 20-24.
- Bourgeois, H., 2004. O livro de palatabilidade em cães e gatos, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Royal Canin, França.
- Brand, J.C., 1985. Food processing and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 42, 1192–1196.
- 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, pp. 127-148.
- Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K., 1990. Chemical and Nutritional Changes in Foods During Extrusion. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 29, 35-57.
- Carciofi, A.C., Takakura, F.S., De-Oliveira, L.D., Teshima, E., Jeremias, J.T., Brunetto, M. A., Prada, F., 2008. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 92, 326-336.
- Case, L.P., Daristotle, L., Hayek, M.G., Raasch, M.F., 2011. Canine and Feline, a resource for companion animal professional. Mosby Elsevier. 3 ed. Missouri, USA.

- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2009. São Paulo: Sindirações, 3.ed.
- De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K., Severini, C., 2011. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 12, 610–616.
- Dunsford, B., Plattner, B., Greenbury, D., Rokey, G., 2002. The Influence of Extrusion Processing on Petfood Palatability. *Proceedings of Petfood Forum*, Chicago, Illinois, USA. Watt Publishing, Inc., Mt. Morris, Illinois, USA.
- Eisler, R., 1985. Selenium hazards to fish, wildlife and invertebrates: a synoptic review. *Fish Wild. Serv.*, v.85, p.5-57,
- Erwin, E.S., Marco, G.J., Emery, E.M., 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44, 1768-1771.
- Gibson, M. and Alavi, S., 2013. Pet Food Processing-Understanding Transformations in Starch during Extrusion and Baking. *Cereal Foods World*, St. Paul, v.58, p. 232-236.
- Griffin, R.W., 2003. Palatability testing: Parameters and analyses that influence test conclusions. In: Kvamme, J. L.; Phillips, T. D. *Petfood technology*. Illinois Mt Morris., Chicago, USA, pp. 187-193.
- Hayakawa, I., Linko, Y., Linko, P., 1996. Mechanism of high pressure denaturation of proteins. *LWT-Food Sci. Technol.* 29,756-762.
- Hauck, B. 1994. Extrusion cooking system In: McElhiney, R. R. *Feed manufacturing technology IV*. Arlington, VA, pp. 131-140.
- Johnson, M.L., C.M. Parsons, G.C. Fahey, Jr., N.R. Merchen, and C.G. Aldrich. 1998. Effects of species raw material source, ash content, and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meals by cecetomized roosters and ileally cannulated dogs. *J. Anim. Sci.* 76,1112-1122.
- Kvamme, J.L and Phillips T.D., 2003. *Petfood technology*. Illinois Mt Morris., Chicago, USA, pp. 575.
- Laflamme, D.P., 1997. Development and validation of a body condition score system for dogs. *Canine Pract.* 22, 10-15.
- Lankhorst, C. Tran, Q. D., Havenaar R., Hendriks, W. H. & Van Der Poel, A. F. B. 2007. Effects of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by in-vitro indicators. *Anim. Feed Sci. Technol.* 138, 285-297.

- Moraes, P.M., Milantonio, R.B., Cagnani, G.S., Santos, F.A., Padilha, C.C.F., Lima, P.M., Padilha, P.M., 2009. Analytical procedure based on slurry sampling for determining selenium in organic vegetable samples by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Eur. Food Res. Technol.* 229, 409-414.
- Moscicki, L., Wojtowicz A., 2011. Raw Materials in the Production of Extrudates. In: Moscicki L. *Extrusion-Cooking Techniques*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, pp. 45-64.
- Moscicki, L. 2011. Pet Food and Aquafeed. In: MOSCICKI, L. *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. Weinheim: WileyVCH, , pp.139-149.
- Moughan, P.J., Rutherford, S.M., 1996. A new method for determining digestible reactive lysine in foods. *J. Agri. Food Chem.* 44, 2202-2209.
- Murray, S.M., Patil, A.R., Fahey, G.C., Jr, Merchen, N.R., Wolf, B.W., Lai, C.S.; Garleb, K.A. Apparent digestibility of a debranched amylopectin-lipid complex and resistant starch incorporated into enteral formulas fed to ileal-cannulated dogs. *J. Nutr.* 128, 2032-2035, 1998.
- National Research Council, 2006. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats*. Natl. Academy Press, Washington, DC, USA.
- Plattner, B., 2007. Density Management and control. In: Riaz, M.N. *Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds*. Agrimedia, Clenze, GE, pp. 277-294.
- Pryce, J.D., 1969. A modification of the Barker–Summerson Method for the determination of lactic acid. *Analyst.* 94, 1121-1151.
- Riaz, M. N., 2000. Extruders in food applications, In: RIAZ M. N. *Introduction to extruders and their principles*. CRC Press, p.1-23.
- Riaz, M.N., 2001. Selecting the right extruder. In: GUY, R. *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*. Boca Raton: CRC Press, , p. 29-50.
- Riaz, M.N., 2007. *Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds*. Agrimedia, Clenze, p. 400.
- Sá, F.C., Vasconcellos, R.S., Brunetto, M. A., Filho, F.O.R., Gomes, M.O.S. , Carciofi, A.C., 2013. Enzyme use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97, Suppl 1, 51-59.
- Silva, F.A., Neves, R.C.F., Quintero-Pinto, L.G., Padilha, C.C.F., Jorge, S.O.M.A., Barros, M.M., Pezzato, L.E., Padilha P.M., 2007. Determination of selenium by

- GFAAS in slurries of fish faeces to estimate the bioavailability of this micronutrient in feed used in pisciculture. *Chemosphere* 68,1542-1547.
- 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. *Int. J. Poult. Sci.*, 11(9), 565-569.
- Souza, D. F., 2013. Soja crua em dietas extrusadas para gatos. 2013. 67f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- Spears, J.K., Fahey JR., G.C., 2004. Resistant Starch as Related to Companion Animal Nutrition. *J. AOAC*. 87, 787-791.
- Statistical Analysis Systems Institute Inc., 1997. SAS System for Elementary Statistical Analysis, 2nd ed. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Strathman, R., 2007. Universal Pellet/Cooker®. In: Riaz, M.N. Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds. Agrimedia, Clenze, GE, pp. 135-156.
- Svihus, B., Uhlen. A. K., Harstad. O.M., 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 122, 303-320.
- Tran, Q.D., Hendriks, W.H., Van der Poel, A.F.B., 2008. Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1487–1493.
- Trivedi, N., Benning, J., 2003. Palatability Keys. In: Kvamme, J. L.; PHILLIPS, T. D. Petfood technology. Illinois Mt Morris, Chicago, USA, pp. 178-179.
- Vieira, P. F., 1980: Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídios em rações para ruminantes. Viçosa, MG: UFV, 1980. 98f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- Weyl, W. A., 1978. Coloured Glasses. Society of Glass Technology, Sheffield.
- Zanotto, D.L., Belaver, C. 1996. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. Comunicado Técnico EMBRAPA – Suíno e Aves. CT 215. 1-5.

CAPÍTULO 3

PROCESSAMENTO DE RAÇÕES PARA CÃES À BASE DE SORGO

Running head: Processing of sorghum to dogs.

Processing of sorghum based kibble diets for dogs ¹

F. C. Sá^a, T. C. Putarov ^a, S. Alavi^b, A. C. Carciofi^{a,†}

^a São Paulo State University – UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Jaboticabal, SP 14.884-900, Brazil.

^b Kansas State University, Manhattan, KS, USA.

[†] *Abbreviations:* DIVMO, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; EET, energia específica total; EME, energia mecânica específica; ETE, energia térmica específica; SAS, Statistical Analysis Systems..

[†] Corresponding author. Tel.: +55 16 3209-2631; fax: +55 16 3203-1226.

E-mail address: aulus.carciofi@gmail.com (A.C. Carciofi).

¹ Escrito de acordo com as normas da revista Animal Feed Science and Technology

Processamento de rações para cães à base de sorgo

Resumo

O uso de sorgo na alimentação de cães apresenta benefícios potenciais em relação ao emprego de milho, incluindo ação antioxidante dos taninos, menor resposta pós-prandial de glicose e insulina e redução da dependência de milho na alimentação animal. Sorgo, no entanto, parece apresentar menor digestibilidade e palatabilidade e requerer melhor processamento em relação ao milho, no entanto estudos sobre processamento do sorgo não estão disponíveis para alimentos extrusados para cães. Dois experimentos foram conduzidos, o experimento 1 avaliou a influência da granulometria da matéria prima e o experimento 2 diferentes implementações de energia mecânica específica e energia térmica específica em formulações à base de sorgo vermelho e sorgo branco, nos dois experimentos foram avaliadas as características de processamento, macroestrutura dos extrusados, gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO). Cada experimento seguiu esquema 2 (duas variedades de sorgo: sorgo vermelho e sorgo branco) x 3 (três processamentos das variedades de sorgo) de tratamentos mais 2 controles (formulações à base de milho ou arroz) totalizando 8 rações. No experimento 1 os tratamentos do sorgo foram três moagens distintas, com peneiras com crivos de 0.51mm, 0.84mm e 1.65mm. No experimento 2 os tratamentos do sorgo foram a implementação de três relações entre energia mecânica específica (EME) e energia térmica específica (ETE) durante a extrusão. Em cada experimento os dados foram avaliados em esquema fatorial 2 x 3 + 2 de tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi considerada a amostragem no tempo, com intervalo de 15 minutos, sendo no mínimo 4 por tratamento. Foi verificado que sorgo vermelho e branco moídos em tela de 0,51mm levaram à maior consumo de EME durante a extrusão, aumentando a energia específica total implementada. Com isto os índices de gelatinização do amido e a DIVMO ficaram semelhantes aos controles milho e arroz moídos a 0,84mm. Redução linear na gelatinização do amido e DIVMO foram verificadas para os dois sorgos, em função do aumento do tamanho de partículas ($r^2=0.98$; $P<0.01$). Alterações à macroestrutura incluíram redução da expansão e aumento da densidade do

extrusado com o aumento do tamanho de partículas ($P < 0,05$). No experimento 2, as diferentes aplicações de EME e ETE não alteraram a gelatinização do amido nem a macroestrutura das rações à base de sorgo vermelho, que apresentaram características próximas à do arroz e do milho. Já as rações à base de sorgo branco apresentaram reduzida gelatinização do amido, menor expansão longitudinal e radial e maior densidade específica e aparente ($P < 0,05$), independentemente das aplicações de EME e ETE. Concluiu-se que o tamanho geométrico de partículas é fundamental para a gelatinização e DIVMO de rações à base de sorgo, que requer menor tamanho de partículas para ter estas características semelhantes à dietas à base de milho e arroz. Diferentes relações entre EME e ETE não influenciam de modo significativo a macroestrutura e cozimento de rações à base de sorgo. Sorgo branco demonstrou ser mais difícil de ser processado, resultando em rações com menor expansão e cozimento.

Keywords: amido, digestibilidade, extrusão, gelatinização, granulometria.

Processing of sorghum based kibble diets for dogs

Abstract

Sorghum use on dog nutrition presents potential benefits in comparison with maize, including the tannin antioxidant action, lower glucose and insulin postprandial response, and reduced dependence on maize for animal nutrition. However, sorghum seems present reduced digestibility and lower palatability, requiring better processing in comparison to maize, but studies about sorghum use for kibble diets for dogs are not available. Two experiments was conducted, the experiment 1 evaluated the influence of raw material particle size and the experiment 2 different implementations of specific mechanical energy (SME) and specific thermal energy (STE) on dog foods formulated with red sorghum or white sorghum, assessing their influence on processing traits, kibble macrostructures, starch gelatinization, and in vitro digestibility of organic matter (IVDOM). Each experiment followed a factorial arrangement of treatments, with two sorghum varieties (white and red) x three processing conditions of the sorghum grains + two controls (maize and brown rice diets), totaling 8 diets. On experiment 1 where evaluated three grinding conditions, with sieve screens sizes of 0.51mm, 0.84mm, and 1.65mm. On experiment 2 sorghum diets received three amounts of SME and STE during extrusion. On each experiment, data was evaluated in a 2 x 3 + 2 factorial arrangement of treatments, in a completely randomized design. The experimental unit was the food sampling, collected at each 15 min of food production, with at least 4 samplings per food. On experiment 1 was verified that red and white sorghum grind whit 0.51mm screen sieve presented higher SME implementation, increasing the specific total energy during extrusion. Due this, the starch gelatinization and IVDOM of these foods was similar to the maize and rice control diets grind at 0.84mm. Linear reduction on starch gelatinization and IVDOM were verified for both sorghum grains based diets as the raw material particle size increased ($r^2=0.98$; $P<0.01$). Alterations on kibble macrostructure included reduced expansion and increased density of extrudates as the raw material particle size increased ($P<0.05$). On experiment 2, the different SME and STE implementation did not change starch gelatinization or kibble macrostructure of the red sorghum based diets, with similar results than the maize or

rice control diets. White sorghum diets, on the other hand, presented lower starch digestibility, reduced specific length and radial expansion, with greater apparent and specific densities ($P < 0.05$), regardless the SME or STE implementations. By conclusion, the raw material particle size is very important for starch gelatinization and IVDOM of sorghum based diets, which is a cereal that requires greater particle reduction than maize and rice to be cooked. Different SME and ETE ratios do not change significantly the kibble macrostructure and starch cooking of sorghum based dog foods. The white sorghum is more difficult to be extruded, leading to the production of less expanded, more dense, and less cooked dog diets.

Keywords: digestibility, extrusion, gelatinization, particle size, starch.

1. Introdução

O milho, por ser fonte de energia para nutrição animal disponível ao longo do ano todo e apresentar baixo custo em relação ao arroz, é o cereal mais utilizado na formulação de rações. Porém, da mesma forma que o arroz, o milho é utilizado na alimentação humana o que desfavorece sua inclusão em dietas para animais. Desta forma, ingredientes alternativos ao milho que sejam de fácil obtenção, alta produtividade e adaptabilidade agrícola, com baixo custo de produção e boas características nutricionais e sensoriais são de interesse nas pesquisas em nutrição animal. Entre os ingredientes pesquisados, destaca-se o sorgo, que possui composição química semelhante à do milho, embora com valor energético ligeiramente inferior e um pouco mais de proteína. O menor valor nutritivo do sorgo em comparação ao milho está relacionado à menor digestibilidade, causada pela interferência dos taninos no metabolismo de proteínas e carboidratos, especialmente em grãos de sorgo com mais de 1% de taninos (Magalhães et al., 1997; Dykes et al., 2006). Além disso, dados indicam que o sorgo parece necessitar de processamento mais intenso para apresentar adequada digestibilidade, incluindo moagem mais fina e elevado cozimento na extrusão (Bazolli, 2007).

O sorgo é cereal de importância mundial, uma das culturas alimentares mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético como em velocidade de maturação (Silva et al., 2012). Ele é o quinto cereal de maior produção no mundo, sendo antecedido pelo trigo, arroz, milho e cevada (FAO, 2010). A produção de sorgo na América do Norte, América do Sul, Europa e Austrália se destina principalmente à alimentação animal, enquanto que na Ásia, África, Rússia, China e América Central o grão é importante como alimento básico na nutrição humana (Magalhães et al., 1997; Ratnavathi e Patil, 2013). No Brasil, o cereal apresenta bom potencial para plantio no período de entressafra, conhecido como safrinha, principalmente na região Centro-Oeste (Silva et al., 2009), mas sua produção ainda é pequena, necessitando-se esforço em difundi-la e incentivá-la, sobretudo pelo incremento em produtividade e geração de informações científicas que demonstrem seu potencial alimentar em relação aos cereais mais tradicionais.

Os teores nutricionais do sorgo são próximos ao do milho e do trigo, com composição média incluindo 70% de carboidratos, 9% de proteína, 3% de gordura, 2,5% de fibra bruta e 1,5% de cinzas (Ruskin et al., 1996; NRC, 2006). O sorgo pode apresentar menor digestibilidade da matéria orgânica quando comparado ao milho, provavelmente devido as características do amido e sua interação com a proteína (Streeter et al., 1990). A concentração de proteína é maior no grão de sorgo do que no milho (Okoh et al., 1982), porém a eficiência na utilização desta proteína depende do balanço de aminoácidos e das concentrações de tanino das diferentes variedades do grão. O grão de sorgo é constituído por três partes distintas: pericarpo, endosperma e gérmen. Além destas, algumas variedades possuem uma quarta estrutura denominada testa pigmentada, localizada entre o pericarpo e o endosperma, onde se localizam os taninos condensados (Awika et al., 2004a; Earp et al., 2004). Os taninos são compostos fenólicos resultantes do metabolismo secundário do sorgo, assim como os ácidos fenólicos, os flavonoides e as antocianinas (Hahn e Rooney, 1986; Awika et al., 2004b).

A presença de taninos condensados é característica indesejável principalmente para animais monogástricos, pois são considerados fatores antinutricionais já que diminuem a disponibilidade de proteínas, carboidratos e minerais devido a interações que estes apresentam com os taninos, o que provoca ineficiência na conversão alimentar e baixo ganho de peso dos animais de produção (Magalhães et al., 1997). Porém, a inclusão de sorgo em dietas para cães pode ser alternativa interessante, já que estudos em seres humanos demonstram benefícios relacionados ao consumo de alimentos com taninos (Austin et al., 2012). Especialmente em países ocidentais, acredita-se que o consumo de sorgo possa auxiliar no tratamento de doenças crônicas não transmissíveis como a obesidade, o diabetes, as dislipidemias, as doenças cardiovasculares, o câncer e a hipertensão (Awika et al., 2009; Prasad et al., 2014). Estes benefícios do sorgo podem ser atribuídos, ao menos parcialmente aos compostos fenólicos do cereal (Awika et al., 2004b; Dykes et al., 2006). Os compostos fenólicos, como o tanino, atuam como antioxidantes em sistemas biológicos e alimentares, como antimicrobianos e reduzem a deposição lipídica plasmática, muscular e visceral (Chung, et al., 1998; Silva, 2002). Dlamini et al. (2007) estudaram tipos de sorgo e variações de

processamento quanto ao conteúdo de compostos fenólicos, taninos e atividade antioxidante. Verificaram que a presença de taninos possui correlação com atividade antioxidante nos grãos e que a extrusão reduz os teores de taninos no produto final. Acredita-se que a extrusão reorganize a estrutura dos taninos, aumentando a biodisponibilidade destes compostos (Dlamini et al., 2009).

Ponto negativo ligado à presença de taninos, no entanto, é seu gosto amargo que pode reduzir a palatabilidade da ração (Magalhães et al., 1997). O consumo com satisfação do alimento pelo animal é aspecto bastante relevante para os proprietários de cães na escolha do alimento. Assim, a utilização de palatilizantes e o estudo da influência das condições de processamento e extrusão na palatabilidade de rações com sorgo é ponto importante a ser explorado nos estudos sobre o emprego de sorgo para animais de companhia. A adequação do processamento de extrusão pode melhorar as características sensoriais do alimento e alterar a biodisponibilidade de seus componentes (Prasad et al., 2014), podendo potencialmente favorecer a produção de rações à base de sorgo com melhor digestibilidade e palatabilidade.

Outro aspecto interessante atribuído ao sorgo é indução de menor resposta pós-prandial de glicose e insulina em cães (Bazolli, 2007; Carciofi et al., 2008). Estes autores verificaram que o pico pós-prandial de glicose e insulina e a área abaixo da curva inicial de insulina (0 a 30 min) de insulina foram maiores em cães alimentados com ração à base de milho e arroz, e menor nos alimentados com sorgo. Estas respostas refletem, em última instância, a velocidade com que o amido dos ingredientes foi digerido e absorvido no intestino delgado, na forma de glicose (Radhika et al., 2010). Esta menor resposta glicêmica pode ser em parte atribuída à interferência dos taninos na velocidade de digestão (Awika et al., 2004a; Dykes et al., 2006) e em parte devido à estrutura característica do grânulo de amido do sorgo, aderido à proteínas e mais difícil de ser hidrolisado (Dykes et al., 2006). Desta forma, considerando o aumento da ocorrência de obesidade, diabetes mellitus e desordens lipídicas em cães, o uso de sorgo em substituição ao milho e arroz pode apresentar vantagens à saúde que precisariam ser investigadas.

Considerando assim os possíveis benefícios do emprego de sorgo para cães, a importância estratégica de se reduzir a dependência de milho na alimentação

animal e a falta de informações à respeito dos requisitos de processamento do sorgo, este trabalho teve por objetivo estudar o processamento de rações à base de sorgo para cães. Dois estudos foram conduzidos, o primeiro teve por objetivo avaliar o efeito da granulometria da matéria prima e o segundo de diferentes implementações de energia mecânica específica e energia térmica específica em formulações à base de sorgo, verificando seus efeitos sobre as características de processamento, macroestrutura dos extrusados, índice de gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica.

2. Material e métodos

2.1. Formulação e produção das dietas experimentais

Amostras de milho, arroz, sorgo branco, sorgo vermelho, polpa de beterraba e farinha de vísceras de aves foram compradas em um fornecedor local do estado do Kansas, nos EUA. Os ingredientes foram moídos em moinho de facas tipo Wiley (modelo 4, Thomas-Wiley, Philadelphia, PA, EUA), com tela com crivos de 1 mm e analisadas para matéria seca, cinzas, proteína bruta, extrato etéreo hidrólise ácida e teor de fibra bruta, de acordo com metodologias aprovadas pela (AOAC, 2002). A composição química analisada dos ingredientes foi utilizada para se formular quatro dietas completas (Tabela 1), equilibradas para cães em fase de manutenção de acordo com FEDIAF (2013).

As rações foram produzidas no Laboratório de Extrusão da Kansas State University, Manhattan, KS, EUA. Cada formulação foi misturada obedecendo a sequência de mistura do ingrediente em maior proporção para o de menor quantidade, a fim de homogeneizar melhor as rações. Em seguida as dietas foram moídas em moinho de martelos (Fitzmill Modelo Das06, Fitzpatrick, Elmhurst, IL, EUA), equipado com telas com crivos de 0,51mm, 0,84mm ou 1,65mm, a depender do tratamento experimental, como será descrito adiante. A distribuição do tamanho de partícula das dietas, após moagem, foi avaliada de acordo com o procedimento descrito por Zanotto e Bellaver (1996), usando conjunto de peneiras com telas de 3,36 mm, 2,38 mm, 1,68 mm, 1,19 mm, 0,84 mm, 0,59 mm, 0,42 mm, 0,29 mm, 0,21

mm, 0,15 mm, 0,10 mm, 0,07 mm, 0,05 mm e o fundo. Os valores finais foram calculados com o software Granocalc (Embrapa-CNPSA, Concórdia, Brasil).

Tabela 1. Fórmulas e composição química estimada das dietas experimentais.

<i>Ingredientes (g/kg, na matéria natural)</i>	Sorgo Vermelho	Sorgo Branco	Arroz	Milho
Sorgo Vermelho	506.0	-	-	-
Sorgo Branco	-	498.0	-	-
Arroz integral	-	-	479.0	-
Milho	-	-	-	520.0
Farinha de Visceras de frango	323.0	301.0	311.0	314.0
Polpa de Beterraba	49.0	72.0	80.0	50.0
Sal comum	4.5	4.5	4.5	4.5
Cloreto de potássio	3.5	3.5	3.5	3.5
Premix mineral 0,15% ¹	1.5	1.5	1.5	1.5
Premix vitaminico 0,25% ²	2.5	2.5	2.5	2.5
Cloreto de colina	2.0	2.0	2.0	2.0
Antifungico ³	1.0	1.0	1.0	1.0
Antioxidante ⁴	0.4	0.4	0.4	0.4
Gordura de avez	78.0	85.0	85.4	72.0
Palatabilizante liquido	30	30	30	30
<i>Composição química estimada, (%)</i>				
Ítems				
Umidade	120.0	120.0	120.0	120.0
Cinzas	50.5	49.2	49.3	49.3
Proteína Bruta	260.0	260.0	260.0	260.0
Gordura	150.0	150.0	150.0	150.0
Fibra Bruta	26.6	30.8	28.4	24.7
Extrativos não nitrogenados ¹	392.9	390.0	392.0	396.0
EM (MJ/kg)	15.6	15.5	15.6	1.57

¹ - Adição por quilograma de produto: Ferro 100 mg, Cobre 9,25 mg, Manganês 6,25 mg, Zinco 150 mg, Iodo 1,87 mg, Selênio 0,13 mg;

² - Adição por quilograma de produto: Vit. A 18750 UI, Vit. D 1500 UI, Vit. C 125 mg, Vit. K 0,15 mg, Tiamina 5 mg, Riboflavina 16 mg, Ácido pantotênico 35,75 mg, Niacina 62,5 mg, Piroxidina 7,5 mg, Cobalamina 45 mcg, Ácido fólico 0,75 mg.

³ - Mold Zap Aquativa, Alltech Brasil Agroindustrial Ltda: propionato de amônio, propanodiol, ácido propiônico, ácido acético, ácido láctico, ácido ascórbico, ácido fórmico, sorbato de potássio, veículo q.s.p.

⁴ - Banox, Alltech Brasil Agroindustrial Ltda: BHA, BHT, galato de propila e carbonato de cálcio

Adicionalmente, amostras foram enviadas para o Centro de Pesquisas de Produção e Marketing de grãos do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), onde sua granulometria foi medida por Analisador de Tamanho de Partículas a Laser (Beckman Coulter, Miami, FL). Cada amostra foi misturada com 1,0 mL de água e agitada em vórtice. Os índices de refração padrão

utilizados foram 1,31 e 1,52 para a água para a amostra. Os volumes dos grânulos foram calculados na premissa de que todos apresentam forma esférica.

Depois de moídas as rações foram extrusadas em extrusor de rosca simples (X-20, Wenger Manufacturing, Sabetha, KS, EUA) equipado com sistema automático de coleta de dados. A configuração básica do processo de extrusão para o experimento 1 incluiu quantidade elevada de ETE (temperatura do pré-condicionador entre 90°C a 100°C), umidade de processamento da massa de 28% e velocidade de rotação da rosca do extrusor de 357 rpm. No experimento 2, para se obter três quantidades de ETE a injeção de vapor e temperatura do pré-condicionador variaram conforme o tratamento, bem como a velocidade da rosca do extrusor (para se obter diferentes EME), permanecendo a umidade de processamento em 28%. Após 30 minutos de estabilizada a produção, os seguintes dados foram registrados: temperatura ambiente; temperatura da água de processamento; umidade da dieta farelada; temperatura da dieta farelada; fluxo de dieta farelada no condicionador; velocidade de rotação dos eixos do pré-condicionador; fluxo de vapor no condicionador; fluxo de água no condicionador; temperatura final do produto na saída do condicionador; velocidade de rotação do eixo da rosca do extrusor; carga do motor da extrusora; fluxo de água no extrusor; carga máxima do motor do extrusor; velocidade máxima do eixo da rosca do extrusor; temperatura e pressão da massa no final do canhão extrusor; velocidade de rotação do motor das faca de corte dos extrusados, temperatura dos extrusados à saída do extrusor. Após a extrusão, o extrusados foram transportados pneumáticamente para secador de passagem dupla e resfriador de passagem única (série 4800, Wenger Manufacturing, Sabetha, KS, EUA), operando a 104 °C durante 10 min, em cada etapa de passagem, seguido de resfriamento com ar à temperatura ambiente, durante 10 minutos.

Durante o processamento foram coletadas quatro amostras de cada alimento, em cada experimento produzindo. As amostras foram coletadas em intervalos de 15 minutos, após 30 min de estabilização da extrusora. Para efeitos de análise estatística, a unidade experimental foi considerada o tempo de amostragem, totalizando quatro amostras por dieta. Foram coletadas amostras de produto à saída

do pré-condicionador, extrusor e secador. Na matéria prima, no produto à saída da extrusora e do secador foi também determinada a densidade aparente, em g/L.

2.2. *Experimentos e delineamento experimental*

Dois experimentos distintos foram conduzidos. No experimento 1 foi avaliado o efeito da granulometria de rações à base de sorgo vermelho ou sorgo branco sobre os parâmetros de extrusão, macroestrutura dos extrusados, gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* dos alimentos. No Experimento 2 foi avaliado o efeito de diferentes implementações de energia térmica específica (ETE) e energia mecânica específica (EME) de dietas à base sorgo vermelho ou sorgo branco. Nos dois experimentos, formulação à base de arroz e de milho foram utilizadas como controles.

Experimento 1: Efeito da granulometria de rações à base de sorgo sobre os parâmetros de extrusão, macroestrutura dos extrusados, gelatinização do amido e digestibilidade *in vitro* dos alimentos

Foram avaliadas três granulometrias de dietas à base de sorgo vermelho ou sorgo branco. O experimento seguiu arranjo fatorial 2 x 3 de tratamentos mais 2 controles, totalizando oito dietas experimentais. Duas variedades de sorgo (vermelho e branco) e 3 tamanhos de partículas (dietas moídas em peneiras de 0,51 mm, 0,84 mm e 1,65 mm), mais duas formulações controles à base em milho e arroz integral moídas em peneiras de 0,84 mm de diâmetro foram empregadas. As dietas experimentais ficaram como descrito abaixo:

Milho – dieta a base de milho com moagem de 0,84 mm;

Arroz – dieta a base de arroz com moagem de 0,84 mm;

Sorgo Vermelho 0.51mm – dieta a base de sorgo vermelho com moagem de 0,51 mm;

Sorgo Vermelho 0.84mm – dieta a base de sorgo vermelho com moagem de 0,84 mm;

Sorgo Vermelho 1.65mm – dieta a base de sorgo vermelho com moagem de 1,65 mm;

Sorgo Branco 0.51mm – dieta a base de sorgo branco com moagem de 0,51 mm;

Sorgo Branco 0.84mm – dieta a base de sorgo branco com moagem de 0,84 mm;

Sorgo Branco 1.65mm – dieta a base de sorgo branco com moagem de 1,65 mm.

Experimento 2: Efeito de diferentes implementações de energia mecânica e térmica no processamento de rações à base de sorgo para cães

Foram avaliadas três diferentes relações entre ETE e EME durante a extrusão de rações para cães à base de sorgo vermelho e sorgo branco. O experimento seguiu arranjo fatorial 2 x 3 de tratamentos mais 2 controles, totalizando oito dietas experimentais. Duas variedades de sorgo (vermelho e branco) e 3 proporções de ETE:EME, mais duas formulações controles à base em milho e arroz integral processada com relação ETE:EME intermediária foram empregadas. Para este experimento, todas as rações empregadas foram moídas em tela com crivos de 0,84 mm. A aplicação de ETE ocorreu apenas no pré-condicionador. A fim de se alcançar baixa, média e alta ETE a temperatura da massa de ração no pré-condicionador variou, seguindo a injeção de vapor realizada. A aplicação de EME foi controlada alterando-se a velocidade de rotação da rosca extrusora, sendo: 300 rpm para baixa, 400 rpm para média e 500 rpm para elevada implementação de EME. As dietas experimentais ficaram como descrito abaixo:

Milho – dieta a base de milho, temperatura do pré-condicionador de 80 a 90 °C, rotação da rosca extrusora de 400 rpm;

Arroz – dieta a base de arroz integral, temperatura do pré-condicionador de 80 a 90 °C, rotação da rosca extrusora de 400 rpm;

Sorgo vermelho baixa ETE – dieta a base de sorgo vermelho, temperatura do pré-condicionador de 70 a 80 °C, rotação da rosca extrusora de 500 rpm;

Sorgo vermelho média ETE – dieta a base de sorgo vermelho, temperatura do pré-condicionador de 80 a 90 °C, rotação da rosca extrusora de 400 rpm;

Sorgo vermelho alta ETE – dieta a base de sorgo vermelho, temperatura do pré-condicionador de 90 a 100 °C, rotação da rosca extrusora de 300 rpm;

Sorgo branco baixa ETE – dieta a base de sorgo branco, temperatura do pré-condicionador de 70 a 80 °C, rotação da rosca extrusora de 500 rpm;

Sorgo branco média ETE – dieta a base de sorgo branco, temperatura do pré-condicionador de 80 a 90 °C, rotação da rosca branco de 400 rpm;

Sorgo branco alta ETE – dieta a base de sorgo branco, temperatura do pré-condicionador de 90 a 100 °C, rotação da rosca extrusora de 300 rpm

2.3. *Cálculo da energia mecânica específica e energia térmica específica*

A energia mecânica específica foi determinada segundo Riaz (2000), seguindo a formula:

$$EME (kJ/kg) = \frac{(T - T_o) \times Pr \times \frac{N}{Nr}}{100 \times m}$$

Onde: T é a % de torque do motor; To é a % de do motor ligado vazio; Pr é a potência nominal do motor do extrusor (37,3 kW); N é a velocidade em RPM do eixo do extrusor; Nr é a velocidade nominal em RPM do eixo do extrusor e m é a produtividade do extrusor mensurado em kg/s.

A ETE é a soma do total das contribuições de energia térmica da matéria-prima, da água e do vapor d'água do processo, dividido pela taxa de alimentação (kg/h). Esta foi calculada pela seguinte fórmula (Riaz, 2000):

$$ETE (kJ/kg) = Qte(kJ/h)/me(kg/h)$$

Onde: Qte é a energia térmica total; me é a quantidade de alimento que passa pelo sistema.

$$Qte (kJ/hr) = Qdr + Qs + Qw$$

Onde: Qdr é a energia térmica da dieta seca; Qs é a energia térmica do vapor; Qw é a energia térmica da água.

$$Qdr = (mdr) \times (Cpdr) \times (Tempdr)$$

Onde: mdr é a quantidade de dieta seca; Cpdr é o calor específico da dieta seca; Tempdr é a temperatura da dieta seca.

$$Q_s = (h_s) \cdot (m_s)$$

Onde: h_s é a entalpia do vapor; m_s é a quantidade do vapor

$$Q_w = (C_w) \cdot (m_w) \cdot (Temp_w)$$

Onde: C_w é o calor específico da água; m_w é a quantidade de água; $Temp_w$ é a temperatura da água.

A implementação de energia específica total (EET) foi calculada pela soma da EME com a ETE. Os resultados finais dos cálculos foram convertidos da unidade de valor KJ/kg para KWh/t.

2.4. *Análises da macroestrutura dos extrusados e gelatinização do amido*

Para cada tratamento, o comprimento, diâmetro e massa de 20 extrusados foram medidos e utilizados para se obter a taxa de expansão radial (ER), comprimento específico (C_{esp}) e a densidade específica dos extrusados (Dk), como descrito abaixo:

$$ER = \frac{d^2}{d_m^2} \quad C_{esp} (mm/g) = \frac{c}{m} \quad Dk (g/cm^3) = \frac{4m}{\pi \cdot (\frac{d}{2})^2 \cdot c}$$

Onde: ER- expansão radial; d- diâmetro dos extrusados, em mm; d_m - diâmetro da abertura da matriz da extrusora, em mm; C_{esp} – comprimento específico; c- comprimento dos extrusados, em mm; m- massa dos extrusados, em gramas; Dk - densidade específica dos extrusados.

Para o teste de força de deformação dos extrusados estes foram estabilizados a uma mesma umidade. Foram para isto colocados previamente em câmara de controle de ambiente (ETS Modelo 532, Systems Eletro-Tech, Inc., Glenside, PA, EUA), com temperatura de 30°C e umidade relativa de 50%, durante 24 horas. As amostras foram pesadas e submetidas à força de deformação em analisador de textura (TA-XT2i Analyser texture, Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipado com célula de carga de 24 kg e sonda de ensaio de 35 mm de diâmetro. As amostras foram comprimidas a 70% da sua altura original (5 mm), com velocidade de ensaio de 10 mm/s. Vinte medições foram feitas para cada tratamento.

A gelatinização do amido das rações foi analisada quantitativamente e qualitativamente. A análise quantitativa foi realizada pelo da amiloglicosidase. Resumidamente, a amostra foi dividida em duas partes, uma teve o conteúdo de amido total determinada de acordo com Hendrix (1993) e a outra foi tratada com amiloglucosidase, enzima que hidrolisa apenas a fração de amido gelatinizado. Para isto, amostra de 0,5 g de dieta foi homogeneizada com 10 ml de tampão de acetato (18,2 g de acetato de sódio diluído em 300 mililitros de água destilada, transferidos para balão volumétrico de um litro e adicionado 44,6 ml de ácido acético glacial, o pH foi ajustado para 4,2 usando soluções 2N de NaOH ou HCl e o volume levado até um litro com água destilada), em seguida recebeu 100 microlitros de solução de amiloglicosidase (a partir de *Aspergillus niger*, código A9913, Sigma-Aldrich Brasil, São Paulo, Brasil) e foi colocada em banho-maria a 40°C ($\pm$ 1°C) durante quatro horas (mexendo a cada 1 hora). Após este período a atividade enzimática foi interrompida pela adição de 5 mililitros de solução de ácido tricloroacético a 33% (w/v). Num balão aferido o conteúdo foi completado para 100 ml com água destilada e alíquota de 15 ml centrifugada por dez minutos (2.700 g) a 29°C. A glicose foi medida no sobrenadante pelo método de glicose oxidase (GOD-ANA, Labtest Diagnóstica SA, Lagoa Santa, Brasil) utilizando analisador semi-automático de glicose (LabQuest modelo BIO-2000, Labtest Diagnóstica SA, Lagoa Santa, Brasil). A quantidade de amido gelatinizado da amostra foi determinada pela fórmula: quantidade de amido gelatinizado = (absorbância/peso da amostra) x 0,9 x 100. A porcentagem de gelatinização do amido foi definida multiplicando-se a quantidade de amido gelatinizado por 100 e dividindo esta pela quantidade de amido total.

Foi determinada qualitativamente a gelatinização do amido por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC, *Differential Scanning Calorimetry*). Esta análise foi conduzida no Laboratório de Tecnologia e Inovação de Produtos-Polímeros de Carboidratos do departamento de Ciência de Grãos e Indústria da Universidade do Estado do Kansas, Manhattan, EUA. Utilizou-se para isto equipamento PYRIS Diamond DSC (Perkin Elmer Instruments, Massachusetts, Estados Unidos). Para avaliação da gelatinização do amido das dietas, o instrumento foi calibrado utilizando um cadinho de alumínio como valor de referência. Foram pesadas cerca de 5 a 10 mg de amostra, todas corrigidas para o mesmo teor de umidade, que foram

aconditionadas em cadinhos de alumínio iguais ao de referência. Todas as amostras (ingredientes e rações) foram cuidadosamente moídas em moinho tipo faca (Thomas Modelo 4, Preiser scientific, Charleston, WV, USA), com peneira de 0,5 mm, antes de se proceder as análises laboratoriais. O instrumento foi calibrado para aquecer as amostras no intervalo -10°C à 140°C , à uma taxa de 10°C por minuto e à 7 psi de pressão. Foi adicionada água destilada para se obter o conteúdo sólido de 20% na mistura. Foram determinadas as temperatura inicial de gelatinização (T_i), temperatura de pico (T_p), temperatura de conclusão (T_c) e entalpia (ΔH). A faixa de gelatinização foi calculada como $T_c - T_i$. A quantificação dessas reações pode ser obtida pelo cálculo da variação de entalpia, que está associada à área do pico diretamente sob a curva, em watts por grama (W/g) envolvida no processo endotérmico ou exotérmico. Este foi expresso em joule por grama (J/g).

2.5. *Digestibilidade in vitro*

Os coeficientes de digestibilidade *in vitro* das rações foram determinados segundo o método descrito por Hervera et al. (2007). As condições de incubação *in vitro* simulam os processos de digestão em duas etapas: estômago e intestino delgado. Foi empregado sistema enzimático contendo as enzimas pepsina, em etapa de incubação em meio ácido, seguido de etapa com tratamento com pancreatina, com incubação em meio próximo ao neutro. Este método foi previamente validado para cães em nosso laboratório.

2.6. *Análise estatística*

Cada experimento foi analisado separadamente, segundo esquema fatorial 2 x 3 mais dois controles, totalizando 8 tratamentos (rações) cada um, dentro de delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi considerada a amostragem tomada a cada 15 minutos de intervalo, sendo no mínimo quatro por ração. Para as características macroscópicas dos extrusados foi utilizado 20 unidades experimentais, sendo esta considerada cada extrusado. Foram previamente avaliadas as pressuposições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento MIXED do SAS Software (versão 9.1, SAS Institute, Cary, NC,

EUA). Quando diferenças foram obtidas no Teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

3. Resultados

As dietas foram processadas de acordo com o planejado, sem qualquer problema maior durante a fabricação. Os parâmetros do processo de extrusão e a análise dos extrusados das dietas dos experimentos 1 e 2 estão apresentados nas Tabela 2 e 3, respectivamente. No gráfico 1 estão apresentados a relação da gelatinização e os níveis de implementação de EET KWh/t do experimento 1.

Nas figuras 1 e 2 do gráficos de regressão linear estão apresentados as correlações da EME, ETE, ET e das distribuições granulométricas das dietas do experimento 1.

Nas Figuras 3 a 6 estão ilustrados os resultados de DSC das rações do experimento 1. Nas Figuras 7 a 10 se encontram as varreduras por DSC das rações do experimento 2.

Tabela 2. Tamanho geométrico da matéria prima mais desvio padrão da média, parâmetros de extrusão e macroestrutura de extrusados à base de milho, arroz, sorgo vermelho ou sorgo branco moídos em diferentes granulometrias (Experimento 1).

Item	Milho 0.84mm	Arroz 0.84mm	Sorgo Vermelho 0.51mm	Sorgo Vermelho 0.84mm	Sorgo Vermelho 1.65mm	Sorgo Branco 0.51mm	Sorgo Branco 0.84mm	Sorgo Branco 1.65mm	EPM ^a	Valor P
DGM ^b , Peneiras (µm)	309±1.5	271±1.7	270±1.3	299±1.5	332±1.9	257±1.46	291±1.64	329±1.79	-	-
DGM, Laser (µm)	378	375	239	403	637	249	375	565	-	-
<i>Pré-condicionador</i>										
Temperatura massa (°C)	96.0 ^f	94.2 ^{gf}	89.7 ^h	92.2 ^g	93.7 ^{gf}	93.2 ^g	93.2 ^g	94.2 ^{gf}	0.51	<.0001
Umidade massa (%)	23.2 ^{gf}	23.8 ^f	20.2 ^h	20.7 ^{gh}	21.2 ^{gh}	19.9 ^h	20.6 ^{gh}	21.7 ^{gh}	0.59	0.0006
<i>Extrusor</i>										
Temperatura massa (°C)	123.4 ^{gf}	116.7 ^h	127.0 ^f	127.1 ^f	125.0 ^f	128.5 ^f	119.1 ^{gh}	114.9 ^h	1.13	<.0001
EME (Kwh/t) ^c	29	23	51	44	31	48	28	23	-	-
ETE (Kwh/t) ^d	76	74	72	75	75	79	76	71	-	-
EET (Kwh/t) ^e	105	97	123	119	106	127	104	94	-	-
Relação ETE/EME	2.6	3.2	1.4	1.7	2.4	1.7	2.7	3.0	-	-
<i>Secador</i>										
Densidade aparente (g/L)	321.5 ^j	342.0 ^h	330.0 ^j	307.5 ^f	326 ^{ij}	336.0 ^{hi}	367 ^g	421.0 ^f	2.89	<.0001
Densidade específica (g/mm ³)	0.39 ^{hi}	0.42 ^g	0.38 ⁱ	0.38 ^{hi}	0.40 ^{hgi}	0.39 ^{hi}	0.41 ^{hg}	0.52 ^f	0.01	<.0001
Expansão radial	2.4 ^h	2.6 ^f	2.7 ^f	2.5 ^{gh}	2.4 ^h	2.6 ^{gf}	2.4 ^h	2.0 ⁱ	0.03	<.0001
Comp. específico (cm/g)	2.2 ⁱ	1.8 ⁱ	2.0 ⁱ	2,19 ^{gf}	2,24 ^f	2,11b ^h	2,11b ^h	2,01 ⁱ	0.03	<.0001
Força de deformação (kgf)	7.0 ^j	10.5 ^{gh}	9.6 ^{ih}	7.9 ^{ij}	7.6 ^{ij}	12.3 ^{gf}	8.7 ^{ihj}	12.6 ^f	0.48	<.0001
Índice gelatinização (%)	84.5 ^h	76.5 ⁱ	90.5 ^f	87.5 ^g	84.5 ^h	85.5 ^h	76.5 ⁱ	65.5 ^f	0.29	<.0001
Digestibilid. <i>in vitro</i> da MO (%)	82.77	85.25	83.26	80.44	79.22	84.39	79.07	73.78	-	-

^aEPM: erro padrão da média (n=4 por ração; n=20 para macroestrutura do kibble). ^bDGM: diâmetro geométrico médio; ^c EME: energia mecânica específica. ^dETE: energia térmica específica. ^eEET: energia específica total. ^{f, g, h, i, j} - médias sem um letra em comum são diferentes (P <0,05).

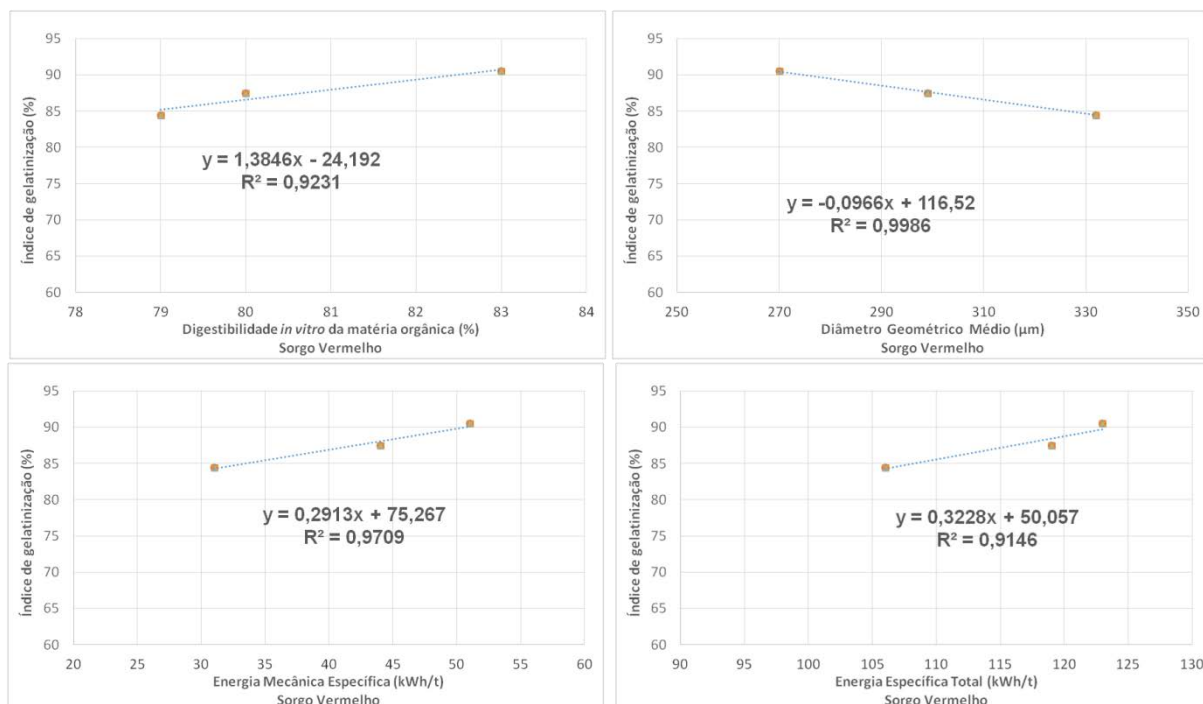


Figura 1. Gráficos de regressão linear com as correlações do Índice de gelatinização com o DIVMO, DGM, EME e EET das dietas com sorgo vermelho, moídas em diferentes granulometrias (Experimento 1).

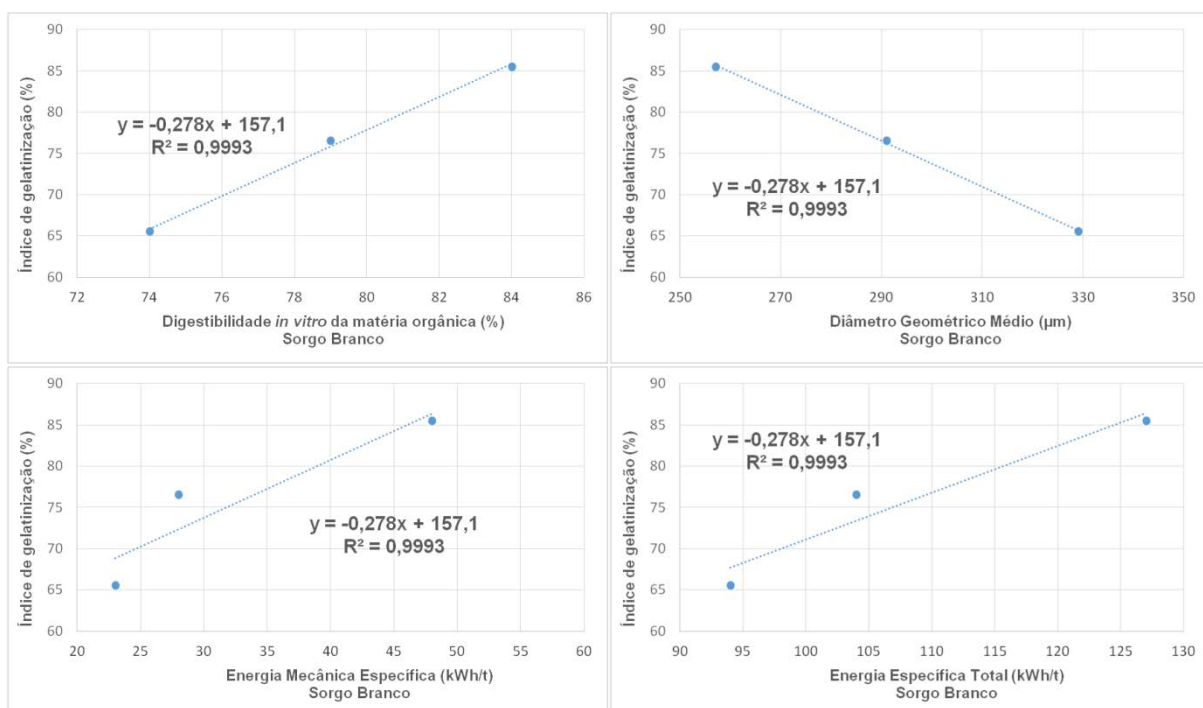


Figura 2. Gráficos de regressão linear com as correlações do Índice de gelatinização com o DIVMO, DGM, EME e EET das dietas com sorgo branco, moídas em diferentes granulometrias (Experimento 1).

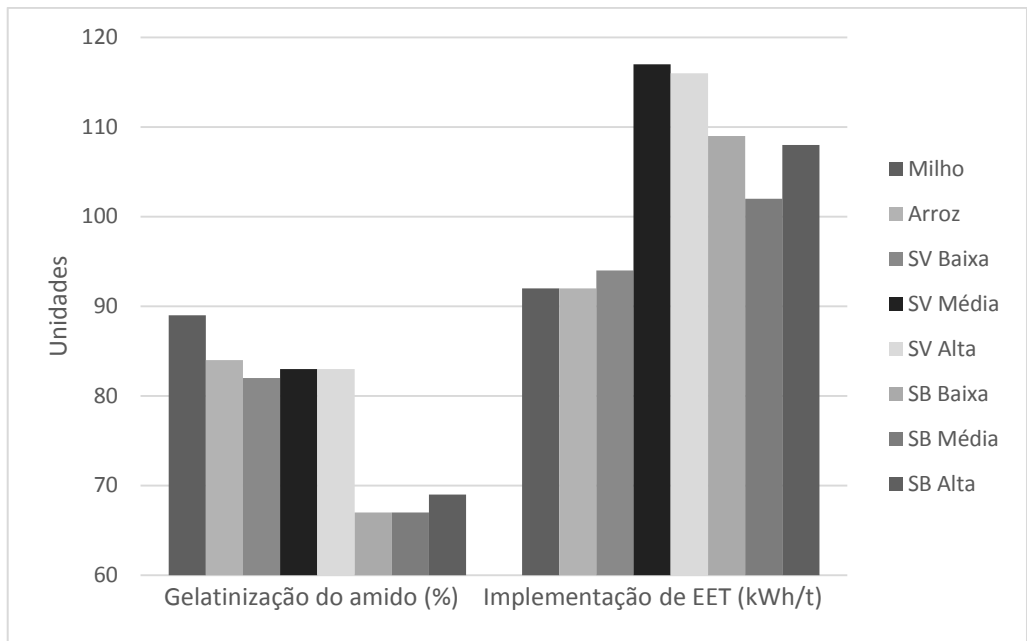


Gráfico 1. Relação entre gelatinização, pelo método de amiloglicosidase e quantidades de energia específica total das dietas do experimento 1.

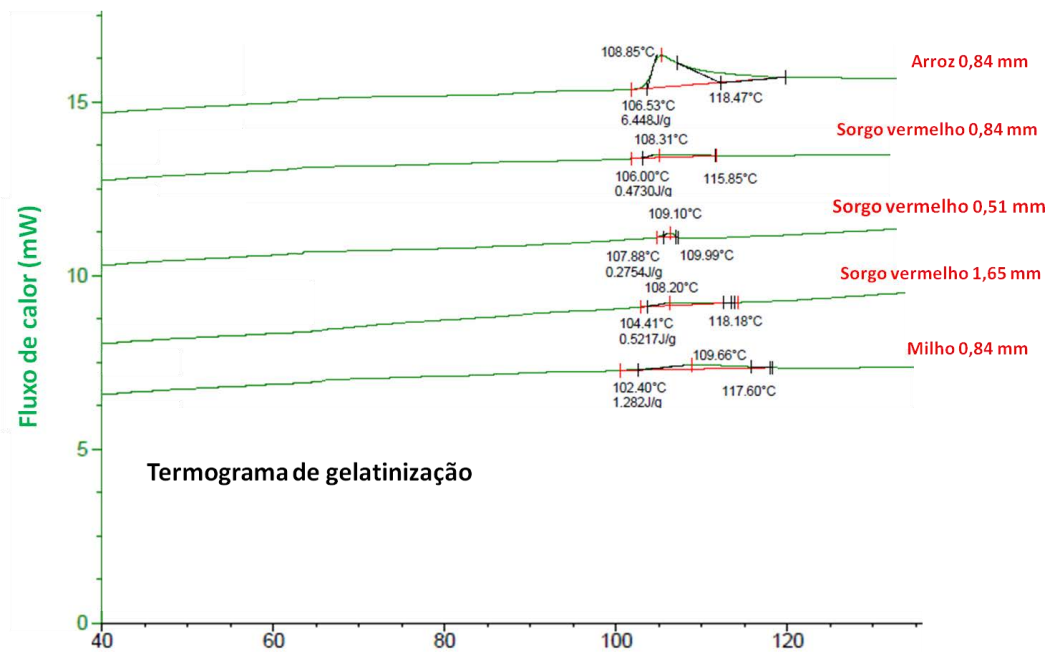


Figura 3. Termograma por DSC da gelatinização de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo vermelho moídos em diferentes granulometrias (Experimento 1).

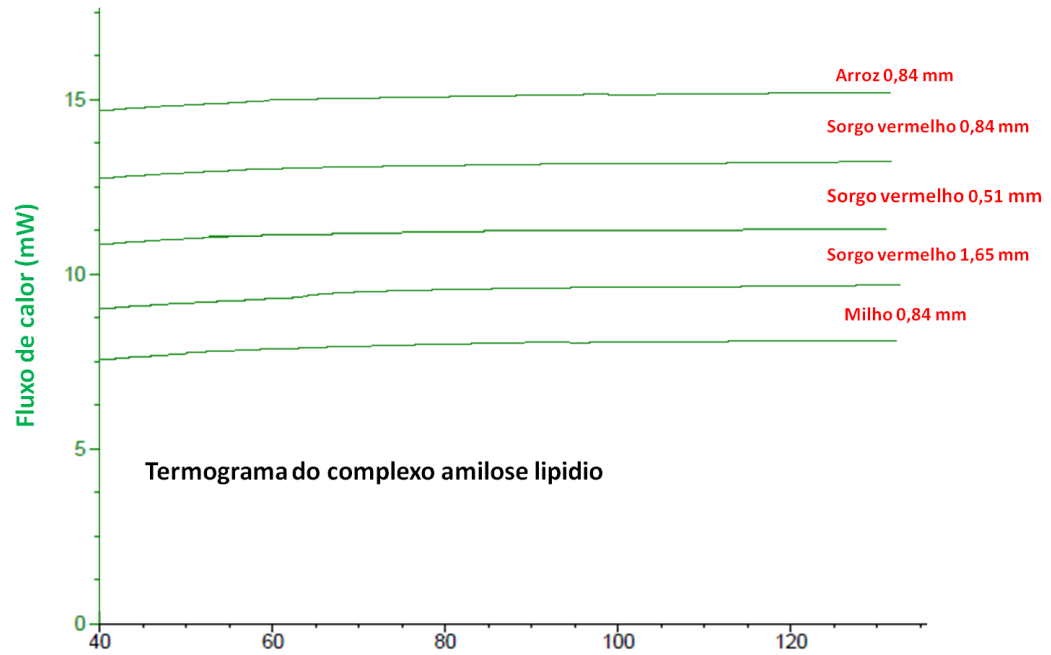


Figura 4. Termograma por DSC da complexação amilose-lipídica de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo vermelho moídos em diferentes granulometrias (Experimento 1).

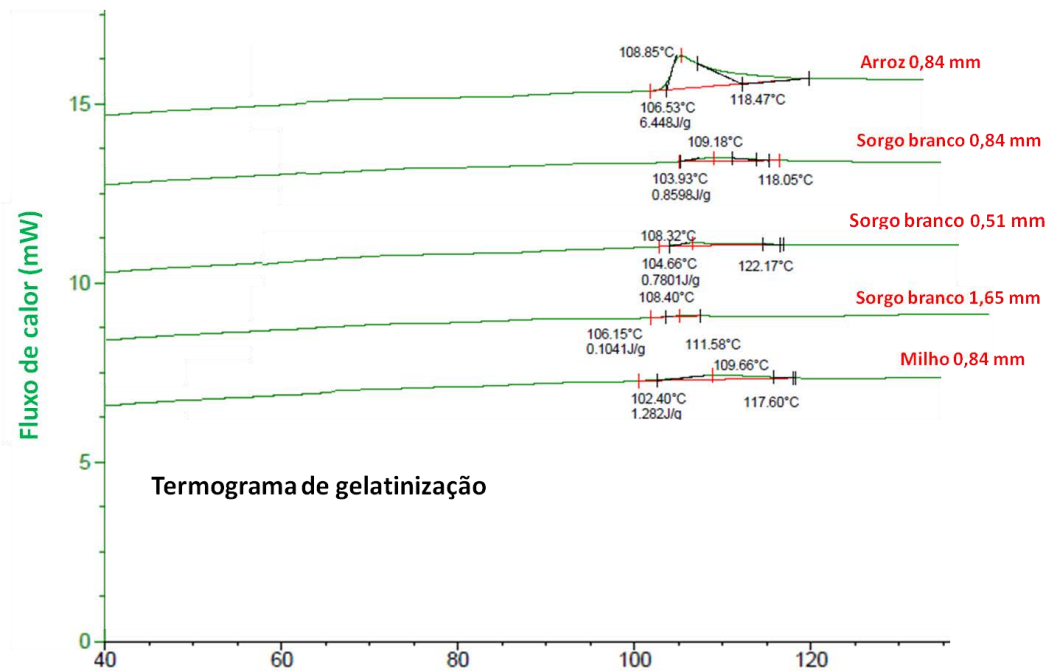


Figura 5. Termograma por DSC da gelatinização de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo branco moídos em diferentes granulometrias (Experimento 1).

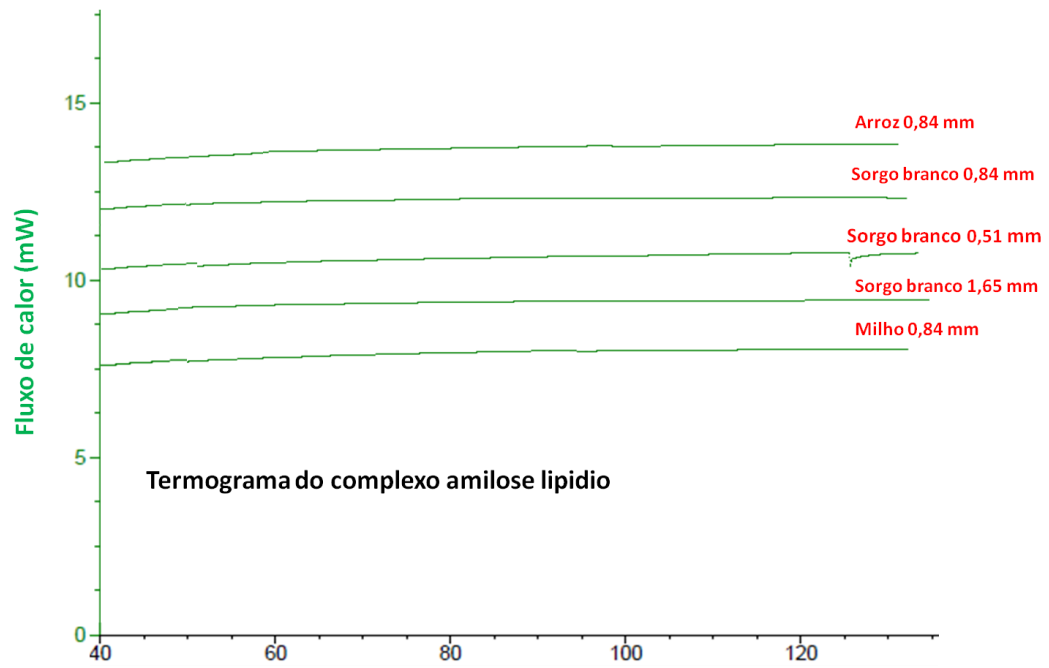


Figura 6. Termograma por DSC da complexação amilose-lipídica de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo branco moídos em diferentes granulometrias (Experimento 1).

Tabela 3. Tamanho geométrico da matéria prima mais desvio padrão da média, parâmetros de extrusão e macroestrutura de extrusados para cães à base de milho, arroz, sorgo vermelho ou sorgo branco processados com diferentes relações entre energia térmica e mecânica (Experimento 2).

Item	Milho	Arroz	Sorgo Vermelho	Sorgo Vermelho	Sorgo Vermelho	Sorgo Branco	Sorgo Branco	Sorgo Branco	EPM ^a	Valor P
	Média ^b	Média	Baixa ^c	Média	Alta ^d	Baixa	Média	Alta		
DGM ^b , Peneiras (µm)	342±1.5	270±1.8	284±1.3	284±1.3	284±1.3	290±1.5	290±1.5	290±1.5	-	-
<i>Pré-condicionador</i>										
Temperatura massa (°C)	86.5 ⁱ	83.7 ^j	72.2 ^k	83.2 ^j	95.0 ^h	73.0 ^k	84.2 ^{ij}	94.5 ^a	0.53	<.0001
Umidade massa (%)	22.8 ^h	21.1 ^{ihj}	20.9 ^{ihj}	21.1 ^{ihj}	19.9 ^j	22.1 ^{ih}	20.6 ^{ij}	19.9 ^c	0.42	0.0005
<i>Extrusor</i>										
Temperatura massa (°C)	132.0 ^k	189.0 ^h	163.3 ^{ij}	177.2 ^{ih}	160.7 ^{ij}	129.3 ^k	130.7 ^k	154.8 ^c	3.64	<.0001
EME (Kwh/t) ^e	31	32	40	53	38	56	40	33	-	-
ETE (Kwh/t) ^f	61	61	53	64	78	53	62	76	-	-
EET (Kwh/t) ^g	92	92	94	117	116	109	102	108	-	-
Relação ETE/EME	2	1.9	1.3	1.2	2.0	1.7	1.6	2.3	-	-
<i>Secador</i>										
Densidade aparente (g/L)	311 ^f	341 ^k	322 ^l	313 ^f	321 ^l	371 ^h	350 ^j	361 ^b	1.44	<.0001
Densidade específica (g/mm ³)	0.37 ^k	0.42 ^{ji}	0.40 ^{cik}	0.38 ^{jk}	0.37 ^k	0.49 ^h	0.47 ^h	0.43 ^b	0.01	<.0001
Expansão radial	2.5 ^h	2.5 ^h	2.4 ^h	2.5 ^h	2.5 ^h	2.1 ^b	2.2 ⁱ	2.2 ^b	0.04	<.0001
Comp. específico (cm/g)	2.28 ^h	1.98 ^k	2.14 ^{ihj}	2.22 ^{ih}	2.24 ^h	2.00 ^{kj}	2.07 ^{ikj}	2.25 ^a	0.06	<.0001
Força de deformação (kgf)	6.4 ^k	11.3 ^h	8.0 ^{ijk}	8.0 ^{ijk}	6.8 ^{jk}	9.8 ^{ih}	9 ^{ij}	9 ^{bc}	0.53	<.0001
Índice gelatinização (%)	89 ^h	84 ⁱ	82 ^j	83 ^j	83 ^j	67 ^l	67 ^l	69 ^e	0.12	<.0001

^aEPM: Erro padrão da média, n = 8 para extrusão de parâmetros e N = 20 para macroestrutura croquete. ^bMédia aplicação de energia térmica e mecânica. ^cBaixa aplicação de energia térmica e alta de energia mecânica. ^dAlta aplicação de energia térmica e baixa energia mecânica. ^eEME: energia mecânica específica. ^fETE: energia térmica específica. ^gEET: energia específica total. ^{h, i, j, k,}

^l - médias sem letras comuns diferem (P <0,05).

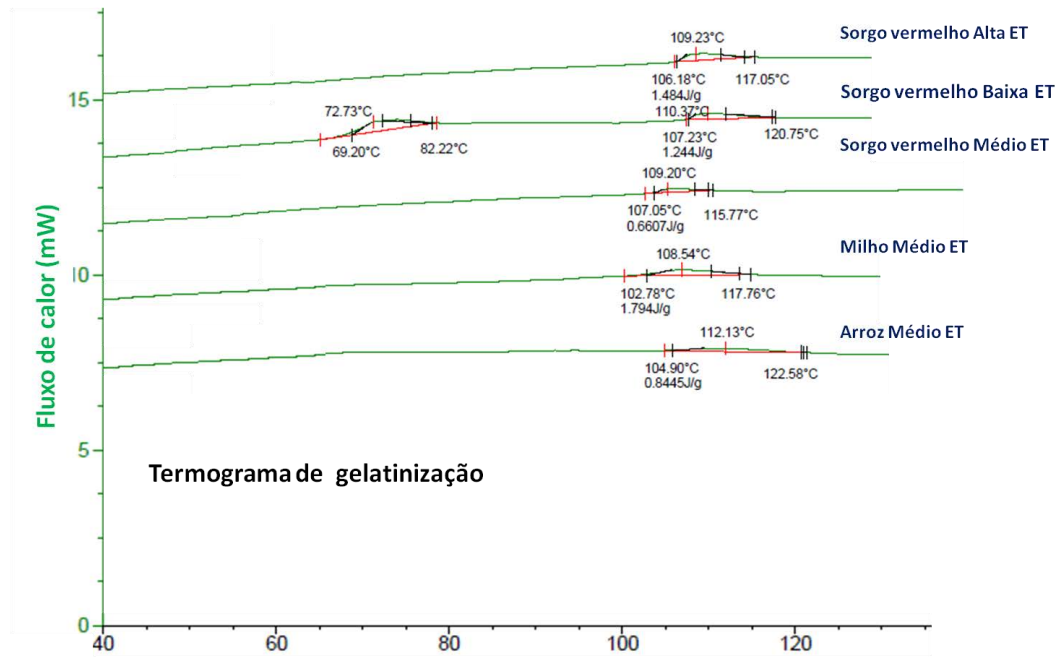


Figura 7. Termograma por DSC da gelatinização de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo vermelho processados com a relação de diferentes energias térmica e mecânica (Experimento 2).

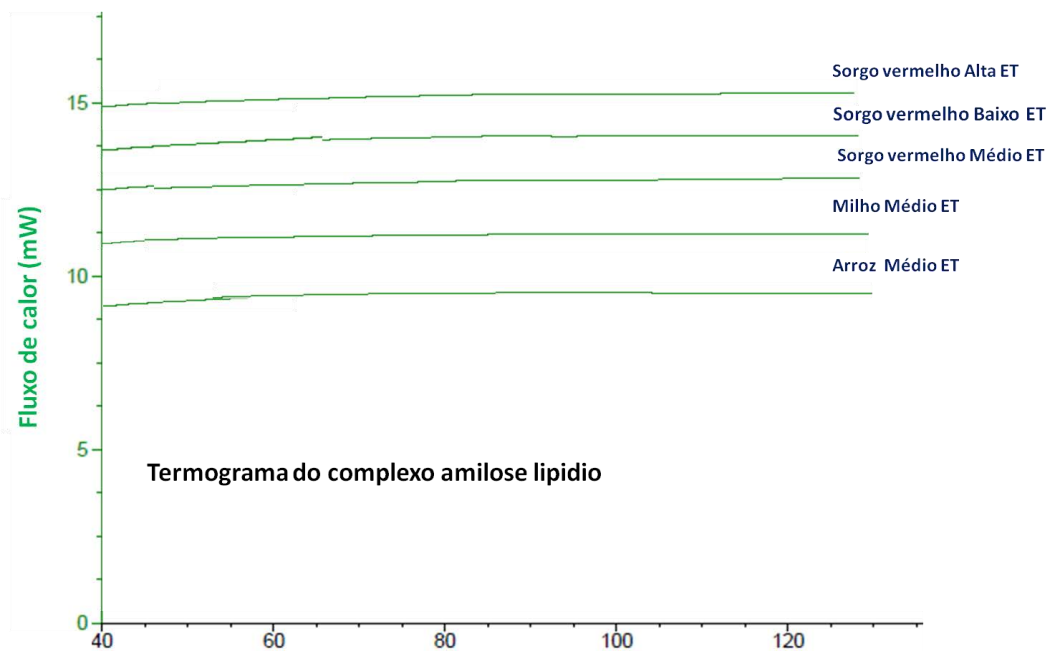


Figura 8. Termograma por DSC da complexação amilose-lipídica de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo vermelho processados com a relação de diferentes energias térmica e mecânica (Experimento 2).

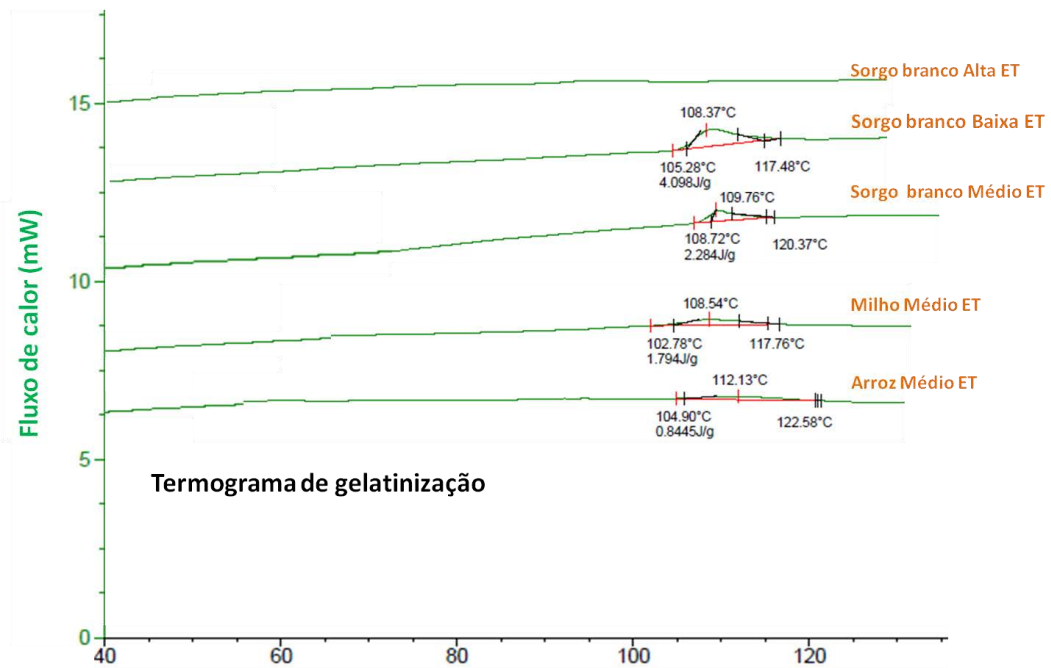


Figure 9. Termograma por DSC da gelatinização de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo branco processados com a relação de diferentes energias térmica e mecânica (Experimento 2).

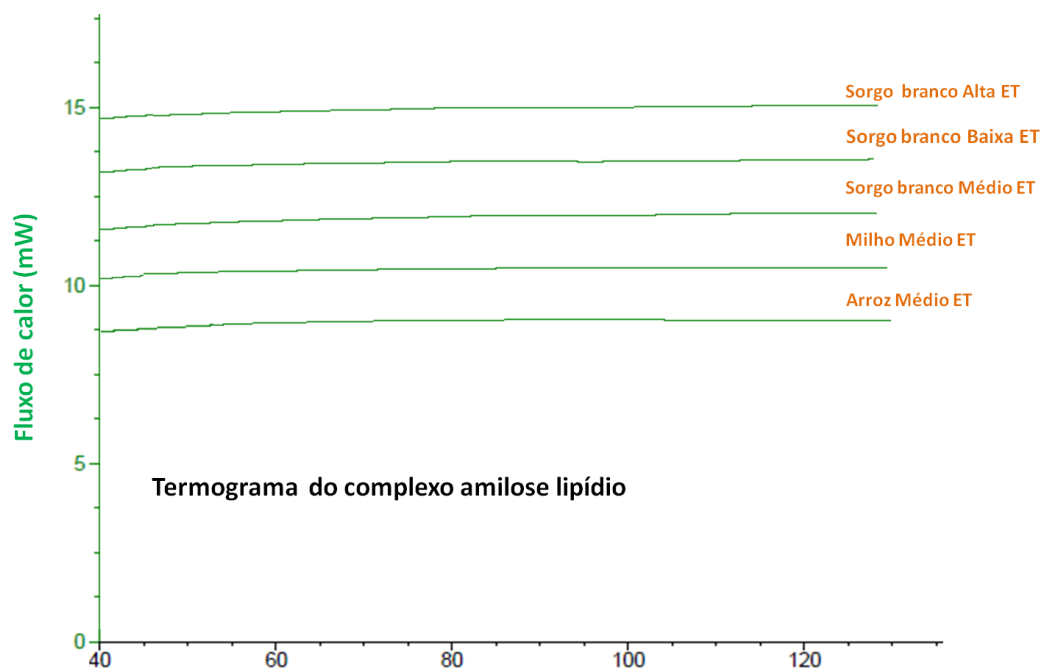


Figure 10. Termograma por DSC da complexação amilose-lipídica de rações extrusadas para cães à base de milho, arroz e sorgo branco processados com a relação de diferentes energias térmica e mecânica (Experimento 2).

4. Discussão

Uma descoberta muito interessante nos tratamentos do experimento 1, com menores granulometrias, foi que ambas as variedades de sorgo, requereram grande quantidade de EME ($P < 0,01$), provavelmente devido a formação de alta viscosidade que aumenta a carga do motor para empurrar a massa para a frente no interior do canhão extrusor. A ETE destes tratamentos também foi maior em relação aos demais, isso pode ser explicado devido a superfície de contato dos grânulos do amido serem menores e com isso proporcionar um intumescimento dos grãos menores de uma forma mais fácil do que em grãos maiores. Podemos observar e confirmar esse achado quando comparamos a relação de ETE/EME dessas dietas com menor granulometria, observamos que foi mais efetivo o cozimento (Índice de gelatinização, ($P < 0,05$) pois a relação foi menor para se conseguir maior índice de gelatinização. Segundo Móscicki e Wójtowicz (2011) um fato notável é que as partículas pequenas de matérias-primas trocam facilmente calor com a unidade extrusora plastificante do que as partículas grosseiras, tais como grãos, que requerem uma temperatura mais elevada e maior tempo de aquecimento, e portanto, mais energia necessária para o processo de plastificação da massa. Portanto, a escolha ideal do grau de desintegração das matérias-primas é um fator vital para o uso efetivo de uma extrusora. No entanto podemos estimar no presente estudo, de que quanto mais fino a partícula maior é o gasto de energia elétrica devido a alto EME observado nesses tratamentos de sorgo com granulometria baixa.

Em comparação com os tratamentos controles de milho e arroz constatou-se que há maior consumo de Energia total (EME+ETE) nos tratamentos com sorgo de média e grande granulometria, diferente quando se compara aos tratamentos de menores granulometrias.

Outro fato interessante que podemos abordar das dietas com sorgo do experimento 1, é a correlação entre as análises de DIVMO, DGM, EME e EET, Figuras 1 e 2, quando comparadas ao índice de gelatinização, observamos uma correlação de aumento da gelatinização pelo método de amiloglicosidase com o aumento dos valores de DIVMO, EME e EET, já para o DGM a correlação foi inversa. Mesmo dentro dos tratamentos com sorgo foi possível observar que há

diferenças nas análises de DIVMO, DGM, EME e EET entre as variedades do sorgo, isso nos confirma que mesmo tendo a mesma quantidade amido entre as dietas a diferença no processamento de diferentes grão, isso também pode ser observado nos tratamentos controles do experimento 1.

Em aspectos de qualidade do extrusado os tratamentos com menores granulometrias apresentaram densidade específica menor que os demais tratamentos e com maior expansão radial e gelatinização do amido, que pode estar relacionado com a maior expansão devido ao maior cozimento visto que pela análise de DSC ocorreu gelatinização completa dos mesmos tratamentos.

Contudo, em moagem fina, o sorgo apresentou a mesma ou maior gelatinização do amido, expansão radial e densidade do produto, quando comparado com as dietas com moagem de 0,84 milímetros. Isso demonstra que os grãos de sorgo requerem um controle na redução das partículas, para que possuam um controle na expansão e na gelatinização adequadas.

No experimento 2, os parâmetros de extrusão, densidade específica, taxa de expansão radial foram semelhantes para os tratamentos com milho, arroz e sorgo vermelho. Algumas diferenças estatísticas foram verificadas, inclusive na baixa densidade específica do tratamento com milho em comparação com a dieta com arroz ($P < 0,05$). Entretanto para os tratamentos com sorgo branco foi verificado maior volume e densidades específicas, menor expansão radial, demonstrando o sorgo branco ser mais difícil de extruzar do que os outros cereais avaliados.

Ocorreu maior gelatinização do amido de milho, intermediária no arroz e menor para as três dietas Sorgo Vermelho ($P < 0,05$), mas os valores foram próximos. As dietas de sorgo branco, por outro lado, apresentaram o menor grau de gelatinização do amido entre as dietas ($P < 0,05$). De forma geral, as condições de mudança nas energias térmica e mecânica durante o processamento, não influenciaram a gelatinização do amido de ambos as variedades de sorgo.

A calorimetria diferencial de varredura (DSC) é uma técnica de análise térmica que registra o fluxo de energia calorífica associado a transições nos materiais em função da temperatura. É um método de variação entálpica (ΔH), no qual a diferença no fornecimento de energia calorífica entre uma substância e um material de referência é medido em função da temperatura, enquanto ambas são

submetidas a um mesmo programa de aquecimento ou arrefecimento, rigorosamente controlado (De Pilli et al., 2008). Estas medidas fornecem dados qualitativos e quantitativos em processos endotérmicos (absorção de energia calorífica) e exotérmicos (libertação de energia calorífica), permitindo se obter informações referentes a alterações de propriedades físicas e/ou químicas como: temperaturas características (fusão, cristalização, transição vítrea), grau de cristalinidade de um polímero, diagrama de fases, entalpias de transição de fase e de reação, estabilidade térmica e oxidativa, grau de pureza e cinética de reações.

Na análise de DSC do experimento 1, Figuras 1, 2, 3, 4, foram encontrados picos endotérmicos com ΔH s inferiores a 5.0 J/g e temperaturas médias iniciais de 108,85 °C e temperatura final média de 109,66 °C temperaturas sugestivas de compostos protéicos e complexos amido-lipídicos. No entanto, o ΔH maior que 5.0 J/g dos picos endotérmicos é importante para a identificação da formação de complexos amido-lipídicos (Liu et al., 1997; De Pilli et al., 2011.). O ΔH tratamento do arroz ($\Delta H=6,448$ J/g) era sugestivo de formação do complexo amido-lípido, mas quando se analisou o termograma do complexo amido-lípido (figura 3), foi observado que era proveniente do ΔH do teor de proteínas da amostra. Para todos os tratamentos foi observado que houve gelatinização completa das amostras, uma vez que os picos são identificados através da libertação de calor de reações com os compostos protéicos das amostras (figura 1) e quando revisado no termograma do complexo amido-lípido não observou nenhum pico de gelatinização e nem de complexo amido-lípido, restando somente os picos de proteína.

Na análise de DSC do experimento 2, Figuras 5, 6, 7, e 8, foram encontrados também picos endotérmicos com ΔH s inferiores a 5.0 J/g e temperaturas médias iniciais de 107,23°C e temperatura final média de 112,13°C, temperaturas sugestivas de compostos protéicos, pois as temperaturas de picos endotérmicos do amido se encontram por volta de 52-80°C (Móscicki e Wójtowicz, 2011). No entanto nenhum destes picos revelou ΔH maior do que 5,0 J / g. Para o tratamento de baixo sorgo vermelho foi observado que não havia gelatinização completa porque mostrou um pico endotérmico de 72,73 °C, temperatura típica de reações de amido (Liu et al., 1997). O tratamento posterior foi observado que

ocorreu completa gelatinização do amido de amostra, com os picos identificadas como picos de liberação de calor da reação de compostos protéicos.

5. Conclusão

Concluiu-se que o tamanho geométrico de partículas é fundamental para a gelatinização e DIVMO de rações à base de sorgo, que requer menor tamanho de partículas para ter estas características semelhantes à dietas à base de milho e arroz. Diferentes relações entre EME e ETE não influenciam de modo significativo a macroestrutura e cozimento de rações à base de sorgo. Sorgo branco demonstrou ser mais difícil de ser processado, resultando em rações com menor expansão e cozimento quando comparados as demais fontes de amido das outras dietas.

6. Referências

- Association of Official Analytical Chemists, 2002. Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC, Washington, DC, USA.
- Austin, D.L., Turner, N.D., McDonough, C.M., Rooney, L.W. 2012. Effects of Brans from Specialty Sorghum Varieties on in Vitro Starch Digestibility of Soft and Hard Sorghum Endosperm Porridges. *Cereal Chem.*, 89, 190-197.
- Awika, J. M., Rooney, L. W. 2004a. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65,1199-1221.
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Waniska, R.D. 2004b. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidants properties. *Food Chemistry*, 90, 293-301.
- Awika, J.M., Yang, L., Browning, J.D., Faraj, A. 2009. Comparative antioxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. *LWT - Food Sci. Tech.*, 42, 1041-1046.
- Bazolli, R. S. 2007. Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães. 2007. 71f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

- Carciofi, A.C., Takakura, F.S., De-Oliveira, L.D., Teshima, E., Jeremias, J.T., Brunetto, M.A., Prada, F. 2008. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. *Journal Animal Physiology Animal Nutrition*, Berlin, 92, 326-336.
- Chung, K., Wong, T.Y., Wei, C., Huang, Y., Lin, Y. 1998. Tannins and human health: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 421-464.
- De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A., Severini, C. 2008. Study on formation of starch-lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour. *Journal Food Engineering*, 87, 495-504.
- De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K., Severini, C. 2011. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 12, 610-616.
- Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N., Rooney, L.W. 2007. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry*, 105, 1412-1419.
- Dlamini, N.R., Dykes, L., Rooney, L.W., Waniska, R.D., Taylor, J.R.N. 2009. Condensed tannins in traditional wet cooked and modern extrusion cooked sorghum porridges. *Journal of Cereal Chemistry*, 86, 191-196.
- Dykes, L.; Rooney, L.W. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44, 236-251.
- Earp, C. F., McDonough, C. M., Rooney, L. W. 2004. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Cereal Science*, 39, 21-27.
- FEDIAF - The European Pet Food Industry Federation. 2013. Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs. The European Pet Food Industry Federation, Bruxelles.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), State of Food Insecurity in the World, 2010. (FAO, Rome).
- Hahn, D.H., Rooney, L.W. 1986. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chemistry*, 63, 4-8.
- Hendrix, D.L. 1993. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues. *Crop Science*, 33, 1306-1311.
- Hervera, M.D., Baucells, F., Blanch, C., Castrilho, M. 2007. Prediction of digestible energy content of extruded dog food by in vitro analyses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 91, 205-209.

- Liu, S., Hsieh, F., Huff, H.E. 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinisation of extruded dry pet food. *Food Sci. Technol.* 30, 754–761.
- Magalhães, P.C.; Rodrigues, W.A.; Durães, F.O.M. 1997. Tanino no grão de sorgo bases fisiológicas e métodos para determinação. Sete Lagoas: EMPRAPA-CNPMS, 26p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 27).
- Móscicki, L., and Wójtowicz, A. 2011. Raw materials in the production of extrudates. In L. Móscicki (Ed.), *Extrusion-cooking techniques* pp. 45-63.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dogs and cats. Washington. DC: The National Academy. 2006, 398p.
- Okoh, P.N., Obilana, A.T., Njoku, P.C., Aduku, A.O. 1982. Proximate analysis, amino acid composition and tannin content of improved Nigerian sorghum varieties and their potential in poultry feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 7, 359-364.
- Prasad, M.P.R., Rao, B.D., Kalpana, K., Rao, M.V., Patil, J.V. 2014. Glycaemic index and glycaemic load of sorghum products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. DOI 10.1002/jsfa.6861.
- Radhika, G.; Sumathi, C.; Ganesan, A.; Sudha, V.; Jeyakumar, C.H.; Mohan, V. 2010. Glycaemic index of Indian flatbreads (rotis) prepared using whole-wheat flour and 'atta mix'-added whole-wheat flour. *British Journal of Nutrition*, 103, 1642–1647.
- Ratnavathi, C.V.; Patil, J.V. Sorghum Utilization as Food, 2013. *Journal of Nutrition and Food Science*, 4(1)- 247. doi: 10.4172/2155-9600.1000247.
- Riaz, M. N. 2000. Extruders in food applications, In: RIAZ M. N. *Introduction to extruders and their principles*. CRC Press, p.1-23.
- Ruskin, F.R. 1996. *Lost crops of Africa: Grains*. Washington: National Academic Press, 386p.
- Silva, A.G., Barros, A.S., Silva, L.H.C., Moraes, E.B., Pires, R., Teixeira, I.R. 2009. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39, 168-174.
- Silva, C.S., Queiroz, V.A.V., Simeone, M.L.F., Guimarães, C.C., Schaffert, R.E. Rodrigues, J.A.S.; Miguel, R.A. 2012. Teores de minerais em linhagens de sorgo para uso na alimentação humana. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia, 2776-2782, 2012.
- Silva, J.D.T., Carvalho, M.R.B., Machado, C.R., Seki-Dias, L.T., Seki, M.C., Pinto, M.M. Efeito do sorgo e do ácido tânico na deposição de gordura visceral e

abdominal em frangos de corte. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 2002, Presidente Prudente. Resumos... 2002.

- Streeter, M.N., Wagner, D.G., Hibberd, C.A., Owens, F.N. 1990. Comparison of corn with sorghum grain hybrids: site and extent of digestion in steers. *Journal of Animal Science*, 68,1121-1132.
- Zanotto, D.L., Belaver, C. 1996. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. Comunicado Técnico EMBRAPA – Suíno e Aves. CT 215. 1-5.