

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**FARINHA DE ERVILHA SOBRE O PROCESSO DE
EXTRUSÃO, QUALIDADE DOS *KIBBLES*,
DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO NAS
FEZES E RESPOSTAS DE GLICOSE E INSULINA DE CÃES.**

Juliana Lopes Frias

Médica Veterinária

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**FARINHA DE ERVILHA SOBRE O PROCESSO DE
EXTRUSÃO, QUALIDADE DOS *KIBBLES*,
DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO NAS
FEZES E RESPOSTAS DE GLICOSE E INSULINA DE CÃES.**

Discente: Juliana Lopes Frias

Orientador: Prof. Dr. **Aulus
Cavalieri Carciofi**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias - Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das
exigências para obtenção do título
de Mestre em Ciência Animal

2023

F897f Frias, Juliana Lopes

Farinha de ervilha sobre o processo de extrusão, qualidade dos kibbles, digestibilidade, produtos de fermentação nas fezes e repostas de glicose e insulina de cães / Juliana Lopes Frias. -- Jaboticabal, 2023

65 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Aulus Cavalieri Carciofi

1. glicose. 2. carboidrato. 3. cães. I. Título.

IMPACTO

A farinha de ervilha é fonte de proteína alternativa (ODS 2, 12, 13, 15), ajuda a reduzir o desperdício de alimentos e a promover a sustentabilidade (ODS 6, 13, 15). Nutrição adequada (ODS 3). A extrusão utiliza pouco recurso hídrico ajuda a reduzir a pressão sobre os recursos naturais e promover a sustentabilidade agrícola (ODS 2, 6, 12, 13, 15).

IMPACT

Pea flour is an alternative protein source (SDG 2, 12, 13, 15), helps reduce food waste and promote sustainability (SDG 6, 13, 15). Proper nutrition (SDG 3). The extrusion process uses little water resources and can help reduce pressure on natural resources and promote agricultural sustainability (SDG 2, 6, 12, 13, 15).



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: FARINHA DE ERVILHA SOBRE O PROCESSO DE EXTRUSÃO, QUALIDADE DOS KIBBLES, DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO NAS FESES E RESPOSTAS DE GLICOSE E INSULINA DE CÃES

AUTORA: JULIANA LOPES FRIAS

ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Zootecnia, área: Zootecnia pela Comissão Examinadora:

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

Prof. Dr. FÁBIO ALVES TEIXEIRA (Participação Virtual)
FMVZ/USP / São Paulo/SP 

Profa. Dra. ANGÉLICA TRAZZI BENTO DE MORAES (Participação Virtual)
Centro Universitário Moura Lacerda / Ribeirão Preto/SP 

Jaboticabal, 25 de janeiro de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Juliana Lopes Frias, São Paulo, 25 de dezembro de 1987, mestranda do Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Brasil na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, Câmpus de Jaboticabal, pelo Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos "Prof. Dr. Flávio Prada" - DVVC. Mestre em Produção Animal pela Universidade Brasil (2020). Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Anhembi Morumbi (2018). Graduada em Nutrição pela Universidade Bandeirante de São Paulo (2008). Especialização em Terapia Nutricional e Nutrição pelo GANEP Nutrição Humana (2010). Especialização em Bases Nutricionais da Atividade Física - Nutrição Esportiva pela Universidade Gama Filho (2011). Especialização em Vigilância Sanitária de Alimentos e Gestão de Pessoas pela Faculdade Método de São Paulo - FAMESP (2016). Tem experiência na área de Nutrição Clínica, com ênfase em Terapia Nutricional Enteral e Parenteral. Coordenação e Docência do Curso Técnico e Superior em Nutrição. Tem experiência na área da Produção Animal (manejo sanitário, saúde e nutrição animal, inspeção e controle de qualidade).

“Todos os incômodos do mundo servem para nos transformar se reunirmos a criatividade com a alegria na busca da solução. E lógico, o amor. Mas qual amor? O maior do mundo. Aquele que se apaixona perdidamente por aperfeiçoar o imperfeito.”

(JOSÉ LUIZ TEJON, 2021)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Cristiane e Alcides, aos meus irmãos Caroline e Rodrigo, as minhas avós Cleide e Maria e aos meus quatro patas mais amados Boris e Pandora (*in memoriam*) vocês foram minha inspiração, obrigada por me acompanharem desde o primeiro momento em que escolhi trilhar a Medicina Veterinária.

AGRADECIMENTOS

Agradecer em primeiro lugar a Deus por Ele ser sempre tão presente em minha vida.

Aos meus pais Cristiane e Alcides, aos meus irmãos Caroline e Rodrigo e as minhas avós Cleide e Maria, pela compreensão ao serem privados em muitos momentos da minha companhia, pelo apoio, me estimulando nos momentos mais difíceis. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo e chegar aqui e, principalmente, pelo amor incondicional.

Ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos “Prof. Dr. Flávio Prada” do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária (DCCV) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Jaboticabal, sob a orientação do Professor Aulus Cavalieri Carciofi, obrigada professor por toda orientação para que pudéssemos concluir o presente trabalho.

Aos animais (cães, gatos e jabutis) seres vivos que moram no laboratório, que me permitiram a realização deste trabalho. A eles tenho um profundo e emocionante carinho a cada memória que levarei comigo.

Aos meus “anjos”, a vocês a minha eterna gratidão.

A todos que cruzaram o meu caminho e que contribuíram em algum grau para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos meus professores das graduações, que foram grandes bússolas em minha vida.

Aos meus amigos, com os quais tenho prazer de viver grandes histórias.

Por fim, a todas as pessoas e animais que deixam sua marca positiva por onde passam e que acreditam em um mundo melhor para nós.

A DILIMIX INDUSTRIAL LTDA pela doação da farinnha de ervilha e pelo suporte financeiro para a execução do estudo.

As empresas BRF Pet Food, BRF Ingredients e ADMIAX Pet pelo suporte financeiro ao Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos

“Prof. Dr. Flávio Prada”. A Manzoni Industrial pela doação da extrusora utilizada no experimento.

À Capes. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 3300410-2.

Agradeço a você que está lendo este trabalho agora, pela sua atenção!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
Abstract	v
Lista de tabelas	vi
Lista de quadros	vi
Lista de figuras.....	vi
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura.....	3
2.1. Farinha de ervilha.....	3
2.2. Carboidratos.....	5
2.2.1. Amido no processo de extrusão.....	6
2.3. Processo de extrusão	7
2.4. Digestão e metabolismo de carboidratos em cães	8
3. Objetivo geral	10
4. Referências Bibliográficas.....	11
CAPÍTULO 2 – Farinha de ervilha descascada sobre o processo de extrusão e formatação dos <i>kibbles</i>, digestibilidade, produtos de fermentação nas fezes e respostas de glicose e insulina de cães.	22
Resumo	22
1. Introdução	23
2. Material e Métodos.....	24
2.1. Dietas experimentais e estudo de extrusão	24
2.1.1. Processo de extrusão das dietas experimentais.....	26
2.1.2. Avaliação da formação e macroestrutura dos <i>kibbles</i> e cozimento do amido.....	32
2.2. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia, produtos de fermentação microbiana nas fezes, curva de glicose e insulina e teste de saciedade	33
2.2.1. Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade Aparente (CDA) dos nutrientes e da energia.....	34
2.2.2. Determinação do pH, produtos de fermentação microbiana e escore fecal	36
2.2.3. Avaliação da resposta de saciedade aos alimentos	37
2.2.4. Determinação das respostas pós-prandiais de glicose e insulina dos cães.....	37
2.3. Análise estatística.....	39
3. Resultados.....	40
4. Discussão	53

5. Conclusão	57
6. Referências Bibliográficas.....	58

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)



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



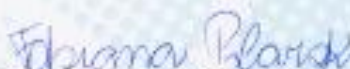
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "Efeitos da inclusão de farinha de ervilha em formulações para cães sobre o processo de extrusão, qualidade dos kibbles, digestibilidade, produtos de fermentação nas fezes e respostas de glicose e insulina", protocolo nº 745/21, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 01 de abril de 2021.

Vigência do Projeto	19/03/2021 a 01/02/2023
Espécie / Linhagem	Cão / Beagle
Nº de animais	34 animais
Peso / Idade	10 a 15 kg / 1 a 5 anos
Sexo	Machos e fêmeas
Origem	Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos "Prof. Dr. Flávio Prada" do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária (DCCV) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV – UNESP Câmpus de Jaboticabal

Jaboticabal, 12 de abril de 2021.


Profa. Dra. Fabiana Pilarski
 Coordenadora – CEUA

FARINHA DE ERVILHA SOBRE O PROCESSO DE EXTRUSÃO, QUALIDADE DOS *KIBBLES*, DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO NAS FEZES E RESPOSTAS DE GLICOSE E INSULINA DE CÃES.

RESUMO

A busca por ingredientes inovadores e com apelo para saúde tem norteado o desenvolvimento atual de formulações para cães, visando ganhar espaço nas decisões de compra dos consumidores. A presente dissertação está estruturada em dois capítulos. O Capítulo 1 teve como objetivo apresentar uma visão geral sobre carboidratos e ervilha. O Capítulo 2 teve como objetivos avaliar a inclusão de farinha de ervilha descascada (FE) sobre o processo de extrusão, formação dos *kibbles*, coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes, produtos de fermentação nas fezes, saciedade dos alimentos e respostas pós-prandiais glicose e insulina em cães. Foram utilizados 24 cães distribuídos em três tratamentos: controle – dieta a base de quirera de arroz (QA); FE50 – substituição de 50% de QA por FE; e FE100 – substituição de 100% de QA por FE. O estudo seguiu delineamento em blocos casualizados, com 2 blocos de 12 animais, 3 dietas experimentais, sendo 4 cães por dieta em cada bloco, totalizando 8 repetições por dieta. Os dados de extrusão, digestibilidade, características das fezes e saciedade foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas por contraste polinomial em função da inclusão de FE. As respostas pós-prandiais foram avaliadas por análise de variância de medidas repetidas no tempo. Valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos. A inclusão de FE reduziu a transferência de energia mecânica e a expansão dos *kibbles*, com aumento da densidade aparente e da gelatinização do amido ($P < 0,05$). Houve redução linear da digestibilidade aparente da matéria seca, gordura e energia das rações ($P < 0,05$), sem alterar a digestibilidade da proteína bruta ($P > 0,05$). A produção e o teor de umidade das fezes aumentaram, com redução linear do seu pH ($P < 0,05$), sem alterar o escore fecal ($P < 0,05$). As concentrações de acetato, propionato e lactato aumentaram de modo linear nas fezes ($P < 0,05$), com redução linear da amônia, isobutirato e butirato ($P < 0,05$). Ao teste de saciedade o consumo da dieta experimental não variou, mas houve aumento linear do consumo da dieta desafio com o aumento da FE nas dietas ($P < 0,05$). Cães que consumiram a dieta FE100 apresentaram menor área abaixo da curva de glicose inicial (60 aos 180 minutos) e total (0 aos 720 min) que os alimentados com a ração controle ($P < 0,05$), sem alterações na secreção de insulina ($P > 0,05$). O menor teor de amido e maior de fibra da FE justifica as alterações em extrusão e formação dos *kibbles*, digestibilidade dos nutrientes e respostas de glicose. A fibra da FE demonstrou ser fermentável, aumentando os ácidos graxos de cadeia curta e reduzindo a amônia das fezes. Em conclusão, a farinha de ervilha descascada demonstrou ser ingrediente adequado a dietas com digestibilidade controlada da energia e para cães que se beneficiariam de maiores teores de fibra fermentável e fonte de carboidrato com menor resposta glicêmica pós-prandial.

Palavras chaves: glicose, insulina, carboidrato, ácidos graxos de cadeia curta

PEA FLOUR ON EXTRUSION PARAMETERS, KIBBLE FORMATION, DIGESTIBILITY, FERMENTATION PRODUCTS ON FECES AND GLUCOSE AND INSULIN MEAL RESPONSES OF DOGS.

Abstract

The search for innovative ingredients that benefit to the pet health has guided the current development of diet formulations for dogs, aiming to gain space in consumers' purchasing decisions. This dissertation is structured in two chapters. The Chapter 1 was intended to provide an overview of carbohydrates and peas. The Chapter 2, the objective was to evaluate the inclusion of pea flour (PF) on the extrusion process, kibble formation, apparent digestibility coefficients of nutrients, fermentation products in the feces, food satiety and postprandial glucose and insulin responses in dogs. A total of 24 dogs were distributed and fed with three diets (treatments): control diet based on broken rice (QA), replacement of 50% of QA by PF (PF50), and replacing 100% of QA with PF (PF100). A totally randomized block design was used (2 blocks of 12 animals, 3 treatments, 4 dogs/treatment/block), with 8 repetitions per diet. Extrusion, digestibility efficiency, fecal characteristics, and satiety data were submitted to analysis of variance and means were compared by polynomial contrast as a function of PF inclusion. Postprandial responses were assessed by analysis of variance for repeated measures over time. P values <0.05 were considered significant. The inclusion of FE reduced the transfer of mechanical energy and the expansion of the *kibbles*, with an increase in the apparent density and gelatinization of the starch ($P<0.05$). There was a linear reduction in the apparent digestibility of dry matter, fat and energy in the diets ($P<0.05$), without altering the digestibility of crude protein ($P>0.05$). Fecal production and moisture content increased, with a linear reduction in pH ($P<0.05$), without changing the fecal score ($P<0.05$). Acetate, propionate, and lactate concentrations increased linearly in feces ($P<0.05$), with a linear decrease in ammonia, isobutyrate, and butyrate ($P<0.05$). In the satiety test, the consumption of the experimental diet did not change, but there was a linear increase in the consumption of the challenge diet with the increase in FE in the diets ($P<0.05$). Dogs that consumed the FE100 diet had a smaller area under the curve of glucose (60 to 180 minutes) and total (0 to 720 minutes) than those fed the control diet ($P<0.05$), with no changes in insulin secretion ($P>0.05$). The lower starch and higher fiber content of FE explains the changes in extrusion and kibble formation, digestibility of the nutrients and glucose responses. The fiber of the FE demonstrated to be fermentable, increasing short-chain fatty acids and reducing ammonia in feces. In conclusion, peeled pea flour proved to be a suitable ingredient for diets with controlled energy digestibility and for dogs that would benefit from higher levels of fermentable fiber and a carbohydrate source with a lower postprandial glycemic response.

Keywords: glucose, insulin, carbohydrate, short-chain fatty acids

Lista de tabelas

Tabela 1. Composição de ingredientes e composição química analisada das dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada	25
Tabela 2. Composição química analisada das amostras de quirera de arroz e farinha de ervilha descascada utilizadas no estudo	26
Tabela 3. Parâmetros de extrusão e macroestrutura dos <i>kibbles</i> das dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada	41
Tabela 4. Ingestão (g/cão/dia) e Coeficientes de Digestibilidade Aparente (CDA) dos nutrientes e da energia de dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada	43
Tabela 5. Características das fezes e concentração de produtos de fermentação microbiana nas fezes de cães alimentados com dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada	44
Tabela 6. Consumo das dietas experimentais e dieta comercial desafio durante avaliação da saciedade de cães alimentados com dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada. Valores médios de 3 dias de teste com cada cão	45
Tabela 7. Ingestão de nutrientes no dia da avaliação das respostas pós-prandiais de insulina e glicose de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	46
Tabela 8. Parâmetros glicêmicos e insulinêmicos médios de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	47
Tabela 9. Áreas abaixo da curva (AAC) de glicemia e insulinemia (pmol/L/h) sanguínea de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	48
Tabela 10. Áreas abaixo da curva (AAC) do incremento de glicose e insulina (pmol/L/h) sanguínea de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	49

Lista de quadros

Quadro 1. Etapas experimental ao longo de cada bloco de estudo	34
---	----

Lista de figuras

Figura 1. Matérias primas sendo moídas e misturadas em moinhos de martelos de alta rotação ..	27
Figura 2. Etapas do processo de extrusão	28
Figura 3. Extrusora empregada na produção das dietas experimentais	28
Figura 4. Densidade aparente do produto na saída da extrusora e do secador	29
Figura 5. Secador horizontal	30
Figura 6. Amostras coletadas das saídas do condicionador, extrusor e secador	30
Figura 7. Sacos dos alimentos experimentais após extrusão e engorduramento	31
Figura 8. Aferição do comprimento e diâmetro do <i>kibble</i> para avaliação da macroestrutura	32
Figura 9. Concentrações plasmática pós-prandiais de insulina de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	50
Figura 10. Concentrações plasmática pós-prandiais do incremento de insulina de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	51
Figura 11. Concentrações plasmática pós-prandiais de glicose de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	52
Figura 12. Concentrações plasmática pós-prandiais do incremento de glicose de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada	53

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

A indústria de alimentos para cães e gatos vem ganhando cada dia mais importância na economia brasileira. O setor de produtos, serviços e comércio para animais de estimação, segundo o Instituto Pet Brasil (IPB), é o sexto no *ranking* em termos de faturamento, com alta de 42,5% durante a pandemia, que era de R\$ 35,3 bilhões em 2019 e foi para R\$ 51,7 bilhões em 2021 (Cardoso, 2022). O mercado global de alimentos para animais de estimação deve crescer de US\$ 97,47 bilhões em 2021 para US\$ 136,82 bilhões até 2028 (Geraldles, 2021).

A busca por exclusividade, combinada com tendências motivadas pela humanização, têm provocado o aumento na procura por alimentos diferenciados. A dieta “*grain-free*”, ou livre de grãos, que no passado foi dita como tendência, hoje é uma realidade. Ela é fundamentada na crença equivocada de que a ingestão de cereais pelos cães é prejudicial e explorada pela indústria como apelo de produtos sem o emprego de grãos (milho, arroz, trigo e sorgo), substituídos por leguminosas (ervilha e lentilha) e tubérculos (batata e mandioca) como fonte de amido (Franco, 2022). Estas diferentes fontes de carboidratos, no entanto, variam bastante em relação a seu teor de carboidratos digeríveis, como amidos, açúcares e carboidratos não digeríveis, incluindo a fibra não fermentável e fibra fermentável (FEDIAF, 2019). Isto tornam necessários estudos que caracterizem adequadamente estes diferentes ingredientes, de modo a fundamentar seu emprego com base em dados de digestibilidade, fermentabilidade pela microbiota intestinal e resposta de glicose e insulina, quando incorporados em alimentos completos e balanceados para cães (Carciofi et al., 2008).

Especialmente as fontes mais novas de carboidratos, utilizadas pela indústria, ainda não foram estudadas adequadamente. Os ingredientes mais estudados e melhor caracterizados são arroz e milho (Bazolli et al., 2015; Ribeiro et al., 2019; Teshima et al., 2021), porém estes promovem maiores respostas glicêmicas e insulinêmicas nos cães (Carciofi, 2008a), limitando a utilização dessas dietas para animais com resistência insulínica, alteração encontrada frequentemente em animais

obesos e idosos (Ribeiro et al., 2019), e mesmo para animais diabéticos (Teixeira et al., 2018; Teshima et al., 2021).

A ervilha (*Pisum sativum* L.) é leguminosa tradicionalmente cultivada para obtenção de sementes para o consumo humano e como forragem para alimentação animal (Dahl, et al., 2012). A ervilha apresenta baixo teor de lipídeos (1 a 3%), sendo fonte de carboidratos digestíveis (40 a 60%) e fibras dietéticas (10 a 20%) (Dahl, et al., 2012; Siddiq e Pascall, 2011; Tulbeck et al., 2017; Shanthakumar et al., 2022). O carboidrato mais abundante na ervilha é o amido (22 a 48%) (Hoover e Sosulski, 1991; Wu e Nichols, 2005). O amido da ervilha apresenta menor custo quando comparado às outras fontes, como batata, além de apresentar maior conteúdo de amilose e amido resistente (Ratnayakea et al., 2002; Wang e Copeland, 2015). Uma meta-análises com trabalhos realizados em seres humanos mostrou reduções significativas nas concentrações sanguíneas de glicose e insulina pós-prandial com a ingestão de alimentos com alto teor de amilose (Cai et al., 2021). É possível que estes mesmos aspectos possam estar presentes se a ervilha for empregada na alimentação de cães.

Um dos maiores desafios da indústria de alimentos para animais de estimação têm sido a compreensão dos efeitos dos ingredientes e nutrientes sobre a ocorrência de doenças crônicas, imunidade, qualidade e expectativa de vida. Explorar os efeitos do consumo de diferentes fontes de carboidratos é área aberta, com relevância científica e prática para a indústria (Carciofi e Jeremias, 2010). Neste contexto, são hipóteses deste estudo que a inclusão de farinha de ervilha descascada resultará na produção de alimento bem formatado pela extrusão, mas com menor expansão e maior dureza, menor digestibilidade aparente da energia e nutrientes, que induza aumento na concentração de ácidos graxos de cadeia curta nas fezes, desencadeando ainda menor resposta glicêmica e insulinêmica pós-prandial e maior sensação de saciedade nos cães em comparação ao consumo de formulação à base de quirera de arroz.

2. Revisão de Literatura

2.1. Farinha de ervilha

A ervilha (*Pisum sativum* L.) é uma leguminosa tradicionalmente cultivada para o consumo humano e como forragem para alimentação animal. É uma das sementes de leguminosas preferidas para solos de baixa fertilidade e áreas áridas devido à sua excelente tolerância a condições de seca ou inundação (Wang e Copeland, 2015; Aldrich, 2010).

Segundo a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO), em 2018 a produção de ervilha foi estimada em 15 milhões de toneladas, sendo essa produção liderada pelo Canadá, Rússia, China, Índia e Ucrânia. No Brasil a produção foi estimada em 4,3 mil toneladas, liderada pelos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás e Distrito Federal (SENAR, 2020).

Para alimentação de cães e gatos, recentemente têm-se optado pelo beneficiamento do grão de ervilha. O beneficiamento industrial da ervilha gera ingredientes diferentes, como a casca moída de ervilha e a farinha do grão da ervilha descascado. A casca moída de ervilha é ingrediente rico em fibras com 830 g/kg de fibra insolúvel e 26 g/kg de fibra solúvel, com reduzida capacidade de fermentação e produção de ácidos graxos de cadeia curta (Calabrò et al., 2013).

O mercado de alimentação para animais de estimação já absorve estes ingredientes em formulações cujo objetivo é redução da digestibilidade dos nutrientes, adequada formação de fezes, controle glicêmico e promoção de saciedade (Teixeira et al., 2018). No entanto, não foram localizados estudos sobre a farinha do grão de ervilha descascada que tenham caracterizado seu efeito na extrusão, digestibilidade dos nutrientes, respostas pós-prandiais ou fermentação no cólon de cães.

A casca moída de ervilha é constituída por aproximadamente, 7,0% de proteína bruta, 5,48% de extrativo não nitrogenado, 84,05% de fibra dietética total, 75,73% de fibra insolúvel, 8,32% de fibra solúvel e 1,5% de extrato etéreo (Dilumix, 2020). Já a farinha do grão de ervilha descascada apresenta aproximadamente, 130 g/kg umidade

(máx.), 200 g/kg proteína bruta (mín.), 10 g/kg fibra bruta (máx.), 15 g/kg extrato etéreo (mín.) e 40 g/kg matéria mineral (máx.) (Dilumix, 2020).

Amidos de leguminosas são menos digeríveis do que amidos de cereais (Chung et al., 2009; Liu et al., 2006; Tovar et al., 1991). Isto pode ser observado pela hidrólise enzimática de amidos no milho, trigo e ervilha durante 24 horas de incubação, que foi de 100%, 95% e 67%, respectivamente (Hoover et al., 2010). Estudo semelhante apontou que as porcentagens de hidrólise de amidos de milho e arroz durante um período de digestão de 3 horas foram de 74,4% e 75,5% respectivamente (Socorro et al., 1989; Hoover et al., 2010). A digestibilidade reduzida dos amidos de leguminosas tem sido atribuída à ausência de poros na superfície dos grânulos (Hoover e Sosulski, 1985), à maior quantidade de amilose (Chung et al., 2008) e às fortes interações entre as cadeias de amilose (Hoover e Sosulski, 1985).

A ervilha, como uma leguminosa, em comparação com o arroz, que é um cereal, apresenta menor teor de amido (36,9 a 49% versus 57,4 a 81%, respectivamente), maiores teores de fibra alimentar (20% e 0,58%, respectivamente) e maior proporção de amilose (20 a 65% versus 15 a 20%, respectivamente) (Walker et al., 1994; Wu e Nichols, 2005; Dahl et al., 2012; Benmoussa et al., 2007). Em função desta composição química, a ervilha tem sido amplamente estudada quanto aos seus efeitos favoráveis no controle glicêmico e resistência insulínica para seres humanos (Sajilata et al., 2006; Hoover et al., 2010; Marinangeli et al., 2011; Mollard et al., 2014) e em animais (Whitlock et al., 2012; Hashemi et al., 2015; Carciofi et al., 2008b; Adolphe et al., 2012; Adolphe et al., 2014). Publicação em cães apontou vantagem no seu emprego, para animais com diabetes mellitus. No estudo os autores verificaram que os cães alimentados com dieta com ervilha e cevada apresentaram menores valores de glicemia, com menor diferença entre a concentração máxima e mínima de glicose quando comparada a dieta com milho (Teixeira et al., 2018).

A maioria dos efeitos benéficos atribuídos à ervilha são explicados por seu maior teor de fibra alimentar, parcialmente fermentável com consequente produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e modulação da microbiota intestinal (Dahl, et al., 2012; Cai et al., 2021).

2.2. Carboidratos

Os carboidratos são a principal fonte de energia para muitas funções no organismo. Representam cerca de 40 a 60% da matéria seca em dietas comerciais extrusadas convencionais para cães, fornecendo de 30 a 60% da energia metabolizável (EM) destes produtos (Kronfeld, 1975; Carciofi et al., 2008a). O NRC (2006) propõe classificação funcional para os carboidratos, em 4 grupos: absorvíveis (monossacarídeos), digeríveis (dissacarídeos, alguns oligossacarídeos e polissacarídeos não estruturais como o amido), fermentáveis (lactose, alguns oligossacarídeos, fibras mais solúveis e amido resistente) e não fermentáveis (fibras insolúveis ricas em celulose, hemicelulose e lignina).

O amido é um polissacarídeo não estrutural, constituído por dois polímeros, amilose e amilopectina, armazenado em forma de grânulos nos cereais, leguminosas e tubérculos. A amilose é constituída por cadeias simples de glicose com ligações glicosídica α -1,4, enquanto a amilopectina, parte mais rapidamente digestível, compõe-se por cadeias longas e ramificadas de α -glicose unidas pela ligação α -1,4 e α -1,6 glicosídica (Meyer et al, 1990; Cheeke, 1999). Os grânulos de amido são formados por um hilo central envolto por anéis de crescimento, organizados em regiões cristalinas constituídas pelas duplas hélices das cadeias paralelas tipo A e B da amilopectina e amorfas com pontos de ramificação das cadeias laterais da amilopectina e, possivelmente, alguma amilose (Eliasson e Gudmundsson, 2006; Oates, 1997; Bertoft, 2004). Os grãos de leguminosas, algumas raízes e frutas contêm amidos designados como tipo C, caracterizados por espectros que incluem padrões do tipo A e B, sendo mais estáveis em comparação a estruturas cristalinas presentes em grãos de cereais (Tipo A). Isto confere as leguminosas excelentes fontes de amido resistente (Wang et al., 2006a; Wang et al., 2006b; Wang et al., 2011; Topping e Clifton 2001). O tamanho do grânulo de amido de ervilha varia de 2 a 40 μ m (Ratnayake et al., 2002).

Quanto a seu aproveitamento digestivo, o amido é classificado em amido rapidamente digerido (ARD), amido lentamente digerido (ALD) e amido resistente (AR) (Englyst al., 1992). Diversos fatores podem promover a formação de amido resistente após cocção, dentre eles o cozimento inadequado associado com o resfriamento,

temperatura, tempo de armazenamento, pH, presença de outros componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento (Sarko e Wu, 1978; Parker e Ring, 2001; Tharanathan, 2002). A farinha de ervilha contém cerca de 9,2 a 10,7% de amido de digestão rápida (digerido em 20 minutos), 23,3 a 10,1% de amido de digestão lenta (digerido entre 20 e 180 minutos) e 10,1 a 14,7% de amido resistente (não digerido após 180 minutos) (Chung et al., 2009).

2.2.1. Amido no processo de extrusão

O processo de extrusão é utilizado para produzir alimentos cozidos. Essa tecnologia permite melhorar a qualidade nutricional das matérias-primas (Pacheco et al., 2018). O crescimento da indústria de alimentos para animais de estimação resultou na necessidade de estudos que caracterizassem melhor os ingredientes e seus efeitos nos processos de produção, bem como os efeitos no metabolismo dos animais (Venturini et al., 2018).

A extrusão tem como característica melhorar a qualidade do alimento, por meio de uma boa mistura, cozimento e formatação adequados, que melhora a biodisponibilidade dos nutrientes, aumenta a possibilidade de uso de matérias primas e a vida de prateleira da ração. Na extrusão, associa-se energia mecânica e térmica que promovem modificações na estrutura do amido deixando-o disponível para ação das enzimas digestíveis, eliminando microrganismos patogênicos e inclusive alguns fatores antinutricionais que possam estar presentes nos ingredientes (Hendriks et al., 2002; Dona et al., 2010).

O amido, principal constituinte dos grãos de cereais, é importante para uma adequada extrusão, ajudando a gerar viscosidade, transferência de energia mecânica do parafuso para a massa, adequada taxa de expansão do *kibble*, formação de estrutura celular e crocância do alimento (Hand et al., 2000). Além de sua influência sobre o processamento por extrusão (Sitohy et al., 2000), dependendo da origem botânica, estrutura granular, tamanho da partícula, relação amilose:amilopectina, teores de fibra, dentre outros, as características dos diferentes ingredientes pode variar (Tester et al., 2004), impactando a digestibilidade e resposta pós-prandial de

glicose e insulina de cães (Murray et al., 1999; Carciofi et al., 2008b; Bazolli et al., 2015; Nguyen et al., 1998; Musco et al., 2017; Monti et al., 2016a).

2.3. Processo de extrusão

Para produzir alimentos para animais de estimação, estes devem ser completos e com formulação nutricional equilibrada, de acordo com as necessidades da espécie e fase de vida a que se destina (Camire, 2001; FEDIAF, 2019). Dentre os aspectos mais importantes sobre o processamento industrial de alimentos para animais de estimação incluem a segurança dos alimentos para garantir eliminação adequada de bactérias patogênicas, gelatinização adequada do amido para garantir boa digestibilidade dos nutrientes (Bazolli et al., 2015), desnaturação de proteínas, inativação de fatores antinutricionais termolábeis (Alonso et al., 2000) e boa formação do *kibble* com formatos e texturas adequadas, que afetam positivamente a ingestão, palatabilidade, saúde animal, decisão de compra por parte dos proprietários e desempenho comercial dos produtos (Koppel et al., 2014, Koppel et al., 2015; Pacheco et al., 2018). Em comparação com alimentos para seres humanos, poucas publicações estão disponíveis descrevendo as melhores condições de extrusão para produzir alimentos para animais de estimação (Monti et al., 2016), apesar deste ser um segmento de bilhões de dólares em todo o mundo.

No processamento, os ingredientes são previamente moídos e misturados, depois passam por 5 etapas consecutivas: condicionamento, extrusão propriamente dita, corte, secagem e recobrimento. No pré-condicionador inicia-se o cozimento do amido, formando uma massa homogênea com a adição da energia térmica, mediante injeção de vapor direto e água. Nesta etapa, ocorre a hidratação interna dos grânulos de amido e sanitização, também favorecendo a estabilidade e produtividade da extrusora (Strahm, 2000; Pacheco et al., 2018). Em seguida, a massa é transportada para o canhão da extrusora, onde irá receber energia mecânica e/ou térmica, induzindo profunda transformação do amido dos ingredientes. Na extrusora, a energia mecânica provém de um sistema composto por uma rosca sem fim, que gira a uma velocidade variável promovendo o cisalhamento da massa contra seu revestimento

enquanto a comprime contra a matriz, na extremidade do cilindro, criando pressão, fricção e temperatura (Camire, 2001; Gibson e Alavil, 2013; Baller et al., 2021).

Durante a extrusão, o amido passa por sucessivas transformações físicas, transitando da fase vítrea para a fase líquida no final do tubo extrusor, em função do derretimento de seus grânulos. Este processo resulta na formação de massa viscoelástica que absorve a energia mecânica disponibilizada pelo movimento de rotação da rosca extrusora, formando uma matriz contínua que reúne as demais partes do alimento, como proteínas, lipídeos, fibras e minerais, em um *kibble* homogêneo e com estrutura (Camire, 2003; Camire, 2001). Estas alterações no amido resultam em seu cozimento, denominado de gelatinização, dependente da temperatura, umidade, pressão, tempo de residência e transferência de energia térmica e mecânica (Zeng et al., 1997; Ratnayake et al., 2009; Pacheco et al., 2018). Ao sair do tubo extrusor, o diferencial de pressão e temperatura induz vaporização da água que deforma o amido gelatinizado criando como resultado estrutura celular nos *kibbles*, responsável por sua expansão e formação de crocância, essenciais à aparência e palatabilidade das rações (Baller et al., 2018).

A digestibilidade do amido é variável e afetada por diversos fatores, como tipo de matéria prima, tamanho das partículas, forma cristalina de seus grânulos, relação amilose:amilopectina (Musco et al., 2017). Estes parâmetros todos se associam ao processamento, que irá por sua vez determinar o grau de gelatinização. Em conjunto, todos estes fatores interferem na digestibilidade e nas respostas glicêmicas e insulinêmicas pós-prandiais dos cães (Nguyen, 1998; Carciofi et al., 2008b; Musco et al., 2017; Monti et al., 2016). Desta forma, é bastante relevante se conhecer em cada fonte de carboidrato em particular a influência das condições de processamento sobre a gelatinização do amido e formação dos *kibbles*, de modo a se estabelecer com conhecimento as melhores condições de processamento.

2.4. Digestão e metabolismo de carboidratos em cães

Algumas pessoas acreditam que os cães, por serem animais carnívoros, não digerem amido, mas estudos mostram que eles têm uma eficiente digestão. A digestibilidade aparente do amido no trato digestório total é normalmente maior que 95% nos cães (Walker et al., 1994; Murray et al., 1999; Axelsson et al., 2013), embora

alguns estudos tenham demonstrado que isso pode mudar com o tipo de amido presente no alimento (Belay et al., 1997; Murray et al., 1999; Twomey et al., 2002; Carciofi et al., 2008a). As diferenças na digestibilidade do amido entre as fontes de ingredientes são devido a fatores como origem botânica, tipo de amido, forma física do grânulo, interações amido-proteína, inibidores de digestão, teor de fibra do ingrediente, processamento e tamanho de partícula após o processamento (Rooney e Pflugfelder, 1986; Svihus et al., 2005). Além disso, o cozimento parece interferir na digestão do amido, pois o amido cru ou não cozido adequadamente pode ser resistente à hidrólise no intestino delgado, sendo fermentado no intestino grosso (Nugent, 2005).

Para indivíduos saudáveis e diabéticos, o amido é considerado o nutriente mais importante responsável por controlar níveis de glicose no sangue. Além disso, estudos sugerem que o amido é, na verdade, o principal fator que influencia a secreção de insulina pós-prandial e a resposta glicêmica em cães e seres humanos (Ribeiro et al., 2019; Nguyen et al., 1994; Adolphe et al., 2014; Wolever e Bolognesi, 1996).

Devido sua grande importância na homeostasia energética do organismo, a glicemia é modulada através de mecanismos hormonais e não hormonais, sendo a insulina o mecanismo hormonal mais estudado. A insulina, sintetizada pelas células beta das ilhotas de Langerhans do pâncreas endócrino, atua em sistema feedback negativo com a glicose sanguínea (Grecco e Stabenfeldt, 1999).

Alterações no tempo de liberação e concentrações sanguíneas de insulina e glicose são importantes para o metabolismo animal (Larson et al., 2003; Lawler et al., 2007). Digestão e absorção mais rápidas e completa do amido leva a maiores respostas pós-prandiais de glicose e insulina (Wolever e Bolognesi, 1996; Carciofi, et al., 2008b). Outros fatores dietéticos que influenciam estas respostas são a composição do alimento, especialmente seus teores de fibra (Nuttall et al., 1984; Welch et al., 1987; Nishimune et al., 1991; Nguyen et al., 1998) e condições de processamento dos ingredientes (Ribeiro et al., 2019).

Em função disso, diferentes fontes de amido podem gerar diferentes respostas pós-prandiais de glicose e insulina nos monogástricos, pois estas dependem do tempo para ocorrer a digestão e absorção no intestino delgado (De-Oliveira et al., 2008).

Cereais como milho e arroz geram respostas glicêmicas mais rápidas, pois tem pouca fibra e são rapidamente digeridos e absorvidos, o que pode não ser ideal para animais que apresentam obesidade, doenças endócrinas como diabetes ou idade mais avançada (Ribeiro et al., 2019; Teshima et al., 2021). Assim, para animais com alterações no metabolismo de carboidratos indica-se a utilização de dietas que minimizem e estendam a onda glicêmica e insulinêmica pós-prandial e que favoreçam o rápido restabelecimento fisiológico da glicose sanguínea (Ribeiro et al., 2019; Bouchard e Sunvold 1999; Miller, 1994). Alternativas de ingredientes para a apresentação convencional de carboidratos podem ser importantes nestas situações de menor tolerância à glicose ou sensibilidade reduzida à insulina (Carciofi et al. 2008b; Teixeira et al., 2018), sendo o grão de ervilha indicado como ingrediente potencialmente interessante em estudos com seres humanos (Cai et al., 2012) e mesmo cães (Carciofi et al., 2008b).

3. Objetivo geral

Com base no exposto, o objetivo da presente dissertação de mestrado foi estabelecer revisão bibliográfica sobre ervilha, seu processamento, valor nutricional e conduzir um experimento para avaliar os efeitos da substituição de quirera de arroz por farinha de ervilha descascada sobre o processo de extrusão, coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia, produtos de fermentação nas fezes, respostas pós-prandiais de glicose e insulina e saciedade em cães.

4. Referências Bibliográficas

Adolphe JL, Drewb MD, Huang Q, Silver TI, Weber LP (2012) Postprandial impairment of flow-mediated dilation and elevated methylglyoxal after simple but not complex carbohydrate consumption in dogs. **Nutrition Research**. 32:278-284. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2012.03.002>.

Adolphe JL, Drewb MD, Silver TI, Foughse J, Childs H, Weber LP (2014). Effect of an extruded pea or rice diet on postprandial insulin and cardiovascular responses in dogs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 99:767-776. <https://doi.org/10.1111/jpn.12275>.

Aldrich G (2010). Peas in petfood. **PetFood Industry**. 3:82-83. Disponível em: <<https://www.petfoodindustry.com/articles/19-peas-in-petfood?v=preview>> Acesso em: 08 abr 2021.

Alonso R, Grant G, Dewey P, Marzo F (2000). Nutritional Assessment in Vitro and in Vivo of Raw and Extruded Peas (*Pisum sativum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 48:2286-2290. <https://doi.org/10.1021/jf000095o>.

Axelsson E, Ratnakumar A, Arendt ML, Maqbool K, Webster MT, Perloski M, Liberg O, Arnemo FM, Hedhammar A, Lindblad-Toh K (2023). The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. **Nature**. 495:360-364. <https://doi.org/10.1038/nature11837>.

Baller MA, Pacheco PDG, Peres FM, Monti M, Carciofi A (2018). The effects of in-barrel moisture on extrusion parameters, kibble macrostructure, starch gelatinization, and palatability of a cat food. **Animal Feed Science and Technology**. 246:82-90. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.003>.

Baller MA, Pacheco PDG, Takahashi AV, Putarov TC, Vasconcellos RS, Carciofi AC (2021). Effects of thermal energy on extrusion characteristics, digestibility and palatability of a dry pet food for cats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 105:76-90. <https://doi.org/10.1111/jpn.13606>.

Bazolli RS, Vasconcellos RS, de-Oliveira LD, Sá FC, Pereira GT, Carciofi AC (2015). Effect of the particle size of maize, rice, and sorghum in extruded diets for dogs on

starch gelatinization, digestibility, and the fecal concentration of fermentation products. **Journal of Animal Science** 93:2956-2966. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8409>.

Belay T, Shields Jr RO, Wiernusz CJ, Kigin PD, Brayman CA (1997). Evaluation of nutrient digestibility and stool quality of rice (*Oryza sativa*) based canine diets. **Veterinary Clinical Nutrition**. 4:122-129.

Benmoussa M, Moldenhauer KAK, Hamaker BR (2007). Rice Amylopectin Fine Structure Variability Affects Starch Digestion Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55:1475-1479. <https://doi.org/10.1021/jf062349x>.

Bertoft E (2004) Chapter 2 – Analysing starch structure. In.: Eliasson AC (Eds.) **Carboh Starch in food: Structure, function and applications**. New York: Woodhead Publishing, p. 391-469.

Cai M, Dou B, Pugh JE, Lett AM, Frost GS (2015) The impact of starchy food structure on postprandial glycemic response and appetite: a systematic review with meta-analysis of randomized crossover trials. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 114:472-487. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab098>.

Calabrò S, Carciofi AC, Musco N, Tudisco R, Gomes MOS, Cutrignelli MI (2013) Fermentation characteristics of several carbohydrate sources for dog diets using the in vitro gas production technique. **Italian Journal of Animal Science**. 12:21-27. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e4>.

Camire ME (2000). Chapter 7 – Chemical and Nutricional Changes in Food During Extrusion. In.: Riaz MN (Eds.) **Extruders in food aplications**. New York: Boca Raton, p. 127-130.

Camire ME (2001). Chapter 6 – Extrusion and nutritional quality. In.: Guy R (Eds.) **Extrusion Cooking: Technology and Applications**. Cambridge, United Kingdom: Boca Raton, p. 108-129.

Carciofi AC (2008a). Fontes de proteína e carboidratos para cães e gatos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 37:28-41 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300005>.

Carciofi AC, Takakura FS, de-Oliveira LD, Teshima E, Jeremias JT, Brunetto MA, Prada F (2008b). Effect of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and postprandial glucose and insulin response. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 92:326-336. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00794.x>.

Carciofi AC, Jeremias JT (2010). Progresso científico sobre nutrição de animais de companhia na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 39:35-41. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300005>.

Cardoso A (2022). **Mercado pet brasileiro: como o amor pelos animais impulsiona os negócios**. Instituto Pet Brasil. Disponível em: <<https://institutopetbrasil.com/fique-por-dentro/amor-pelos-animais-impulsiona-os-negocios/>> Acesso em: 18 jun. 2022.

Cheeke PR (1999). **Applied animal nutrition: feeds and feeding**. New Jersey: Prentice-Hall p. 26-81.

Chung HJ, Liu Q, Pauls KP, Fan MZ, Yada R (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. **Food Research International**. 41:869-875. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.013>.

Chung H-J, Liu Q, Hoover R (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. **Carbohydrate Polymers**. 75:436-447. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.006>.

Dilumix (2020). **Casca de ervilha**. Ficha técnica do produto. Brasil.

Dilumix (2020). **Farinha de ervilha**. Ficha técnica do produto. Brasil.

Dahl WJ, Foster LM, Tyler RT (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). **British Journal of Nutrition**. 108:S3-S10 <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>.

De-Oliveira LD, Carciofi AC, Oliveira MCC, Vasconcellos RS, Bazolli RS, Pereira GT, Prada F (2008). Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. **Journal of Animal Science**. 86:2237-2246. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0354>.

Dona AC, Pages G, Gilbert RG, Kuchela PW (2010). Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. **Carbohydrate Polymers**. 80:599-617. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.002>.

Eliasson AC, Gudmundsson M (2006). Chapter 10 – Starch: Physicochemical and Functional Aspects. In.: Eliasson AC (Eds.) **Carbohydrates in Food**. New York: Marcel Dekker, p. 391-469. <https://doi.org/10.1201/9781315372822>.

Englyst HN, Kibgman SM, Cummings JH (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**. 46:S33-50.

FEDIAF – Federação Europeia da Indústria de Alimentos para Animais de Estimação (2009). **Scientific Advisory Board Carbohydrate Expert Review**. Disponível em: <https://europeanpetfood.org/wp-content/uploads/2022/03/FEDIAF_Carbohydrates-OnlineK.pdf> Acesso em: 12 jan 2021.

Franco I (2022). **How humanization plays out in developing pet food markets**. Pet Food Industry. Disponível em: <<https://www.petfoodindustry.com/articles/11638-how-humanization-plays-out-in-developing-pet-food-markets>> Acesso em: 10 out 2022.

Geraldes D (2021). **Mercado global de alimentos para animais de estimação e tendências**. Editora Stillo. Disponível em: <<https://www.editorastilo.com.br/pet-food/mercado-global-de-alimentos-para-animais-de-estimacao-e-tendencias/>> Acesso em: 12 jan 2022.

Grecco DE, Stabenfeldt GH (1999). Glândulas endócrinas e suas funções. In: Cunningham JG. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. p. 325-349.

Gibson MW, Alavi S (2013). Pet food processing: understanding transformations in starch during extrusion and baking. **Cereal Foods World**. 58:232-236. <https://doi.org/10.1094/CFW-58-5-0232>.

Hand MS, Thatcher CD, Remillard RL, Roudebush P, Lewis LD (2000). Chapter 8 – Commercial Pet Foods. In.: Eliasson AC (Eds.) **Carbohydrates in Food**. Topeca, Kansas: Mark Morris Institute, p. 157-190.

Hashemi Z, Yang K, Yang H, Jin A, Ozga J, Chan CB (2015). Cooking enhances beneficial effects of pea seed coat consumption on glucose tolerance, incretin, and pancreatic hormones in high-fat-diet-fed rats. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 40:323-333. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0380>.

Hendriks WH, Sritharan K, Hodgkinson SM (2002). Comparison of the endogenous ileal and faecal amino acid excretion in the dog (*Canis familiaris*) and the rat (*Rattus rattus*) determined under protein-free feeding and peptide alimentation. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 86:333-341. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2002.00391.x>.

Hoover R, Sosulski F (1985). Studies on the Functional Characteristics and Digestibility of Starches from *Phaseolus vulgaris* Biotypes. **Starch-Stärke**. 37:181-191. <https://doi.org/10.1002/star.19850370602>.

Hoover R, Sosulski FW (1991). Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches: a review. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**. 69:79-92. <https://doi.org/10.1139/y91-012>.

Hoover R, Hughes T, Chung HJ, Liu Q (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. **Food Research International**. 43:399-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>.

Koppel K, Gibson M, Alavi S, Aldrich G (2014) The Effects of Cooking Process and Meat Inclusion on Pet Food Flavor and Texture Characteristics. **Animals**. 4:254-271. <https://doi.org/10.3390/ani4020254>.

Koppel K, Monti M, Gibson M, Alavi S, Donfrancesco BD, Carciofi AC (2015) The Effects of Fiber Inclusion on Pet Food Sensory Characteristics and Palatability. **Animals**. 5:110-125. <https://doi.org/10.3390/ani5010110>.

Kronfeld DS (1975) Nature and use of commercial dog foods. **Journal of the American Veterinary Medical Association**. 166:487-493.

Larson BT, Lawler DF, Spitznagel Jr EL, Kealy RD (2003). Improved glucose tolerance with lifetime diet restriction favorably affects disease and survival in dogs. **Journal of Nutrition**. 133:2887-2892. <https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2887>.

Lawler DF, Ballam JM, Meadows R, Larson BT, Li Q, Stowe HD, Kealy RD (2007). Influence of lifetime food restriction on physiological variables in Labrador retriever dogs. **Experimental Gerontology**. 42:204-214. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2006.09.010>.

Liu Q, Donner E, Yin Y, Huang RL, Fan MZ (2006). The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. **Food Chemistry**. 99:470-477. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.008>.

Marinangeli CPF, Krause D, Harding SV, Rideout TC, Zhu F, Jones PJH (2011). Whole and fractionated yellow pea flours modulate insulin, glucose, oxygen consumption, and the caecal microbiome in Golden Syrian hamsters. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 36:811-820. <https://doi.org/10.1139/h11-101>.

Meyer JP, Allen NJ, Gellatly IR (1990). Affective and continuance commitment to the organization: Evaluation of measures and analysis of concurrent and time-lagged relations. **Journal of Applied Psychology**. 75:710-720. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.75.6.710>.

Miller JC (1994). Importance of glycemic index in diabetes. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 59:747S-752S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.3.747S>.

Mollard RC, Luhovyy BL, Smith C, Anderson GH, (2014). Acute effects of pea protein and hull fibre alone and combined on blood glucose, appetite, and food intake in healthy young men – a randomized crossover trial. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 39:1360-1365. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0170>.

Monti M, Palumbo GR, Pinto MV de P, Putarov TC, Loureiro BA, Gomes M de OS, Pereira GT, Carciofi AC (2016a). Starch and fibre intake and glucose postprandial response of dogs. **Ciência Rural**. 46:354-361. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150763>.

Monti M, Gibson M, Loureiro BA, Sá FC, Putarov TC, Villaverde C, Alavi S, Carciofi S (2016b). Influence of dietary on macrostructure and processing traits of extruded dog foods. **Animal Feed Science and Technology**. 220:83-102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.009>.

Murray SM, Jr. Fahey GC, Merchen NR, Sunvold GD, Reinhart GA, (1999). Evaluation of selected high-starch flours as ingredients in canine diets. **Journal of Animal Science**. 77:2180-2186. <https://doi.org/10.2527/1999.7782180x>.

Musco N, Calabro S, Tudisco R, Muhammad G, Grossi M, Addi L, Moniello G, Lombardi P, Cutrignelli MI (2017). Diet effect on short- and long-term glycaemic response in adult healthy cats. **Veterinaria Italiana**. 53:141-145. <https://doi.org/10.12834/VetIt.57.166.3>.

Nguyen P, Dumon H, Buttin P, Martin L, Gouro AS (1994). Composition of meal influences changes in postprandial incremental glucose and insulin in healthy dogs. **Journal of Nutrition**. 124:2707S-2711S. https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_12.2707S.

Nguyen P, Dumon H, Biourge V, Pouteau E (1998). Glycemic and insulinemic responses after ingestion of commercial foods in healthy dogs: influence of food composition. **Journal of Nutrition**. 128:2654S–2658S. <https://doi.org/10.1093/jn/128.12.2654S>.

Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, Ichikawa T, Kunita N (1991). Glycemic response and fiber content of some foods. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 54:414-419. <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.2.414>.

NRC – Nutrient Requirements of Dogs and Cats (2006). **National Academic Press**. Washington, DC. Disponível em: <<https://nap.nationalacademies.org/read/10668/chapter/1>> Acesso em: 12 jan 2021.

Nuttall FQ, Moorandian AD, Gannon MC, Billington C, Krezowski P (1984). Effect of protein ingestion on glucose and insulin response to a standardized oral glucose load. **Diabetes Care**. 7:465-470. <https://doi.org/10.2337/diacare.7.5.465>.

Nugent AP (2005). Health properties of resistant starch. **Nutrition Bulletin**. 30:27-54. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2005.00481.x>.

Oates CG (1997). Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**. 8:375-382. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01090-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01090-X).

Pacheco PDG, Putarov TC, Baller MA, Peres FM, Loureiro BA, Carciof AC (2018). Thermal energy application on extrusion and nutritional characteristics of dog foods. **Animal Feed Science and Technology**. 243:52-63. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.003>.

Parker R, Ring SG (2001). Aspects of the Physical Chemistry of Starch. **Journal of Cereal Science**. 34:1-17. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0402>.

Ratnayake WS, Hoover R, Warkentin T (2002). Pea Starch: Composition, Structure and Properties — A Review. **Starch - Stärke**. 54:217-234. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200206\)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200206)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R).

Ratnayake W, Otani C, Jackson DS (2009). DSC enthalpic transitions during starch gelatinization in excess water, dilute sodium chloride, and dilute sucrose solutions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 89:2156-2164. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3709>.

Ribeiro E de M, Peixoto MC, Putarov TC, Monti M, Pacheco PDG, Loureiro BA, Pereira GT, Carciof AC (2019). The effects of age and dietary resistant starch on digestibility, fermentation end products in faeces and postprandial glucose and insulin responses of dogs. **Archives of Animal Nutrition** 73: 485-504. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1652516>.

Rooney LW, Pflugfelder RL (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**. 63:1607-1623. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351607x>.

Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR (2006). Resistant Starch - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 5:1-17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>.

Sarko A, Wu H-CH (1978). The Crystal Structures of A-, B- and C-Polymorphs of Amylose and Starch. **Starch-Stärke**. 30:73-78. <https://doi.org/10.1002/star.19780300302>.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2020). **Ervilha, do Oriente Médio ao Brasil**. Brasília, Distrito Federal: Sistema CNA / SENAR / Instituto CNA. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/cna-pulses/page4.html>> Acesso em: 24 fev 2021.

Shanthakumar P, Klepacka J, Chawla P, Dhull SB, Najda A (2022). The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. **Molecules**. 27:1-28 <https://doi.org/10.3390/molecules27165354>.

Siddiq M, Pascall MA (2011). Chapter 30 – Peas, Sweet Corn, and Green Beans. In.: Sinha NK, Hui YH, Evranuz EÖ, Siddiq M, Ahmed J (Eds.) **Handbook of Vegetables & Vegetable Processing**. Wiley-Blackwell, p. 605-623. <https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch38>.

Sitohy MZ, El-Saadany SS, Labib SM, Ramadan MF (2000). Physicochemical Properties of Different Types of Starch Phosphate Monoesters. **Starch-Stärke**. 52:101-105. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200006\)52:4<101::AID-STAR101>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200006)52:4<101::AID-STAR101>3.0.CO;2-W).

Socorro M, Levy-Benshimol A, Rovar J (1989). In vitro Digestibility of Cereal and Legume (*Phaseolus vulgaris*) Starches by Bovine, Porcine and Human Pancreatic α -Amylases Effect of Dietary Fiber. **Starch-Stärke**. 41:6971. <https://doi.org/10.1002/star.19890410208>.

Strahm BS (2000). Chapter 6 – Preconditioning. In.: Riaz MN (Eds.) **Extruders in food applications**. New York: Boca Raton, p. 115-129.

Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch. **Animal Feed Science and Technology**. 122:303-320. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025>.

Teixeira FA, Machado DP, Jeremias J, Queiroz MR, Pontieri CFF, Brunetto MA (2018). Effects of pea with barley and less-processed maize on glycaemic control in diabetic dogs. **British Journal of Nutrition**. 120:777-786. <https://doi.org/10.1017/S000711451800171X>.

Tejon JL. 2021. **O poder do incômodo**. São Paulo: Editora Gente.

Teshima E, Brunetto MA, Teixeira FA, Gomes M de OS, Silvia Lucas SRR, Pereira GT, Carciofi AC (2021). Influence of type of starch and feeding management on glycaemic control in diabetic dogs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 105:1192-1202. <https://doi.org/10.1111/jpn.13556>.

Tester F, Karkalas J, Qi X (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**. 39:151-165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>.

Tharanathan R (2002). Food-derived carbohydrates—structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**. 22:65-84. <https://doi.org/10.1080/07388550290789469>.

Tovar J, Francisco A, Bjorck I, Asp N-G (1991). Relationship Between Microstructure and in Vitro Digestibility of Starch in Precooked Leguminous Seed Flours. **Food Structure**. 10:19-26.

Tulbeck MC, Lam RSH, Wang YC, Asavajaru P, Lam A (2017). Chapter 9 - Pea: A sustainable vegetable protein crop. In.: Nadathur SR, Wanasundara JPD, Scanlin L (Eds.) **Sustainable Protein Sources**. San Diego: Academic Press, p. 145-164. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00009-3>.

Twomey LN, Pethick DW, Rowe JB, Choct M, Pluske JR, Brown W, Laviste MC (2002). The use of sorghum and corn as alternative to rice in dog foods. **Journal of Nutrition**. 132:1704S-1705S. <https://doi.org/10.1093/jn/132.6.1704S>.

Venturini KS, Sarcinelli MF, Baller MA, Putarov TC, Malheiros EB, Carciofi AC (2018). Processing traits and digestibility of extruded dog foods with soy protein concentrate. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 102:1077-1087. <https://doi.org/10.1111/jpn.12894>.

Wang S, Copeland L (2015). Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 55:1081-1097. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551>.

Wang SJ, Gao WY, Liu HY, Chen HX, Yu JG, Xiao PG (2006a). Studies on the physicochemical, morphological, thermal and crystalline properties of starches

separated from different *Dioscorea opposita* cultivars. **Food Chemistry**. 99:38-44.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.007>.

Wang SJ, Liu HY, Gao WY, Chen HX, Yu JG, Xiao PG (2006b). Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. **Food Chemistry**. 99:30-37.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.008>.

Wang SJ, Sharp P, Copeland L. (2011). Structural and functional properties of starches from field peas. **Food Chem.** 126:1546-1552.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.154>.

Walker JA, Harmon DL, Gross KL, Collings GF (1994). Evaluation of nutrient utilization in the canine using the ileal cannulation technique. **Journal of Nutrition**. 124:2672S-2676S. https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_12.2672S.

Welch IM, Bruce C, Hill SE, Read NW (1987). Duodenal and ileal lipid suppresses postprandial blood glucose and insulin responses in man: possible implications for the dietary management of diabetes mellitus. **Clinical Science**. 72:209-216.
<https://doi.org/10.1042/cs0720209>.

Whitlock KA, Kozicky L, Jin A, Yee H, Ha C, Morris J, Field CJ, Bell RC, Ozga JA, Chan CB (2012). Assessment of the mechanisms exerting glucose-lowering effects of dried peas in glucose-intolerant rats. **British Journal of Nutrition**. 108:S91-S102.
<https://doi.org/10.1017/S0007114512000736>.

Wolever TMS, Bolognesi C (1996). Prediction of glucose and insulin responses of normal subjects after consuming mixed meals varying in energy, protein, fat, carbohydrate and glycemic index. **American Institute of Nutrition**. 126:2907-2812.
<https://doi.org/10.1093/jn/126.11.2807>.

Wu YV, Nichols NN (2005). Fine grinding and air classification of field pea. *Cereal Chemistry*. 82:341-344. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0341>.

Zeng F, Zimmerman SC (1997). Dendrimers in Supramolecular Chemistry: From Molecular Recognition to Self-Assembly. **Chemical Reviews**. 97: 1681-1712
<https://doi.org/10.1021/cr9603892>.

CAPÍTULO 2 – Farinha de ervilha descascada sobre o processo de extrusão e formatação dos *kibbles*, digestibilidade, produtos de fermentação nas fezes e respostas de glicose e insulina de cães.

Resumo

A busca por ingredientes inovadores e com apelo para saúde tem norteado o desenvolvimento atual de formulações para cães, visando ganhar espaço nas decisões de compra dos consumidores. A presente dissertação está estruturada em dois capítulos. O Capítulo 1 teve como objetivo apresentar uma visão geral sobre carboidratos e ervilha. O Capítulo 2 teve como objetivos avaliar a inclusão de farinha de ervilha descascada (FE) sobre o processo de extrusão, formação dos *kibbles*, coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes, produtos de fermentação nas fezes, saciedade dos alimentos e respostas pós-prandiais glicose e insulina em cães. Foram utilizados 24 cães distribuídos em três tratamentos: controle – dieta a base de quirera de arroz (QA); FE50 – substituição de 50% de QA por FE; e FE100 – substituição de 100% de QA por FE. O estudo seguiu delineamento em blocos casualizados, com 2 blocos de 12 animais, 3 dietas experimentais, sendo 4 cães por dieta em cada bloco, totalizando 8 repetições por dieta. Os dados de extrusão, digestibilidade, características das fezes e saciedade foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas por contraste polinomial em função da inclusão de FE. As respostas pós-prandiais foram avaliadas por análise de variância de medidas repetidas no tempo. Valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos. A inclusão de FE reduziu a transferência de energia mecânica e a expansão dos *kibbles*, com aumento da densidade aparente e da gelatinização do amido ($P < 0,05$). Houve redução linear da digestibilidade aparente da matéria seca, gordura e energia das rações ($P < 0,05$), sem alterar a digestibilidade da proteína bruta ($P > 0,05$). A produção e o teor de umidade das fezes aumentaram, com redução linear do seu pH ($P < 0,05$), sem alterar o escore fecal ($P < 0,05$). As concentrações de acetato, propionato e lactato aumentaram de modo linear nas fezes ($P < 0,05$), com redução linear da amônia, isobutirato e butirato ($P < 0,05$). Ao teste de saciedade o consumo da dieta experimental não variou, mas houve aumento linear do consumo da dieta desafio com o aumento da FE nas dietas ($P < 0,05$). Cães que consumiram a dieta FE100 apresentaram menor área abaixo da curva de glicose inicial (60 aos 180 minutos) e total (0 aos 720 min) que os alimentados com a ração controle ($P < 0,05$), sem alterações na secreção de insulina ($P > 0,05$). O menor teor de amido e maior de fibra da FE justifica as alterações em extrusão e formação dos *kibbles*, digestibilidade dos nutrientes e respostas de glicose. A fibra da FE demonstrou ser fermentável, aumentando os ácidos graxos de cadeia curta e reduzindo a amônia das fezes. Em conclusão, a farinha de ervilha descascada demonstrou ser ingrediente adequado a dietas com digestibilidade controlada da energia e para cães que se beneficiariam de maiores teores de fibra fermentável e fonte de carboidrato com menor resposta glicêmica pós-prandial.

Palavras chaves: glicose, insulina, carboidrato, ácidos graxos de cadeia curta

1. Introdução

Fontes de carboidrato que induzam menor resposta glicêmica e tenham digestibilidade da energia controlada têm sido exploradas cientificamente para alimentação de cães (Carciofi et al., 2008b). Neste contexto, tanto estudos em seres humanos (Seevi et al., 1999; Sajilata et al., 2006; Marinangeli et al., 2009; Hoover et al., 2010; Dahl et al., 2012; Whitlock et al., 2012; Mollard et al., 2014) como em animais (Marinangeli et al., 2011; Hashemi et al., 2015; Carciofi et al., 2008b; Adolphe et al., 2012; Adolphe et al., 2014) demonstraram o potencial da ervilha (*Pisum sativum* L.) como fonte de amido de digestão lenta, minimizando a glicemia e secreção pós-prandial de insulina.

A ervilha é leguminosa tradicionalmente cultivada para o consumo humano e como forragem para alimentação animal. É uma das sementes de leguminosas preferidas para solos de baixa fertilidade e áreas áridas devido à sua excelente tolerância a condições de seca ou inundação (Wang e Copeland, 2015; Aldrich, 2010). Amidos de leguminosas são conhecidos por possuírem índice glicêmico mais baixo do que amidos de cereais ou tubérculos, devido maiores proporções de amilose, fibra dietética e interações fortes entre as cadeias de amilose (Hoover e Zhou, 2003). O amido de ervilha é, ainda, suscetível à retrogradação durante o processamento e armazenamento, com aumento dos teores de amido resistente, também contribuindo para um menor índice glicêmico do ingrediente (Skrabanja et al., 1999; Bjorck e Asp, 1994). Estas diferentes características têm tornado recomendado o uso de ervilha em alimentos para controle do risco de obesidade, doenças cardiovasculares e câncer de cólon em seres humanos (Pietrasik e Janz, 2010).

Para alimentação de cães e gatos, recentemente têm-se optado pelo beneficiamento do grão de ervilha. O beneficiamento industrial da ervilha gera ingredientes diferentes, como a casca moída de ervilha e a farinha do grão da ervilha descascado. A casca moída de ervilha é ingrediente rico em fibra, com 830 g/kg de fibra insolúvel e 26 g/kg de fibra solúvel, com reduzida capacidade de fermentação e produção de ácidos graxos de cadeia curta (Calabrò et al., 2013). Já a farinha do grão de ervilha descascada apresenta, aproximadamente, 130 g/kg umidade (máx.), 200 g/kg proteína bruta (mín.), 10 g/kg fibra bruta (máx.), 15 g/kg extrato etéreo (mín.) e

40 g/kg matéria mineral (máx.) (Dilumix, 2020). Apesar de haver publicações sobre o grão de ervilha (Carciofi et al., 2008b), não foram localizados estudos para cães sobre o efeito da farinha do grão de ervilha descascado.

Diante do exposto, foram hipóteses deste estudo que a inclusão de farinha de ervilha descascada resulta na produção de alimento bem formatado pela extrusão, mas com menor expansão e maior dureza, com menor digestibilidade aparente da energia e nutrientes, que induza aumento na concentração de ácidos graxos de cadeia curta nas fezes, desencadeando ainda menor resposta glicêmica e insulinêmica pós-prandial e maior sensação de saciedade nos cães em comparação ao consumo de formulação à base de quirera de arroz. Com base no exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da substituição de quirera de arroz por farinha de ervilha descascada sobre o processo de extrusão, coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia, produtos de fermentação nas fezes, respostas pós-prandiais de glicose e insulina e saciedade em cães.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos “Prof. Dr. Flávio Prada” do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Jaboticabal. Todos os procedimentos experimentais obedeceram aos princípios éticos adotados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA) e foram previamente aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal, sob protocolo número 745/21/21.

2.1. Dietas experimentais e estudo de extrusão

O estudo incluiu 3 dietas experimentais, com diferentes inclusões de farinha de ervilha descascada (FE). Estas foram formuladas de acordo com as recomendações para manutenção de cães adultos da FEDIAF (2019). A dieta controle foi formulada a base de quirera de arroz (QA) e as duas dietas tratamento pela substituição crescente

da quirera de arroz por FE: FE50, com substituição de 50% e FE100, com substituição de 100% da QA por FE, quando esta foi fonte exclusiva de carboidratos na formulação. Os demais ingredientes das dietas foram mantidos constantes (Tabela 1). A composição química da QA e da FE utilizadas no estudo encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1. Composição de ingredientes e composição química analisada das dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas experimentais ¹		
	QA	FE50	FE100
<i>Ingredientes (% na matéria natural)</i>			
Quirera de Arroz	52,2	26,1	-
Farinha de Ervilha descascada ²	-	26,1	52,2
Farinha de Vísceras de Aves	33,0	33,0	33,0
Gordura de Aves	9,0	9,0	9,0
Palatabilizante Líquido	2,0	2,0	2,0
Fibra de Cana	2,0	2,0	2,0
Premix vitamínico-mineral ³	0,5	0,5	0,5
Sal Comum	0,45	0,45	0,45
Cloreto de potássio	0,40	0,40	0,40
Cloreto de colina	0,30	0,30	0,30
Antifúngico ⁴	0,10	0,10	0,10
Antioxidante ⁵	0,05	0,05	0,05
<i>Composição química analisada (% na matéria natural)</i>			
Umidade	7,3	7,5	7,8
Proteína Bruta	27,1	29,7	33,3
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	14,3	14,6	14,4
Amido total	40,5	32,0	24,1
Fibra Alimentar	2,2	2,9	2,8
Fibra Dietética Total	5,8	8,8	10,1
Matéria Mineral	5,4	6,1	6,8
Cálcio	0,9	0,9	0,9
Fósforo	0,7	0,8	0,8

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² Farinha de ervilha descascada – Dilumix Nutrição Animal Ltda.

³ Rovimix, DSM Produtos Nutricionais Brasil S.A., Jaguaré, Brasil. Adicionado por quilograma de alimento: Vitamina A, 18,750 IU; Vitamina D3, 1,500 IU; Vitamina E, 125 IU; Vitamina K3, 1,5 mg; Vitamina B1, 5 mg; Vitamina B2, 16.25 mg; Ácido

pantotênico, 37.5 mg; Vitamina B6, 7.5 mg; Vitamina B12, 45 mcg; Vitamina C, 0,125 g; Ácido nicotínico, 0.0625; Ácido Fólico, 0.75 mg; Biotina, 0.315 mg; Colina, 0.625 g; Ferro, 0.1 g; Cobre, 9.25 mg; Manganês, 6.25 mg; Zinco, 0.15 g; Iodo, 1.875 mg; Selênio, 0.135 mg

⁴ Mold-Zap Citrus, Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda., Araucária, Brasil.

⁵ Banox, Alltech do Brasil Agroindustrial Ltda., Araucária, Brasil

Tabela 2. Composição química analisada das amostras de quirera de arroz e farinha de ervilha descascada utilizadas no estudo.

	Quirera de arroz ¹	Farinha de ervilha descascada ²
<i>Composição química analisada (% na matéria seca)</i>		
Umidade	10,72	8,40
Proteína Bruta	8,44	24,60
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	2,77	2,67
Amido total	68,0	42,0
Fibra Alimentar	0,64	3,26
Fibra Dietética Total	2,1	8,95
Matéria Mineral	0,73	3,16

¹ Arroz Marcon Ltda.

² Farinha de ervilha descascada – Dilumix Nutrição animal Ltda.

2.1.1. Processo de extrusão das dietas experimentais

Para a avaliação dos parâmetros de extrusão das dietas e macroestrutura dos *kibbles* foi adotado delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições (unidade experimental) por dieta. As extrusões ocorreram de modo sequencial sem interrupção entre os tratamentos, começando pela dieta controle (CO), seguida da dieta FE50 e FE100. Após estabilização do sistema, aguardava-se 30 minutos e 4 amostras e coletas de dados eram realizadas a intervalos de 15 minutos, correspondendo às repetições experimentais.

Um único lote de matérias primas foi empregado (Figura 1). As dietas experimentais foram produzidas na Fábrica de Rações da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Jaboticabal.

Os ingredientes foram misturados em misturador horizontal de pás e na sequência moídos em moinho de martelo de alta rotação (Sistema Tigre de Mistura e Moagem, São Paulo/SP, Brasil), equipado com peneira com furos de 0,8 mm de diâmetro (Figura 1).

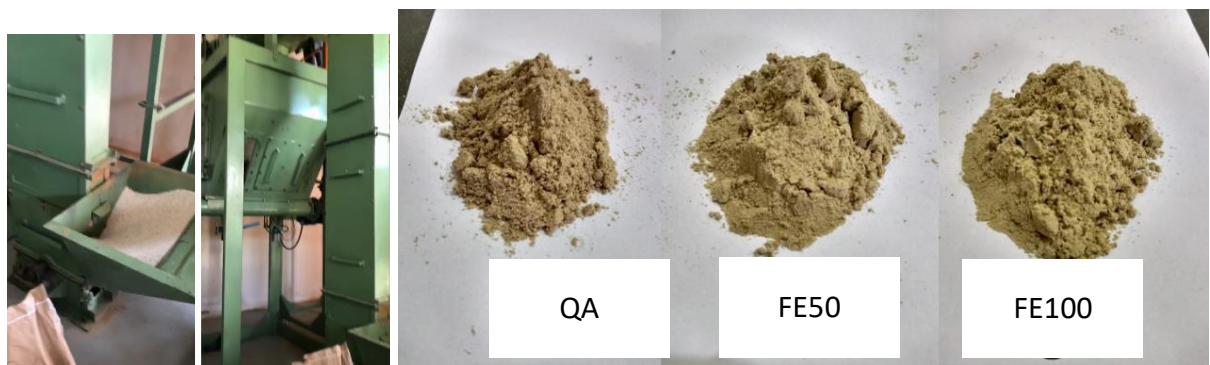


Figura 1. Matérias primas sendo moídas e misturadas em moinhos de martelos de alta rotação.

Os produtos foram extrusados em extrusora de rosca simples (Modelo Mex-250, Manzoni Industria Ltda, Campinas/SP, Brasil), com capacidade para produção de 250 quilogramas por hora (Figuras 2 e 3).



Figura 2. Etapas do processo de extrusão.



Figura 3. Extrusora empregada na produção das dietas experimentais.

A extrusora foi configurada para um furo circular de 8 mm em sua matriz, com área de vazão de $50,3 \text{ mm}^2$. A rosca extrusora apresentava 5 seções: primeira – parafuso simples sem anel de restrição; segunda – parafuso simples com anel de

restrição pequeno; terceira – parafuso duplo com anel de restrição pequeno; quarta – parafuso duplo com anel de restrição médio; quinta – parafuso duplo cônico contínuo. As condições de processamento foram estabelecidas para a dieta controle e foram mantidas constantes para as dietas com inclusão de FE. Durante a produção, água e vapor foram injetados somente no pré-condicionador, obtendo-se temperatura média da ração à saída do pré-condicionador de $96,1 \pm 2,6^\circ\text{C}$ e umidade interna no canhão extrusor de $29,7 \pm 0,7\%$. A rotação da rosca extrusora foi estabelecida em 580 rpm.

A cada ração, após estabilização do sistema aguardava-se 30 minutos e começava-se a registrar à intervalos de 15 minutos a amperagem do motor, adição de água e vapor no condicionador, temperatura e pressão da massa em processamento no interior do canhão extrusor e a produção horária de ração, conforme Pacheco et al. (2018). A densidade dos *kibbles* após extrusão era medida a cada momento de coleta, medindo-se o peso de ração correspondente a 1 L de volume (Figura 4). A produção horária de ração era medida diretamente em um recipiente, colocado na saída da extrusora. Ainda, à cada momento de coleta amostras de alimento eram recolhidas à saída do pré-condicionador, da extrusora e do secador, sendo armazenadas (-20°C) para posterior análise (Figura 6). Considerando a produção horária média de ração, de $190,4 \pm 6,2$ kg/h, o sistema apresentou área aberta de $264,1 \pm 4,6$ mm²/ton/h.



Figura 4. Densidade aparente do produto na saída da extrusora e do secador.

Após extrusão, os *kibbles* foram secos em secador horizontal com duas passagens, com fluxo de ar forçado, a uma temperatura de 105°C por 24 minutos (Figura 5). Na sequência os *kibbles* foram recobertos com óleo de vísceras de frango e o palatabilizante líquido, empregando-se para isto um misturador horizontal de helicóide, sendo então acondicionados para armazenamento (Figura 6 e 7).



Figura 5. Secador horizontal.



Figura 6. Amostras coletadas das saídas do condicionador, extrusor e secador.



Figura 7. Sacos dos alimentos experimentais após extrusão e engorduramento.

Com os dados obtidos foi calculada a implementação de Energia Mecânica Específica (EME) para cada uma das dietas de acordo com Riaz (2007), utilizando a seguinte equação:

$$\text{EME (KWh/t)} = (\sqrt{3} * \text{Voltagem} * (\text{At} - \text{Av}) * \cos\phi) / M$$

Onde: Voltagem do motor = 220 V; At = amperagem do motor em trabalho (A); Av = amperagem do motor vazio (A); cos ϕ = fator de potência do motor (0,8); M = Produtividade da extrusora (kg/h).

2.1.2. Avaliação da formação e macroestrutura dos *kibbles* e cozimento do amido

Para análise da macroestrutura dos *kibbles* foram coletados de forma aleatória 20 *kibbles* de cada dieta, sendo medidos o comprimento, diâmetro e massa (Figura 8). Esta aferição foi realizada com o Paquímetro Digital Absolute Mitutoyo 150mm 0,01mm (Mitutoyo Sul Americana Ltda, Suzano, São Paulo/SP, Brasil).

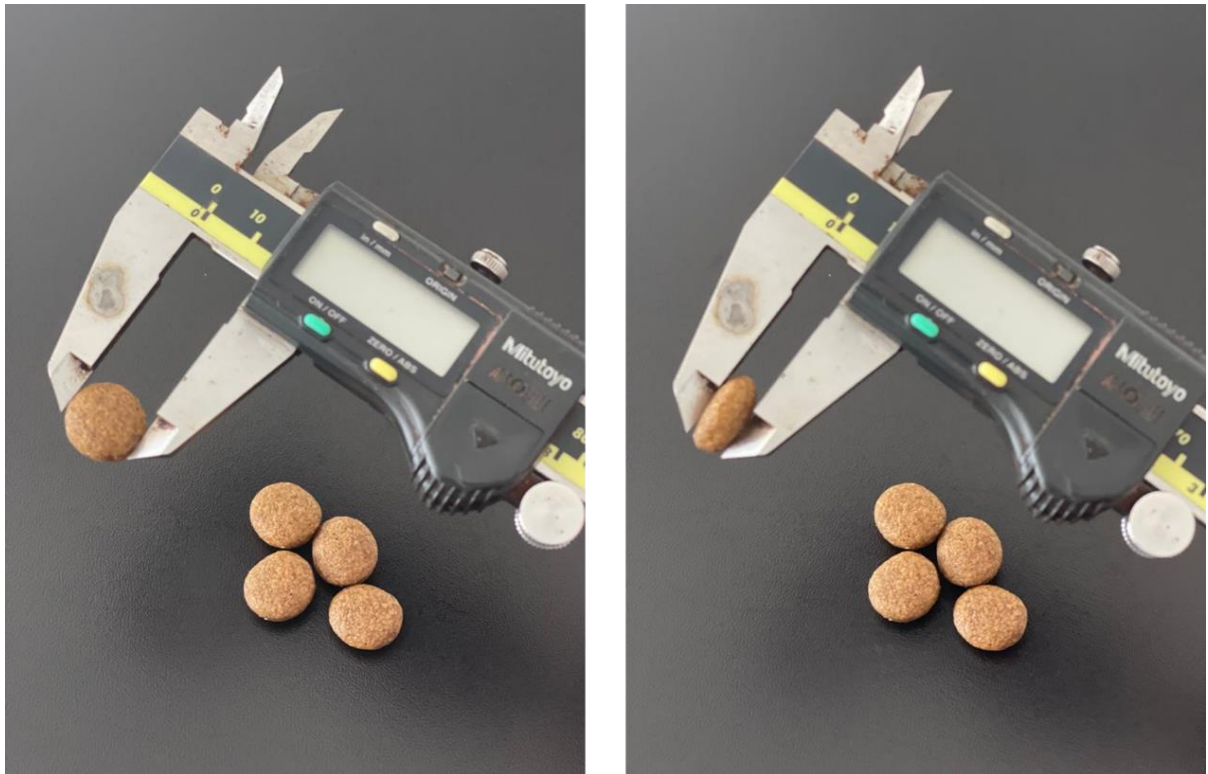


Figura 8. Aferição do comprimento e diâmetro do *kibble* para avaliação da macroestrutura.

Com base nestas informações foi avaliada a taxa de expansão radial (ER), comprimento específico (Cesp) e a densidade específica dos *kibbles* (Dk), como descrito a seguir:

$$ER = d^2/dm^2$$

$$Cesp \text{ (mm/g)} = c/m$$

$$Dk \text{ (g/cm}^3\text{)} = 4 * m / (\pi * ((d/2)^2 * c)$$

Onde:

ER = expansão radial;

d = diâmetro dos *kibbles*, em mm;

dm = diâmetro da abertura da matriz da extrusora, em mm;

Cesp = comprimento específico;

c = comprimento dos *kibbles*, em mm;

m = massa dos *kibbles*, em gramas;

Dk = densidade específica dos *kibbles*.

A força de ruptura dos *kibbles* foi testada pelo teste de resistência à quebra, em texturômetro TA-XT2 (TA-XTPlus Stable Micro Systems Ltda, Surrey, Inglaterra), com o modo de operação/compressão, velocidade pré-teste de 2 mm/s, velocidade durante o teste de 0,5 milímetros/s e velocidade antes de ensaio de 10 mm/s. No mínimo 20 *kibbles* de cada tratamento foram analisados, utilizando a sonda com conjunto de lâminas HDP/BSK com a faca com uma distância de corte de 10 milímetros. Os dados obtidos foram analisados com o software Texture Expert (Stable Micro Systems Ltda, Surrey, Inglaterra). Anteriormente ao teste a umidade dos *kibbles* foi padronizada em estufa (Quimis Aparelhos Científicos Ltda, Diadema, São Paulo/SP, Brasil) a 35°C por 24 horas. De modo a se medir o cozimento do amido na extrusora, amostras de *kibbles* das dietas experimentais foram avaliadas quanto ao índice de gelatinização do amido pelo método de amiloglucosidase (Sá et al., 2013).

2.2. Digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia, produtos de fermentação microbiana nas fezes, curva de glicose e insulina e teste de saciedade

Foram utilizados 24 cães da raça beagle, com idade média de $2,1 \pm 0,6$ anos, machos ou fêmeas, castrados, com escore de condição corporal médio de $4,5 \pm 0,2$ em escala até 9 (Laflamme, 1997) e peso corporal médio de $10,9 \pm 2,0$. A condição de hígidez dos animais foi verificada previamente por meio de exames físico, hematológico, bioquímica sérica (alanina aminotransferase, fosfatase alcalina, ureia,

creatinina, proteína total e albumina), exame de urina e exame coproparasitológico. O estudo seguiu delineamento em blocos casualizados, com 2 blocos de 12 animais, 3 dietas experimentais e 4 cães por dieta em cada bloco, totalizando 8 repetições por dieta. O fator de bloco foi o tempo, pela impossibilidade de se conduzir o estudo simultaneamente nos 24 animais. Cada bloco teve duração de 22 dias e as atividades ficaram assim distribuídas:

Etapa	Dias do período experimental	Total	Procedimentos realizados
1	1º ao 12º	12 dias	Adaptação à dieta (animais receberam as dietas, distribuídas de modo aleatório por meio de sorteio) Coleta total de fezes para digestibilidade
2	13º ao 17º	5 dias	Coleta de fezes frescas para análise de concentração de ácidos graxos, lactato, amônia e pH
3	18º ao 19º	2 dias	Curva de glicose e insulina
4	20º ao 22º	3 dias	Teste de Saciedade

Quadro 1. Etapas experimentais ao longo de cada bloco de estudo.

A quantidade de alimento oferecida aos cães foi calculada de acordo com a energia metabolizável da dieta, estimada com base em sua composição química de acordo com o (NRC, 2006), e a necessidade energética de cada animal, com base em seu histórico de consumo de alimentos. Os cães foram pesados semanalmente, sendo então a quantidade de alimento fornecida ajustada, quando necessário, para que os animais mantivessem o peso corporal constante. A quantidade total diária foi oferecida em uma única refeição às 10:00 horas, ficando disponível por 30 minutos. O alimento oferecido e recusado foi pesado à cada refeição, calculando-se o consumo. Durante todo o experimento água fresca esteve disponível *ad libitum*.

2.2.1. Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade Aparente (CDA) dos nutrientes e da energia

O CDA dos nutrientes e da energia no trato digestório total foi determinado pelo método de coleta total de fezes sem coleta de urina, segundo protocolo e procedimentos de cálculo descritos pela FEDIAF (2019). Durante o período de

adaptação os cães ficaram alojados em baias com solário, com dimensões de 1,5 m x 4,5 m, sendo soltos diariamente em área gramada com 200 m² para prática voluntária de exercícios e socialização por no mínimo 4 horas ao dia. Os animais ficaram restritos às baias e solário nos três dias que antecederam a coleta total de fezes, para que não ocorresse ingestão de grama ou corpo estranho.

Após 12 dias de adaptação, os animais foram colocados em gaiolas individuais de metabolismo, com dimensões de 90 x 90 x 90 cm, com aparato para separar fezes e urina para coleta. As fezes foram recolhidas quantitativamente durante 120 horas, ao menos duas vezes ao dia ou sempre que presentes, sendo pesadas, acondicionadas em saco plástico e congeladas (-15°C) para posterior análise. Ao final do período de coleta, as fezes foram descongeladas e homogeneizadas, compondo uma amostra por animal.

As amostras de fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (MA035/5, Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda, Piracicaba/SP, Brasil) a 55°C por 72 horas. As amostras de fezes pré-secas e dietas foram moídas em moinho tipo faca (MOD 340, ART LAB, São Paulo/SP, Brasil), com peneira de 1 mm e analisadas de acordo com os procedimentos descritos pela AOAC (2006) para matéria seca (método 934.01), matéria mineral (método 942.05), proteína bruta (método 954.01), fibra bruta (método 985.29) e extrato etéreo em hidrólise ácida (método 954.02). A matéria orgânica foi calculada como a matéria seca menos matéria mineral. O teor de fibra dietética total foi analisado usando uma combinação de procedimentos enzimáticos e gravimétricos (método 991.43). A quantidade de amido total foi determinada de acordo com Miller (1959) e Hendrix (1993). O conteúdo de energia bruta foi determinado em bomba calorimétrica (IKA calorimeter system C 2000 basic, IKA – Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemanha). Todas as análises foram conduzidas em duplicata e repetidas se verificado coeficiente de variação maior de 5% entre replicatas.

Com base nos resultados laboratoriais obtidos, foram calculados os CDA dos nutrientes de acordo com a seguinte formula:

$$\text{CDA dos nutrientes (\%)} = \frac{\text{nutriente ingerido (g)} - \text{nutriente excretado (g)}}{\text{nutriente ingerido (g)}} \times 100$$

2.2.2. Determinação do pH, produtos de fermentação microbiana e escore fecal

Para estas avaliações amostras de fezes recém eliminadas (no máximo 15 minutos após eliminação) foram coletadas por 3 dias consecutivos. Para a análise dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR) foram coletados 10 gramas de fezes frescas em cada dia, homogeneizados e misturados com 30 mililitros de ácido fórmico 4,2 N (1:3 w/w). Ao final do período de coleta foi realizado um pool de todos os dias, a mistura foi centrifugada a 4.500 G durante 15 minutos a 15°C por quatro vezes, após cada centrifugação o sobrenadante era aproveitado e sedimento desprezando. O sobrenadante foi centrifugado (5804R, Eppendorf, Hamburgo, Alemanha) a 20.000 G durante 1 hora a 5°C. Após a extração as amostras foram identificadas e armazenadas em freezer (-20°C). As concentrações dos AGCC e AGCR foram determinadas por cromatografia gasosa (Modelo 9001; Finnigan Corporation, San Jose/CA, Estados Unidos) de acordo com Erwin et al. (1961).

Para analisar a concentração de amônia nas fezes foram utilizados os extratos preparados para dosagem de AGCC e AGCR, empregando-se metodologia adaptada de Vieira (1980). Os extratos foram diluídos em água destilada (2:13 v/v) e submetidos à destilação em destilador de nitrogênio (Tecnal TE - 036/1, Tecnal, Piracicaba/SP, Brasil). Para a análise de ácido láctico foram coletados 3 gramas de fezes frescas em cada dia, homogeneizada e misturada com 9 mililitros de água destilada (w/v). Ao final do período de coleta foi realizado um *pool* dos 3 dias e a mistura centrifugada a 4.500 G durante 15 minutos a 15°C por quatro vezes, após cada centrifugação o sobrenadante era aproveitado e sedimento desprezando. O ácido láctico foi analisado segundo Pryce (1969) pelo método espectrofotométrico (Spectrophotometer Quick-Lab; Drake Eletrônica e Comércio, São José do Rio Preto/SP, Brasil) com leitura a 565nm (500 a 570nm). As amostras foram quantificadas comparando-as com padrão de ácido láctico a 0,08%. Por fim, o pH foi determinado utilizando-se dois gramas de material fecal diluídos em 6 mL de água miliq (1:3 w/w), empregando-se pH-metro de precisão 0,01 pH (Digicrom Analítica Ltda, modelo DM20).

A qualidade das fezes dos cães também foi avaliada, empregando-se escore com notas de 0 a 5 (Carciofi et al., 2008a), sendo: 0 - fezes líquidas; 1 - fezes pastosas

e sem forma; 2 - fezes macias, malformadas e que assumem o formato do recipiente de colheita; 3 - fezes macias, formadas e úmidas, que marcam o piso; 4 - fezes bem formadas e consistentes, que não marcam o piso; 5 para - bem formadas, mas duras e ressecadas. Consideram-se normais fezes com escore entre 3 e 4.

2.2.3. Avaliação da resposta de saciedade aos alimentos

A saciedade induzida pelo consumo das dietas foi avaliada ao final do período experimental. Os animais receberam as 10 horas da manhã quantidades individualmente calculadas das dietas experimentais, de acordo com que vinham recebendo para manutenção de peso corporal constante. As dietas experimentais foram disponibilizadas por 15 minutos, sendo as sobras retiradas, pesadas e registrando o consumo. Após 90 minutos da finalização do consumo das dietas experimentais, os cães foram expostos por 45 minutos a 500 gramas de uma dieta desafio, representada pelo alimento de manutenção dos animais do laboratório (Sabor & Vida Cães Adultos, Mogiana Alimentos S.A., Campinas/SP, Brasil. Composição declarada: umidade 10%, proteína bruta 23%, extrato etéreo hidrolise ácida 10%, fibra bruta 3%, matéria mineral 8,5%). As sobras do alimento desafio foram retiradas, pesadas e registrando o consumo. Esta avaliação foi repetida por 3 dias consecutivos, sendo empregados na avaliação estatística os resultados médios destas 3 observações. O maior ou menor consumo da ração desafio foi utilizado para se avaliar subjetivamente o efeito de saciedade das dietas experimentais.

2.2.4. Determinação das respostas pós-prandiais de glicose e insulina dos cães

Apenas a dieta controle (100% quirera arroz) e a dieta com 100% de farinha de ervilha descascada foram empregadas na avaliação das respostas pós-prandiais de glicose e insulina. Para isto foram utilizados 16 cães, divididos em 2 blocos de 8 animais, com 2 rações e 4 cães por formulação em cada bloco, totalizando 8 repetições por formulação. O fator de bloco foi o dia de avaliação da resposta pós-prandial, devido à dificuldade de se testar os 16 animais em um só dia.

Os animais consumiram as dietas por um período de 5 dias de adaptação, seguidos de 1 dia para avaliação da resposta pós-prandial. Esta foi avaliada de acordo com Carciofi et al. (2008a), com modificações nos tempos de coleta de sangue: 0 (tempo zero, antes da refeição), seguido de coletas após 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 420, 540 e 720 minutos, sendo este tempo computado a partir do término da ingestão de alimento. No dia da coleta de sangue, após tricotomia e antissepsia, a veia cefálica foi canulada com cateter intravenoso (Angiocath 20GA x 1.16in., Becton Dickinson, Franklin Lakes/NJ, Estados Unidos). Após 30 minutos de repouso, foi coletada amostra de sangue para determinação da glicemia e insulinemia basal, denominada de tempo zero (T0). A dieta experimental foi oferecida e assim que finalizado o consumo do alimento, foi iniciado a contagem dos tempos de coleta. Os cães foram previamente condicionados a ingerir todo o alimento diário em 10 minutos, cães que não consumiram ao menos 90% da quantidade estipulada dentro do período de 10 minutos não foram avaliados, sendo o teste repetido no dia seguinte.

Em cada coleta foi retirado 3,0 mL de sangue de cada animal, separados em dois tubos de ensaio, sendo 1,0 mL em tubo de ensaio para glicose contendo fluoreto de sódio e EDTA como inibidor glicolítico (BD Vacutainer®, Curitiba/PR, Brasil) e 2,0 mL em tubo de ensaio para insulina contendo EDTA como anticoagulante (BD Vacutainer®, Curitiba/PR, Brasil). Ao final de cada coleta os cateteres eram lavados com solução salina para se manter patência. Os tubos com amostras de sangue foram centrifugados a 3000 rpm por 10 minutos. As amostras sanguíneas foram acondicionadas em eppendorfs e congeladas a -80°C para posterior análise (Reynolds et al., 2006).

A concentração de glicose foi determinada por testes de glicose oxidase (GOD-ANA, Labtest Diagnóstica S.A., Lagoa Santa/MG, Brasil), usando analisador semi-automático de glicose (Labquest model BIO-2000, Labtest Diagnóstica S.A., Lagoa Santa/MG, Brasil). As análises foram realizadas em duplicata, sendo repetidas quando tiveram mais de 5% de variação. Para a determinação da concentração sérica de insulina foi utilizado kit Quantikine ELISA validado para cães (Human/Canine/Porcine Insulin Immunoassay, R&D Systems, Minneapolis/MN, Estados Unidos), seguindo-se as recomendações do fabricante. A leitura foi realizada em leitor de microplacas (Biochrom Asys Expert Plus, Biochrom, Cambourne, Cambridge, Reino Unido) usando

filtro de 450 nm. Na análise de insulina o coeficiente de variação inter - análise foi 1,92% e o coeficiente de variação intra - análise de 1,58%.

Foram calculadas as concentrações sanguíneas de glicose e insulina para cada período pós-prandial. As respostas foram comparadas quanto às concentrações basais, mínima, média e máxima, aumentos médio e máximo do incremento (a diferença entre a concentração absoluta da amostra e a concentração basal do metabólito) e o tempo para o pico de resposta. As áreas abaixo da curva (AAC) das respostas pós-prandiais de glicose e insulina, bem como de seus respectivos incrementos foram calculadas por integrações numéricas pelo método trapezoidal, usando-se o software GraphPad Prism 5.0 (GraphPad Software, San Diego/CA, Estado Unidos).

2.3. Análise estatística

Após a obtenção das médias, foram verificadas as pressuposições de homogeneidade de variâncias e normalidade dos erros. Para os estudos de extrusão e as características dos *kibbles* foi adotado delineamento inteiramente casualizado, representado pela extrusão sequencial das rações, sem interrupção em um único dia de produção. Para os parâmetros de processamento, densidade aparente e índice de gelatinização do amido foram empregadas 4 repetições por tratamento, representado pelos tempos de tomada de dados e coleta de amostras. Para a macroestrutura dos *kibbles*, foram empregadas 20 repetições por tratamento, representados por 20 *kibbles* aleatoriamente recolhidos.

Para o estudo *in vivo* com cães, os CDA dos nutrientes, características e produtos de fermentação nas fezes e resultados do teste de saciedade (ingestão média da dieta desafio nos 3 dias de teste) foram analisados em delineamento em blocos casualizados, com 2 blocos, 3 rações e 8 repetições por ração. A unidade experimental foi um cão. Em todas as situações os dados foram submetidos à análise de variância, considerando-se os efeitos de ração, bloco e animal. Quando diferenças foram detectadas no teste F, médias foram comparadas por contrastes polinomiais, em função do teor de inclusão de FE. As respostas pós-prandiais de glicose e insulina

foram submetidas à análise de variância de medidas repetidas, considerando-se delineamento com 2 blocos, 2 rações e 8 repetições por ração. Todas as análises foram realizadas com o software estatístico SAS, versão 9.4 (SAS Institute, Cary/CN, Estado Unidos, 2003). Valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos e de $P < 0,1$ como tendência.

3. Resultados

Conforme esperado, a QA apresentou maior teor de amido, enquanto a FE maior porcentagem de proteína e fibra alimentar (Tabela 2). Como os ingredientes foram substituídos nas formulas sem alteração de suas proporções, isto se refletiu na composição química dos alimentos com elevação dos teores de fibra alimentar e proteína e redução do amido conforme aumento da inclusão de FE (Tabela 1).

A extrusão das três formulações ocorreu a contento, obtendo-se produtos adequadamente formatados (Tabela 3). Foi verificado redução linear da amperagem e aplicação de energia mecânica específica com a inclusão de FE ($P < 0,05$), com consequente redução da pressão e temperaturas da massa no canhão extrusor ($P < 0,05$). A redução da aplicação de energia mecânica resultou em elevação quadrática da densidade aparente e específica dos *kibbles*, com menor expansão radial e aumento da força de ruptura ($P < 0,05$). Estas alterações, no entanto, não interferiram no cozimento do amido, pois o índice de gelatinização se elevou de modo linear com o aumento da FE ($P < 0,05$).

Tabela 3. Parâmetros de extrusão e macroestrutura dos *kibbles* das dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹			EPM ²	p Valor	Contraste ³	
	QA	FE50	FE100			Linear	Quadrático
<i>Extrusora</i>							
Amperagem (Ampere)	41,9	40,2	40,0	0,30	0,013	0,008	0,096
Pressão (Bars)	21,8	17,1	14,4	0,41	<0,001	<0,001	0,023
Temperatura da massa (°C)	123,7	113,3	112,0	29,8	0,069	0,033	0,248
Densidade aparente (g/L)	376,7	392,5	395,8	1,85	<0,001	<0,001	0,012
Energia Mecânica Específica (kW-h/ton)	15,8	13,7	13,6	0,50	0,027	0,017	0,126
<i>Kibbles</i>							
Comprimento específico (mm/g)	13,8	11,8	13,4	0,12	<0,001	0,021	<0,001
Densidade específica (g/m³)	0,4	0,5	0,4	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Expansão radial	3,3	3,1	3,1	0,02	<0,001	<0,001	<0,001
Força de ruptura (N)	62,3	102,6	102,7	3,95	<0,001	<0,001	<0,001
Índice de gelatinização do amido (%)	78,8	85,4	93,4	1,27	<0,001	<0,001	0,837

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 4 para parâmetros de extrusão e n = 20 para macroestrutura dos *kibbles*.

³ Efeito linear ou quadrático da substituição por farinha de ervilha descascada.

Durante o experimento os cães apresentaram ingestão alimentar adequada, não apresentaram episódio vômito, diarreia ou qualquer alteração de saúde. Não foi observado diferença no consumo de matéria seca, matéria orgânica e extrato etéreo entre as dietas (Tabela 4). Devido às diferenças nos teores de proteína bruta, amido e fibra dietética total, a ingestão desses nutrientes diferiu entre as rações (Tabela 4). Foi verificado redução linear no CDA da matéria seca, matéria orgânica, extrato etéreo, amido e energia bruta com a elevação na inclusão de FE nas formulações ($P < 0,01$). Apenas o CDA da proteína não se alterou, sendo semelhante entre os tratamentos ($P > 0,05$).

O aumento na inclusão de FE resultou em elevação linear na produção de fezes, tanto na matéria natural como na matéria seca, com redução linear no teor de umidade ($P < 0,05$) sem, no entanto, alterar o escore fecal ($P > 0,05$; Tabela 5). A redução linear no pH das fezes ($P < 0,01$), com elevação linear nas concentrações de acetato, propionato, valérico e lactato ($P < 0,01$) indicam que a fibra dietética presente na FE é fermentável pela microbiota do trato gastrointestinal. Houve ainda redução linear nas concentrações de isobutírico, isovalérico e amônia das fezes dos cães ($P < 0,01$), indicando menor fermentação proteica.

Ao teste de saciedade (Tabela 6), não foram detectados efeitos de tratamento ($P > 0,05$), com ingestões semelhantes das dietas experimentais e desafio.

Tabela 4. Ingestão (g/cão/dia) e Coeficientes de Digestibilidade Aparente (CDA) dos nutrientes e da energia de dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹			EPM ²	p Valor	Contraste ³	
	QA	FE50	FE100			Linear	Quadrático
Ingestão de Nutrientes (g/cão/dia)							
Matéria Seca	170,8	169,9	170,4	5,74	0,842	0,958	0,565
Matéria Orgânica	160,7	163,0	167,7	5,35	0,780	0,706	0,557
Proteína Bruta	49,9	56,2	59,5	1,51	0,002	<0,001	0,454
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	26,5	27,5	26,7	0,89	0,674	0,896	0,386
Amido total	74,7	60,2	44,5	1,94	<0,001	<0,001	0,811
Fibra Alimentar	3,8	5,1	4,5	0,12	<0,001	<0,001	<0,001
Fibra Dietética Total	9,9	15,3	16,6	0,90	<0,001	<0,001	<0,001
Coeficientes de Digestibilidade Aparente (%)							
Matéria Seca	85,0	83,7	81,8	0,67	0,011	0,003	0,680
Matéria Orgânica	88,7	86,9	84,8	0,55	<0,001	<0,001	0,843
Proteína Bruta	84,7	84,0	84,7	0,78	0,740	0,999	0,443
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	93,1	92,9	91,9	0,31	0,033	0,015	0,342
Amido total	99,9	99,8	99,4	0,00	<0,001	<0,001	<0,001
Energia Bruta	88,9	87,7	86,1	0,53	0,005	0,001	0,770

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

³ Efeito linear ou quadrático da substituição por farinha de ervilha descascada

Tabela 5. Características das fezes e concentração de produtos de fermentação microbiana nas fezes de cães alimentados com dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹			EPM ²	p Valor	Contraste ³	
	QA	FE50	FE100			Linear	Quadrático
<i>Características das Fezes</i>							
Produção de fezes na matéria natural (g/kg PC/dia)	5,3	7,0	8,8	0,98	<0,001	<0,001	0,833
Produção de fezes na matéria seca (g/kg PC/dia)	2,4	2,6	2,9	0,12	0,055	0,017	1,000
Matéria Seca (%)	45,6	37,9	32,7	0,61	<0,001	<0,001	0,127
Escore	3,9	4,0	3,9	1,66	0,830	0,533	0,356
pH	6,7	6,4	6,2	0,05	<0,001	<0,001	0,325
<i>Produtos da Fermentação (mMol/g de fezes, na MS)</i>							
Acético	122,5	149,0	189,1	6,43	<0,001	<0,001	0,400
Propiônico	109,6	164,6	242,5	6,87	<0,001	<0,001	0,212
Butírico	77,8	81,3	75,3	5,28	0,743	0,748	0,489
Ácidos Graxos Cadeia Curta Total	309,9	394,9	506,9	14,6	<0,001	<0,001	0,463
Isobutírico	13,7	13,0	10,2	0,71	0,008	0,003	0,256
Isovalérico	43,7	40,9	32,1	2,49	0,011	0,004	0,354
Valérico	9,9	10,5	15,7	0,94	0,001	<0,001	0,103
Ácidos Graxos Cadeia Ramificada Total	67,3	64,4	58,0	3,6	0,194	0,094	0,497
Ácidos Graxos Voláteis Totais	377,2	459,3	564,9	17,0	<0,001	<0,001	0,626
Amônia	330,0	277,3	248,9	12,6	<0,001	<0,001	0,427
Lactato	3,9	4,6	6,7	0,3	<0,001	<0,001	0,161

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

³ Efeito linear ou quadrático da substituição por farinha de ervilha descasca

Tabela 6. Consumo das dietas experimentais e dieta comercial desafio durante avaliação da saciedade de cães alimentados com dietas experimentais com teores crescentes de farinha de ervilha descascada. Valores médios de 3 dias de teste com cada cão.

Item	Dietas ¹			EPM ²	p Valor
	QA	FE50	FE100		
Consumo total (g/kg PC/dia)	33,8	39,2	38,7	1,89	0,135
EM Consumida (kcal/kg PC/dia)	127,0	138,2	139,7	6,31	0,314
Consumo da dieta experimental (g/kg PC/dia)	17,9	17,8	16,7	0,77	0,510
Consumo médio de três dias da dieta desafio (g/kg PC/dia)	15,9	18,3	22,0	1,94	0,104
Proporção (dieta experimental/dieta desafio)	1,3	1,2	0,8	0,10	0,145

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

Nenhum cão empregado apresentava escore de condição corporal acima de 6, que pudesse vir a interferir nos resultados. No dia do teste pós-prandial os cães apresentaram consumos semelhantes de ração (matéria seca), conforme planejado, embora as ingestões de proteína bruta e fibra alimentar tenham sido maiores, e a de amido menores nos cães alimentados com FE100 ($P < 0,01$), explicado pelas diferenças nas composições químicas destas dietas (Tabela 7).

Tabela 7. Ingestão de nutrientes no dia da avaliação das respostas pós-prandiais de insulina e glicose de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹		EPM ²	p Valor
	QA	FE100		
<i>Ingestão de Nutrientes (g/cão/dia)</i>				
Matéria Seca	170,8	170,1	3,69	0,935
Matéria Orgânica	160,7	167,5	3,47	0,683
Proteína Bruta	49,9	59,4	1,48	<0,001
Extrato Etéreo Hidrólise Ácida	26,5	26,6	0,58	0,916
Amido	79,7	47,0	3,98	<0,001
Fibra Alimentar	3,8	4,5	0,12	<0,001

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

Os valores basais, médios, mínimos e máximos de glicose e insulina, bem como de seus respectivos incrementos foram semelhantes entre os cães que receberam as duas rações avaliadas ($P > 0,05$; Tabela 8). Tanto para os valores absolutos (Tabela 9) como para o incremento de glicose sanguínea (Tabela 10), cães alimentados com a ração FE100 tiveram menores AAC total (0-720 min) e no tempo de 60-180 min ($P < 0,01$). A AAC do incremento de glicose foi, também, menor nos períodos 60-180 e 180-300 min nos cães alimentados com a ração FE100 ($P < 0,01$). As AAC de insulina não diferiram entre as dietas, para nenhum período avaliado ($P > 0,05$).

Tabela 8. Parâmetros glicêmicos e insulinêmicos médios de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹		EPM ²	p Valor
	QA	FE100		
<i>Glicose (mg/dL)</i>				
Basal	83,7	83,2	1,08	0,8426
Média	89,0	87,1	0,98	0,3300
Mínima	80,6	79,0	0,94	0,3863
Máxima	99,1	95,2	1,74	0,2826
Incremento médio	13,9	11,4	1,04	0,2313
Incremento máximo	14,4	12,0	1,91	0,3908
Tempo pico (mínimo em minutos)	206,2	292,5	40,6	0,3039
<i>Insulina (pmol/L)</i>				
Basal	37,0	34,1	2,87	0,6950
Média	97,3	82,8	7,13	0,3258
Mínima	18,7	22,5	3,61	0,6191
Máxima	204,7	179,7	18,82	0,5255
Incremento médio	63,6	82,8	7,56	0,2154
Incremento máximo	167,7	145,6	19,13	0,5817
Tempo pico (mínimo em minutos)	232,5	270,0	20,65	0,3822

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

Tabela 9. Áreas abaixo da curva (AAC) de glicemia e insulinemia (pmol/L/h) sanguínea de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹		EPM ²	p Valor
	QA	FE100		
<i>Glicose (mg/dL/h)</i>				
0 – 720	1165,7	1062,1	17,70	0,0007
0 – 60	85,6	76,9	2,83	0,1273
60 – 180	203,9	166,6	7,79	0,0109
180 – 300	194,2	181,0	6,81	0,3510
300 – 720	643,1	621,3	12,17	0,3887
<i>Insulina (pmol/L/h)</i>				
0 – 720	1186,6	990,8	83,21	0,2526
0 – 60	60,7	58,0	6,58	0,8468
60 – 180	210,3	171,8	26,09	0,4794
180 – 300	285,0	249,7	24,12	0,4837
300 – 720	555,0	479,3	45,51	0,4245

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

Tabela 10. Áreas abaixo da curva (AAC) do incremento de glicose e insulina (pmol/L/h) sanguínea de cães alimentados com dietas experimentais à base de quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

Item	Dietas ¹		EPM ²	p Valor
	QA	FE100		
<i>Glicose (mg/dL/h)</i>				
0 – 720	163,5	75,1	17,08	0,0047
0 – 60	3,8	3,2	0,47	0,5294
60 – 180	36,6	13,5	4,17	0,0017
180 – 300	37,0	15,4	4,54	0,0112
300 – 720	77,8	42,3	8,24	0,0256
<i>Insulina (pmol/L/h)</i>				
0 – 720	781,1	597,0	80,77	0,2686
0 – 60	30,3	25,6	5,80	0,6985
60 – 180	147,6	108,0	25,12	0,4514
180 – 300	216,9	185,7	23,98	0,5347
300 – 720	334,2	254,4	42,59	0,3671

¹ Dietas – QA: controle, a base de quirera de arroz; FE50: 50% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada; FE100: 100% de substituição da quirera de arroz por farinha de ervilha descascada.

² EPM: erro padrão da média. n = 8 repetições por tratamento

A cinética das respostas pós-prandiais de glicose e insulina ao longo dos 720 minutos nos cães alimentados com QA e FE100 são apresentadas nas figuras 9 a 12. Tendência à maior secreção de insulina foi observada aos 240 min nos cães alimentados com QA ($P=0,07$; Figura 9). A glicemia pós-prandial foi maior nos cães alimentados com QA aos 120 min, 180 min e 300 min após a refeição ($P<0,05$; Figura 11). O incremento de glicose, por sua vez, foi maior aos 120 min e 180 min após a refeição nos cães alimentados com QA ($P<0,05$; Figura 12).

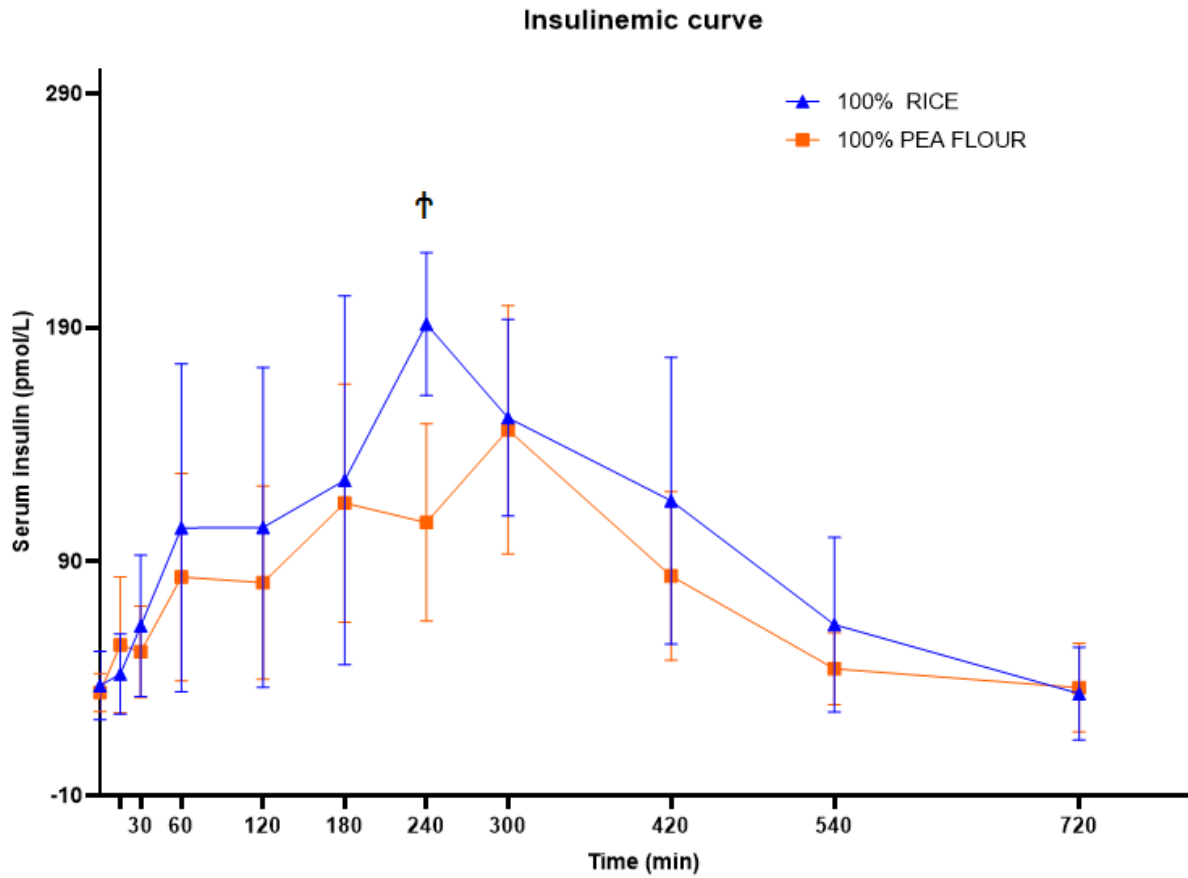


Figura 9. Concentrações plasmática pós-prandiais de insulina de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

† - tendência de maior insulínemia ($P=0,07$).

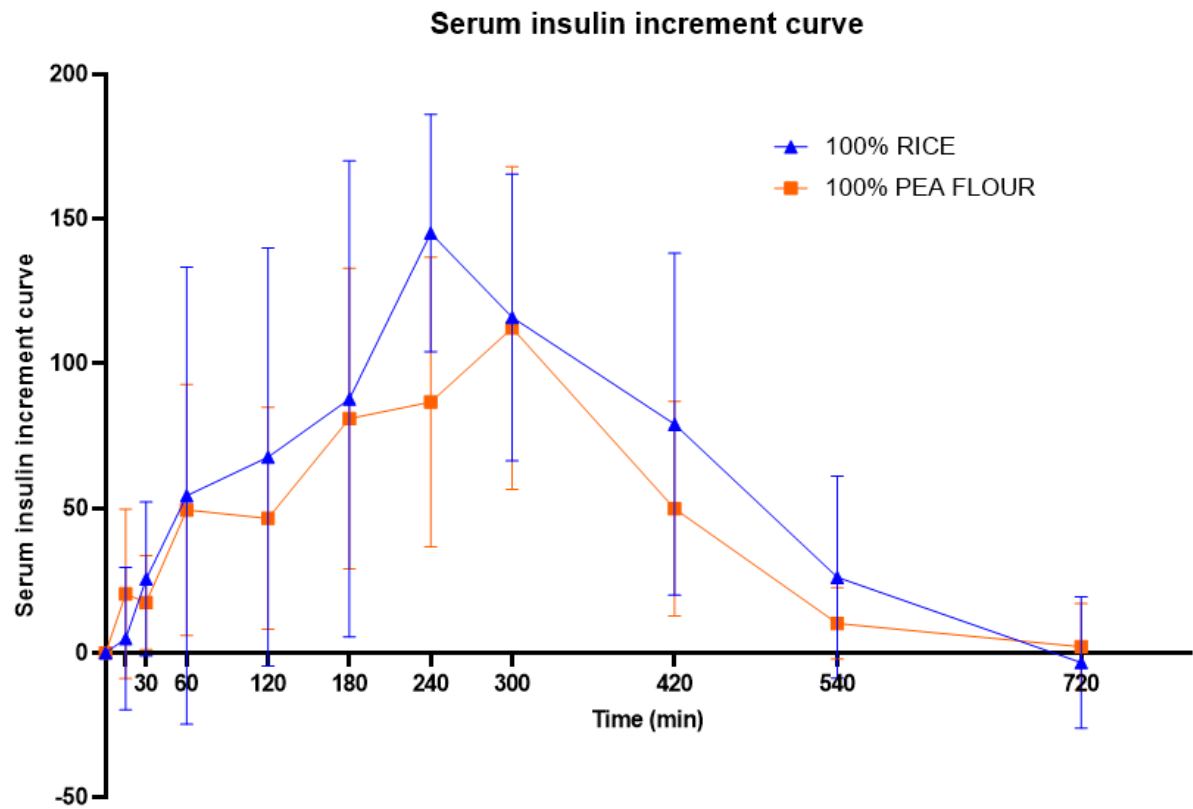


Figura 10. Concentrações plasmática pós-prandiais do incremento de insulina de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

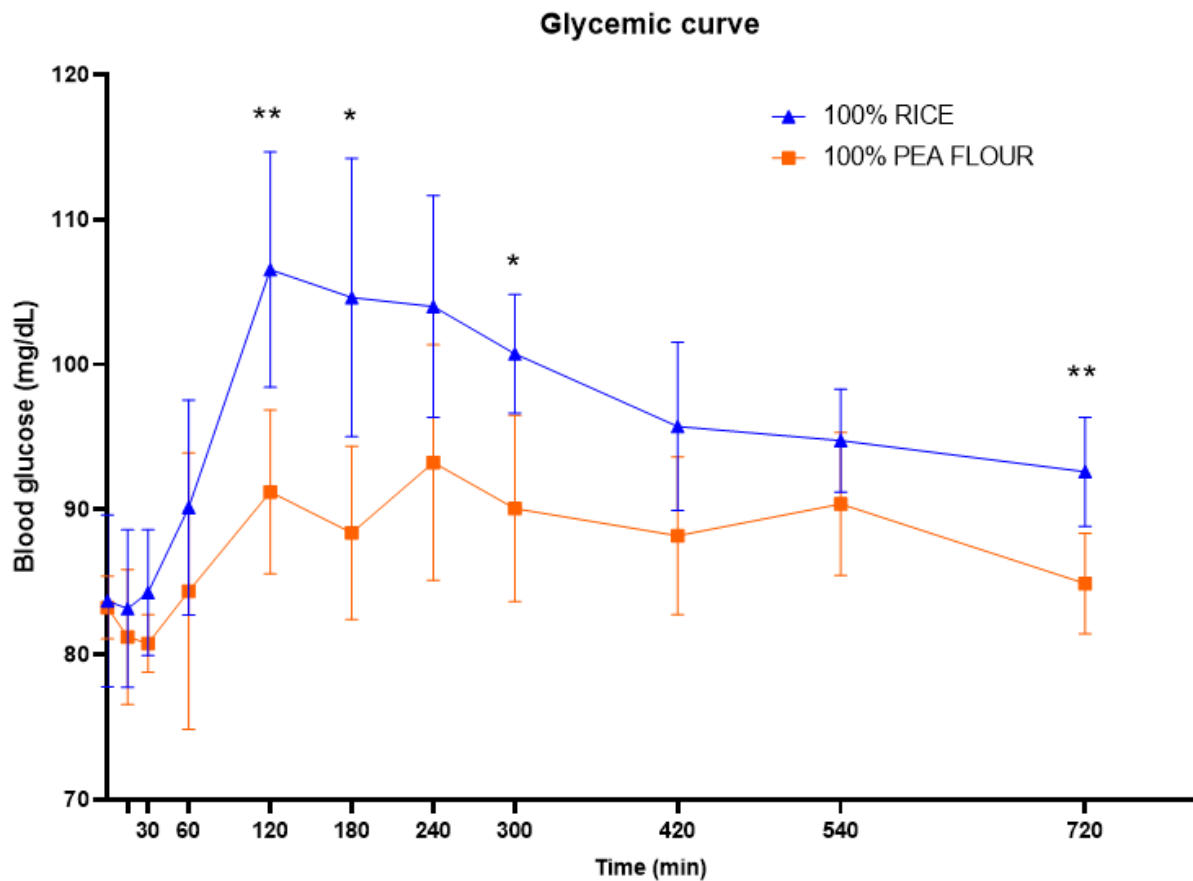


Figura 11. Concentrações plasmática pós-prandiais de glicose de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

** - maior valor de glicemia ($P=0,01$)

* - maior valor de glicemia ($P=0,05$)

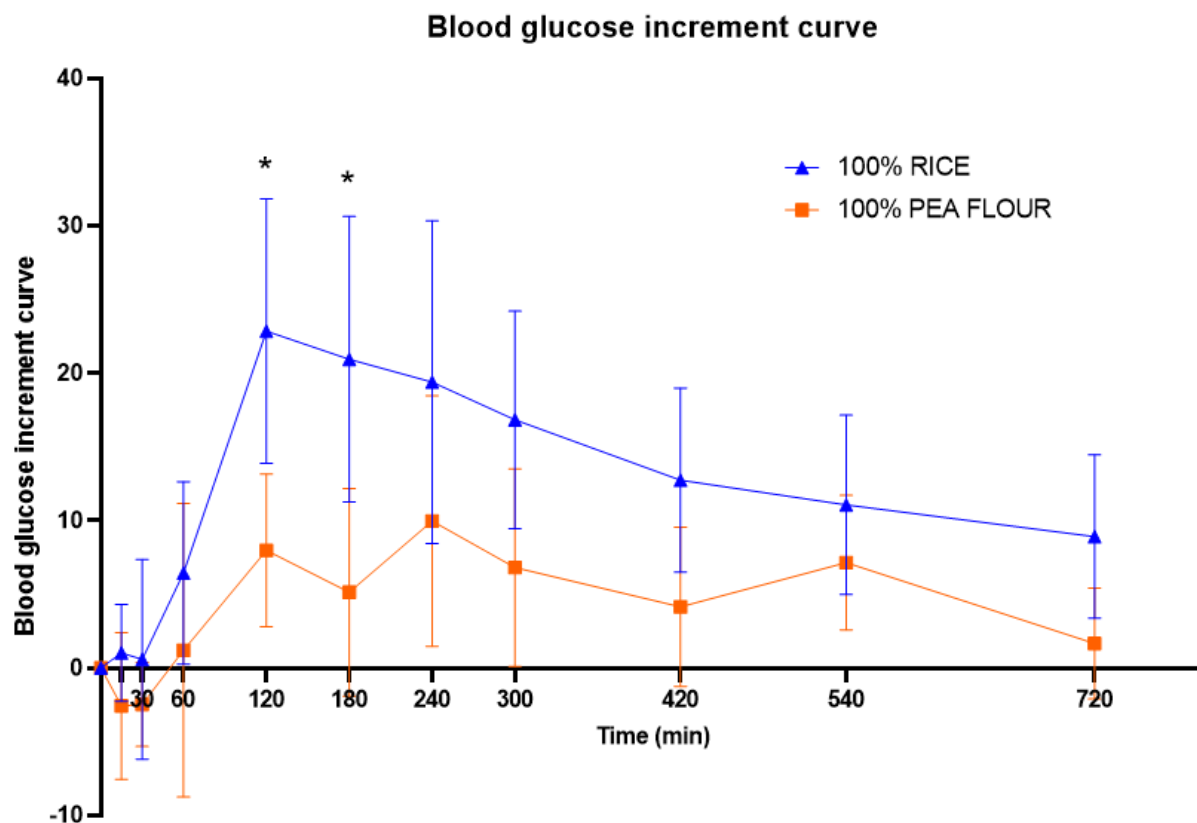


Figura 12. Concentrações plasmática pós-prandiais do incremento de glicose de cães alimentados com dietas experimentais com quirera de arroz ou farinha de ervilha descascada.

* - maior valor de glicemia ($P=0,05$)

4. Discussão

Dietas sem grãos estão se tornando cada vez mais populares principalmente pelas alegações de saúde e propriedades funcionais. No entanto, existem poucos estudos avaliando a inclusão desses ingredientes, fontes de carboidratos, sobre efeitos no processo de produção e metabolismo dos animais (Venturini et al., 2018; Carciofi et al., 2008b; Pezalli e Aldrich, 2019).

Os resultados das variáveis de extrusão estão descritos na Tabela 3. A macroestrutura dos *kibbles* da dieta FE100 obteve menor expansão radial e maior força de ruptura quando comparado com a dieta QA. É possível que o conteúdo de fibra presente na dieta FE100 tenha propiciado menor hidratação, lubrificação da

massa e menor gelatinização do amido, diminuindo a expansão radial dos *kibbles* (Santos et al., 2008; Khanna e Tester 2006, Monti et al., 2006; Robin et al., 2012; Karkle et al., 2012).

Com o objetivo de avaliar a inclusão de FE em substituição a QA, dado a diferença na composição química dos ingredientes, ocorreu diferenças na ingestão de proteína, amido e fibra dietética total pelos cães. O aumento na ingestão desses nutrientes foi decorrente da formulação dos alimentos para não serem isonutrientes. Embora não observada diferença significativa para o consumo de matéria seca e matéria orgânica, a dieta à base de QA apresentou maior digestibilidade da matéria seca como demonstrado em estudos anteriores que avaliaram arroz e ervilha (Walker et al., 1994; Kempe et al., 2004; Carciofi et al., 2008b)

Com relação aos parâmetros de digestibilidade dos nutrientes, as dietas apresentaram variação aproximada de 0,5%, sendo todos os resultados apresentarem-se acima de 80% para todos os nutrientes analisados. A dieta FE100 apresentou menores coeficientes de digestibilidade em comparação com a QA e FE50. A diferença pode ser justificada pelo aumento de 5% no teor de fibra da FE quando comparado com a QA. Dietas com fontes de carboidratos ricas em fibra alimentar reduzem a digestibilidade dos nutrientes ocasionada pela dificuldade da atuação enzimática (Sunnvold et al., 1995).

Apesar da diferença estatística, as três dietas experimentais apresentaram digestibilidade do amido acima de 99,4%. Embora não haja informações sobre o grau específico de cozimento ou gelatinização do amido para promover a digestibilidade adequada do amido (Pacheco et al., 2018; Ribeiro et al., 2019) o tamanho do diâmetro geométrico da matéria-prima moída e o grau de cozimento na extrusão, promoveu maior gelatinização do amido em dietas com arroz, que corrobora com outros estudos (Carciofi et al., 2008b; Bazolli et al., 2015; Pezalli e Aldrich, 2019).

A qualidade fecal é um parâmetro importante para avaliar a qualidade dos alimentos (Carciofi et al., 2008b). As dietas formuladas com farinha de ervilha promoveram menor teor de matéria seca fecal e pH. A farinha de ervilha contém elevado teor de polissacarídeos não digestíveis que chegam no intestino grosso, são fermentados e reduzem o pH, modificam o metabolismo e a composição microbiana

(Noack et al., 1998). Estudo conduzido por Carciofi et al. (2008b) mostrou que a ervilha induziu pH fecal mais baixo em cães em comparação ao arroz. Resultados semelhantes foram relatados em trabalhos com dietas combinadas de ervilha, batata e tapioca (Pezalli e Aldrich, 2019).

No presente estudo, os AGCC e lactato aumentaram à medida que aumentou a inclusão de farinha de ervilha. Estudo com inclusão de 15% de grão de bico ou ervilha não encontrou diferença na produção de AGCC em cães (Sandri et al., 2019). Provavelmente essa baixa inclusão não foi suficiente para aumentar a produção desses ácidos orgânicos. A elevação na produção dos AGCC era esperada, uma vez que a FE possui maior teor de fibra alimentar do que a QA. A fermentação de fibras alimentares pela microbiota intestinal resulta na produção de AGCC (acetato, propionato e butirato), gases (H_2 , amônia, metano) e lactato (Holscher, 2017). Os AGCC desempenham papel importante na saúde intestinal, pois eles são utilizados pelos colonócitos como fonte de energia (Bueno et al., 2000; Topping e Clifton, 2001). Além disso a produção de AGCC também reduz o pH criando um ambiente que impede a fixação e o desenvolvimento de bactérias patogênicas no intestino, aumentando as bactérias benéficas (Gomes, 2009; Maria et al., 2017). A dieta FE100 também apresentou redução na concentração de amônia nas fezes ($P>0,05$), o que proporciona vantagem, pois este composto traz prejuízos para a saúde da mucosa intestinal (Flemming, 2005).

No que diz respeito ao teste de saciedade, foram observadas diferenças entre o consumo da dieta experimental e a dieta desafio. Foi observado maior consumo total, energia metabolizável e consumo da dieta desafio pelos cães alimentados com dietas de inclusão FE, ao contrário do que era esperado. Estudo realizado em gatos também observou aumento no consumo da dieta desafio quando a dieta teste continha maiores teores de fibra em comparação com a dieta controle (Baller et al., 2018). Esses achados, se confirmaram por estudos posteriores, depois dos animais serem alimentados com dietas ricas em fibras e diluídas em energia, os mesmos podem ser mais propensos ao consumo excessivo de alimentos saborosos e ricos em energia, favorecendo o "efeito rebote" (Baller et al., 2021). Todavia, mais estudos sobre as implicações fisiológicas desse mecanismo de consumo excessivo são

necessários, uma vez que os cães utilizados no presente teste apresentam comportamento glutão¹ e não são treinados para este tipo de comparação.

O amido é considerado o principal nutriente responsável por alterar as respostas de glicose e insulina em cães (Nguyen et al., 1998). A resposta pós-prandial de um indivíduo após uma refeição contendo amido pode variar muito, dependendo da estrutura granular, forma de cristalização do amido e relação amilose-amilopectina (Tester et al., 2004; Miao et al., 2015). No teste pós-prandial deste estudo, a dieta FE100 apresentou concentrações mais baixas de glicose e insulina pós-prandial em comparação com a dieta QA, apesar de não haver diferença na análise estatística. Carciofi et al. (2008b) comparando seis fontes de carboidratos (farinha de mandioca, milho, sorgo, arroz de cerveja, ervilha e lentilha), mostrou que cães alimentados com dieta à base de ervilha apresentaram glicose incremental máxima menor do que as outras fontes de amido. Estudo proposto por Adolphe et al. (2012) mostrou que o uso de ervilha em alimentos para cães tem respostas glicêmicas e insulinêmicas mais baixas do que o arroz. O mesmo grupo de pesquisa induziu cães ao sobrepeso por meio da alimentação a vontade com alimento seco extrusado para manutenção. Depois o ganho de peso os animais receberam dois alimentos secos extrusados: a base de ervilha e a base de arroz por 12 semanas. Após período, o alimento à base de ervilha apresentou menor área abaixo da curva de insulina e menor concentração sérica máxima de insulina. Os animais alimentados com ervilha como principal fonte de amido apresentaram menor resposta insulinêmica, por possível melhora da sensibilidade a insulina, o que faz com que necessitem de menor concentração deste hormônio para manutenção da glicemia (Adolphe et al., 2015).

Além disso, a digestão e a absorção de fontes de amido são influenciadas por vários fatores intrínsecos (por exemplo, propriedades do amido e proporção de amilose:amilopectina) e extrínsecos (por exemplo, processamento e quantidade ingerida) (Toutounji et al., 2019). A quantidade de amido consumida mostrou-se mais importante para aumentar os perfis de glicose em cães do que proteína, gordura e fibra alimentar (Nguyen et al., 1998; Monti et al., 2016). Um estudo demonstrou que cães alimentados com dieta com baixo teor de amido (9,5%) apresentaram respostas

¹ que ou aquele que come em excesso e com avidez; voraz.

de glicose e insulina mais baixas do que dietas com teor moderado de amido (23,0%) e com alto teor de amido (31,7%) (Hewson-Hughes et al., 2011). No entanto, essas dietas também diferiram em sua composição nutricional, pois o teor de amido aumentou, mas a proteína e a gordura diminuíram. A baixa concentração de glicose observada em cães alimentados com dietas formuladas com fontes não convencionais de amido também pode ser devido à relação amilose:amilopectina entre as fontes, pois a relação entre esses dois polissacarídeos varia de acordo com a origem botânica do amido (Tester et. al., 2004). Amidos com maior quantidade de amilose em relação à amilopectina formam uma estrutura mais compacta e menos suscetível à hidrólise enzimática (Hu et al., 2004), induzindo respostas glicêmicas mais baixas (Denardin et al., 2012).

5. Conclusão

A farinha de ervilha apresentou menos amido, mais fibra e proteína que a quirera de arroz. Em função disso sua inclusão nas formulações induziu redução da aplicação de energia mecânica e da expansão dos *kibbles*, com aumento de sua dureza, mas sem comprometer a gelatinização do amido. A digestibilidade da energia e gordura reduziu de modo linear, sem alterar a digestibilidade da proteína. Sua fibra demonstrou ser fermentável, com aumento de ácidos graxos de cadeia curta e lactato e redução da amônia das fezes dos cães à medida que a inclusão de farinha de ervilha descascada aumentou. A resposta glicêmica pós-prandial foi, também, menor nos cães alimentados com a ração à base de farinha de ervilha descascada, caracterizando-se este ingrediente como alternativa interessante para formulação de dietas com digestibilidade controlada da energia e para cães que se beneficiariam de maiores teores de fibra fermentável e fonte de carboidrato com menor resposta glicêmica pós-prandial.

6. Referências Bibliográficas

ABINPET – Associação Brasileira de Indústria de Produtos para Animais de Estimação (2022). **Mercado PET BRASIL**.

Adolphe JL, Drewb MD, Huang Q, Silver TI, Weber LP (2012). Postprandial impairment of flow-mediated dilation and elevated methylglyoxal after simple but not complex carbohydrate consumption in dogs. **Nutrition Research**. 32:278-284. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2012.03.002>.

Adolphe JL, Drewb MD, Silver TI, Foughse J, Childs H, Weber LP (2015). Effect of an extruded pea or rice diet on postprandial insulin and cardiovascular responses in dogs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 99:767-776. <https://doi.org/10.1111/jpn.12275>.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists (2006). **Official methods of analysis**. Arlington: Virginia.

Baller MA, Pacheco PDG, Peres FM, Monti M, Carciofi A (2018). The effects of in-barrel moisture on extrusion parameters, kibble macrostructure, starch gelatinization, and palatability of a cat food. **Animal Feed Science and Technology**. 246:82-90. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.003>.

Baller MA, Pacheco PDG, Takahashi AV, Putarov TC, Vasconcellos RS, Carciofi AC (2021). Effects of thermal energy on extrusion characteristics, digestibility and palatability of a dry pet food for cats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 105:76-90. <https://doi.org/10.1111/jpn.13606>.

Bazolli RS, Vasconcellos RS, de-Oliveira LD, Sá FC, Pereira GT, Carciofi AC (2015). Effect of the particle size of maize, rice, and sorghum in extruded diets for dogs on starch gelatinization, digestibility, and the fecal concentration of fermentation products. **Journal of Animal Science** 93:2956-2966. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8409>.

Bjorck I, Asp NG (1994). Controlling the nutritional properties of starch in foods - a challenge to the food industry. **Trends in Food Science and Technology**. 5:213-218. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90251-8](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90251-8).

Bueno AR, Cappel TG, Sunvold GD, Reinhart GA, Clemens ET (2000). Feline colonic morphology and mucosal 493 tissue energetics as influenced via the source of dietary fiber. **Nutrition Research**. 20:985-993.

Carciofi AC (2008a). Fontes de proteína e carboidratos para cães e gatos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 37:28-41 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300005>.

Carciofi AC, Takakura FS, de-Oliveira LD, Teshima E, Jeremias JT, Brunetto MA, Prada F (2008b). Effect of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 92:326-336. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00794.x>.

Carciofi AC, Jeremias JT (2010). Progresso científico sobre nutrição de animais de companhia na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 39:35-41. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300005>.

Colonna, P, Mercier C (1984). Macromolecular structure of wrinkled- and smooth-pea starch components. **Carbohydrate Research**. 126:233-247. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(84\)85381-1](https://doi.org/10.1016/0008-6215(84)85381-1).

Dahl WJ, Foster LM, Tyler RT (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). **British Journal of Nutrition**. 108:S3-S10 <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>.

Denardin CC, Bouffleur N, Reckziegell P, Silva LP, Walter M (2012). Amylose content in rice (*Oryza sativa*) affects performance, glycemic and lipidic metabolism in rats. **Ciência Rural**. 42:381-387. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000002>.

Dilumix (2020). **Farinha de ervilha**. Ficha técnica do produto. Brasil.

Erwin ES, Marco G J, Emery EM (1961). Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. **Journal of Dairy Science**. 44:1768- 1771. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89956-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89956-6).

FEDIAF – Federação Europeia da Indústria de Alimentos para Animais de Estimação (2009). **Scientific Advisory Board Carbohydrate Expert Review**. Disponível em:

<https://europeanpetfood.org/wp-content/uploads/2022/03/FEDIAF_Carbohydrates-OnlineK.pdf> Acesso em: 12 jan 2021.

Hashemi Z, Yang K, Yang H, Jin A, Ozga J, Chan CB (2015). Cooking enhances beneficial effects of pea seed coat consumption on glucose tolerance, incretin, and pancreatic hormones in high-fat-diet-fed rats. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 40:323-333. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0380>.

Hendrix DL (1993). Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues. **Crop Physiology & Metabolism**. 33:1306-1311. <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300060037x>.

Hewson-Hughes A, Gilham MS, Upton S, Colyer A, Butterwick R, Miller AT (2011). The effect of dietary starch level on postprandial glucose and insulin concentrations in cats and dogs. **British Journal of Nutrition**. <https://doi.org/10.1017/S0007114511001887>.

Holscher DH (2017). Dietary fiber and prebiotic and the gastrointestinal microbiota. **Gut Microbes**. 8:172-184. <https://doi.org/10.1080/19490976.2017.1290756>.

Hoover R, & Zhou Y (2003). In vitro and in vivo hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes – A review. **Carbohydrate Polymers**, 54:401-417. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00180-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00180-2).

Hoover R, Hughes T, Chung HJ, Liu Q (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. **Food Research International**. 43:399-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>.

Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **Journal of Cereal Science**. 40:231-237. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.06.001>.

Jewell DE, Toll PW, Azain MJ, Lewis RD, Edwards GL (2006). Fiber But Not Conjugated Linoleic Acid Influences Adiposity in Dogs. **Veterinary Therapeutics**. 7:78-85.

Karkle EL, Alavi S, Dogan H (2012). Cellular architecture and its relationship with mechanical properties in expanded extrudates containing applepomace. **Food Research International**. 46:10-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.003>.

Kempe R, Saastamoinen M, Hyyppä S (2004). Composition, digestibility and nutritive value of cereals for dogs. **Agricultural and Food Science**.13:5-7. <https://doi.org/10.2137/1239099041838067>.

Khanna S, Tester R (2006). Influence of purified konjac glucomannan on the gelatinisation and retrogradation properties of maize and potato starches. **Food Hydrocolloids**. 20:567-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.05.004>.

Laflamme DP (1997). Development and validation of a body condition score system for dogs. **Canine Practice**. 22:10-15.

Maria APJ, Ayane L, Putarov TC, Loureiro BA, Neto BP, Casagrande MF, Gomes MOS, Glória MBA, Carciofi AC (2017). The effect of age and carbohydrates and protein sources on digestibility, fecal microbiota, fermentation products, fecal IgA, and immunological blood parameters in dogs. **Journal of Animal Science**. 95:2452-2466. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1302>.

Marinangeli CPF, Kassis AN, Jones PJH (2009). Glycemic responses and sensory characteristics of whole yellow pea flour added to novel functional foods. **Journal of Food Science**. 74: S385-S389. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01347.x>.

Marinangeli CPF, Krause D, Harding SV, Rideout TC, Zhu F, Jones PJH (2011). Whole and fractionated yellow pea flours modulate insulin, glucose, oxygen consumption, and the caecal microbiome in Golden Syrian hamsters. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 36:811-820. <https://doi.org/10.1139/h11-101>.

Miao M, Jiang B, Cui SW, Zhang T, Jin Z (2013). Slowly Digestible Starch—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55:1642-1657. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.704434>.

Miller GL (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**. 31:426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

Mollard RC, Luhovyy BL, Smith C, Anderson GH, (2014). Acute effects of pea protein and hull fibre alone and combined on blood glucose, appetite, and food intake in healthy young men – a randomized crossover trial. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**. 39:1360-1365. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0170>.

Monti M, Gibson M, Loureiro BA, Sá FC, Putarov TC, Villaverde C, Alavi S, Carciofi S (2016). Influence of dietary on macrostructure and processing traits of extruded dog foods. **Animal Feed Science and Technology**. 220:83-102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.009>.

Nguyen P, Dumon H, Biourge V, Pouteau E (1998). Glycemic and insulinemic responses after ingestion of commercial foods in healthy dogs: influence of food composition. **Journal of Nutrition**. 128:2654S-2658S. <https://doi.org/10.1093/jn/128.12.2654S>.

Noack J, Kleessen B, Proll J, Dongowski G, Blaut M (1998) Dietary guar gum and pectin stimulate intestinal microbial polyamine synthesis in rats. **The Journal of Nutrition** 128:1385-1391. <https://doi.org/10.1093/jn/128.8.1385>.

NRC – Nutrient Requirements of Dogs and Cats (2006). **National Academic Press**. Washington, DC. Disponível em: <<https://nap.nationalacademies.org/read/10668/chapter/1>> Acesso em: 12 jan 2021.

Pacheco PDG, Putarov TC, Baller MA, Peres FM, Loureiro BA, Carciof AC (2018). Thermal energy application on extrusion and nutritional characteristics of dog foods. **Animal Feed Science and Technology**. 243:52-63. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.003>.

Pelgrom PJM, Boom RM, Schutyser MAI (2015). Method development to increase protein enrichment during dry fractionation of starch-rich legumes. **Food and Bioprocess Technology**. 8:1495-1502. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1513-0>.

Pezalli JG; Aldrich CG (2019). Effect of ancient grains and grain-free carbohydrate sources on extrusion parameters and nutrient utilization by dogs. **Journal of Animal Science**. 97:3758-3767. <https://doi.org/10.1093/jas/skz237>.

Pietrasik Z, Janz JAM (2010). Utilization of pea flour, starch-rich and fiber-rich fractions in low fat bologna. **Food Research International**. 43:602-608. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.017>.

Pryce JD (1969). A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst**. 94:1151-1152. <https://doi.org/10.1039/AN9699401151>.

Ratnayake WS, Hoover R, Warkentin T (2002). Pea Starch: Composition, Structure and Properties - A Review. **Starch - Stärke**. 54:217-234. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200206\)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200206)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R).

Reynolds CS (2006). **The ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>.

Riaz MN (2007). **Extruders and Expanders in Pet Food**, Aquatic and Livestock Feeds. Agrimedia, Clenze, USA.

Ribeiro E de M, Peixoto MC, Putarov TC, Monti M, Pacheco PDG, Loureiro BA, Pereira GT, Carciof AC (2019). The effects of age and dietary resistant starch on digestibility, fermentation end products in faeces and postprandial glucose and insulin responses of dogs. **Archives of Animal Nutrition** 73: 485-504. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1652516>.

Robin F, Schuchmann HP, Palzerc S (2012). Dietary fiber in extruded cereals: limitations and opportunities. **Trends in Food Science and Technology**. 28:23-32.

Sá FC, Vasconcelos RS, Brunetto MA, Filho FOR, Gomes MOS, Carciofi AC (2013). Enzyme use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 97:51-59. <https://doi.org/10.1111/jpn.12047>.

Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR (2006). Resistant Starch - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 5:1-17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>.

Sandri M, Sgorlon S, Conte G, Serra A, Monego SD, Stefanon B (2019). Substitution of a commercial diet with raw meat complemented with vegetable foods containing

chickpeas or peas affects faecal microbiome in healthy dogs. **Italian Journal of Animal Science**. 18:1205-1214. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1645624>.

Santos E, Rosell CM, Collar C (2008). Gelatinization and retrogradation kinetics of high-fiber wheat flour blends: a calorimetric approach. **Cereal Chemistry**. 85:455-463. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-4-0455>.

Skrabanja V, Liljeberg HGM, Hedley CL, Kreft I, Bjorck IME (1999). Influence of genotype and processing on the in vitro rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47:2033-2039. <https://doi.org/10.1021/jf981060f>.

Seewi G, Gnauck G, Stute R, Chantelau E (1999). Effects on parameters of glucose homeostasis in healthy humans from ingestion of leguminous versus maize starches. **European Journal of Nutrition**. 38:183-189. <https://doi.org/10.1007/s003940050060>.

Sunvold GD, Fahey Jr GC, Merchen NR, Titgemeyer EC, Bourquin LD, Bauer LL, Reinhart GA (1995). Dietary fiber for dogs: IV. In vitro fermentation of selected fiber sources by dog fecal inoculum and in vivo digestion and metabolism of fiber-supplemented diets. **Journal of Animal Science**. 73:1099-1109. <https://doi.org/10.2527/1995.7341099x>.

Tester F, Karkalas J, Qi X (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**. 39:151-165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>.

Tharanathan R (2002). Food-derived carbohydrates structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**. 22:65-84. <https://doi.org/10.1080/07388550290789469>.

Topping DL, Clifton PM (2001). Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. **Physiological Reviews**. 81:1031-1064. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1031>.

Toutounji MR, Farahnaky A, Santhakumar AB, Oli P, Butardo Jr VM, Blanchard CL (2019). Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. **Trends in Food Science and Technology**. 88:10-22. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.012>.

Venturini KS, Sarcinelli MF, Baller MA, Putarov TC, Malheiros EB, Carciofi AC (2018). Processing traits and digestibility of extruded dog foods with soy protein concentrate. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 102:1077-1087. <https://doi.org/10.1111/jpn.12894>.

Vieira PF (1980). Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídeos em rações para ruminantes. 98f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

Walker JA, Harmon DL, Gross KL, Collings GF (1994). Evaluation of nutrient utilization in the canine using the ileal cannulation technique. **Journal of Nutrition**. 124:2672S-2676S. https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_12.2672S.

Whitlock KA, Kozicky L, Jin A, Yee H, Ha C, Morris J, Field CJ, Bell RC, Ozga JA, Chan CB (2012). Assessment of the mechanisms exerting glucose-lowering effects of dried peas in glucose-intolerant rats. **British Journal of Nutrition**. 108:S91-S102. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000736>

Wu YV, Nichols NN (2005). Fine grinding and air classification of field pea. **Cereal Chemistry**. 82:341-344. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0341>.