

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 06/02/2022.

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

**SORGO COMO FONTE DE CARBOIDRATO EM ALIMENTOS
EXTRUSADOS PARA GATOS: USO DE DIFERENTES
VARIEDADES E MOAGENS E EFEITOS SOBRE A
DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO,
IMUNIDADE INTESTINAL E MICROBIOTA**

Érico de Mello Ribeiro
Médico veterinário

2020

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

**SORGO COMO FONTE DE CARBOIDRATO EM ALIMENTOS
EXTRUSADOS PARA GATOS: USO DE DIFERENTES
VARIEDADES E MOAGENS E EFEITOS SOBRE A
DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO,
IMUNIDADE INTESTINAL E MICROBIOTA**

**Érico de Mello Ribeiro
Orientador: Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi**

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

R484s

Ribeiro, Érico de Mello

Sorgo como fonte de carboidrato em alimentos extrusados para gatos: uso de diferentes variedades e moagens e efeitos sobre a digestibilidade, produtos de fermentação, imunidade intestinal e microbiota / Érico de Mello Ribeiro. -- Jaboticabal, 2020
63 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Aulus Cavalieri Carciofi

1. Carboidratos na nutrição animal. 2. Gato. 3. Sorgo como ração. 4.
Fermentação. 5. Microbiota. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

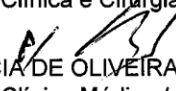
TÍTULO DA TESE: SORGO COMO FONTE DE CARBOIDRATO EM ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA GATOS: USO DE DIFERENTES VARIEDADES E MOAGENS E EFEITOS SOBRE A DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO, IMUNIDADE INTESTINAL E MICROBIOTA

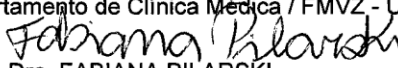
AUTOR: ÉRICO DE MELLO RIBEIRO

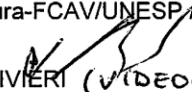
ORIENTADOR: AULUS CAVALIERI CARCIOFI

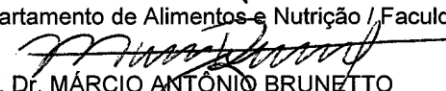
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em MEDICINA VETERINÁRIA, área: Clínica Médica Veterinária pela Comissão Examinadora:


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


Profa. Dra. MÁRCIA DE OLIVEIRA SAMPAIO GOMES (VIDEOCONFERÊNCIA)
Departamento de Clínica Médica / FMVZ - USP - São Paulo, SP


Profa. Dra. FABIANA PILARSKI
Centro de Aquicultura-FCAV/UNESP - Jaboticabal/SP


Profª. Drª. KATIA SIVIERI (VIDEOCONFERÊNCIA)
Departamento de Alimentos e Nutrição / Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP- Araraquara


Prof. Dr. MÁRCIO ANTÔNIO BRUNETTO
Departamento de Nutrição e Produção Animal / FMVZ / USP - Pirassununga/SP

Jaboticabal, 06 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ÉRICO DE MELLO RIBEIRO, nascido em 7 de maio de 1985, em Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, filho de Edimar Gonçalves Ribeiro e Marilda Mello Ribeiro, realizou curso Técnico em Agropecuária no Conjunto Agrotécnico “Visconde da Graça” da Universidade Federal de Pelotas, concluindo-o em 2002. Graduiu-se em Medicina Veterinária pela Faculdade de Veterinária da Universidade Federal de Pelotas em agosto de 2010. Coursou o Programa de Residência Médico Veterinária em Clínica Médica de Pequenos Animais do Hospital de Clínicas Veterinárias da mesma instituição nos anos de 2011 e 2012. Coursou o Programa de Aprimoramento em Medicina Veterinária, na área de Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos do Hospital Veterinário Governador Laudo Natel da FCAV/Unesp, Câmpus de Jaboticabal, nos anos de 2012 e 2013. Em março de 2014 iniciou o curso de Mestrado em Medicina Veterinária (área Clínica Médica Veterinária) com ênfase em Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos, concluindo-o em fevereiro de 2016. Iniciou o curso de Doutorado em Medicina Veterinária, área Clínica Médica Veterinária, com ênfase em Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos, na mesma instituição, em março de 2016, sob a orientação do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi, concluindo-o em fevereiro de 2020.

Ofereço

Aos meus pais, Edimar e Marilda,
por todo amor, apoio e incentivo,
essenciais para minha formação.

Dedico

À minha companheira Andressa, pelo seu amor, apoio e exemplo. Por me estimular a ser uma pessoa melhor todos os dias e em todos os aspectos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Aulus Cavalieri Carciofi, pela oportunidade e confiança, desde a residência até o doutorado. Obrigado por compartilhar todo seu conhecimento e demonstrar, através de sua postura e dedicação, um grande exemplo a ser seguido. Pelo seu esforço em melhorar não apenas as condições do laboratório, mas também para os seus orientados. A convivência com o senhor, muitas vezes por curtos momentos, sempre trouxe muito aprendizado. Muito obrigado.

Aos meus pais, por todo o carinho, apoio e incentivo que sempre me deram. Sem vocês esta caminhada com certeza teria sido muito mais difícil ou talvez não teria sido possível. Obrigado também pelas cobranças nos momentos em que precisei. Vocês são grandes exemplos, muito obrigado por tudo! Amo muito vocês!

À minha companheira Andressa pelo amor, apoio e ajuda em todos os momentos, desde o final da residência na UFPel. Por toda a paciência ao longo desses anos, entendendo minhas dificuldades, e pelo incentivo em tornar-me uma pessoa melhor. Pelo exemplo de dedicação e conduta. Muito obrigado por tudo! Te amo muito!

À minha família, em especial aos meus padrinhos Antônio Carlos e Maria das Graças pelo apoio e incentivo e pelo carinho sempre que conversamos e nos vemos. Muito obrigado pelos ótimos momentos de convívio neste período. Agradeço especialmente à Tia Iraema pelo apoio dado com a cirurgia da minha mãe. Cada um, à sua maneira, serve de inspiração e motivação.

Aos bons e verdadeiros amigos, pelo apoio e pelos momentos de alegria. Em especial ao meu irmão Bruno e ao meu primo Thiago.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Nutrição de Cães e Gatos e da Residência em Nutrição Clínica pela amizade e companheirismo. Pela ajuda durante as diversas etapas do curso, por tornarem os momentos de trabalho mais agradáveis e por toda a paciência, especialmente no período em que a Andressa esteve fora do país. Amanda, Ana Paula, Bruna, Camila Baptista, Camila Goloni, Carol, Débora, Fernanda, Francine, Isabela, Lara, Ludmilla, Letícia Luis, Letícia Pacheco, Lucas, Maria Eduarda, Monique, Peterson, Pierina, Priscila, Stephanie e Thaila: aprendi um pouco com cada um, seja através de conversas ou de exemplos. Em especial à

Mayara Baller, por se envolver durante todas as etapas do experimento, inclusive nos momentos em que estive ausente. Muito obrigado! Desejo muito sucesso para cada um de vocês pois são merecedores!

Às técnicas do Laboratório de Apoio à Pesquisa do DCCV, Renata e Cláudia, pelo auxílio nas análises. Em especial à Cláudia pela amizade, paciência e disponibilidade em ensinar, facilitando muito nossa rotina com seu conhecimento e bom-humor.

Aos funcionários Diego, Elaine e Kelly por toda a ajuda e pela amizade. Por tornarem o laboratório um melhor lugar tanto para nós quanto para os cães e gatos.

Ao Prof. Gener Tadeu Pereira pela contribuição na análise dos dados.

Às Professoras Thaila Cristina Putarov e Elisabeth Criscuolo Urbinati pelas contribuições na banca de qualificação.

Aos Professores Fabiana Pilarski, Kátia Sivieri, Márcia Gomes e Marcio Brunetto pela participação na banca de defesa e por contribuírem para a melhoria do trabalho.

Ao Professor Sajid Alavi e ao Eric Maichel, da Universidade Estadual do Kansas, pelo apoio durante a produção e parte das análises das rações utilizadas no estudo.

Ao Professor Jan Suchodolski e sua equipe da Texas A&M University, em especial à Rachel Pilla pela atenção e ajuda na análise dos dados de microbiota.

Aos estagiários com quem pude conviver durante este período, em especial à Paulinha (Ana Paula Garcia), por toda a ajuda e pelo incentivo em melhorar a cada dia.

Ao *Sorghum Checkoff Program* por financiar o estudo e permitir um aprofundamento sobre o que sabemos de carboidratos para gatos.

Às Responsáveis Técnicas pelo Laboratório Roberta e Tamyres pela amizade e por ajudarem a tornar o Laboratório um ambiente melhor para todos.

Aos funcionários Helinho e Lucas pela ajuda durante as atividades realizadas na Fábrica de Rações.

À Affinity Petcare e à Manfrim Alimentos pela manutenção financeira do Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos “Prof. Dr. Flávio Prada”.

Aos cães, Kelly, Xuxa, Dexter, Peter, Hanna e Poli, e aos gatos, Kinder, Tchuco e Negão, que tive e tenho o prazer de conviver, pela amizade e pelo estímulo para me tornar um profissional melhor a cada dia. Aos gatos que participaram deste estudo por tornarem as atividades de experimento mais agradáveis e prazerosas. E a todos os cães e gatos do Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos pela alegria e carinho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

	Página
Certificado de aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	iv
Lista de abreviaturas	vi
Lista de tabelas.....	viii
Lista de figuras.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Sorgo.....	3
2.2 Amido resistente.....	4
2.3 Microbiota intestinal.....	6
2.4 Produtos do metabolismo bacteriano.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Dietas	9
3.2 Gatos e delineamento experimental	12
3.3 Digestibilidade dos nutrientes e análises químicas dos alimentos e fezes...	13
3.4 pH e produtos da fermentação nas fezes.....	14
3.5 Teste de palatabilidade das dietas.....	15
3.6 Extração de DNA fecal, amplificação e sequenciamento.....	16
3.7 Procedimentos de cálculo e análise estatística.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Produção e composição nutricional dos ingredientes e das dietas.....	19
4.2 Palatabilidade, ingestão de nutrientes e digestibilidade das dietas.....	20
4.3 Produção, características e produtos da fermentação fecais.....	28
4.4 Microbiota fecal.....	35
5 CONCLUSÕES.....	50
6 REFERÊNCIAS.....	51

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

C E R T I F I C A D O

Certificamos que o projeto intitulado **"Sorgo como fonte de carboidrato em alimentos extrusados para gatos: uso de diferentes variedades e moagens e efeitos sobre a digestibilidade, produtos de fermentação, imunidade intestinal e microbiota"**, protocolo nº 011491/17, 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 03 de Agosto de 2017.

Vigência do Projeto	11/09/2017 a 23/02/2018
Espécie / Linhagem	Felina
Nº de animais	48
Peso / Idade	4 Kg / 3 a 9 anos
Sexo	Ambos os sexos
Origem	Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos "Prof. Dr. Flávio Prada" – Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária (DCCV) – FCAV/UNESP

Jaboticabal, 03 de agosto de 2017.


Profª Drª Lizandra Amoroso
 Coordenadora – CEUA



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



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

DECLARAÇÃO

Declaramos que o trabalho de pesquisa intitulado **"Sorgo como fonte de carboidrato em alimentos extrusados para gatos: uso de diferentes variedades e moagens e efeitos sobre a digestibilidade, produtos de fermentação, imunidade intestinal e microbiota"**, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Aulus Cavalieri Carciofi e Certificado CEUA protocolo nº 011491/17, aprovado em reunião ordinária em 03 de agosto de 2017, teve o número de animais alterado de 48 para 64 gatos, com aprovação *"Ad Referendum"* em 19 de maio de 2020.

Jaboticabal, 19 de maio de 2020.

Prof.ª Dr.ª Fabiana Pilarski

Coordenadora – CEUA

**SORGO COMO FONTE DE CARBOIDRATO EM ALIMENTOS EXTRUSADOS
PARA GATOS: USO DE DIFERENTES VARIEDADES E MOAGENS E EFEITOS
SOBRE A DIGESTIBILIDADE, PRODUTOS DE FERMENTAÇÃO, IMUNIDADE
INTESTINAL E MICROBIOTA.**

RESUMO - O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de duas variedades de sorgo, processadas diferentemente, na palatabilidade, digestibilidade dos nutrientes, produtos de fermentação fecal e microbiota em gatos adultos. Quatro dietas com composições similares foram formuladas com milho (Mi), arroz integral (AI), sorgo vermelho (SV) ou sorgo branco (SB) como principal fonte de carboidrato. As dietas Mi e AI foram moídas apenas com peneira de 1,0 mm (média), enquanto que as dietas SV e SB foram moídas com peneiras de 0,8 mm (fina), 1,0 mm e 1,6 mm (grossa), totalizando oito dietas. O experimento foi delineado em blocos casualizados, com quatro blocos de 16 gatos, dois gatos por dieta em cada bloco, totalizando oito repetições por tratamento e 64 unidades experimentais. Após o período de adaptação, a digestibilidade dos nutrientes foi calculada pelo método de coleta fecal total e o escore fecal foi avaliado. Amostras fecais frescas foram coletadas para análise dos produtos de fermentação, medição do pH, aminas biogênicas e microbiota. Valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos. A palatabilidade foi maior nas dietas SV e SB na moagem média do que nas dietas Mi e AI ($P < 0,01$), e a dieta SB apresentou maior consumo que SV ($P < 0,05$). Para a dieta SV, a maior granulometria apresentou melhor consumo do que a menor granulometria ($P < 0,05$). Não houve diferença significativa na digestibilidade aparente dos nutrientes entre as dietas, exceto uma redução na digestibilidade da matéria seca para a dieta SB com moagem grossa ($P = 0,007$). A produção fecal, escore fecal e amônia foram semelhantes entre as dietas ($P > 0,05$). O pH fecal foi menor após o consumo das dietas AI e SV e SB com moagem grossa ($P < 0,05$). Maior produção de butirato nas fezes foi observada na dieta SB com maior granulometria ($P = 0,002$), com potencial benefício para a saúde intestinal. A concentração de aminas biogênicas nas fezes não diferiu entre os tratamentos ($P > 0,05$). As dietas à base de sorgos vermelho e branco em maior granulometria apresentaram menor beta diversidade que todas as dietas, com exceção do sorgo branco em granulometria média. Conclui-se que dietas com SV ou SB foram mais palatáveis do que aquelas com Mi ou AI. Com teores semelhantes de fibra, a digestibilidade, produção e o escore fecais foram semelhantes entre as diferentes fontes de carboidratos, independentemente da moagem. A maior granulometria aumentou a palatabilidade do SB e SV e o butirato fecal no SB. Entretanto, maior granulometria diminuiu a diversidade beta nas duas variedades de sorgo e *Lachnospiraceae* e *Ruminococcaceae*, famílias conhecidas por suas bactérias benéficas. SV em menor granulometria aumentou *Faecalibacterium prausnitzii*, uma produtora de butirato.

Palavras-chave: amido resistente, felino, intestino, prebiótico

SORGHUM AS A CARBOHYDRATE SOURCE IN EXTRUDED CAT FOODS: USE OF DIFFERENT VARIETIES AND GRINDINGS AND EFFECTS ON DIGESTIBILITY, FERMENTATION PRODUCTS, INTESTINAL IMMUNITY AND MICROBIOTA

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effect of two sorghum varieties, processed differently, on palatability, nutrient digestibility and fecal fermentation products in adult cats. Four diets with similar compositions were formulated with corn (C), brown rice (BR), red sorghum (RS) or white sorghum (WS) as the main carbohydrate source. The C and BR diets were ground with 1.0 mm (medium) screen sieve; RS and WS were ground with sieve sizes of 0.5 mm (fine), 1.0 mm and 1.6 mm (coarse) each, totaling eight diets. The experiment was a randomized complete block design with four blocks of 16 cats, two cats per diet in each block, totaling eight replicates per treatment and 64 experimental units. After the adaptation period the nutrient digestibility was calculated by the total fecal collection method and the fecal score was evaluated. Fresh fecal samples were collected for analysis of fermentation products, pH measurement, biogenic amines and microbiota. Values of $P < 0.05$ were considered significant. Palatability was higher for RS and WS diets at medium particle size than C and BR diets ($P < 0.01$) and WS presented higher intake than RS ($P < 0.05$). For RS, bigger particle size had better consumption than small particle size ($P < 0.05$). There were no differences in apparent digestibility of the nutrients between the diets, except lower DM for WS with bigger particle size ($P = 0.007$). Fecal production, score and ammonia were similar between diets ($P > 0.05$). Fecal pH was lower after consumption of the BR and RS and WS diets with bigger particle size ($P < 0.05$). Likewise, the production of butyrate was increased, an important source of energy for the colonocytes, in WS with bigger particle size ($P = 0.002$), which may improve intestinal health. There were no differences between treatments in fecal concentrations of biogenic amines ($P > 0.05$). Beta diversity in both sorghum diets with bigger particle size was reduced in comparison to all diets, except WS with medium particle size. In conclusion, diets with RS or WS were more palatable than those with C or BR. With similar fiber contents, digestibility, fecal production and score were similar among the different carbohydrate sources, regardless of grinding. Bigger particle size has increased palatability of RS and WS and fecal butyrate in WS. However, bigger particle size reduced beta diversity in both sorghum varieties and *Lachnospiraceae* and *Ruminococcaceae*, families known for their beneficial bacteria. RS diet with small particle size increased *Faecalibacterium prausnitzii*, a butyrate producer.

Keywords: resistant starch, feline, intestine, prebiotic

LISTA DE ABREVIATURAS

AAFCO	Association of American Feed Control Officials
AGCC	Ácidos graxos de cadeia curta
AI	Arroz integral
AR	Amido resistente
DGM	Diâmetro geométrico médio
EB	Energia bruta
EEHA	extrato etéreo em hidrólise ácida
EPM	Erro padrão da média
FDR	Taxa de descoberta falsa
G	Gramas
<i>g</i>	Unidade de força centrífuga relativa
h	Hora
Kcal	Quilocalorias
Kw	Kilowatt
L	Litro
LEfSe	Tamanho do efeito da análise discriminante linear
Mi	Milho
Min	Minutos
Mg	Miligramas
ml	Mililitros
mm	Milímetro
MM	Matéria mineral
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
NRC	National Research Council
PB	Proteína bruta
pb	Pares de bases
PCoA	Análise de coordenadas principais

PCR	Reação em cadeia da polimerase
rpm	Rotações por minuto
s	Segundos
SAS	Statistical Analysis System
SB	Sorgo branco
SV	Sorgo vermelho
SRD	Sem raça definida
ton	Tonelada
UI	Unidade internacional
UTO	Unidade taxonômica operacional

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Composição química das fontes de carboidrato empregadas na produção das rações experimentais para gatos..... 10
Tabela 2	Fórmulas das dietas experimentais com diferentes fontes de carboidratos para gatos..... 11
Tabela 3	Composição química analisada, diâmetro geométrico médio da mistura farelada, densidade aparente dos kibbles e teores de taninos totais e amido resistente das rações para gatos com diferentes fontes de carboidratos e graus de moagem..... 12
Tabela 4	Ingestão de nutrientes, digestibilidade total aparente dos nutrientes e energia metabolizável de formulações de ração para gatos com diferentes fontes de cereais e tamanhos de partículas de matérias-primas..... 27
Tabela 5	Produção e características fecais de gatos alimentados com dietas formuladas com diferentes fontes de cereais e tamanhos de partículas de matérias-primas..... 29
Tabela 6	Concentração de produtos de fermentação nas fezes de gatos alimentados com dietas formuladas com diferentes fontes de cereais e tamanhos de partículas de matéria-prima..... 32
Tabela 7	Concentração de aminas biogênicas nas fezes de gatos alimentados com dietas formuladas com diferentes fontes de cereais e tamanhos de partículas de matéria-prima..... 34
Tabela 8	Presença de táxons significativamente diferentes (P-valor) nas fezes de gatos alimentados com dietas extrusadas com diferentes cereais e tamanhos de partícula antes da correção por FDR (Q valor)..... 37

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Proporção de ingestão total entre dietas à base de milho (1,0 mm) ou sorgo vermelho (SV, 1,0 mm) por gatos.....	21
Figura 2. Proporção de ingestão total entre dietas à base de milho (1,0 mm) ou sorgo branco (SB, 1,0 mm) por gatos.....	21
Figura 3 Proporção de ingestão total entre dietas à base de arroz integral (AI, 1,0 mm) ou sorgo vermelho (SV, 1,0 mm) por gatos.....	22
Figura 4 Proporção de ingestão total entre dietas à base de arroz integral (AI, 1,0 mm) ou sorgo branco (SB, 1,0 mm) por gatos...	22
Figura 5 Proporção de ingestão total entre dietas à base de sorgo vermelho (SV, 1,0 mm) ou sorgo branco (SB, 1,0 mm) por gatos.....	23
Figura 6 Proporção da ingestão total entre dietas à base de sorgo vermelho (SV) moído com peneiras de 0,8 mm ou 1,6 mm por gatos.....	24
Figura 7 Proporção da ingestão total entre dietas à base de sorgo branco (SB) moído em peneiras de 0,8 mm ou 1,6 mm por gatos.....	24
Figura 8 Diversidade alfa – Rarefação de 20.923 sequências. Número de unidades taxonômicas operacionais observadas (UTOs) observadas de acordo com a dieta.	35
Figura 9 Diversidade beta – Análise das coordenadas principais (PcoA) da parcela ponderada da fração única métrica (Unifrac), de acordo com a dieta consumida pelos gatos.	36

1 INTRODUÇÃO

Os alimentos extrusados para cães e gatos possuem os grãos como sua principal fonte de amido (Spears e Fahey, 2004). Entre estes, o sorgo possui vantagens como uma maior resistência à seca e pragas (Rooney e Serna-Saldivar, 2000), maior produtividade por área produzida e, consequentemente, menor custo em comparação com fontes mais tradicionais como milho e arroz (Awika, 2011).

Durante a produção de alimentos extrusados para animais de estimação, os cereais são moídos finamente em moinhos de martelos e cozidos extensivamente nos sistemas de extrusão, visando uma alta digestibilidade e consistência adequada das fezes (Bazolli et al., 2015). É possível que uma moagem mais grossa e um cozimento limitado possam aumentar o teor de amido resistente (AR) do alimento extrusado, possivelmente alterando seu padrão digestivo e absortivo, e por consequência impactando o metabolismo de carboidratos. O amido resistente é um potencial prebiótico, composto por amido e seus produtos da degradação que não são digeridos e absorvidos no intestino delgado, sendo fermentados no intestino grosso (Nugent, 2005; Fuentes-Zaragoza et al., 2010). Poucos estudos analisaram a digestibilidade de alimentos extrusados para gatos contendo diferentes fontes de carboidratos ou formas de processamento desses ingredientes (De-Oliveira et al., 2008; Gonçalves, 2016).

Os AGCC foram envolvidos na regulação da expressão de genes e de eventos celulares específicos, lançando nova luz sobre o envolvimento de sua produção sobre adipogênese, desenvolvimento de resistência insulínica, status inflamatório e sobre a manutenção da integridade da barreira intestinal em estudos com seres humanos e ratos (Belobrajdic et al., 2012). Não existem estudos para gatos sobre AR advindos de cereais, mas trabalhos já demonstram que a geração de AR é efetiva durante o processamento por extrusão e que este apresenta efeitos benéficos quando consumidos pelos cães (Peixoto et al., 2017; Ribeiro et al., 2019).

Menos estudadas, mas igualmente importantes, aminas biogênicas são produtos da degradação de aminoácidos pela microbiota intestinal (Rooks e Garrett, 2016). Estas têm diferentes ações fisiológicas, algumas deletérias, como a histamina, e outras benéficas, como a espermina (Minois et al., 2011). As poliaminas são importantes para a manutenção da taxa de proliferação celular e melhora na

integridade da barreira celular do epitélio intestinal (Timmons et al., 2014; Rogers et al., 2015), além de poderem apresentar efeito antiinflamatório (Minois et al., 2011).

Estudos recentes estão considerando que o intestino pode ter uma parte central em muitas doenças, além de suas funções de absorção de nutrientes e atuar como uma barreira entre o hospedeiro e os patógenos e toxinas externos (Deng e Swanson, 2015), já que as bactérias intestinais desempenham um papel fundamental na manutenção da saúde e bem-estar do hospedeiro, seja humano ou animal de estimação (Bermingham et al., 2018).

Assim, é possível que a absorção de AGCC derivados da fermentação do amido resistente, bem como o consumo de uma dieta com cereais menos processados, possam modular o metabolismo microbiano, alterando a concentração de produtos de fermentação nas fezes desses animais, com potenciais benefícios à saúde intestinal e do organismo.

Com base no exposto, foi avaliado em gatos adultos o consumo de alimentos extrusados, balanceados para apresentar composição química semelhante, formulados com sorgo branco ou sorgo vermelho, moídos em diferentes granulometrias, comparados com os controles arroz integral e milho quanto à formação de amido resistente durante a extrusão, palatabilidade, digestibilidade dos nutrientes, formação de fezes, produtos de fermentação e microbiota das fezes.

O projeto foi realizado em parceria com a Kansas State University e financiado parcialmente pelo *United Sorghum Checkoff Program*, ambas com sede nos EUA. Desta forma, a escolha dos ingredientes foi baseada principalmente no mercado *pet food* norte-americano.

Foram hipóteses do presente estudo que os alimentos extrusados com sorgo como fonte de carboidrato teriam adequada digestibilidade e palatabilidade para gatos. O emprego de sorgo moído mais grosseiramente geraria alimento com maior teor de amido resistente, em função das características naturais do grânulo de amido deste cereal. O consumo de alimento com maior teor de amido resistente iria resultar em menor digestibilidade do amido e outros nutrientes no intestino delgado, aumentando a fermentação microbiana de carboidratos no intestino grosso dos gatos, resultando em maior concentração de produtos de fermentação e alterações na microbiota das fezes.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, nós demonstramos que dietas formuladas à base das variedades de sorgo branco e vermelho apresentaram melhor palatabilidade quando comparadas às dietas contendo milho ou arroz integral como fontes de carboidratos. Ainda, a digestibilidade dos nutrientes com as dietas apresentando o mesmo teor de fibras não diferiu entre as fontes de cereais. A ingestão de dietas com sorgo branco com maior tamanho de partícula modificou a atividade metabólica da microbiota

intestinal, reduzindo o pH e aumentando o butirato nas fezes. Entretanto, a maior granulometria diminuiu a diversidade nas duas variedades de sorgo e a abundância das famílias *Lachnospiraceae* e *Ruminococcaceae*, que possuem diversos membros produtores de AGCC, o que pode ser considerada uma limitação do uso destas fontes de carboidratos em maior granulometria. O sorgo vermelho em menor granulometria, por outro lado, aumentou a abundância de *Faecalibacterium prausnitzii*, espécie produtora de butirato, apresentando potencial benefício para a saúde intestinal. Estudos posteriores são necessários para determinar os efeitos de longo prazo da utilização dos sorgos em dietas extrusadas sobre a microbiota e saúde intestinal de gatos, determinando assim seus reais benefícios e limitações.

6 REFERÊNCIAS

- AAFCO - Association of American Feed Control Officials (2016) **Official Publication**. Atlanta, GA, USA.
- Aldrich GC, Koppel K (2015) Pet food palatability evaluation: a review of standard assay techniques and interpretation of results with a primary focus on limitations. **Animals** 5(1):43-55.
- Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG (2007) Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal** 63(3):439-455.
- AOAC - Association of The Official Analytical Chemists. **Official and Tentative Methods of Analysis**. 19th ed, Gaithersburg, USA, AOAC International, 2012.
- AOAC – Association of The Official Analytical Chemists (2002) **Official and Tentative Methods of Analysis**. 18th, ed, Arlington: AOAC International.
- AOAC – Association of The Official Analytical Chemists. **Official and Tentative Methods of Analysis**. 16th, ed, Arlington: AOAC International, 1995.
- Algys KM, Cross TWL, Leuck KN, Kastner ME, Baba T, Lye L, de Godoy MRC, Swanson KS (2018) Apparent total-tract macronutrient digestibility, serum chemistry, urinalysis, and fecal characteristics, metabolites and microbiota of adult dogs fed extruded, mildly cooked, and raw diets. **Journal of Animal Science** 96(9):3670-3683.
- AlShawaqfeh MK, Wajid B, Minamoto Y, Markel M, Lidbury JA, Steiner JM, Serpedin E, Suchodolski JS (2017) A dysbiosis index to assess microbial changes in fecal samples of dogs with chronic inflammatory enteropathy. **FEMS Microbiology Ecology** 93(11):fix136.
- Appleton DJ, Rand JS, Priest J, Sunvold GD, Vickers JR (2004) Dietary carbohydrate source affects glucose concentrations, insulin secretion, and food intake in overweight cats. **Nutrition Research**, 24(6):447-467.

- Arapitsas P (2012) Hydrolyzable tannin analysis in food. **Food Chemistry** 135(3): 1708-1717.
- Awika JM (2011) Major cereal grains production and use around the world. In: **Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion** (p. 1-13). American Chemical Society.
- Barczynska R, Slizewska K, Litwin M, Szalecki M, Kapusniak J (2016) Effects of dietary fiber preparations made from maize starch on the growth and activity of selected bacteria from the *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, and *Actinobacteria* phyla in fecal samples from obese children. **Acta Biochimica Polonica** 63(2):261-266.
- Barry KA, Wojcicki BJ, Middelbos IS, Vester BM, Swanson KS, Fahey Jr GC (2010) Dietary cellulose, fructooligosaccharides, and pectin modify fecal protein catabolites and microbial populations in adult cats. **Journal of Animal Science** 88(9):2978-2987.
- 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(6):2956-2966.
- Beloshapka AN, Dowd SE, Duclos L, Swanson KS (2011) Comparison of fecal microbial communities of healthy adult dogs fed raw meat-based or extruded diets using 454 pyrosequencing. **Journal of Animal Science** 89(284).
- Beloshapka AN, Dowd SE, Suchodolski JS, Steiner JM, Duclos L, Swanson KS (2013) Fecal microbial communities of healthy adult dogs fed raw meat-based diets with or without inulin or yeast cell wall extracts as assessed by 454 pyrosequencing. **FEMS Microbiology Ecology** 84(3):532-541.
- Benjamini Y, Hochberg Y (1995) Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)** 57(1):289-300.
- Bermingham EN, Young W, Kittelmann S, Kerr KR, Swanson KS, Roy NC, Thomas DG (2013) Dietary format alters fecal bacterial populations in the domestic cat (*Felis catus*) **MicrobiologyOpen** 2(1):173-181.
- Bermingham EN, Maclean P, Thomas DG, Cave NJ, Young W (2017) Key bacterial families (Clostridiaceae, Erysipelotrichaceae and Bacteroidaceae) are related to the digestion of protein and energy in dogs. **PeerJ** 5:e3019.
- Bermingham EN, Young W, Butowski CF, Moon CD, Maclean PH, Rosendale D, Cave NJ, Thomas DG (2018) The fecal microbiota in the domestic cat (*Felis catus*) is influenced by interactions between age and diet; a five year longitudinal study. **Frontiers in Microbiology** 9 1231.
- Biddle A, Stewart L, Blanchard J, Leschine S (2013) Untangling the genetic basis of fibrolytic specialization by Lachnospiraceae and Ruminococcaceae in diverse gut communities. **Diversity** 5(3), 627-640.
- Birkett A, Muir J, Phillips J, Jones G, O'Dea K (1996) Resistant starch lowers fecal concentrations of ammonia and phenols in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition** 63(5):766-772.

- Blachier F, Mariotti F, Huneau JF, Tomé D (2007) Effects of amino acid-derived luminal metabolites on the colonic epithelium and physiopathological consequences. **Amino Acids** 33(4):547-562.
- Bolyen E et al. (2019) Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. **Nature Biotechnology** 37(8):852-857.
- Böttcher MF, Nordin EK, Sandin A, Midtvedt T, Björkstén B. (2000). Microflora-associated characteristics in faeces from allergic and nonallergic infants. **Clinical & Experimental Allergy** 30:1591.
- Buddington RK, Sunvold GD (1998) Fermentable fiber and the gastrointestinal tract ecosystem. **Recent Advances in Canine and Feline Nutrition** 2:449-462.
- Butowski CF, Thomas DG, Young W, Cave NJ, McKenzie CM, Rosendale DI, Bermingham EN (2019) Addition of plant dietary fibre to a raw red meat high protein, high fat diet, alters the faecal bacteriome and organic acid profiles of the domestic cat (*Felis catus*). **PloS One** 14(5).
- Callahan BJ, McMurdie PJ, Rosen MJ, Han AW, Johnson AJA, Holmes SP (2016) DADA2: high-resolution sample inference from Illumina amplicon data. **Nature Methods** 13(7):581.
- Caporaso JG, Lauber CL, Walters WA, Berg-Lyons D, Lozupone CA, Turnbaugh PJ, Fierer N, Knight R (2011) Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 108(Supplement 1):4516-4522.
- Carciofi AC, Takakura FS, De-Oliveira LD, Teshima E, Jeremias JT, Brunetto MA, Prada F (2008) Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and postprandial glucose and insulin response. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 92(3):326-336.
- Cardona ME, Collinder E, Stern S, Tjellström B, Norin E, Midtvedt T (2005) Correlation between faecal iso-butyric and iso-valeric acids in different species. **Microbial Ecology in Health and Disease** 17(3):177-182.
- Chen W, et al (2010) Human intestinal lumen and mucosa-associated microbiota in patients with colorectal cancer. **PloS One** 7(6).
- 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(9):2237-2246.
- den Besten G, van Eunen K, Groen AK, Venema K, Reijngoud DJ, Bakker BM (2013) The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. **Journal of Lipid Research** 54(9):2325-2340.
- Deng P, Swanson KS (2015) Gut microbiota of humans, dogs and cats: current knowledge and future opportunities and challenges. **British Journal of Nutrition**, 113(S1):S6-S17.
- DeSantis TZ et al (2006) Greengenes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB. **Applied Environmental Microbiology** 72(7):5069-5072.

Deutsch O, O'Flynn C, Colyer A, Morris P, Allaway D, Jones PG, Swanson KS (2014). Deep Illumina-based shotgun sequencing reveals dietary effects on the structure and function of the fecal microbiome of growing kittens. **PloS One** 9(7).

Di Donfrancesco B, Koppel K, Aldrich CG (2018) Pet and owner acceptance of dry dog foods manufactured with sorghum and sorghum fractions. **Journal of Cereal Science** 83:42-48.

Duncan SH, Louis P, Flint HJ (2004) Lactate-utilizing bacteria, isolated from human feces, that produce butyrate as a major fermentation product. **Applied and Environmental Microbiology** 70(10):5810-5817.

Duncan SH, Hold GL, Harmsen HJ, Stewart CS, Flint HJ (2002) Growth requirements and fermentation products of *Fusobacterium prausnitzii*, and a proposal to reclassify it as *Faecalibacterium prausnitzii* gen. nov., comb. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 52(6):2141-2146.

Erwin ES, Marco GJ, Emery EM (1961) Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. **Journal of Dairy Science** 44:1768-1771.

Fahey GC (2003) Research needs companion animal nutrition, In: Kvamme JL; Phillips TD(Eds.), **Pet Food Technology**, Mt, Morris, Illinois: [s,n,], p, 135–140.

FAO (2017) FAOSTAT, **Food and Agriculture Organization of the United Nation**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em 02/12/2019.

Fekete SG, Hullár I, Andrásófszky E, Kelemen F (2004) Effect of different fibre types on the digestibility of nutrients in cats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 88(3-4):138-142.

Fenner H (1965) Method for determining total volatile bases in rumen fluid by steam distillation. **Journal of Dairy Science** 48:249-251.

Fischer MM, Kessler AM, Kieffer DA, Knotts TA, Kim K, Wei A, Ramsey JJ, Fascetti AJ (2017) Effects of obesity, energy restriction and neutering on the faecal microbiota of cats. **British Journal of Nutrition** 118(7):513-524
Fischer MM et al (2012) Fiber fermentability effects on energy and macronutrient digestibility, fecal traits, postprandial metabolite responses, and colon histology of overweight cats. **Journal of Animal Science**, 90(7):2233-2245.

Flint HJ, Scott KP, Louis P, Duncan SH (2012) The role of the gut microbiota in nutrition and health. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology** 9(10):577.

Fouhse JM, Gänzle MG, Beattie AD, Vasanthan T, Zijlstra RT (2017) Whole-grain starch and fiber composition modifies ileal flow of nutrients and nutrient availability in the hindgut, shifting fecal microbial profiles in pigs. **The Journal of Nutrition** 147(11):2031-2040.

Frank DN, Amand ALS, Feldman RA, Boedeker EC, Harpaz N, Pace NR (2007) Molecular-phylogenetic characterization of microbial community imbalances in human inflammatory bowel diseases. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 104(34):13780-13785.

Frei R et al. (2013) Histamine receptor 2 modifies dendritic cell responses to microbial ligands. **Journal of Allergy and Clinical Immunology** 132(1):194-204.

- Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete MJ, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA (2010) Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International** 43(4):931-942.
- Garcia-Mazcorro JF, Lanerie DJ, Dowd SE, Paddock CG, Grützner N, Steiner JM, Ivanek R, Suchodolski JS (2011) Effect of a multi-species synbiotic formulation on fecal bacterial microbiota of healthy cats and dogs as evaluated by pyrosequencing. **FEMS Microbiology Ecology** 78(3):542-554.
- Garcia-Mazcorro JF, Barcenas-Walls JR, Suchodolski JS, Steiner JM (2017) Molecular assessment of the fecal microbiota in healthy cats and dogs before and during supplementation with fructo-oligosaccharides (FOS) and inulin using high-throughput 454-pyrosequencing. **PeerJ**, 5, e3184.
- Gavazza A, Rossi G, Lubas G, Cerquetella M, Minamoto Y, Suchodolski JS (2018) Faecal microbiota in dogs with multicentric lymphoma. **Veterinary and Comparative Oncology** 16(1):E169-E175.
- Goddard MS, Young G, Marcus R (1984) The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice, **The American Journal of Clinical Nutrition**, 39(3):388-392.
- Gonçalves KNV (2016), Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora sobre os parâmetros de processo, características do extrusado e digestibilidade de rações para gatos. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil. Disponível em <http://hdl.handle.net/11449/144285>
- Goodrich JK et al. (2014) Human genetics shape the gut microbiome. **Cell** 159(4):789-799
- Griffin RW (2003) Palatability. In: Kvamme JL, Phillips TD, editors, **Petfood Technology**, Watt Publishing Co, Mt, Morris IL, 176-193
- Haenen D et al (2013). Resistant starch induces catabolic but suppresses immune and cell division pathways and changes the microbiome in the proximal colon of male pigs. **The Journal of Nutrition** 143(12):1889-1898.
- Heiman ML, Greenway FL (2016). A healthy gastrointestinal microbiome is dependent on dietary diversity. **Molecular Metabolism** 5(5):317-320.
- Handl S, Dowd SE, Garcia-Mazcorro JF, Steiner JM, Suchodolski JS (2011) Massive parallel 16S rRNA gene pyrosequencing reveals highly diverse fecal bacterial and fungal communities in healthy dogs and cats. **FEMS Microbiology Ecology** 76(2):301-310.
- Honneffer JB, Minamoto Y, Suchodolski JS (2014) Microbiota alterations in acute and chronic gastrointestinal inflammation of cats and dogs. **World Journal of Gastroenterology: WJG** 20(44):16489.
- Hooda S, Boler BMV, Kerr KR, Dowd SE, Swanson KS (2013) The gut microbiome of kittens is affected by dietary protein: carbohydrate ratio and associated with blood metabolite and hormone concentrations. **British Journal of Nutrition** 109(9):1637-1646.
- Hoseney RC (1994) Estimation of degree of cook (measurement of starch gelatinization). In: R.R. McElhiney (Ed.), **Feed Manufacturing Technology IV** 560-561. Arlington: AFIA.

- Imhann F et al. (2018) Interplay of host genetics and gut microbiota underlying the onset and clinical presentation of inflammatory bowel disease. **Gut** 67(1):108-119.
- Inness VL, McCartney AL, Khoo C, Gross KL, Gibson GR (2007) Molecular characterisation of the gut microflora of healthy and inflammatory bowel disease cats using fluorescence in situ hybridisation with special reference to *Desulfovibrio* spp. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 91(1-2):48-53.
- Janeczko S et al. (2008) The relationship of mucosal bacteria to duodenal histopathology, cytokine mRNA, and clinical disease activity in cats with inflammatory bowel disease. **Veterinary Microbiology** 128(1-2):178-193
- Jarett JK, Carlson A, Seroo MR, Strickland J, Serfilippi L, Ganz HH (2019) Diets with and without edible cricket support a similar level of diversity in the gut microbiome of dogs. **PeerJ**, 7, e7661.
- Jia J, Frantz N, Khoo C, Gibson GR, Rastall RA, McCartney AL (2011) Investigation of the faecal microbiota of kittens: monitoring bacterial succession and effect of diet. **FEMS Microbiology Ecology** 78(2):395-404.
- Kalenyak K, Isaiah A, Heilmann RM, Suchodolski JS, Burgener IA (2018) Comparison of the intestinal mucosal microbiota in dogs diagnosed with idiopathic inflammatory bowel disease and dogs with food-responsive diarrhea before and after treatment. **FEMS Microbiology Ecology** 94(2):fix173
- Kanakupt K, Vester Boler BM, Dunsford BR, Fahey Jr GC (2011) Effects of short-chain fructooligosaccharides and galactooligosaccharides, individually and in combination, on nutrient digestibility, fecal fermentative metabolite concentrations, and large bowel microbial ecology of healthy adult cats. **Journal of Animal Science** 89(5):1376-1384.
- Kank S, et al (2010) Dysbiosis of fecal microbiota in Crohn's disease patients as revealed by a custom phylogenetic microarray. **Inflammatory Bowel Diseases** 16(12):2034-2042.
- Kerr KR, Dowd SE, Swanson, KS (2014) Faecal microbiota of domestic cats fed raw whole chicks v. an extruded chicken-based diet. **Journal of Nutritional Science** 3.
- Kieler IN, et al. (2019) Diabetic cats have decreased gut microbial diversity and a lack of butyrate producing bacteria. **Scientific Reports** 9(1):1-13.
- Kienzle E (1993) Carbohydrate metabolism of the cat: Digestion of starch, **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 69(1-5):102-114.
- Kienzle E (1994a) Effect of carbohydrates on digestion in the cat, **The Journal of Nutrition** 124(12):2568S.
- Kienzle E (1994b) Blood sugar levels and renal sugar excretion after the intake of high carbohydrate diets in cats, **The Journal of Nutrition** 124(12) 2563S.
- Koh A, De Vadder F, Kovatcheva-Datchary P, Bäckhed F (2016) From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. **Cell** 165(6):1332-1345.
- Kovatcheva-Datchary P, et al (2019) Linking phylogenetic identities of bacteria to starch fermentation in an in vitro model of the large intestine by RNA-based stable isotope probing, **Environmental Microbiology** 11(4):914–26.

- Laflamme, D (1997) Development and validation of a body condition score system for cats: a clinical tool. **Feline Practice** 25(5-6):13-18.
- Liang Y, Liang S, Zhang Y, Deng Y, He Y, Chen Y, Liu C, Lin C, Yang Q (2019) Oral administration of compound probiotics ameliorates HFD-Induced gut microbe dysbiosis and chronic metabolic inflammation via the G protein-coupled receptor 43 in non-alcoholic fatty liver disease rats. **Probiotics and Antimicrobial Proteins** 11(1):175-185.
- Lin B, Gong J, Wang Q, Cui S, Yu H, Huang B (2011) In-vitro assessment of the effects of dietary fibers on microbial fermentation and communities from large intestinal digesta of pigs. **Food Hydrocolloids** 25(2):180-188.
- Lin HC, Visek WJ (1991) Large intestinal pH and ammonia in rats: dietary fat and protein interactions. **The Journal of nutrition** 121(6):832-843.
- Liu C, et al (2008) Reclassification of *Clostridium coccoides*, *Ruminococcus hansenii*, *Ruminococcus hydrogenotrophicus*, *Ruminococcus luti*, *Ruminococcus productus* and *Ruminococcus schinkii* as *Blautia coccoides* gen. nov., comb. nov., *Blautia hansenii* comb. nov., *Blautia hydrogenotrophica* comb. nov., *Blautia luti* comb. nov., *Blautia producta* comb. nov., *Blautia schinkii* comb. nov. and description of *Blautia wexlerae* sp. nov., isolated from human faeces. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 58(8):1896-1902.
- Lobo AR, SILVA, GM de L (2003) Amido resistente e suas propriedades físico-químicas, **Revista de Nutrição** 16(2): 219–226.
- Lopez-Siles, M. et al (2012) Cultured representatives of two major phylogroups of human colonic *Faecalibacterium prausnitzii* can utilize pectin, uronic acids, and host-derived substrates for growth. **Applied and Environmental Microbiology** 78(2):420-428.
- Louis P, Duncan SH, McCrae SI, Millar J, Jackson MS, Flint, HJ (2004) Restricted distribution of the butyrate kinase pathway among butyrate-producing bacteria from the human colon. **Journal of Bacteriology** 186(7):2099-2106.
- Loureiro BA et al (2017) Insoluble fibres, satiety and food intake in cats fed kibble diets. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 101(5):824-834.
- Lozupone C, Knight R (2005) UniFrac: a new phylogenetic method for comparing microbial communities. **Appl. Environ. Microbiol** 71(12):8228-8235.
- Lubbs DC, Vester BM, Fastinger ND, Swanson KS (2009) Dietary protein concentration affects intestinal microbiota of adult cats: a study using DGGE and qPCR to evaluate differences in microbial populations in the feline gastrointestinal tract. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 93(1):113-121.
- Macfarlane GT, Gibson GR, Beatty E, Cummings JH (1992) Estimation of short-chain fatty acid production from protein by human intestinal bacteria based on branched-chain fatty acid measurements. **FEMS Microbiology Ecology** 10(2):81-88.
- Macfarlane GT, Gibson GR (1995) Microbiological aspects of the production of short-chain fatty acids in the large bowel. **Physiological and Clinical Aspects of Short-Chain Fatty Acids** 87-105.

- Marchesi JR, Holmes E, Khan F, Kochhar S, Scanlan P, Shanahan F, Wilson ID, Wang Y (2007) Rapid and noninvasive metabonomic characterization of inflammatory bowel disease. **Journal of Proteome Research** 6:546.
- Marsilio S, Pilla R, Sarawichitr B, Chow B, Hill SL, Ackermann MR, Estep JS, Lidbury JA, Steiner JM, Suchodolski JS (2019) Characterization of the fecal microbiome in cats with inflammatory bowel disease or alimentary small cell lymphoma. **Scientific Reports** 9(1):1-11.
- Martínez I, Kim J, Duffy PR, Schlegel VL, Walter J (2010) Resistant starches types 2 and 4 have differential effects on the composition of the fecal microbiota in human subjects. **PloS One** 5(11).
- Masuoka H, Shimada K, Kiyosue-Yasuda T, Kiyosue M, Oishi Y, Kimura S, Yamada A, Hirayama K (2016) Transition of the intestinal microbiota of dogs with age. **Bioscience of Microbiota, Food and Health** BMFH-2016.
- Masuoka H et al. (2017) Transition of the intestinal microbiota of cats with age. **PloS One** 12(8).
- Meehan CJ, Beiko RG (2014) A phylogenomic view of ecological specialization in the Lachnospiraceae, a family of digestive tract-associated bacteria. **Genome Biology and Evolution** 6(3):703-713.
- Middelbos IS, Boler BMV, Qu A, White BA, Swanson KS, Fahey Jr GC (2010) Phylogenetic characterization of fecal microbial communities of dogs fed diets with or without supplemental dietary fiber using 454 pyrosequencing. **PloS One** 5(3).
- Michael AJ (2018) Polyamine function in archaea and bacteria. **Journal of Biological Chemistry** 293(48):18693-18701.
- Minamoto Y, Hooda S, Swanson KS, Suchodolski JS (2012) Feline gastrointestinal microbiota. **Animal Health Research Reviews** 13(1):64-77
- Moreau NM et al (2003) Restoration of the integrity of rat caeco-colonic mucosa by resistant starch, but not by fructo-oligosaccharides, in dextran sulfate sodium-induced experimental colitis. **British Journal of Nutrition** 90(1):75-85.
- Morris JG, Trudell J, Pencovic T (1977) Carbohydrate digestion by the domestic cat (*Felis catus*), **British Journal of Nutrition** 37(3):365-373.
- Muir JG, O'dea K (1992) Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion in vitro. **The American Journal of Clinical Nutrition** 56(1):23-7
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al (2006) **Nutrient Rrequirements of Dogs and Cats**, National Academies Press, Washington, DC.
- Nugent AP (2005) Health properties of resistant starch, **Nutrition Bulletin** 30:27-54.
- 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(8):1385-1391.
- Nousiainen J (1991) Comparative observations on selected probiotics and olaquinox as feed additives for piglets around weaning: 2. Effect on villus length and crypt depth in the jejunum, ileum, caecum and colon. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 66(1-5):224-230.

- Ogué-Bon E, Gibson G, Rastall R (2010) The application of probiotics, prebiotics and synbiotics in companion animals. **Food Science and Technology Bulletin** 6:91-104.
- Onrust L, Van Driessche K, Ducatelle R, Schwarzer K, Haesebrouck F, Van Immerseel F (2018) Valeric acid glyceride esters in feed promote broiler performance and reduce the incidence of necrotic enteritis. **Poultry Science** 97(7):2303-2311.
- Ormerod KL et al. (2016) Genomic characterization of the uncultured Bacteroidales family S24-7 inhabiting the guts of homeothermic animals. **Microbiome** 4(1):36.
- Pallotto MR, De Godoy MR, Holscher HD, Buff PR, Swanson KS (2018) Effects of weight loss with a moderate-protein, high-fiber diet on body composition, voluntary physical activity, and fecal microbiota of obese cats. **American Journal of Veterinary Research** 79(2):181-190.
- Panasevich MR et al (2015) Modulation of the faecal microbiome of healthy adult dogs by inclusion of potato fibre in the diet. **British Journal of Nutrition** 113(1): 125-133.
- Peixoto MC, Ribeiro ÉM, Maria APJ, Loureiro BA, Di Santo LG, Putarov TC, Yoshitoshi FN, Pereira GT, Sá LRM, Carciofi AC (2018) Effect of resistant starch on the intestinal health of old dogs: fermentation products and histological features of the intestinal mucosa. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 102(1):e111-e121.
- Pinna C et al (2018) Influence of dietary protein and fructooligosaccharides on fecal fermentative end-products, fecal bacterial populations and apparent total tract digestibility in dogs. **BMC Veterinary Research** 14(1):106.
- Polesi LF (2011) Amido resistente: aplicações e métodos de produção, **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos** 29:2
- Price ML, Van Scoyoc S, Butler LG (1978) A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 26(5):1214-1218.
- Pryce JD (1969) A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst** 94(1125):1151-1152.
- Raigond P, Ezekiel R, Raigond B (2015) Resistant starch in food: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 95(10):1968-1978.
- Rajilić-Stojanović M, de Vos WM (2014) The first 1000 cultured species of the human gastrointestinal microbiota. **FEMS Microbiology Reviews** 38(5):996-1047.
- Ramadan Z, Xu H, Laflamme D, Czarnecki-Maulden G, Li QJ, Labuda J, Bourqui B (2014) Fecal Microbiota of Cats with Naturally Occurring Chronic Diarrhea Assessed Using 16S r RNA Gene 454-Pyrosequencing before and after Dietary Treatment. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 28(1):59-65.
- Rastall RA (2004) Bacteria in the gut: friends and foes and how to alter the balance. **Journal of Nutrition** 134:2022S-2026S.
- Reddy BV, Ashok Kumar A, Sanjana Reddy P (2010) Recent advances in sorghum improvement research at ICRISAT. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 44:499-506.
- Ribeiro ÉM, Peixoto MC, Putarov TC, Monti M, Pacheco PDG, Loureiro BA, Pereira GT, Carciofi 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(6):485-504.

Rooney LW, Pflugfelder RL (1986) Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, 63(5):1607-1623.

Rooney LW, Serna-Saldivar SO (2000) Sorghum. In: Kulp K, Ponte Jr JG (Eds.) **Handbook of Cereal Science and Technology – Second Edition**. New York. Marcel Dekker. 149-000.

Round JL, Mazmanian SK (2009) The gut microbiota shapes intestinal immune responses during health and disease. **Nature Reviews Immunology** 9(5):313-323.

Roy CC, Kien CL, Bouthillier L, Levy E (2006) Short-chain fatty acids: ready for prime time? **Nutrition in Clinical Practice** 21(4):351-366.

Ruppin H, Bar-Meir S, Soergel KH, Wood CM, Schmitt MG (1980) Absorption of short-chain fatty acids by the colon. **Gastroenterology** 78(6):1500-1507.

Russell JB, Sniffen CJ, Van Soest PJ (1983) Effect of carbohydrate limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen bacteria. **Journal of Dairy Science** 66:763-775.

Sá FC, Vasconcellos 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.

Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR (2006) Resistant Starch - A Review, **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 5(1):1–17

Sandri M, Dal Monego S, Conte G, Sgorlon S, Stefanon B (2016) Raw meat based diet influences faecal microbiome and end products of fermentation in healthy dogs. **BMC Veterinary Research** 13(1):65.

Santos JPF et al (2018) Effects of dietary yeast cell wall on faecal bacteria and fermentation products in adult cats. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 102(4):1091-1101.

Sauter SN, Benyacoub J, Allenspach K, Gaschen F, Ontsouka E, Reuteler G, Cavadini C, Knorr R, Blum JW (2006) Effects of probiotic bacteria in dogs with food responsive diarrhoea treated with an elimination diet. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 90(7-8):269-277.

Seshadri R et al (2018) Cultivation and sequencing of rumen microbiome members from the Hungate1000 Collection. **Nature Biotechnology** 36(4):359.

Shah P, Swiatlo E (2008) A multifaceted role for polyamines in bacterial pathogens. **Molecular Microbiology** 68(1):4-16.

Smolinska S, Jutel M, Cramer R, O'mahony L (2014) Histamine and gut mucosal immune regulation. **Allergy** 69(3):273-281.

Sokol H, Seksik P, Furet JP, Firmesse O, Nion-Larmurier I, Beaugerie L, Cosnes J, Corthier G, Marteau P, Doré J (2009) Low counts of *Faecalibacterium prausnitzii* in colitis microbiota. **Inflammatory Bowel Diseases** 15(8):1183-1189.

Sokol H et al (2008) *Faecalibacterium prausnitzii* is an anti-inflammatory commensal bacterium identified by gut microbiota analysis of Crohn disease patients. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(43):16731-16736.

- Song H, Yoo Y, Hwang J, Na YC, Kim HS (2016) *Faecalibacterium prausnitzii* subspecies-level dysbiosis in the human gut microbiome underlying atopic dermatitis. **Journal of Allergy and Clinical Immunology** 137(3):852-860.
- Spears JK, Fahey GC (2004) Resistant starch as related to companion animal nutrition. **Journal of AOAC International** 87(3):787-791.
- Storey JD, Tibshirani R (2003) Statistical significance for genomewide studies. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 100(16):9440-9445
- Suchodolski JS, Xenoulis PG, Paddock CG, Steiner JM, Jergens AE (2010) Molecular analysis of the bacterial microbiota in duodenal biopsies from dogs with idiopathic inflammatory bowel disease. **Veterinary Microbiology** 142(3-4):394-400.
- Suchodolski JS (2011) Companion animals symposium: microbes and gastrointestinal health of dogs and cats. **Journal of Animal Science** 89(5):1520-1530.
- Suchodolski JS, Dowd SE, Wilke V, Steiner JM, Jergens AE (2012a) 16S rRNA gene pyrosequencing reveals bacterial dysbiosis in the duodenum of dogs with idiopathic inflammatory bowel disease. **PloS One** 7(6).
- Suchodolski JS et al. (2012b) The fecal microbiome in dogs with acute diarrhea and idiopathic inflammatory bowel disease. **PloS One**, v. 7, n. 12.
- Suchodolski JS, Foster ML, Sohail MU, Leutenegger C, Queen EV, Steiner JM, Marks SL (2015) The fecal microbiome in cats with diarrhea. **PloS One** 10(5).
- Summers SC, Quimby JM, Isaiah A, Suchodolski JS, Lunghofer PJ, Gustafson DL (2019) The fecal microbiome and serum concentrations of indoxyl sulfate and p-cresol sulfate in cats with chronic kidney disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 33(2):662-669.
- Sun Y, Zhou L, Fang L, Su Y, Zhu W (2015) Responses in colonic microbial community and gene expression of pigs to a long-term high resistant starch diet. **Frontiers in Microbiology** 6:877.
- Sunvold GD, et al (1995) In vitro fermentation of cellulose, beet pulp, citrus pulp, and citrus pectin using fecal inoculum from cats, dogs, horses, humans, and pigs and ruminal fluid from cattle. **Journal of Animal Science** 73(12): 3639-3648.
- Suzuki T, Yoshida S, Hara H (2008) Physiological concentrations of short-chain fatty acids immediately suppress colonic epithelial permeability. **The British Journal of Nutrition** 100:297.
- Svihus B, UHlen AK, Harstad OM (2005) Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review, **Animal Feed Science & Technology** 122:303-320.
- Swanson KS et al (2002). Fructooligosaccharides and *Lactobacillus acidophilus* modify gut microbial populations, total tract nutrient digestibilities and fecal protein catabolite concentrations in healthy adult dogs. **The Journal of nutrition**, 132(12):3721-3731.
- Tazoe H, Otomo Y, Kaji I, Tanaka R, Karaki SI, Kuwahara A (2008) Roles of short-chain fatty acids receptors, GPR41 and GPR43 on colonic functions. **Journal of Physiology and Pharmacology** 59(2):251.

- Terada A, Hara H, Kato S, Kimura T, Fujimori I, Hara K, Maruyama T, Mitsuoka T (1993) Effect of lactosucrose (4G- β -D-galactosylsucrose) on fecal flora and fecal putrefactive products of cats. **Journal of Veterinary Medical Science** 55(2):291-295.
- Tims S, Derom C, Jonkers DM, Vlietinck R, Saris WH, Kleerebezem M, de Vos W, Zoetendal EG (2013) Microbiota conservation and BMI signatures in adult monozygotic twins. **The ISME Journal** 7(4):707-717.
- Thomas F, Hehemann JH, Rebuffet E, Czejzek M, Michel G (2011) Environmental and gut bacteroidetes: the food connection. **Frontiers in Microbiology** 2:93.
- Twomey LN, Pethick DW, Rowe JB, Choct M, Pluske JR, Brown W, Laviste MC (2002) The use of sorghum and corn as alternatives to rice in dog foods. **The Journal of Nutrition** 132(6):1704S-1705S.
- Vale SR, Gloria MB (1997) Determination of biogenic amines in cheese. **Journal of AOAC International** 80(5):1006-1012.
- Van den Abbeele P, Moens F, Pignataro G, Schnurr J, Ribecco C, Gramenzi A, Marzorati M (2020) Yeast-derived formulations are differentially fermented by the canine and feline microbiome as assessed in a novel *in vitro* colonic fermentation model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**.
- Vester BM, Dalsing BL, Middelbos IS, Apanavicius CJ, Lubbs DC, Swanson KS (2009) Faecal microbial populations of growing kittens fed high-or moderate-protein diets. **Archives of Animal Nutrition** 63(3):254-265.
- Vieira PF (1980) **Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídios em rações para ruminantes**. 98f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Vinolo, MA, Rodrigues HG, Nachbar RT, Curi R (2011) Regulation of inflammation by short chain fatty acids. **Nutrients**, 3(10):858-876.
- Walker AW, et al. (2011) Dominant and diet-responsive groups of bacteria within the human colonic microbiota. **The ISME Journal** 5(2):220-230.
- Walters WA, Xu Z, Knight R (2014) Meta-analyses of human gut microbes associated with obesity and IBD. **FEBS Letters** 588(22):4223-4233.
- Weese JS, Nichols J, Jalali M, Litster A (2015) The rectal microbiota of cats infected with feline immunodeficiency virus infection and uninfected controls. **Veterinary Microbiology** 180(1-2):96-102.
- Winter J, Nyskohus L, Young GP, Hu Y, Conlon MA, Bird AR, Topping DL, Le Leu RK (2011) Inhibition by resistant starch of red meat-induced promutagenic adducts in mouse colon. **Cancer Prevention Research** 4(11):1920-1928.
- Xenoulis PG, Palculict B, Allenspach K, Steiner JM, Van House AM, Suchodolski JS (2008) Molecular-phylogenetic characterization of microbial communities imbalances in the small intestine of dogs with inflammatory bowel disease. **FEMS Microbiology Ecology** 66(3):579-589.
- Xiong Y, Zhang P, Warner RD, Fang Z (2019) Sorghum Grain: From Genotype, Nutrition, and Phenolic Profile to Its Health Benefits and Food Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 18(6):2025-2046.

Young W, Moon CD, Thomas DG, Cave NJ, Bermingham EN (2016). Pre-and post-weaning diet alters the faecal metagenome in the cat with differences in vitamin and carbohydrate metabolism gene abundances. **Scientific Reports** 6:34668.

Zanotto DL, Bellaver C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia: Embrapa-Cnpas, 1996.