

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MARCEL ADRIANO JOBBINS

**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE FARINHAS DE FEIJÃO
COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) *IN NATURA* E EXTRUSADA PARA TILÁPIA DO
NILO (*Oreochromis niloticus*), DETERMINADOS POR DOIS MARCADORES**

PONTA GROSSA - PARANÁ

2018

MARCEL ADRIANO JOBBINS

**COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE FARINHAS DE FEIJÃO
COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) *IN NATURA* E EXTRUSADA PARA TILÁPIA DO
NILO (*Oreochromis niloticus*), DETERMINADOS POR DOIS MARCADORES**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa - Área de concentração: Produção Animal na linha de pesquisa Produção e Nutrição de Não Ruminantes.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate

Coorientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

PONTA GROSSA – PARANÁ

2018

J62 Jobbins, Marcel Adriano
Coeficientes de digestibilidade aparente de farinhas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) *in natura* e extrusada para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), determinados por dois marcadores / Marcel Adriano Jobbins. Ponta Grossa, 2018.
71 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Área de concentração – Produção animal – Produção e Nutrição de Não Ruminantes), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate
Coorientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

1. Farinha de feijão *in natura*. 2. Farinha de feijão extrusada. 3. Tilápia do Nilo. 4. Digestibilidade – marcadores. 5. Óxido de cromo. 6. Aminoácidos. 7. Alimentos – organismos aquáticos. I. Demiate, Ivo Mottin. II. Furuya, Wilson Massa-mitu III. Universidade Estadual de Ponta Grossa - Mestrado em Zootecnia. IV. T.

CDD : 639.3



TERMO DE APROVAÇÃO

MARCEL ADRIANO JOBBINS

“COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE FARINHAS DE FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) IN NATURA E EXTRUSADA PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*), DETERMINADOS POR DOIS MARCARORES”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestre em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no dia 28 de setembro de 2018, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Ivo Mottim Demiate - UEPG
(Orientador)

Profª. Drª. Lilían Dena dos Santos - UFPR

Profª. Drª. Valéria Rossetto Barriviera Furuya - UEPG

Ponta Grossa, 28 de setembro de 2018.

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, João Tomaz Jobbins (*In memoriam*) e Edith Caroline Polli Jobbins, por todos os ensinamentos de amor e justiça da forma simples e bela.

Aos pais, Marilda de Fátima dos Santos e Samuel Jobbins e irmãs, Flaine Jobbins e Franciely Caroline Jobbins, por sempre me apoiarem e buscarem compreender as minhas ausências.

Ao meu sobrinho Daniel Jobbins Ribeiro “Chico!!!” que sempre esteve junto comigo procurando entender o que estava fazendo, também pela compreensão (mesmo não entendendo por ser novinho) de as vezes não poder brincar e/ou assistir desenho, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Amo muito todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Ivo Mottin Demiate por todo os conselhos, intruções, preocupações durante essa batalha que foi a conclusão demais essa etapa em minha vida, mostrando-se ser um exemplo de caráter e dedicação.

As professoras, Maria Aparecida Gonçalves da Fonseca Martins “*Marici*” e Raquel Abdallah da Rocha por sempre estarem ao meu lado em todas as situações, também as professoras Cheila Roberta Lehnem e Romaiana Picada Pereira pelo apoio e conselhos entregues durante todo o mestrado. Não posso deixar de agradecer os professores do departamento de Engenharia de Alimentos, Ana Cláudia Barana e Luiz Gustavo Lacerda por todo o carinho e apoio.

Ao grupo de estudos de amido, só tenho a agradecer pelo convívio e amizade principalmente, a Ana Paula Travalini, Camila Sztoltz Piroski, Daniele Iensen de Oliveira, Francine Gomes Basso Los. Também as “*parceiras de Berenice*” (Crislaine Vieira Farago e Grasieli Beloni de Melo) por todo tempo de parceria em fazer a “*BERÊ!!!*” funcionar.

Aos meus colegas do grupo *Fish Nutrition* que me ajudaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

Aos meus tios (a) José Jobbins, Rute Jobbins Haas e Simião Jobbins por toda ajuda e conselhos. As amizades criadas e consolidadas durante a minha permanência no programa, com Amanda de Paula Lima, Barbara Haline Buss Baiak “*Badu*”, Bianca Letícia Richter, Fabrício Eugênio Araújo, Flavia de Oliveira, Johnny Martins de Brito, Karla Miky Tsujii, Micheli de Fátima Sieklicki e Tania Cristina Pontes. Aos meus amigos/irmãos Eduardo Queiroti Rodrigues, Luiz Felipe Resende Pádua, Pedro Sicuro Scremin e o Vitor Hugo Penariol Morante por toda ajuda mesmo que distante.

A SRCG - Sociedade Rural dos Campos Gerais, principalmente a Claudia Obesrt “*Craudinhaaa*”, pela amizade, companheirismo e ajuda em tudo que precisei, mesmo não trabalhando mais lá.

A Denise Mendes e demais funcionários do Bloco de Engenharia de Alimentos pela ajuda frequente e carinho comigo. Aos técnicos do C-LABMU/ UEPG – Complexo de Laboratórios Multiusuários da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela disposição de tirar as minhas dúvidas frequentes.

E a todos, aqui não nomeados que fizeram parte da minha formação. O meu muito obrigado!!!

Apenas sorria e acene

Sorria e acene

Capitão

Madagascar

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido para determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), amido, lipídios, fibra bruta (FB), cinzas (CZ) e de aminoácidos (AA) essenciais e não essenciais de farinha de feijão *in natura* (FI) e feijão extrusado (FE) para juvenis de tilápia do Nilo utilizando dois marcadores de digestibilidade: óxido crômio (Cr_2O_3) ou cinza insolúvel em ácido (CIA). Foi elaborada uma dieta referência peletizada (DR) contendo 35,19% de PB e 17,78 MJ/kg de EB. As dietas testes constituíram-se de 70% da DR e 30% de FI ou FE. Grupos de 15 indivíduos ($150,16 \pm 20,32$ g) foram distribuídos em seis aquários de digestibilidade de 200 L, em um esquema fatorial 2 x 2, onde foram avaliados dois métodos de processamento (FI ou FE) e dois marcadores (Cr_2O_3 ou CIA), com duas repetições, compondo o “pool” de fezes de cada dieta testada. Os maiores CDA, referentes a interação (processamento x marcador), foram encontrados para MS, EB, PB, CZ e AA essenciais como: arginina (Arg), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lys), metionina (Met), fenilalanina (Phe), treonina (Thr) e nos AA não essenciais: ácido aspártico (Asp), cisteína (Cys), ácido glutâmico (Glu), glicina (Gly), serina (Ser) e tirosina (Tyr). O CDA de amido e para os AA essenciais triptofano (Trp) e valina (Val) foi maior no FE em comparação ao FI, diferenciando dos lipídios que apresentaram melhores resultados para FI. Para FB e o AA não essencial alanina (Ala), por sua vez, não houve influência dos tratamentos dietéticos e marcadores. Independentemente do processamento a Met, His e Arg foram os AA limitantes para dietas contendo farinhas de feijão. Em conclusão, a FE apresentou-se como sendo boa fonte de energia e nutrientes, porém, os teores de Met e Cys devem ser considerados para as necessidades dietéticas de AA contendo enxofre e o marcador CIA não se mostrou sendo confiável para tilápia do Nilo.

Palavras-chave: Farinha de feijão *in natura*, Farinha de feijão extrusado, Tilápia do Nilo, Digestibilidade – marcadores, Óxido de crômio, Aminoácidos, Alimentos – organismos aquáticos

ABSTRACT

The trial aimed to evaluate the apparent strain digestibility coefficients (ADC) of dry matter (DM), gross energy (GE), crude protein (CP), starch, lipids, crude fiber (CF), ashes (AS) and essential and non-essential amino acids (AA) of *in natura* bean flour (FI) and extruded bean flour (FE) for juvenile Nile tilapia using two digestibility markers: chromium oxide (Cr₂O₃) or acid insoluble ash (AIA). It was elaborated a pelleted reference diet (RD) containing 35.19% CP and 17.78 MJ / kg GE, the test diets consisted of 70% RD and 30% of FI or FE. Groups of 15 individuals (150.16 ± 20.32 g) were distributed in six digestibility aquariums of 200 L, in a 2 x 2 factorial scheme, two processing methods (FI or FE) and two markers (Cr₂O₃ or AIA) were evaluated, with two replicates, composing the faeces pool of each diet tested. The highest ADC referring to the interaction (processing x marker) were found for DM, GE, CP, As and essential AA as: arginine (Arg), histidine (His), isoleucine (Ile), leucine (Leu), lysine (Lys), methionine (Met), phenylalanine (Phe), threonine (Thr) and for non-essential AAs: aspartic acid (Asp), cysteine (Cys), glutamic acid (Glu), glycine (Gly), serine (Ser) and tyrosine (Tyr). The CDA of the starch and the essential AA tryptophan (Trp) and valine (Val) was higher in FE compared to FI, different from lipids, which presented better results for FI. For GE and non-essential amino acid alanine (Ala) there was no influence of dietary treatments and markers. Regardless of the processing, Met, His and Arg were the limiting AAs for diets containing bean flours. In conclusion, FE proved to be a good source of energy and nutrients, however, the low levels of Met and Cys should be considered for the dietary requirements of AA containing sulfur. The AIA marker proved to be unreliable for Nile tilapia.

Keywords: Bean flour *in natura*, Extruded bean flour, Nile tilapia, Digestibility - Markers, Chromium Oxide, Amino Acids, aquafeeds

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FLUXOGRAMA DE BENEFICIAMENTO DO FEIJÃO.....	29
FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO DE AQUÁRIOS UTILIZADOS PARA COLETA DE FEZES POR DECANTAÇÃO, SISTEMA “GUELPH” (A) E ILUSTRAÇÃO DE INCUBADORA ADAPTADA (B).....	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. EFEITO DA EXTRUSÃO EM ALIMENTOS.....	31
TABELA 2. INGREDIENTES E COMPOSIÇÃO ANALISADA DA DIETA DE REFERÊNCIA (DR) [% COM BASE EM MATÉRIA SECA (MS)]	51
TABELA 3. COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DAS DIETAS REFERÊNCIA (DR) E COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) [% COM BASE EM MATÉRIA SECA (MS)].....	52
TABELA 4. PERFIL DE AMINOÁCIDOS DAS DIETAS REFERÊNCIA (DR) E COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) [% COM BASE EM MATÉRIA SECA (MS)].....	53
TABELA 5. COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE (CDA) DAS DIETAS COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) AVALIADAS POR DOIS MARCADORES DE DIGESTIBILIDADE [ÓXIDO DE CRÔMIO (CR ₂ O ₃) E CINZA INSOLÚVEL EM ÁCIDO (CIA)] ¹	59
TABELA 6. COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE (CDA) DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS DAS DIETAS COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) AVALIADAS POR DOIS MARCADORES DE DIGESTIBILIDADE [ÓXIDO DE CRÔMIO (CR ₂ O ₃) E CINZA INSOLÚVEL EM ÁCIDO (CIA)] ¹	60
TABELA 7. COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE (CDA) DE AMINOÁCIDOS NÃO ESSENCIAIS DAS DIETAS COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) AVALIADAS POR DOIS MARCADORES DE DIGESTIBILIDADE [ÓXIDO DE CRÔMIO (CR ₂ O ₃) E CINZA INSOLÚVEL EM ÁCIDO (CIA)] ¹	61
TABELA 8. PERFIL DE AMINOÁCIDOS [% DA PROTEÍNA BRUTA (PB)] EM DIETAS COM FARINHAS DE FEIJÃO <i>IN NATURA</i> (FI) OU EXTRUSADA (FE) DE ACORDO COM A EXIGÊNCIA DIETÉTICA DE TILÁPIA DO NILO (OREOCHOMIS NILOTICUS) E ÍNDICE DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS	62

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE (CDA)	55
EQUAÇÃO 2. COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DO INGREDIENTE	55

LISTA DE ABREVIACÕES

CDA / ADC	Coeficiente de Digestibilidade Aparente / Apparent Digestibility Coefficients
MS / DM	Matéria Seca / Dry Matter
EB / GE	Energia Bruta / Gross Energy
PB / CP	Proteína Bruta / Crude Protein
FB / CF	Fibra Bruta / Crude Fiber
CZ / AS	Cinzas / Ashes
AA	Aminoácidos / Amino acids
FI	Farinha de feijão <i>in natura</i> / Bean flour <i>in natura</i>
FE	Farinha de feijão Extrusada / Extruded bean flour
CIA / AIA	Cinza Insolúvel em Ácido / Acid insoluble ash
DR / RD	Dieta Referência / Reference Diet
<i>et al.</i>	Com mais de três autores
Arg	Arginina / Arginine
His	Histidina / Histidine
Ile	Isoleucina / Isoleucine
Leu	Leucina / Leucine
Lys	Lisina / Lysine
Met	Metionina / Methionine
Phe	Fenilalanina / Phenylalanine
Thr	Treonina / Theonine
Asp	Ácido Aspártico / Aspartic Acid
Cys	Cisteína / Cysteine
Glu	Ácido Glutâmico / Glutamic Acid
Gly	Glicina / Glycine
Ser	Serina / Serine
Tyr	Tirosina / Tyrosine
Trp	Triptofano / Tryptophan
Val	Valina / Valine
Ala	Alanina / Alanine
ton	Toneladas

a.C	Antes de Cristo
<i>Guelph</i>	Sistema de decantação
DIC	Delineamento Interamente Casualizado
SEM	Erro padrão da média
ANOVA	Análise de variância
$P < 0,05$	Probabilidade de o valor ser menor que 0,05
$P = 0,05$	Probabilidade de o valor ser igual a 0,05
$P > 0,05$	Probabilidade de o valor ser maior que 0,05

LISTA DE SIGLAS

FAO	Food and Agriculture Organization
ONU	Organização das Nações Unidas
PEIXEBR	Associação Brasileira da Piscicultura
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Secas
EUA	Estados Unidos da America
GIFT	Genetic Improved Farmed Tilapia
GMT®	Genetically Male Tilapia
TACO	Tabela brasileira de Composição de Alimentos
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
HTST	High Temperature / Short Time
CEUA	Comissãi de Ética do Uso Animal
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
PR	Paraná
SP	São Paulo
CTA	Centro de Tecnologia Alimentar
AQUANUTRI	Laboratório de Nutrição e Saúde de Organismos Aquáticos
FMVZ	Faculdade de Medicina de Veterinária e Zootecnia
UNESP	Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
LTDA	Limitada
HPLC	Análise por cromatografia líquida de alta eficiência
GENCS	Laboratório Global de Meio Ambiente e Segurança Alimentar

LISTA DE SÍMBOLOS

Cr_2O_3	Óxido de cromo
L	Litros
%	Porcentagem
Ca	Cálcio
Fe	Ferro
Cu	Cobre
Zn	Zinco
K	Potássio
P	Fósforo
Mg	Magnésio
$\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$	Óxido de ferro
mg	Miligramas
g	Gramas
mL	Mililitros
n°	Número
XII	Doze
μm	Micrômetro
Nm	Nanômetro
°C	Graus Celsius
mm	Milímetros
rpm	Rotação por Minuto
MPa	Megapascal
MJ	Megajoule
kg	Quilogramas
h	horas
$\pm$	Variação

SUMÁRIO

CAPITULO I	17
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1.1. INTRODUÇÃO	17
1.2. PRODUÇÃO DA AQUICULTURA/ PISCICULTURA.....	18
1.3. TILÁPIA DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>)	19
1.3.1. Alimentação de organismos aquáticos/aquicultura	20
1.4. FEIJÃO COMUM (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	21
a) Proteína.....	23
a.1. Aminoácidos.....	23
b) Carboidratos	24
b.1. Amido	24
c) Lipídios.....	25
d) Fibras	25
e) Fatores antinutricionais	26
1.4.1. Produção de feijão	26
1.4.2. Obtenção de coprodutos do feijão	27
1.4.3. Utilização de feijão na alimentação animal	28
1.5. EXTRUSÃO.....	29
1.5.1. Extrusão para organismos aquáticos	30
1.6. DIGESTIBILIDADE	31
1.6.1. Ensaios de digestibilidade <i>in vivo</i> em peixes.....	32
a) Ensaio de digestibilidade pelo método indireto.....	33
b) Método de coleta (método indireto)	33
1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO II.....	46
2. COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE FARINHAS DE FEIJÃO COMUM (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) IN NATURA E EXTRUSADA PARA TILÁPIA DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>), DETERMINADOS POR DOIS MARCADORES	46
2.1. INTRODUÇÃO	47

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS	49
2.2.1. Obtenção das farinhas de feijão.....	49
a) Descrição do mecanismo de extrusão.....	50
2.2.2. Dietas experimentais.....	50
2.2.3. Peixes, condições, manejo experimental e coleta de amostras.....	51
2.2.4. Análises químicas	53
2.2.5. Cálculos	55
2.2.6. Projeto experimental e análise estatística	56
2.3. RESULTADOS.....	56
2.3.1. Coeficientes de digestibilidade aparentes de matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), amido, lipídios, fibra bruta (FB) e cinzas (CZ)	56
2.3.2. Coeficientes de disponibilidade aparente de aminoácidos essenciais e não essenciais.....	57
2.3.3. Perfil essencial de aminoácidos de farinha de feijão.....	58
2.4. DISCUSSÃO.....	62
2.5. CONCLUSÃO	65
2.6. AGRADECIMENTOS.....	65
2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
CAPÍTULO III	71
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

CAPITULO I

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. INTRODUÇÃO

A agroindústria pode ser conceituada como o conjunto de atividades relacionadas à agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura do ponto de vista econômico. Ainda, entende-se como um segmento da indústria que transforma matérias-primas da agropecuária em produtos alimentares e não alimentares (ARAÚJO, 2008).

O Brasil desponta como um dos principais integrantes do agronegócio mundial devido a sua ampla gama de produtos agropecuários e elevados volumes de produção. Em estudo sobre a “*Importância dos resíduos agropecuários na alimentação animal*”, Souza e Santos (2003) reportaram que a produção de descartes oriundos da agroindústria na América Latina superava 500 milhões de toneladas (ton), sendo que o Brasil pode ser responsável por mais da metade desse montante. Projetando para o cenário atual, esses dados devem ser bem mais elevados.

Neste contexto, a busca por informações sobre o destino destes descartes é constante, destacando aqui estudos para utilização na alimentação animal, desde que atendam às exigências nutricionais dos animais, sendo importante do ponto de vista nutricional e econômico (TEIXEIRA et al., 2007; FRANÇA et al., 2011; PONCIANO NETO, 2015). Tecnologias empregadas para melhorar ao aproveitamento desses produtos, vem mostrando ser uma alternativa econômica e ambientalmente correta, estando totalmente de acordo com os princípios da conservação do meio ambiente.

A extrusão desses coprodutos aparece como uma tecnologia viável, permitindo a obtenção de produtos com características variadas, melhorando a eficiência nutricional dos alimentos (HARPER, 1981; SHARMA et al., 2016). O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta-se como alternativa, por se tratar de uma cultura de grande importância socioeconômica no país, cultivado e disponível no mercado durante todo o ano. Ao se empregar esse ingrediente na alimentação animal, conhecer sua composição bromatológica e tipos de processamento que foram utilizados, se mostra primordial para a caracterização e balanceamento das dietas.

De acordo com a Organização para Alimentação e Agricultura da Organização das Nações Unidas (FAO/ ONU), a demanda mundial por proteína (animal ou vegetal) se mostrará o principal problema nutricional para a humanidade nos próximos anos (FAO, 2017a). Por este motivo, pesquisas de novas fontes proteicas, alternativas ou não convencionais para a alimentação humana e animal, se mostram promissoras (CARCIOFI, 2006).

Considerando-se essas informações, novas fontes proteicas vêm crescendo mundialmente. A piscicultura, de acordo com os dados da FAO, se destaca com a produção de 171 milhões de ton (peixes de cultivo e peixes de captura), seguida da carne suína (120 milhões de ton), de frangos (118 milhões de ton) e bovina (70 milhões de ton) (FAO, 2018).

1.2. PRODUÇÃO DA AQUICULTURA/ PISCICULTURA

A aquicultura é a atividade zootécnica que tem apresentado os maiores níveis de crescimento. No ano de 2016, o setor da piscicultura representou 47% da produção aquícola (FAO, 2018), sendo os principais produtores neste período China, Índia e Indonésia; o Brasil aparece na 13ª posição (FAO, 2018), com produção de 691 mil ton de peixes de cultivo em 2017. Nos últimos anos, os pescados têm representado cerca de 17% da proteína de origem animal consumida pela população mundial, sendo 7% do total de proteínas consumidas, atingindo cerca de 3,2 bilhões de pessoas (FAO, 2016; FAO, 2018).

Entre os anos de 1961 e 2016, constatou-se um crescimento médio anual do consumo mundial de pescados de 3,2%, ultrapassando o crescimento da população mundial, que foi de 1,6% (FAO, 2016; FAO, 2018). O consumo *per capita* mundial de peixe aumentou de 9,0 kg em 1961 para 20,2 kg em 2015; para 2016 e 2017 a estimativa era de 20,3 kg e 20,5 kg, respectivamente, demonstrando uma elevação na taxa média de 1,5% ao ano (FAO, 2014; FAO, 2018).

Espécies de água doce, como carpas, bagres (incluindo *Pangasius* spp.) e tilápias representavam cerca de 58% do total da produção aquicultura mundial em 2016, com taxa média anual de crescimento de 3,1% (FAO, 2018). O consumo *per capita* global de peixes de água doce foi de 7,8 kg em 2015, representando 38% do total, em comparação a 17%, em 1961 (FAO, 2018). No Brasil, essa situação não é diferente, com a enorme

disponibilidade de água de boa qualidade, grande diversidade de espécies com potencial produtivo e de alto valor comercial, o país é apontado como grande promessa do setor produtivo mundial.

Dentre os estados brasileiros, os três maiores produtores de peixes foram: Paraná com 112 mil ton, Rondônia com 77 mil ton e São Paulo, contribuindo com 69 mil ton; esta produção foi 8% superior ao ano anterior (2016), no qual foram produzidas 640 mil ton (PEIXEBR, 2018). O consumo *per capita* ano, entretanto, ainda se mostra baixo, em torno de 9,5 kg, sendo inferior ao recomendado pela FAO, de 20 kg ano (FAO, 2014; PEIXEBR, 2018).

Entre as espécies de água doce, a tilápia do Nilo é a segunda espécie mais cultivada mundialmente, ficando atrás apenas das carpas (FAO, 2018), com uma produção nacional de 357 mil ton (representando 51% do total de peixes cultivados em água doce) em 2017 (PEIXEBR, 2018). Os estados que se destacaram na produção de tilápia do Nilo, em 2017 foram: Paraná com 105 mil ton, São Paulo com 66 mil ton e Santa Catarina com 32 mil ton do total produzido de tilápias (PEIXE BR, 2018).

1.3. TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

O nome tilápia é um termo genérico usado para espécies pertencentes à Família *Cichlidae*, constituído, particularmente por três gêneros: *Tilapia*, *Sarotherodon* e *Oreochromis* (MCANDREW, 2000). O gênero *Oreochromis* é o mais cultivado, sendo 90% desse cultivo tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), que tem hábito alimentar onívoro (RUST, 2002; WANG; LU, 2015) e apresenta o maior crescimento e rendimento de filé em relação aos demais (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004).

Corresponde ao terceiro grupo de peixes mais produzidos no mundo, atrás do grupo das carpas e salmonídeos, respectivamente (EL-SAYED, 2006). São naturais da África, Israel e Jordânia (Oriente Médio), se difundiram globalmente durante a segunda metade do século 20, a partir da década de 1960 (SURESH; BHUJEL, 2012). No Brasil, foi introduzida inicialmente no Nordeste, em 1971, sendo a tilápia do Congo (*Tilapia rendalli*), seguida pela tilápia de Zanzibar (*Oreochromis urolepis hornorum*) e por tilápia do Nilo (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004), devido a um acordo de pesquisa e desenvolvimento entre o Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS) e a Universidade de Auburn (Alabama, EUA) (LOVSHIN et al., 1976).

Existem duas linhagens de tilápias de grande importância, adaptadas a condições do mercado brasileiro: *Bouaké* e *Chitralada*; a primeira é originária da Costa do Marfim e foi introduzida em 1971 (CASTAGNOLLI, 1992) e a segunda teve origem no Egito, sendo posteriormente exportada para a Tailândia, onde foi domesticada (MOREIRA, 1999; KUBITZA, 2011) introduzida no Brasil em 1996 (ZIMMERMANN, 1999), não havendo diferenças morfológicas entre essas linhagens. Atualmente existem linhagens melhoradas geneticamente, adaptadas às condições nacionais, registradas como *Supreme Tilapia Aquabel* e as tilápias de linhagem *Genetic Improved Farmed Tilapia* (GIFT) e *Genetically Male Tilapia* (GMT®), introduzidas em 2005 (SCORVO et al., 2010).

O baixo pH estomacal e elevado comprimento intestinal constituem uma das principais características morfofisiológicas do trato digestório das tilápias, que lhes conferem maior adaptação ao consumo de produtos vegetais, possibilitando, respectivamente, hidrólise ácida da celulose e maior período de retenção da digesta (RUST, 2002; LEENHOUWERS et al., 2008). Em adição ao extenso intestino, a ampla distribuição de enzimas ao longo do órgão aumenta a habilidade da espécie em assimilar uma grande variedade de alimentos (TENGJAROENKUL et al., 2000).

De fato, a capacidade de utilização de carboidratos não estruturais pelas tilápias e seus híbridos já foi demonstrada por vários autores (ANDERSON et al., 1984; TUNG; SHIAU, 1991; BELAL, 1999). Além disso, apresentam rápido crescimento, rusticidade, resistência ao estresse, a doenças e aceitabilidade de dietas artificiais, características que justificam sua ampla difusão na produção (EL-SAYED, 2006).

Dados das últimas décadas revelam que as tilápias são cultivadas em mais de 135 países e territórios em todos os continentes (FAO, 2014), sob diversas condições climáticas, sistemas de produção e salinidades (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004).

1.3.1. Alimentação de organismos aquáticos/aquicultura

Durante o período de 1995 a 2015, espécies cultivadas dependentes de alimentação exógena quadruplicaram de volume, de 12 para 51 milhões de ton, em grande parte, devido à intensificação da produção de tilápias, carpas, salmonídeos e camarões (HASAN, 2017a). Nesta década, 48% do total são produzidas utilizando ração (FAO, 2018). A indústria de rações para peixes cresceu de forma exponencial, aumentando em

seis vezes, de oito para 48 milhões de ton no período de 1995 a 2015 (TACON et al., 2011; HASAN, 2017b).

A preocupação com as tecnologias de processamento empregadas para produzir rações comerciais para a aquicultura tem sido, primariamente, direcionada pela expansão global do setor, a qual tem resultado no aumento da demanda por rações de alta qualidade para atender às exigências específicas das espécies cultivadas (FAO, 2018).

Considerando a diversidade das espécies de peixes e consequente diferenciação morfofisiológica e comportamental, a nutrição desses animais apresenta-se como uma grande área de estudos (OLIVEIRA, 2006). Na aquicultura, a alimentação representa cerca de 70% dos custos (ROUBACH et al., 2002; YOSHIOKA et al., 2015) e uma das estratégias atuais envolve a utilização de produtos de origem vegetal na composição das dietas, visando a redução de custos e sustentabilidade da produção.

Embora nenhuma exigência em carboidratos tenha sido demonstrada em peixes, sua ausência na dieta leva ao catabolismo de proteínas e lipídios para a síntese de energia (NRC, 1993; WILSON, 1994). Dessa forma, a inclusão adequada de carboidrato na dieta pode reduzir os custos de produção devido a sua alta disponibilidade e efeito poupador de proteína, o qual, ainda, previne a emissão de compostos nitrogenados na água (WILSON, 1994; STONE et al., 2003; WU et al., 2007).

As tilápias, por possuírem um hábito alimentar onívoro (BOMFIM et al., 2008), facilitam a seleção de ingredientes para o preparo de rações. Sob condições de produção extensiva e, até um determinado tamanho, têm um crescimento satisfatório utilizando apenas o alimento natural, por meio da fertilização do viveiro (EL-SAYED, 2006). Entretanto, para um crescimento eficiente, rações suplementares balanceadas devem ser fornecidas, quando a capacidade de suporte do sistema for atingida (SHIAU, 2002).

1.4. FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família *Fabaceae*, tem origem sul-americana, sendo cultivado em quase todos os continentes (SUASSUNA et al., 2006, MESSA, et al., 2016). O gênero *Phaseolus* apresenta a ocorrência de aproximadamente cinquenta e cinco espécies, sendo cultivado comercialmente e ocupando posição de destaque em produção (DEBOUCK, 1993).

Sua origem e domesticação mostram-se bastante controversas. Durante muito tempo acreditava-se que o feijão era originário da Índia ou mesmo da Ásia subtropical, porém, as descrições eram, geralmente, pouco embasadas e incompletas. Há relatos históricos do Egito e da Grécia antiga, aonde o feijão era cultivado como símbolo da vida; no império romano, por sua vez, eram utilizados como pagamento de apostas. Também foram encontradas referências sobre feijões na Suíça datadas da época do Bronze (BRASIL, 2000; BÁRBARA, 2002).

Vestígios encontrados no sítio arqueológico de Guitarrero, no Peru, apontam para idade próxima a 10.000 a.C., mostrando que o feijoeiro teria sido domesticado na América do Sul e levado para a América do Norte. A segunda hipótese é embasada em registros arqueológicos encontrados no México datados de 7.000 a.C., que teriam sido domesticados na Mesoamérica e disseminados pela América do Sul; posteriormente, seriam levados à Europa, a partir de 1540, pelos colonizadores (DEBOUCK, 1993; BRASIL, 2000).

Dados baseados em padrões eletroforéticos de faseolina sugerem que as variedades atuais de feijão são o resultado de múltiplos eventos de domesticação, com três centros primários: o mesoamericano (Sudeste do Estados Unidos até o Panamá), o sul dos Andes (norte do Peru até nordeste da Argentina) e o norte dos Andes (Colômbia, Venezuela até o norte do Peru) (DEBOUCK, 1986; DEBOUCK, 1993; FREITAS, 2006). Além destes três, foram identificados vários outros centros secundários em algumas regiões da Europa, Ásia e África (BRASIL, 2000).

No Brasil, a reconstrução histórica do feijão é restrita, devido à dificuldade de estudos arqueológicos que possam contextualizar quais formas e de que maneira as espécies foram introduzidas (FREITAS, 2006). Entretanto, restos arqueológicos encontrados em cavernas na Lapa do Boquete, na região do Vale do Peruaçu, em Minas Gerais, são catalogados de 10.000 anos atrás (PROUS et al., 1984; FREITAS, 2006). Relatos históricos sobre a cultura indígena, mostram que o feijão sempre esteve presente sendo conhecido como *cumandá* ou *cumaná* pelos nativos e eram utilizados como cultivo secundário após a colheita do milho e de outras culturas (MACIEL, 2008; CASCUDO, 2014).

Em estudos para a avaliação química e nutricional (com base na matéria seca), apresenta-se como fonte de proteína (20%), carboidratos (60 a 70%), fibra alimentar (21,8 g/100 g), além de vitaminas, tais como: tiamina (0,12 mg/100 g), niacina (4,60 mg/100 g), piridoxina (0,59 mg/100 g), riboflavina, ácido fólico e minerais como cálcio (Ca) (111 mg/100 g), ferro (Fe) (6,5 mg/100 g), cobre (Cu) (0,83 mg/100 g), zinco (Zn) (2,9 mg/100 g), potássio (K) (1416 mg/100 g), fósforo (P) (471 mg/100 g) e magnésio (Mg) (188 mg/100 g), (RIBEIRO et al., 2009; TACO, 2011; RUIZ et al., 2013).

a) Proteína

Em muitos países emergentes, o feijão participa da base proteica da alimentação. Contendo aproximadamente 21% de proteína (com base em matéria natural), podendo ser equiparado ao conteúdo protéico de outras fontes, como carne bovina (20%¹), frango (18%²) e peixe (18%³), sendo superior à quantidade de proteínas presentes em trigo (14%), arroz (9%) e milho (10%) (TACO, 2011; BRITTO et al., 2014).

As principais frações protéicas presentes são: globulinas (solúveis em solução salina e pH neutro), correspondendo a até 80%, em massa das proteínas totais; as albuminas apresentam função enzimática e outras funções metabólicas e perfazem até 50% do total de proteínas em sementes, devido ao maior valor biológico; prolaminas e glutelinas, estão fortemente ligadas a organelas e correspondem a menos de 10% das proteínas totais encontradas em feijões (SGARBIERI; WHITAKER, 1982; BRESSANI, 1993; SATHE, 2002).

Porém, o valor nutritivo da proteína de feijão não é totalmente satisfatório, devido apresentar concentrações limitantes de alguns AA essenciais como os sulfurados (Met e Cys) e o Trp. Além disso, apresenta inibidores de proteases, que são fatores antinutricionais e reduzem a digestibilidade das proteínas do feijão *in natura* (OLIVEIRA et al., 1999; TOLEDO; CANNIATTI-BRAZACA, 2008).

a.1. Aminoácidos

Os AA são componentes estruturais complexos das proteínas (ALBERTS et al., 2002). Os aminoácidos podem ser classificados em essenciais e não essenciais, sendo os

¹ Valores de média calculados com base dos teores de proteína dos cortes bovino *in natura* da TACO (2011).

² Valores de média calculados com base aos teores de proteína dos cortes frango *in natura* da TACO (2011).

³ Valores apresentados por Britto et al. (2014).

essenciais aqueles que não podem ser sintetizados pelos animais e, dessa forma, devem ser fornecidos na ração através de ingredientes proteicos e energéticos ou pela adição de aminoácidos industriais. Os AA não essenciais, por outro lado, são aqueles que os animais são capazes de sintetizar a partir do esqueleto de carbono da glicose de outros aminoácidos e de grupos amino de aminoácidos em excesso (D'MELLO, 2003).

b) Carboidratos

Os carboidratos representam cerca de 85% dos componentes dos tecidos vegetais e são classificados, geralmente, em duas categorias: polissacarídeos de reserva (amido) e polissacarídeos estruturais (não amiláceos) (NELSON; COX, 2014). O amido constitui a principal reserva de energia dos vegetais, podendo ser 70 a 80% do peso dos grãos, sendo armazenado no citoplasma celular na forma de grânulos densos, semicristalinos e insolúveis em água (FRENCH, 1984).

b.1. Amido

Nutricionalmente, o amido tem sido empregado na alimentação animal e humana como a principal fonte de energia da dieta (PERIS-TORTAJADA, 2004; WALTER et al., 2005; ALCÁZAR-ALAY; MEIRELLES, 2015). Formulações contendo amido são tradicionalmente conhecidas por serem fontes rápidas de obtenção de glicose. Tecnologias de modificações como quebra, moagem, laminação, granulação em flocos, vaporização, expansão e extrusão, vêm sendo aplicadas ao processamento de ingredientes contendo amido para aumentar a sua digestibilidade e a aceitação.

De acordo com a Resolução de Diretoria Colegiada N° 263, de 22 de setembro de 2005, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), “amidos são os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, leguminosas, outros grãos, raízes ou rizomas” (BRASIL, 2005). As proporções destas estruturas diferem entre as fontes botânicas, entre as variedades de uma mesma espécie e ainda, numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta e das condições de cultivo. Estas variações podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas diferenciadas, que afetam a sua digestibilidade (LINEBACK, 1984; WANG; WHITE, 1994).

c) Lipídios

Os lipídios são um grupo de compostos quimicamente diversos, formados a partir da esterificação de ácidos graxos e um grupo éster (NELSON; COX, 2014). Como característica comum entre eles tem-se a insolubilidade em água e sua principal função é ser fonte e reserva de energia, além de desempenharem diversas funções biológicas de acordo com sua natureza química, na forma de cofatores enzimáticos, transportadores, hormônios (NELSON; COX, 2014), entre outros. Gorduras e óleos são as principais formas de armazenamento de energia, enquanto os fosfolipídios participam como principais elementos estruturais das membranas biológicas. Quando apresentam somente ligações simples, são classificados como saturados (gorduras), e com uma ou mais duplas ligações, insaturados (óleos) (NELSON; COX, 2014).

Os lipídios presentes na dieta agem sobre a ressíntese lipídica e no perfil de ácidos graxos depositados no tecido, influenciando na diminuição da lipogênese nos tecidos adiposos e hepáticos, melhorando a composição lipídica na carcaça dos animais (NIELSEN et al., 2005).

d) Fibras

Uma das dificuldades na determinação da fibra alimentar é que esta não é constituída por um único grupo químico definido, mas sim por uma combinação de substâncias quimicamente heterogêneas (GOÑI et al., 2009). O método da FB é o mais antigo e comumente utilizado em nutrição animal. Este método mensura uma pequena e variável fração da fibra, uma vez que solubiliza muitos polissacarídeos estruturais e a lignina (BACH KNUDSEN, 2001). Inicialmente aplicado à nutrição de ruminantes, o método das fibras em detergentes de Van Soest (1967) tem sido utilizado na nutrição de frangos e suínos em alternativa à metodologia de FB, visto que proporciona resultados relativamente mais satisfatórios para rações de monogástricos (BACH KNUDSEN, 2001).

Tal método determina uma fração da fibra que é insolúvel em detergente neutro (celulose, hemicelulose e lignina) e outra, insolúvel em detergente ácido (celulose e lignina). No entanto, há perda dos polissacarídeos não amiláceos solúveis em água, bem como contaminação da fibra em detergente neutro com amido resistente e proteínas (BACH KNUDSEN, 2001).

e) Fatores antinutricionais

Segundo Benevides et al. (2011) a expressão “*fator antinutricional*” vem sendo usada para descrever compostos ou classes de compostos presentes numa extensa variedade de alimentos de origem vegetal, e que, quando consumidos alteram o valor nutricional, reduzindo a biodisponibilidade de nutrientes. O ácido fítico, (forma de armazenamento de fósforo), é um fator que reduz a digestibilidade de proteínas e do amido; entretanto, estudos revelam que processos como maceração, germinação, fermentação ou cocção podem reduzir o teor de ácido fítico (OLIVEIRA et al., 2001).

Os compostos polifenólicos (especialmente taninos), presente no tegumento que recobre os cotilédones das leguminosas, podem influenciar na digestão de proteínas, tornando-as menos suscetíveis à hidrólise enzimática (BONETT et al., 2007). Os inibidores de proteases, também conhecidos como inibidores de tripsina, na ausência ou deficiência de selênio ou vitamina E se tornam tóxicos para peixes (LOVELL, 1998). Na sua presença reduz o valor nutritivo e a disponibilidade dos AA (LIENER, 1990; DIXON; HOSKING, 1992; ALETOR et al., 1994; GRELA, 1996). Rackis e Gumbmann (1992) em um estudo com alimentação animal, demonstrou-se a ocorrência de perda de proteína na excreta fecal. A inativação total dos inibidores de tripsina pode ser realizada através de técnicas como embebição em água destilada e tratamento térmico (RUIZ et al., 1995).

1.4.1. Produção de feijão

O feijão é uma cultura de grande importância econômica e social em muitos países e, também, uma das principais fontes de proteína vegetal na alimentação humana. Segundo a FAO, a produção mundial de feijão em 2015, foi de 23 milhões de ton, sendo os principais países produtores Mianmar, com 4,7 milhões de ton, Índia com 4,1 milhões de ton, e Brasil com 3,3 milhões de ton, responsáveis por 51% do total produzido no mundo (FAO, 2017b).

De modo geral, o feijão é produzido o ano todo em território nacional em três ciclos de semeadura-colheita, ocupando uma área de cultivo de aproximadamente 2,99 milhões de hectares, atrás apenas das áreas cultivadas com soja e milho (BRASIL, 2018). Os 16 tipos de feijões mais cultivados no Brasil são: Azuki, Branco, Bolinha, Canário, Carioca, Fradinho, Jalo, Jalo Roxo, Moyashi, Mulatinho, Preto, Rajado, Rosinha, Roxinha, Verde, Vermelho (PARANÁ, 2017).

O primeiro ciclo ocorre entre os meses de agosto e novembro envolvendo as regiões Sul e Sudeste. O segundo ciclo no período entre dezembro e março e o terceiro ciclo entre abril e setembro concentrado nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Distrito Federal e no oeste da Bahia (BRASIL, 2018).

O total da safra 2016/2017 foi de 3,3 milhões de ton, 25% maior que a anterior que foi de 2,5 milhões de ton (BRASIL, 2018; PARANÁ, 2016) e cultivado em todos os estados e no Distrito Federal, o que demonstra a importância econômica, cultural e alimentar. Entre as regiões brasileiras, o Sul é o principal produtor com 942 mil ton (representando 28% da produção nacional), seguido pelo Centro-Oeste com 834 mil ton (24%) e Sudeste com 810 mil ton (24%). No *ranking* dos principais estados produtores, o Paraná lidera com 710 mil ton (30%), seguido de Minas Gerais com 535 mil ton (16%) e Mato Grosso com 414 mil ton; os três estados juntos somam 1,6 milhões de ton produzidas, correspondendo a 58% da produção brasileira (PARANÁ, 2017; BRASIL, 2018).

1.4.2. Obtenção de coprodutos do feijão

A qualidade do feijão está ligada às condições em que foi cultivado e colhido, incluindo fatores como: a adubação; volume de água durante o desenvolvimento; controle de pragas; período de maturação e teor de umidade no momento da colheita (BRASIL, 2005). Estes fatores influenciam a resistência do grão a danos mecânicos durante a colheita e consequentemente, a formação de grãos quebrados.

Durante o período de pós-colheita, os grãos são encaminhados para o beneficiamento, onde ocorrem vários processos de limpeza e seleção (Figura 2). Estes processos têm como objetivo retirar impurezas e grãos avariados ou que não apresentem características desejáveis para a comercialização. Segundo Almeida et al. (2004), o montante do coproduto (grãos avariados ou indesejável) oscila entre 3% e 12% de todo feijão beneficiado, dependendo da eficiência das operações de colheita e beneficiamento.

De acordo com a Portaria nº85, Anexo XII de 06 de março de 2002 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os grãos de feijão avariados e indesejáveis são aqueles que se apresentam: ardidos, mofados, brotados, enrugados, manchados, amassados, descoloridos, carunchados, danificados por insetos ou prejudicados por diferentes causas, os quais não podem ser comercializados de forma *in*

natura para alimentação humana. Já os grãos partidos e quebrados, porém sadios, podem ser utilizados na indústria alimentícia (BRASIL, 2002).

Ainda, de acordo com o inciso III do Artigo II da Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 do MAPA, o feijão e os coprodutos são fontes preconizadas para alimentação animal, desde que obedçam a padrões mínimos satisfatório de sanidade e segurança, descritos como defeitos leves: “*são aqueles cuja incidência sobre o grão não restringem ou inviabilizam a utilização do produto, por não comprometer seriamente a aparência, conservação e qualidade do mesmo. São os amassados, danificados, imaturos, quebrados e partidos*” (BRASIL, 2008).

1.4.3. Utilização de feijão na alimentação animal

Ao se empregar o feijão e os coprodutos, é importante conhecer sua composição bromatológica, características do processamento industrial, possíveis efeitos tóxicos ou contaminantes presentes na matéria-prima que possam comprometer a saúde animal, a digestibilidade aparente. O feijão tem alto valor protéico, apresentando-se como boa fonte de lisina, podendo ser usado em substituição a ingredientes de origem animal (FISHER; BENDER, 1978; BOATENG et al., 2007).

Em trabalhos sobre a alimentação de peixes usando a farinha de feijão *in natura* da variedade Rosinha, Costa et al. (2008) mencionam que o feijão tem potencial na formulação de dietas. Azaza et al. (2009) relataram que a utilização de farinha de feijão (*Vicia faba* L. var. *Minuta*), na proporção de 24%, não apresenta efeitos adversos no crescimento e na eficiência alimentar de juvenis de tilápia do Nilo, demonstrando ser uma alternativa na substituição de até 20% do farelo de soja como fonte proteica.

No entanto, o feijão *in natura* possui diversos fatores antinutricionais como: lectinas; ácido fítico; compostos polifenólicos; inibidor de amilase; inibidor de protease e de tripsina, que prejudicam a digestão e absorção de nutrientes no trato digestório. Esses efeitos nocivos à alimentação animal podem ser eliminados ou atenuados pelo processo de extrusão como uma alternativa melhorar o aproveitamento da digestibilidade do alimento (BONETT et al., 2007).

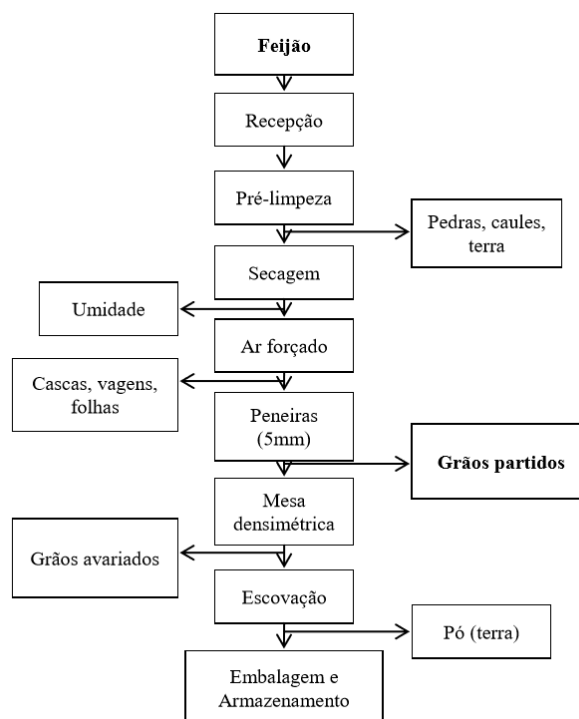


Figura 1. Fluxograma de beneficiamento do feijão
Fonte: Ponciano Neto (2015).

1.5. EXTRUSÃO

A extrusão é um processo contínuo, termomecânico, que combina diversas operações unitárias como misturar, amassar e modelar, com cocção ou não (BRUNATTI, 2016), ampliando as possibilidades de elaboração de ingredientes ou alimentos distintos para a indústria alimentícia. Esse processo termoplástico ou conhecido também como processo HTST (sigla em inglês – *High-Temperature/ Short-Time*) teve origem na indústria de plásticos, por intermédio do alemão Paul Troester, em 1935 (HARPER, 1981; KRABBE; LOIOLA, 2005; BRASIL, 2006). Relatos do primeiro uso na indústria alimentícia são datados também dos anos 1930 e sua utilização na alimentação animal é descrita a partir de 1940 (ROSSEN; MILLER, 1973; LEONEL et al., 2006).

Essa tecnologia tem características específicas onde, os produtos são submetidos a efeitos simultâneos que induzem várias alterações físico-químicas, alterando a estrutura do alimento em nível molecular, e assim, influenciando intimamente características do material extrusado (DAVIDSON et al., 1984; CAMIRE et al., 1990; SHARMA et al., 2016).

A substituição de alimento *in natura* pelo extrusado vem apresentando melhores resultados em relação ao coeficiente de digestibilidade e à taxa de eficiência protéica. O

processo de extrusão melhora significativamente a digestibilidade (HERNÁNDEZ et al., 1994; VENOU et al., 2003), como relatado em alguns estudos com peixes (BOOTH et al., 2002; SKLAN et al., 2004), com suínos (CHAE et al., 1997; ROCHA, 2009) e com cães (OLIVEIRA, 2016; PONCIANO NETO, 2015). No entanto, o processo de extrusão apresenta alguns efeitos positivos e negativos nos alimentos, modificando a qualidade e o valor nutricional (Tabela 1).

1.5.1. Extrusão para organismos aquáticos

O processo de extrusão pode controlar várias características do produto final como forma, densidade, reidratação, textura e alguns graus de coloração (BRASIL, 2015). Esse método de termomecânico se tornou o principal procedimento na produção de alimentos para organismos aquáticos, os benéficos associados a ele são devido à variedade de densidade em água; maior estabilidade; melhor manejo alimentar, possibilitando a visualização do consumo pelos peixes e maior digestibilidade dos nutrientes (BRASIL, 2015). Essas características podem ser atribuídas a expansão e gelatinização do amido assegurando aglutinação da mistura, oriundas da alta temperatura (110 -105°C), umidade (20 - 30%) e alta pressão durante o processo (JOBLING et al., 2001; PASTORE et al., 2012). Parte da água é vaporizada no terço final do processo, levando a um rápido aumento no volume e porosidade (JOBLING et al., 2001). Esta porosidade é aproveitada para adição posterior de óleos e antioxidantes por aspersão (HARDY; BARROWS, 2002).

Devidos aos ajustes de temperatura e pressão, bem como o teor de amido é possível a confecção de extrusados várias densidades de acordo com as necessidades. Rações para peixes como tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), necessitam de ter baixa densidade, que irão flutuar facilitando o consumo, para espécies como Jundiá (*Rhamdia quelen*) à necessidade que o extrusado que afunde lentamente, sendo assim a densidade média utilizada e para espécies que necessitam que afundem rapidamente como na carcinicultura a densidade utilizada é a alta (BRASIL, 2015).

Tabela 1. Efeito da extrusão em alimentos

	Positivo	Negativo
Carboidratos	Modificação do amido Aumento da digestibilidade; Desenvolvimento de “flavour”	Reação de “Maillard” (escurecimento não enzimático) Hidrólise
Proteínas	Aumento de digestibilidade Desnaturação	Modificação química de aminoácidos Reação de “Maillard”, ligações cruzadas Formação de lisinoalanina
Fibras	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume	
Lipídios	Aumento da digestibilidade Formação de complexo lipídio-amido	
Minerais	Aumento geral da biodisponibilidade Ferro – redução do Fe^{+3} para Fe^{+2} Zn, Mg, Cu e P Destruição de fitato	Redução da biodisponibilidade pela presença do fitato e inativação da fitase pela extrusão
Fatores antinutricionais	Inativação de inibidores de tripsina, amilase e lectinas Redução, remoção ou destruição de taninos e fitato	-

Fonte: Lopes (2010) [Adaptado]

1.6. DIGESTIBILIDADE

O termo digestibilidade refere-se ao desaparecimento de um nutriente pelo trato intestinal, enquanto o termo disponibilidade é definido como a porção dos nutrientes consumidos absorvida no trato digestório, e que está disponível para o metabolismo ou síntese tecidual (SAUER; OZIMEK, 1986; BATTERHAM, 1992; NRC, 2012). De acordo com Sibbald (1987) a definição de disponibilidade de nutrientes é “*um conceito abstrato, que não pode ser medido, mas pode ser estimado*”. A estimativa pode ser obtida

por meio de ensaio de digestibilidade para avaliar os nutrientes e energia absorvidos (GABERT et al., 2001; STEIN et al., 2007; NRC, 2012).

Como consequência, cada ingrediente precisa ser caracterizado em termos de digestibilidade. Análises de composição bromatológica e química são os primeiros indícios do valor nutritivo de um alimento, sendo confirmado após estudos envolvendo a aceitabilidade e a capacidade do animal em aproveitar os nutrientes (digestibilidade) (MAYNARD; LOOSLI, 1969; HEPHER, 1988; SHIAU, 2002).

Poucos são os nutrientes utilizados pelos animais na forma em que são ingeridos. A digestão implica no fracionamento da ingesta, disponibilizando as proteínas, liberando os aminoácidos, assim como os carboidratos que são reduzidos a açúcares simples e as gorduras hidrolisadas, antes de serem absorvidos no trato. Portanto, se faz necessário ressaltar que, cada indivíduo de diferentes espécies assimila de forma distinta os nutrientes dos alimentos. As condições ambientais, a quantidade e a qualidade do alimento oferecido, a proporção entre os nutrientes e os processos tecnológicos empregados, também afetam a digestibilidade (HIGUERA, 1987).

1.6.1. Ensaios de digestibilidade *in vivo* em peixes

Pesquisas de digestibilidade em peixes podem ser realizadas considerando-se dois métodos: o direto, no qual se mede a quantidade de fezes excretadas, ou pelo método indireto, utilizando marcador (substância referência não digestível) que reflete a variação dos nutrientes excretados nas fezes (CHOUBERT, 1999; BREMER NETO et al., 2003). A escolha do método mais adequado é indispensável para obtenção de resultados de digestibilidade satisfatórios (AUSTRENG et al., 1978; SMITH et al., 1980). O processo de coleta de fezes é a atividade que exige maior cuidado e precisão durante o experimento.

Dentre os fatores que podem influenciar a digestibilidade em peixes, destacam-se a espécie, idade, condições fisiológicas, temperatura da água, salinidade, composição, quantidade de alimento ingerido e tamanho da partícula (HEPHER, 1988). O fator ambiental também se apresenta como um dos aspectos relevantes, pois dificulta a separação das fezes na água, a mensuração do consumo de alimento, além da contaminação com o alimento não ingerido (BREMER NETO et al., 2003; PEZZATO et al., 2002).

Estudos de digestibilidade têm sido conduzidos com várias espécies, disponibilizando valores de nutrientes para formulações balanceadas. Entretanto, os coeficientes de digestibilidade aparente de alguns alimentos se apresentam com uma alta variabilidade. Essas diferenças devem-se ao fato de haver diferentes métodos de coleta de fezes, erros experimentais, diferentes processamentos, composição química dos ingredientes, condições biológicas e ambientais envolvidas nos processos de pesquisas (CHO; BUREAU, 2001).

a) Ensaio de digestibilidade pelo método indireto

A digestibilidade estimada por esse método é calculada pela diferença de concentração de um marcador indigerível e dos nutrientes no alimento e nas fezes (RUST, 2002). A coleta das fezes pode ser efetuada de duas maneiras ilustrada na figura 2: a) as excretas podem ser obtidas diretamente do tanque ou aquário de digestibilidade após a defecação (coleta com o peixe dentro da água) e decantação das fezes; b) as amostras podem ser coletadas diretamente do intestino posterior antes de serem defecadas pelo peixe (coleta com o peixe fora da água) (PORTZ et al., 2001).

Nos últimos anos, além do óxido crômico (Cr_2O_3), outros marcadores internos têm sido avaliados para aplicação em condições comerciais de criação de tilápias. Destaca-se as cinzas insolúveis em ácido, pela facilidade de determinação e pela precisão na obtenção dos coeficientes de digestibilidade. No entanto, ainda faltam informações sobre sua validação em rações para tilápias, principalmente avaliando a disponibilidade dos aminoácidos.

b) Método de coleta (método indireto)

Segundo Storebakken et al. (1998), o método de decantação é adequado para obtenção de fezes de peixes pequenos. Porém, um número relativamente elevado de peixes deve ser considerado, dado o pequeno volume de fezes coletado de cada peixe, que dificulta a análise laboratorial. Essa técnica adaptada para coleta como: câmara metabólica (RUST, 2002), sistema de filtragem contínua adaptada para a coleta total de fezes (CHOUBERT et al., 1979; CHOUBERT et al., 1982) e sistema de bolsa coletora de fezes (VIDAL JUNIOR, 2000), alimentação fora do sistema (PEZZATO et al., 2002).

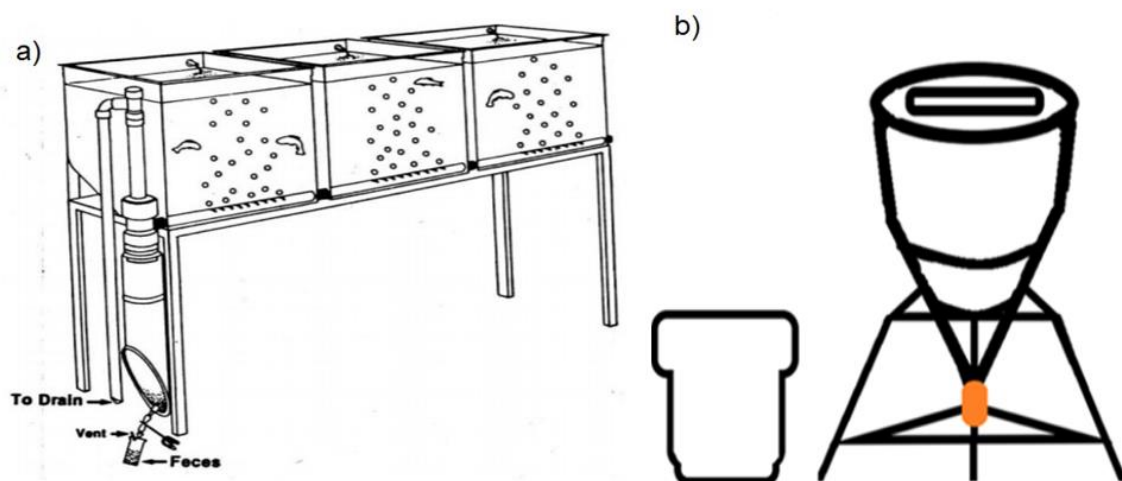


Figura 2. Representação de aquários utilizados para coleta de fezes por decantação, sistema “*Guelph*” (a) e ilustração de Incubadora adaptada (b)
Fonte: Cho e Watannabe (1985) (a); Fonte Autor (b).

Assim, o feijão e coprodutos são fontes alternativas de energia e nutrientes para inclusão em rações para organismos aquáticos. Considerando que a tilápia do Nilo é a espécie mais utilizada na piscicultura nacional, justifica-se a avaliação de tecnologias que possam viabilizar nutricionalmente sua incorporação. A extrusão é o processamento mais utilizado para elaboração de rações comerciais para tilápias, permitindo redução da densidade e consequentemente sua capacidade de flutuação, importante para o manejo alimentar dos peixes. Todavia, ainda não existem informações sobre os efeitos da extrusão no valor nutritivo do feijão.

1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Fundamentos de Biologia Celular**. 2.ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 2006. p.250.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, Campinas, v.35, n.2, p. 215-236, 2015.

ALETOR, V. A.; EL MONEIN, A. A.; GOODCHILD, A. V. Evaluation of the seeds of selected lines of tree Lathyrus spp. For α -n-oxalylamino-1-alamine (BOAA), tannins, trypsin inhibitor activity and certain in vitro characteristics. **Journal of Science Food and Agricultural**, v. 65, n.2, p. 143-151, 1994.

ALMEIDA, F. A. C.; A. F. FIGEREDO NETO, R.; COSTA, R. F.; GOUVEIA, J. P. G.; OLIVEIRA, M. E. C. Danos mecânicos em sementes de feijão *Vigna*, causados pelas operações na unidade de beneficiamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v.8, n.2-3, p.254-259, 2004.

ANDERSON, J.; JACKSON, A. J.; MATTY, A. J.; CAPPER, B. S. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). **Aquaculture**, Amsterdam, v.37, n.4, p.303-314, 1984.

ARAÚJO, M. J. **Fundamentos de agronegócios**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008. p.160.

AUSTRENG, E. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. **Aquaculture**, Amsterdam, v.13, n.3, p.265–272, 1978.

AZAZA, M. S.; WASSIM, K.; MENSI, F.; ABDELMOULEH, A.; BRINI, B.; KRAÏEM, M. M. Evaluations of faba beans (*Vicia faba* L. var. *minuta*) as a replacement for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.287, n.1-2, p.174-179, 2009.

BACH KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.90, n.1-2, p.3-20, 2001.

BÁRBARA, D. **Feijão: Aromas e sabores da boa lembrança**. 2.ed. Rio de Janeiro: Senac Rio, v.2. 2002. p.160.

BATTERHAM, E. S. Availability and utilization of amino acids for growing pigs. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v.5, n.1, p.1-18, 1992.

BELAL, I. E. H. Replacing dietary corn with barley seeds in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feed. **Aquaculture Research**, New York, v.30, n.4, p.265-269, 1999.

BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: Revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.18, n.2, p.67-79, 2011.

BOATENG, J.; VERGHESE, M.; WALKER, L. T.; OGUTU, S. Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.). **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v.41, n.9, p.1541-1547, 2007.

BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; RIBEIRO, F. B.; QUADROS, M. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos, com base no conceito de proteína ideal, em rações de alevinos de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.10, p.1713-1720, 2008.

BONETT, L. P.; BAUMGARTNER, M. S. T.; KLEIN, A. C.; SILVA, L. I. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciências de Saúde da Unipar**, Umuarama, v.11, n.3, p.235-246, 2007.

BOOTH, M. A.; ALLAN, G.L.; EVANS, A.J.; GLEESON, V.P. Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. **Aquaculture Research**, New York, v.33, n.14, p.1163-1173, 2002.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.5 Safra 2017/18 - Décimo levantamento**. Brasília, v.5, n.10, p.1-178, 2018.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Pesca e Aquicultura. **Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento**. Brasília, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125393/1/SD14.pdf>> Acesso em: 25 out. 2018.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008.Regulamento Técnico do Feijão. **In: Diário Oficial da União**. Brasília, 2008, n.12, art.2, p.17.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do74.htm> Acesso em: 20 jul. 2018.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução RCD nº 263 de setembro de 2005. “Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos”, constante do Anexo desta Resolução. **In: Diário Oficial da União**. Brasília, 2005, n.263, Anexo, p.368-369.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Departamento de Fomento e Fiscalização da Produção Animal. Portaria nº 85, de 6 de março de 2002. **In: Diário Oficial da União**. Brasília, 2002, n.85, Anexo XII, p.111-125.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Origem e histórico do feijoeiro comum e do arroz**. Brasília, 2000. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164370/1/CNPAF-2000-fd.pdf>> Acesso em: 08 jul. 2018.

BREMER NETO, H.; GRANER, C. A. F.; PEZZATO, L. E.; PADOVANI, C. R.; CANTELMO, O. A. Diminuição do Teor de Óxido de Crômio (III) Usado como Marcador Externo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.2, p.249-245, 2003.

BRITTO, A. C. P.; ROCHA, C. B.; TAVARES, R. A.; FERNANDES, J. M.; PIEDRAS, S. R. N.; POUEY, J. L. O. F. Rendimento corporal e composição química do filé da viola (*Loricariichthys anus*). **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n.1, p.38-44, 2014.

BRESSANI, R. Grain quality of common beans. **Food Reviews International**, New York, v.9, n.2, p.237-97, 1993.

BRUNATTI, A. C. A. **Produtos extrusados sem glúten obtidos de misturas de féculas de mandioca e farinha de arroz**. 2016. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Massachusettes, v.29, n.1, p.35-57, 1990.

CARCIOFI, A. C.; PONTIERI, R.; FERREIRA, C. F.; PRADA, F. Avaliação de fontes proteicas para a alimentação de cães. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.754-760, 2006. Suplemento especial.

CASCUDO, L. da C. Antologia da alimentação no Brasil. 1ed. São Paulo: Global Editora, 2014. Disponível em: <<http://lelivros.love/book/baixar-livro-antologia-da-alimentacao-no-brasil-luis-da-camara-cascudo-em-pdf-epub-e-mobi-ou-ler-online/>> Acesso em: 03 ago. 2018.

CASTAGNOLLI, N. Espécies exóticas próprias para a piscicultura. In: _____. **Criação de Peixes de Água Doce**. Jaboticabal: FUNEP, 1992, p.71-96.

CHAE B. J.; KANG H. I.; CHUNG Y. K. Growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs: the effect of pelleted and extrusion of a diet containing a milk product. **Annals of Animal Resources Sciences**, Chuncheon, v.8, n.1, p.74-82, 1997.

CHO, C.Y.; BUREAU, D.P. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. **Aquaculture Research**, New York, v.32, n.1, p.349-360, 2001.

CHO, C. Y.; COWEY, C. B.; WATANABE, T. **Finfish Nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development**. 1.ed. International Development Research Centre: Ottawa, 1985. p.185.

CHOUBERT, G. Nutrient digestibility in fish: Methodological aspects. **Cybbium, International Journal of Ichthyology**, Paris, v.23, n.1, p.113-125, 1999.

CHOUBERT, G.; DE LA NOUE J.; LUQUET, P. Digestibility in fish: improved device for the automatic collection of feces. **Aquaculture**, Amsterdam, v.29, n1-2., p.85-189, 1982.

CHOUBERT, G.; DE LA NOUE J.; LUQUET, P. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. **The Progressive Fish Culturist**, Bethesda, v.41, n.2, p.64-67, 1979.

COSTA, D. P.; MACHADO, L. C.; ALVARENGA, R. J. Farelo de feijão rosinha (*P. vulgaris*) na alimentação de peixes. In: SEMANA DE AQUICULTURA, 2. 2008, Bambuí. **Anais...** Bambuí:CEFET-Bambuí, 2008. p.51.

D' MELLO, J. P. F.; Adverse effects of amino acid. D' MELLO, J. P. F. **Amino Acids animal nutrition**. 2.ed. Edinburgh: CABI Publishing, 2003. p.187-202.

DAVIDSON, V. J.; PATON D.; DIOSADY L. L.; LAROCQUE G. J.; DEGRADATION OF WHEAT STARCH IN A SINGLE SCREW Extruder: Characteristics of extruded starch polymers. **Journal of Food Science**, Chicago, v.49, n.2, p.453-458, 1984.

DEBOUCK, D. Systematics and morphology. In: VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST O. **Common beans: research for crop improvement**. Cali: Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1993. p.55-118.

DEBOUCK, D. G. Primary diversification of Phaseolus in the Americas: three centers? In: _____. **Plant Genetic Resources - Newsletter**, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Bioversity International, Rome, v.67, p.2-8, Set.1986.

DIXON, R. M.; HOSKING, B. J. Nutritional value of grain legumes for ruminants. **Nutrition Research Reviews**, v. 5, n.1, p. 9-43, 1992.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1.ed. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. p.227.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Contributing to food security and nutrition for all**. Rome, 2018.

_____. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of food and agriculture**. Rome, 2017a.

_____. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Database (Food and Agriculture Organization Statistics). **Database Updates. Crops and livestock products**. Rome, 2017b. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>> Acesso em: 23 jul. 2018.

_____. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all**. Rome, 2016.

_____. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014. Contributing to food security and nutrition for all**. Rome, 2014.

FISHER, P.; BENRES, A. **Valor Nutritivo de los Alimentos**. Wiley: Limusa, 1978. p.205.

FRANÇA, J.; SAAD, F. M. O. B.; SAAD, C. E. P. Avaliação de ingredientes convencionais e alternativos em rações de cães e gatos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.222-231, 2011. Suplemento especial.

FREITAS, F. O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil, **Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB**. Brasília, v.41, n.7, p.1199-1203, 2006.

FRENCH, D. Organization of starch granules. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHAL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**. 2.ed. London: Academic Press, 1984. p.183-247.

GABERT, V. M.; JORGENSEN, H.; NYACHOTI, C. M. Bioavailability of AA in feedstuffs for swine. In: LEWIS, A. J.; SOUTHERN L. L. **Swine Nutrition**, 2. ed. Boca Raton: CRC Press. 2001. p.151-186.

GOÑI, I.; DÍAZS-RUBIO, M.E.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. **Food Research International**, Amsterdam, v.42, n. 7, p.840-846, 2009.

GRELA, E. R. Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 71, n.3, p. 399-404, 1996.

HASAN, M.R. Feeding global aquaculture growth. **FAO Aquaculture Newsletter**, Rome, n.56, p.ii–iii, Abr. 2017a.

HASAN, M. R. Keynote presentation: Status of world aquaculture and global aquafeed requirement with special notes on Artemia. In: **Report of the FAO Expert Workshop on Sustainable Use and Management of Artemia Resources in Asia**. FAO Fisheries and Aquaculture Report, Rome, n.1198, appendix 4, p.16–17, Nov. 2017b.

HARDY, W.R.; BARROWS, F.T. Diet formulation and manufacture. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. (Eds.). **Fish Nutrition**. 3.ed. California, USA: Academic Press, Elsevier Science, 2002. cap.9, p.505-600.

HARPER, J. M. **Extrusion of Foods**. 1.ed. Boca Raton: CRC Press, 1981. p. 212.

HEPHER, B. **Nutrition of Pond Fishes**. 1.ed. New York: Cambridge University Press, 1988. p.388.

HERNÁNDEZ, M.; TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. Effect of gelatinized corn meal as a carbohydrate source on growth-performance, intestinal evacuation, and starch digestion in common carp. **Fisheries Science**, Tokyo, v.60, n.5, p.579-582, 1994.

HIGUERA, M. de la. Diseños e métodos experimentales de evaluación de dietas. In: MONTEROS, J. A. E. de los; LABARTA, M. **Nutrición en Acuicultura II**. Madrid: Comis Asesora de Investigación Científica y Técnica, 1987. p.291-318.

HOOVER, R.; Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v.45, n.3, p. 253-267, 2001.

JOBBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed types, manufacture and ingredients. In: HOULIHAN, D.; BOUJARD, T.; JOBLING, M. (Eds.). **Food Intake in Fish**. Malden, Massachusetts, USA: Blackwell Science, 2001. cap.2, p.25-48.

KRABBE, E. L.; LOIOLA, A. Perdas nutricionais durante a secagem do alimento extrusado. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO, 5, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2005, p.115-120.

KUBITZA, F. **Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial**. 2.ed. Jundiaí: Acqua Supre, 2011, p.316.

LEENHOUWERS, J. I.; PELLIKAAN, W. F.; HUIZING, H. F. A.; COOLEN, R. O. M.; VERRETH, J. A. J.; SCHRAMA, J. W. Fermentability of carbohydrates in an *in vitro* batch culture method using inocula from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.14, n.6, p.523-532, 2008.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; DE PINHO, S. Z.; IATAURO, R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p.459-464, 2006.

LIENER, I. E. Naturally occurring toxic factors in animal feedstuffs. In: Wiseman, J.; COLE, D. J. A. C. **Feedstuff Evaluation**. 1. ed. London: Butterworths, 1990. p.377-394.

LINEBACK, D. R.; The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, Beloit, v.58, n.2, p.16-21, 1984.

LOVELL, T. **Nutrition and feeding of fish**. 2.ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. p.267.

LOVSHIN, L. L.; PEIXOTO, J. T.; VASCONCELOS, E. A. Considerações ecológicas e econômicas sobre tilápia no nordeste do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE LIMNOLOGIA, PISCICULTURA E PESCA CONTINENTAL, 1, 1976, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Diretoria de Tecnologia e Meio Ambiente, Centro de Recursos Naturais, 1976. p.227-237.

MACIEL, M. L.M. **Feijão: da etimologia à mesa**. 2008. 54 f. Monografia (Especialização em Gastronomia e Saúde) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MESSA, C. A.; AMORINS, E.O.; QUINTINO, E. M.; AFONSO, R.O.; OLIVEIRA, J. A. G. Plantio direto de feijão. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v.13, n.1, [s.n], 2016.

MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K. **Animal nutrition**. 6.ed. New York: Mcgraw Hill, 1969. p.550.

MCANDREW, B. J. Evolution, phylogenetic relationship and biogeography. In: BEVERIDGE, M. C. M.; MCANDREW, B. J. **Tilapias: Biology and exploitation**. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2000. p.1-28.

MOREIRA, H. L. M. **Análise da estrutura de populações e diversidade genética de estoques de reprodutores de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) estimadas por microsatélite**. 1999. 125 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

NELSON, D. L.; COX, M. M.; **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. p.1328.

NIELSEN, N.S.; GOTTSCHKE, J. R.; HOLM, J.; XU, X.; MU, H.; JACOBSEN, C. Effect of structured lipids based on fish oil on the growth and fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.250, n.1-2, p.411-423, 2005.

NRC. National Reserch Council. **Nutrient Requirements of Swine**. 11.ed. Washington: National Academic Press, 2012. p.424.

_____. National Reserch Council. **Nutrient Requeriments of Fishes**. 1.ed. Washington: National Academic Press, 1993. p.102.

OLIVEIRA, M. C. C. **Efeito da fibra solúvel e insolúvel e do teor de proteína sobre a saciedade e respostas hormonais em gatos**. 2016. 48 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

OLIVEIRA, R. P. C. **Desempenho e composição de carcaça de alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com diferentes níveis de proteína e de lisina durante a segunda alevinagem no sistema “raceway”**. 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Goiás, Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, A. C.; QUEIROZ, K. S.; HELBIG, E.; REIS, S. M. P. M.; CARRARO, F. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores de flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 51, n.3, p. 276-283, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; REIS, S. M. P. M.; LEITE, E. C.; VILELE, E. S. D.; PÁDUA, E. A.; TASSI, E. M. M.; CUNEO, F.; JACOBUCCHI, H. B.; PEREIRA, J.; DIAS, N. F. G. P.; GONZALEZ, N. B. B.; ZINSLY, P. F. Uso doméstico da maceração e seu efeito no valor nutritivo do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista de Nutrição de Campinas**, Campinas, v.12, n.2, p.191-195. 1999.

PASTORE, S.C.G.; GAIOTTO, J.R.; RIBEIRO, F.A.S.; NUNES, A.J.P. Boas práticas de fabricação e formulação de rações para peixes. In: FRACALLOSSI, D.M. e CYRINO, J.E.P. (Eds.). **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1ª ed. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012. cap.16, p. 295-346.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). **Feijão - Análise da Conjuntura Agropecuária**. Curitiba, 2017.

_____. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). **Feijão - Análise da Conjuntura Agropecuária**. Curitiba, 2016.

PEIXEBR. Associação Brasileira de Piscicultura. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2018**. São Paulo, 2018

PERIS-TORTAJADA, M. Measuring starch in foods. In: ELIASSON, A. C. **Starch in food: structure, functions and applications**. 1.ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.185-207.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA E. C.; BARROS, M. M; PINTO, Q. FURUYA W. M.; PEZZATO A. C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.4, p.1595-1604, 2002.

PONCIANO NETO, B. **Avaliação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) partido como ingrediente em alimentos extrusados para gatos**. 2015. 76 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Maringá, Maringá, 2015.

POND, W. G.; CHURCH, D. C.; POND, K. R. **Basic Animal Nutrition and Feeding**. 4.ed. New York: John Wiley, 1995. p.531.

PORTZ, L. Recentes avanços na determinação das exigências e digestibilidade da proteína e aminoácidos em peixes. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECHNIA, 38., 2001. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.1-542.

PROUS, A.; JUNQUEIRA, P. A.; MALTA, I. M. Arqueologia do alto médio São Francisco. Região de Januária e Montalvânia. **Revista de Arqueologia**, v.2, n.1, p.59-72, 1984.

RACKIS, J. J.; GUMBMAN, M. R. Protease inhibitors: physiological properties and nutritional significance. In: ORY, R. L. **Antinutritional and natural toxicants in foods**. 1. ed. Westport: Food & Nutrition Press, 1982, p. 203-237.

RIBEIRO, H. J. S. S.; PRUDENCIO, S. H.; MIYAGUI, D. T.; RIBEIRO, E. L. A. Caracterização de concentrado proteico de feijão comum preto, cultivar Iapar 44, novo e envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.3, p.571-580, 2009.

ROCHA, L. O. **Suínos na fase de creche alimentados com rações extrusadas com e sem flavorizantes: Desempenho e digestibilidade**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2009.

ROUBACH, R.; GOMES, L de C.; CHAGAS, E. C.; LOURENÇO, J. N. de P. Nutrição e manejo alimentar na piscicultura. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**, Brasília, v.23, n.1, p.9-14, 2002.

ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, Chicago, v.27, n.8, p.46-53, 1973.

RUIZ, J. R.; ORTÍZ, G. D.; GUERREIRO, C. L.; ANCONA, D. A. Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory and Antioxidant Peptide Fractions From Hard-To-Cook Bean Enzymatic Hydrolysates. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 37, n.1, p. 26–35, 2013.

RUIZ, A.; COSTA, M.; CISNEROS, F. Utilización de enzimas en los procesos de obtención de leche y derivados de la soya. **Alimentaria**, Madri, v. 33, n. 263, p. 127-132, 1995.

RUST, M. B. Nutritional Physiology. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish Nutrition**. 3.ed. Academic Press: San Diego, 2002. p.393-412.

SATHE, S. K. Dry bean protein functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, Philadelphia, v.22, n.2, p.175-223, 2002.

SAUER, W.; OZIMEK, L. Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications. A review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.15, n.4, p.367-388, 1986.

SCORVO FILHO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C.; SOUZA, F. R. A. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, p.112-118, 2010. Suplemento especial

SGARBIERI, V. C.; WHITAKER, J. R. Physical, chemical, and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Advances in Food Research**, San Diego, v.28, n.3, p.93-166, 1982.

SHARMA, S.; SINGH, N.; KATYAL, M.; Effect of gelatinized-retrograded and extruded starches on characteristics of cookies, muffins and noodles. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 53, n. 5, p.2482–2491, 2016.

SHIAU, S. Y. Tilapia, *Oreochromis spp.* In: WEBSTER, C. D.; LIM, C. E. **Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p.273-2924.

SIBBALD, I. R. Estimation of bioavailable amino acids in feedingstuffs for poultry and pigs: A review with emphasis on balance experiments. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.67, n.2, p.221-301, 1987.

SKLAN, D.; PRAG, T. & LUPASTCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**. New York, v.35, n.4, p.358-364, 2004.

SMITH, R. R.; PETERSON, M. C.; ALLRED, A. C. Effect of leaching on apparent digestion coefficients of feedstuffs for salmonids. **The Progressive Fish Culturist**, Washington, v.42, n.2, p.195-199, 1980.

SOUZA, O.; SANTOS, I. E. Importância dos resíduos agropecuários na alimentação animal. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**, Brasília, v.19, n.1, p.1-4, 2003.

STEIN, H. H.; SÈVE, B.; FULLER, M. F.; MOUGHAN, P. J.; DE LANGE, C. F. M. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. **Journal of Animal Science**, Oxford, v.85, n.1, p.172-180, 2007.

STONE, D. A. J.; ALLAN, G. L.; ANDERSON, A. J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). III. The protein-sparing effect of wheat starch-based carbohydrates. **Aquaculture Research**, New York, v.34, n.1, p.23-134, 2003.

STOREBAKKEN, T.; KVIEN, I. S.; SHEARER, K. D.; GRISDALE-HELLAND, B.; HELLAND, S. J.; BERGEA, G. M. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybeanmeal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo solar*): evaluation of different faecal collection methods. **Aquaculture**, Amsterdam, v.169, n.3-4, p.195-210, 1998.

SURESH, V.; BHUJEL, R. C. Tilapias. In: LUCAS, J. S.; SOUTHGATE, P. C. **Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants**. 2.ed. Hoboken: Blackwell Publishing, 2012. p.338-346.

SUASSUNA, T. M. F.; SANTOS, R. C.; GONDIM, T. M. S. Cultivo do Amendoim: Importância econômica. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2006. (Sistemas de Produção, 7). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/278148/1/DOC207.pdf> > Acesso em: 15 jul. 2018.

TACO. **Tabela brasileira de Composição de Alimentos / NEPA – UNICAMP**. 4. ed. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011. p.161.

TACON, A. G. J., HASAN, M. R.; METIAN, M. **Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564. Rome, [s.n], n.564, p.1-87 2011.

TEIXEIRA, F.A.; PIRES, A.V.; NASCIMENTO.P.V.N. Bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos (Sugarcane pulpin the feeding of bovine). **REDVET. Revista electrónica de Veterinaria**, v.8, n.6, p.1-9, 2007.

TENGJAROENKUL, B.; SMITH, B. J.; CACECI, T.; SMITH, S. A. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, Amsterdam, v.182, n.3-4, p.317-327, 2000.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* l.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p.1-6, 2008.

TUNG, P.H.; SHIAU, S.Y. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v.92, [s.n], p.343-350, 1991.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, Oxford, v.26, n.1, p.119-128, 1967.

VENOU, B.; ALEXIS, M. N.; FOUNTOULAKI, E.; NENGAS, I.; APOSTOLOPOULOU, M.; CASTRITSI-CATHARIOU, I. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. **Aquaculture**, Amsterdam, v.225, n.1-4, p.207-223, 2003.

VIDAL JUNIOR, M. V. **Técnicas de determinação de digestibilidade e determinação da digestibilidade de nutrientes de alimentos para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2000. 96 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

WALTER, M.; SILVA, L. P. D.; EMANUELLI, T.; Resistant starch: physico-chemical characteristics, physiological properties and quantification methodologies. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.974-980, 2005.

WANG, M.; LU, M. Tilapia polyculture: A global review. **Aquaculture Research**, New York, v.47, n.8, p.1-12, 2015.

WANG, L.; WHITE, P.; Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.71, n.3, p.263-268, 1994.

WILSON, R. P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v.124, n.1-4, p.67-80, 1994.

WU, X. Y.; LIU, Y. L.; TIAN, L. X.; MAI, K. S.; YANG, H. J. Utilization of different raw and pre-gelatinized starch sources by juvenile yellowfin seabream *Sparus latus*. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.13, n.6, p.389-396, 2007.

YOOK, C.; ROBYT, J. F.; Reactions of alpha amylases with starch granules in aqueous suspension giving products in solution and in a minimum amount of water giving products inside the granule. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v.337, n.12, p.1113-1117, 2002.

YOSHIOKA, E. T. O.; ALMEIDA, R. S.; GEMAQUE, S. R. F.; BRASILIENSE, A. R. P.; SILVA, R. S.; MARINHO, R. G. B. Substituição parcial da ração comercial por soja e milho cozidos e sua influência sobre o cultivo de híbridos tambatingas. **Biota Amazônia Open Journal System**, Macapá, v.5, n.1, p.61-67, 2015.

ZIMMERMANN S.; FITZSIMMONS K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, C. **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. São Paulo: TecArt. 2004. p. 239-266.

ZIMMERMANN, S. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilápias do Nilo geneticamente superiores. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v.9, n.54, p.15-21, 1999.

CAPÍTULO II

2. COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE FARINHAS DE FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) *IN NATURA* E EXTRUSADA PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*), DETERMINADOS POR DOIS MARCADORES

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido para determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), amido, lipídios, fibra bruta (FB), cinzas (CZ) e de aminoácidos (AA) essenciais e não essenciais de farinha de feijão *in natura* (FI) e feijão extrusado (FE) para juvenis de tilápia do Nilo utilizando dois marcadores de digestibilidade: óxido crômio (Cr_2O_3) ou cinza insolúvel em ácido (CIA). Foi elaborada uma dieta referência peletizada (DR) contendo 35,19% de PB e 17,78 MJ/kg de EB. As dietas testes constituíram-se de 70% da DR e 30% de FI ou FE. Grupos de 15 indivíduos ($150,16 \pm 20,32$ g) foram distribuídos em seis aquários de digestibilidade de 200 L, em um esquema fatorial 2×2 , onde foram avaliados dois métodos de processamento (FI ou FE) e dois marcadores (Cr_2O_3 ou CIA), com duas repetições, compondo o “pool” de fezes de cada dieta testada. Os maiores CDA, referentes a interação (processamento x marcador), foram encontrados para MS, EB, PB, CZ e AA essenciais como: arginina (Arg), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lys), metionina (Met), fenilalanina (Phe), treonina (Thr) e nos AA não essenciais: ácido aspártico (Asp), cisteína (Cys), ácido glutâmico (Glu), glicina (Gly), serina (Ser) e tirosina (Tyr). O CDA de amido e para os AA essenciais triptofano (Trp) e valina (Val) foi maior no FE em comparação ao FI, deferenciando dos lipídios que apresentaram melhores resultados para FI. Para FB e o AA não essencial alanina (Ala), por sua vez, não houve influência dos tratamentos dietéticos e marcadores. Independentemente do processamento a Met, His e Arg foram os AA limitantes para dietas contendo farinhas de feijão. Em conclusão, a FE apresentou-se como sendo boa fonte de energia e nutrientes, porém, os teores de Met e Cys devem ser considerados para as necessidades dietéticas de AA contendo enxofre e o marcador CIA não se mostrou sendo confiável para tilápia do Nilo.

Palavras-chave: Farinha de feijão *in natura*, Farinha de feijão extrusado, Tilápia do Nilo, Digestibilidade – marcadores, Óxido de crômio, Aminoácidos, Alimentos – organismos aquáticos

2.1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais fontes de proteína vegetal disponível em países em desenvolvimento da América Latina, África e Ásia (DELFINI et al., 2017). O Brasil é um dos principais produtores mundiais onde foram registradas 3,3 milhões de ton de feijão em 2017 (BRASIL, 2018). Sementes e coprodutos de leguminosas têm sido recomendados como alimentos alternativos e sustentáveis para serem incluídos em alimentação de organismos aquáticos em todo o mundo (NRC, 2011). A farinha de feijão comum é uma valiosa fonte nutritiva de proteína, carboidratos, aminoácidos essenciais como Lys, baixa quantidade de AA contendo enxofre (REZENDE et al., 2017). No entanto, sementes de feijão comum contêm vários compostos antinutricionais como inibidores de proteases, fitatos e taninos (KRUPA, 2008) que reduzem a digestibilidade e utilização de nutrientes pelos peixes (KROGDAHL et al., 2010) e a extrusão pode ser aplicada na tentativa de atenuar esses fatores sensível (GLENCROSS et al., 2011).

O processamento de extrusão é um processamento contínuo de alta temperatura e tempo curto aplicado pela indústria de rações para peixes (KAMARUDIN et al., 2018). Os parâmetros de qualidade física de alimentos para organismos aquáticos podem ser avaliados através de propriedades como: estabilidade na água, velocidade de afundamento, dureza e durabilidade (SØRENSEN et al., 2009; MORKEN et al., 2012; CRUZ et al., 2015). Além disso, o amido e a proteína são submetidos a altas temperaturas, pressão e força de cisalhamento que provocam alterações químicas e estruturais, como a gelatinização do amido (SAMUELSEN et al., 2013; STOREBAKKEN et al., 2015) e desnaturação da proteína, melhorando o valor nutritivo do alimento (VENOU et al., 2006; GAYLORD et al., 2009) e inativando os fatores antinutricionais (ROJAS; STEIN, 2017) tais como lectinas e inibidores de protease, que são sensíveis ao processamento em altas temperatura (SOETAN; OYEWOLE, 2009).

Através de validação de digestibilidade por marcador externo para peixes o óxido de cromo (Cr_2O_3) (FURUKAWA; TSUKAHARA, 1966; NRC, 2011), e amplamente utilizado para determinar o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de ração para tilápia do Nilo. Por outro lado, os marcadores internos que ocorrem naturalmente, se mostram fiáveis e menos dispendiosos, podem ser vantajosos no uso em condições a campo em que o Cr_2O_3 é muitas vezes dispendioso e impraticável. A cinza insolúvel em

ácido (CIA) tem sido utilizada como marcador interno confiável em peixes (ATKINSON et al., 1984; SALES; BRITZ, 2001; VANDENBERG; DE LA NOÛE, 2001; SALES; JANSSENS, 2003) e validado para tilápia Mossambica. (*Oreochromis mossambicus*) (BOWEN, 1981), tilápia Aurea (*Oreochromis aureus*) (GODDARD; MCLEAN, 2001). No entanto, o uso de CIA para o CDA de energia, proteína e disponibilidade de aminoácidos permanece com pouco documentado.

Dados legítimos sobre a digestibilidade dos nutrientes são necessários para determinar as exigências de nutricionais para elaborar formulações de rações de menor custo e assim, minimizar o impacto ambiental da produção de peixes. A CIA tem sido amplamente utilizada como marcador externo em estudos de digestibilidade em peixes ao longo dos anos (FURUKAWA; TSUKAHARA, 1966; ATKINSON et al., 1984; SALES; BRITZ, 2001; VANDENBERG; DE LA NOÛE, 2001; SALES; JANSSENS, 2003). Este marcador também foi validado para tilápias Massambica (*Oreochromis mossambicus*) e Aurea (*Oreochromis aureus*) para determinar o CDA de energia e proteína (BOWEN, 1981; GODDARD; MCLEAN, 2001). No entanto, não há menção comparando o Cr_2O_3 e a CIA avaliando CDA de aminoácidos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

A tilápia do Nilo é peixe omnívoro cultivada em muitas áreas tropicais e subtropicais, caracterizada pelo seu rápido crescimento, alta eficiência alimentar e apresentando um sabor favorável da carne. As rações empregadas no sistema de produção apresentam valores onerosos em virtude de serem ricas em proteína. E a avaliação de ingredientes alternativos e métodos de processamento para melhorar os valores nutritivos dos ingredientes é considerada como prioridade de pesquisa global.

Determinar o valor nutritivo dos alimentos se mostra de grande importante para aferir seu potencial a fim de formular dietas ambientalmente sustentáveis, bem balanceadas, baseadas em valores digestíveis de energia e nutrientes para espécies e fases específicos dos peixes. Além disso, a avaliação de marcadores internos pode ser útil para o monitoramento de campo da digestibilidade da tilápia. Assim, este trabalho teve como objetivo determinar os CDA da matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB) e aminoácidos (AA) das farinhas de feijão *in natura* (FI) e feijão extrusada (FE), utilizando Cr_2O_3 e CIA como marcadores de digestibilidade.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as avaliações e manejos envolvendo os animais foram realizados de acordo com as normas aprovadas pelo Comissão de Ética do Uso de Animal (CEUA), da Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) (Ponta Grossa, PR, Brasil) (Protocolo nº 7069-2017).

2.2.1. Obtenção das farinhas de feijão

Amostras de feijão (cultivar IPR 88 Uirapuru) coletadas na Fazenda Violas (Teixeira Soares, PR, Brasil), moídas em moinho com peneira com diâmetro de malha de 595 µm (Ciclone Star FT - 51; Fortinox, Piracicaba, SP, Brasil) e foram secos em estufa de circulação forçada a ar em 55°C por 24 horas (MA35; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), ambos equipamentos disponíveis nos laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Centro de Tecnologia Agroalimentar (CTA) / UEPG, campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil) e armazenado em freezer a 5°C em até realização das análises laboratoriais e uso no ensaio de digestibilidade no laboratório de Fauna Silvestre e Aquicultura - Departamento de Zootecnia/ Universidade Estadual de Ponta Grossa (Ponta Grossa, PR, Brasil).

O feijão foi extrusado utilizando um equipamento de parafuso único autônomo em escala de laboratório com uma vazão de 5 kg/ h (Exteec, Ribeirão Preto SP, Brasil), após o processo os extrusados foram secos em estufa de circulação forçada a ar em 55°C por 24 hora (MA35; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), até atingirem umidade de 7%, equipamentos lotados no laboratório de Nutrição e Saúde de Organismos Aquáticos (AquaNutri) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FMVZ/ UNESP), campus de Botucatu (Botucatu, SP, Brasil), após o extrusados foram moídos em moinho com peneira com diâmetro de malha de 595 µm (Ciclone Star FT - 51; Fortinox, Piracicaba, SP, Brasil) nos laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - CTA / UEPG, campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil) e armazenado a 5°C até análises laboratoriais e uso no ensaio de digestibilidade no laboratório de Fauna Silvestre e Aquicultura - Departamento de Zootecnia/ UEPG campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil).

a) Descrição do mecanismo de extrusão

A extrusora tinha um comprimento de cano e um diâmetro de cano de 420 mm e 19 mm, respectivamente, com uma relação comprimento / diâmetro de 22: 1. Um parafuso de passo uniforme com uma razão entre comprimento e diâmetro de 25 foi usado durante o processamento. O torque máximo do parafuso foi de 150 Nm e a taxa de compressão alcançada dentro do barril foi de 3: 1. A zona do tambor foi aquecido eletricamente com camisa de aquecimento / resfriamento. O perfil de temperatura do barril foi ajustado em 80-100-120°C enquanto a temperatura do molde foi ajustada em 130°C. A extrusora foi operada com um alimentador predefinido, parafuso e velocidades de corte de 6 lâminas de 40, 120 e 300 rpm, respectivamente. O molde tinha um diâmetro de 3 mm e pressão de 8,0-10,0 MPa.

2.2.2. Dietas experimentais

A dieta referência (DR) foi baseada contendo, farinha de milho, farelo de soja e farinha de peixe contendo 35,19% de proteína bruta (PB) e 17,78 MJ / kg de energia bruta (EB), sendo formulada para atender as exigências dietéticas para tilápia do Nilo (NRC, 2011) demonstrada na Tabela 2.

Duas dietas testes foram elaborados sendo compostas por 70% da dieta referência (DR) e 30% das farinhas feijão *in natura* (FI) ou feijão extrusado (FE). Os demais ingredientes foram finamente moídos em moinho com peneira com diâmetro de malha de 595 µm (Ciclone Star FT - 51; Fortinox, Piracicaba, SP, Brasil) nos laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Centro de Tecnologia Agroalimentar / Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil) e misturados em um misturador automático “V” (MA200 Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), disponível no laboratório de Nutrição Animal - Departamento de Zootecnia/ Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil).

Para confecção das dietas ocorreu um acréscimo de 25% de água em relação ao peso total e granulada à frio, através de moedor de carne (22 STB; CAF, Rio Claro, SP, Brasil) para obter 3 mm de diâmetro, e secas em estufa de circulação forçada a ar a 55°C (MA35; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), ambos os equipamentos disponíveis no

laboratório de Nutrição Animal - Departamento de Zootecnia/ UEPG campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil).

Tabela 2. Ingredientes e composição analisada da dieta de referência (DR) [% com base em matéria seca (MS)]

Ingredientes	%
Farelo de soja	41,00
Farinha de milho	40,30
Farinha de peixe 63	12,00
Fosfato bicálcico	2,50
Óleo de soja	3,00
Cloreto de colina	0,10
Sal	0,50
Suplemento mineral e vitamínico ¹	0,50
Óxido de crômio (Cr ₂ O ₃)	0,10

¹Composição (UI ou mg / kg de vitamina e mistura mineral): Vitamina A (Palmitato de retina) 1 200 000 UI; Vitamina B₁ (Tiamina) 4 800 mg; Vitamina B₂ (Riboflavina) 4 800 mg; Vitamina B₃ (Niacina) 24 000 mg; Vitamina B₅ (Pantotenato de cálcio, 12 000 mg; Vitamina B₆ (Piridoxina), 4 000 mg; Vitamina B₉ (Ácido fólico) 1 200 mg; Vitamina B₇ (D-biotina) 48 mg; Vitamina B₁₂ (Cianocobalamina) 4 800 mg; Cloreto de colina 5 000 mg; Vitamina C (Ácido ascórbico) 48 000 mg; Vitamina D₃ (Colecalciferol) 200 000 UI; Vitamina E (DL- α -tocoferol) 12 000 mg; Vitamina K₃ (Menadiona) 2 400 mg; Selenito de sódio (Na₂SeO₃) 20 mg; Sulfato de cobalto (II) (CoSO₄.7H₂O) 2 mg; Sulfato de cobre (II) (CuSO₄.5H₂O) 600 mg; Sulfato ferro (II) (FeSO₄.7H₂O) 10 000 mg; Sulfato manganês (MnSO₄.H₂O) 4 000 mg; Sulfato de zinco (ZnSO₄.7H₂O) 6 000 mg; hidroxitolueno butilado (BHT) 15 mg; hidroxianisole butilado (BHA) 15 mg.

A composição bromatológica das dietas de referência e testes são apresentados na Tabela 3 e o perfil dos aminoácidos (AA) das dietas de referência e testes são apresentados na Tabela 4.

2.2.3. Peixes, condições, manejo experimental e coleta de amostras

O ensaio de digestibilidade ocorreu de acordo com a metodologia de “Geuph” (CHO; WATANABE, 1985) modificada por Guimarães et al., (2009), tendo sido realizado no laboratório de Fauna Silvestre e Aquicultura - Departamento de Zootecnia / UEPG (Ponta Grossa, PR, Brasil). Um total de 90 (noventa) indivíduos tilápias do Nilo (peso corporal inicial 150,16 $\pm$ 20,32 g), oriundos da Piscicultura Aquabel (Rolândia, PR, Brasil) foram utilizados, tendo distribuição de forma aleatoria em seis de aquários cônicos

de fibra de vidro de capacidade de 200 litros, utilizando 15 peixes em cada unidade experimental.

Tabela 3. Composição bromatológica das dietas referência (DR) e com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) [% com base em matéria seca (MS)]

Parâmetros	DR	FI	FE
Matéria seca (MS)	91,20	90,49	95,44
Energia bruta, MJ/kg (EB)	17,78	16,35	17,17
Proteína bruta (PB)	35,19	23,32	22,70
Lipídios	5,04	2,09	2,42
Fibra Bruta (FB)	2,93	4,14	4,29
Amido	29,91	37,22	39,89
Cinzas (CZ)	8,32	57,22	59,89
<i>Fatores antinutricionais</i>			
Inibidores de Tripsina mg/ g	0,30	10,00	1,30
Ácido Fítico g/ kg	0,60	13,30	13,10
Tanino g/ kg	0,10	13,40	3,80

Contendo um fotoperíodo constante de 12 horas (h) de luz/ escuridão, os parâmetros de qualidade da água foram monitorados diariamente e os valores (média $\pm$ DP) foram: temperatura da água de $27,3 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, amônia total de $0,01 \pm 0,001 \text{ mg / L}$ e pH de $7,1 \pm 0,1$. O oxigênio dissolvido foi mantido ($6,2 \pm 0,2 \text{ mg / L}$) durante todo o período experimental, com sopradores e difusores.

Antes do início do ensaio os peixes foram aclimatados durante três semanas às condições de manejo, alimentação e temperatura do laboratório. Os peixes foram alimentados manualmente até a saciedade aparente, com dieta extrusada comercial (Alisul Alimentos, Maringá, PR, Brasil) contendo 320 g / kg de PB, das 8h às 17h30min. Após esse período de adequação os peixes passaram um período de ajustes de sete dias as dietas testes, durante esse período não foi realizado coleta fecal dos aquários. O experimento de digestibilidade teve duração de 15 dias, ocorrendo a coleta fecal durante esse período, seguindo a metodologia e os mesmos padrões de fotoperíodo e parâmetros de qualidade da água descrita anteriormente.

As amostras de fezes coletadas foram armazenadas em frascos identificados e acondicionadas em freezer a -21°C até o final do ensaio, após as amostras foram

desidratadas em estufa de circulação forçada a ar em 55°C por 48 h (MA35; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) moídas com auxílio de gral e pistilo, peneiradas, pesadas em balança analítica (AUW 220; Shimadzu, Kyoto, Japão) em seguida armazenadas em frascos identificados até análises laboratoriais, equipamentos disponível no laboratório de Nutrição Animal - Departamento de Zootecnia/ UEPG campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil).

Tabela 4. Perfil de aminoácidos das dietas referência (DR) e com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) [% com base em matéria seca (MS)]

Parâmetros	DR	FI	FE
<i>Aminoácidos essenciais</i>			
Arginina (Arg)	2,28	1,24	1,26
Histidina (His)	0,81	0,52	0,58
Isoleucina (Ile)	1,37	0,90	1,00
Leucina (Leu)	2,65	1,59	1,78
Lisina (Lys)	1,96	2,27	2,32
Metionina (Met)	0,74	0,21	0,25
Fenilalanina (Phe)	1,50	1,16	1,25
Treonina (Thr)	1,35	0,88	0,97
Triptofano (Trp)	0,35	0,28	0,29
Valina (Val)	1,58	1,15	1,16
<i>Aminoácidos não essenciais</i>			
Alanina (Ala)	2,07	0,93	0,99
Ac. Aspártico (Aps)	3,32	2,26	2,57
Cisteína (Cys)	0,38	0,17	0,17
Ac. Glutâmico (Glu)	5,56	2,30	3,20
Glicina (Gly)	2,41	0,78	0,84
Serina (Ser)	1,73	1,30	1,40
Tirosina (Tyr)	0,70	0,55	0,65

2.2.4. Análises químicas

As análises de composição das dietas, fezes realizadas no laboratório de Nutrição Animal - Departamento de Zootecnia/ UEPG campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil). Os métodos empregados foram aqueles padronizados da AOAC (1995); a

umidade foi determinada por secagem em estufa a 105°C (MA033/1; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) até peso constante; os lipídios foram determinados pela extração com éter (TE-044; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) (MA044/850; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil); o teor de cinzas (CZ) foi obtido em mufla a 600°C por 5h (1100-1p, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil).

As análises de fibra bruta (FB) seguiram métodos padronizados AOAC (1995), através do equipamento (MA 444/CI; Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), enquanto a concentração de amido foi determinada com emprego do kit MEGAZYME (Megazyme, Wicklow, Irlanda) de acordo com método AOAC 996.11, em concordância com a metodologia descrita por Englyst et al. (1992) e foram realizadas nos laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – CTA / UEPG, campus de Uvaranas (Ponta Grossa, PR, Brasil).

A energia bruta (EB) foi determinada usando um calorímetro de bomba adiabática (Parr 6200; Parr Instrument, Moline, IL, EUA), de acordo com metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). As concentrações de óxido crômico (Cr_2O_3) dietético e fecal foram determinadas por espectrofotômetro de emissão atômica (ICPE-9800; Shimadzu, Kyoto, Japão) com plasma indutivamente acoplado após digestão com ácido perclórico, utilizando a técnica modificada (FURUKAWA; TSUKAHARA, 1966). O marcador cinzas insolúvel em ácido (CIA) foi analisado através metodologia descrita por Sales e Janssens (2003). As análises foram realizadas no laboratório de bromatologia da FMVZ/UNESP, campus de Botucatu (Botucatu, SP, Brasil).

As análises de proteína bruta (PB) e aminoácidos (AA) foram realizadas nos laboratórios da Ajinomoto Indústria e Comércio de Alimentos Ltda., Divisão de Nutrição Animal, em São Paulo, SP, Brasil. A proteína bruta (PB) das dietas, fezes foi determinada de acordo com os métodos padronizados AOAC (1995) e aminoácidos (AA) por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) (L-8800; Hitachi, Tóquio, Japão), após digestão perclórica. O triptofano foi determinado após hidrólise alcalina da amostra com hidróxido de lítio.

Os fatores antinutricionais como inibidores de tripsina, ácido fítico e tanino, foram realizados no Laboratório Global de Meio Ambiente e Segurança Alimentar (GENCS) da BASF SE, em Ludwigshafen am Rhein, RP, Alemanha.

2.2.5. Cálculos

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos parâmetros analisados como matéria seca (MS), energia bruta (EB), amido, lipídios, fibra bruta (FB), cinzas (CZ) e aminoácidos (AA) foi calculado conforme descrito por Maynard e Loosli (1969), pela seguinte equação:

Equação 1. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA)

$$CDA (\%) = \left(100 - 100 \times \frac{(\%Cr_2O_{3parâmetro})}{(\%Cr_2O_{3fezes})} \right)$$

onde $(\%Cr_2O_{3parâmetro})$ é a porcentagem da concentração de óxido de crômio (Cr_2O_3) no parâmetro analisado; $(\%Cr_2O_{3fezes})$ a porcentagem da concentração de óxido de crômio (Cr_2O_3) nas fezes.

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos aminoácidos (AA) das dietas contendo farinhas de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE) foram calculados de acordo com Forster (1999) pela equação:

Equação 2. Coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente

$$CDA_{ingrediente} = \left[((a + b) \times ADC_{teste}) - (a \times ADC_{referência}) \right] / b$$

onde a é a contribuição de aminoácidos da dieta de referência (DR) para o conteúdo de aminoácidos da dieta teste o nível de nutriente nas dietas de referência (DR) multiplicado por $[(100-i)]$; b é a contribuição de aminoácidos do ingrediente de teste (FI ou FE) para o conteúdo de aminoácidos da dieta combinada no ingrediente teste em dietas teste (%); i é o nível do ingrediente teste na dieta teste (%); e $(a + b)$ representa o nível de aminoácidos na dieta teste (%).

A pontuação química foi calculada de acordo com a metodologia modificada por Block e Mitchell (1946) dividindo o conteúdo de aminoácidos essenciais da proteína testada (FI ou FE), entre o conteúdo de aminoácidos correspondente na proteína de referência, usando o aminoácido composição da exigência dietética para tilápia do Nilo como proteína de referência. Pontuação química inferior a 100 indica o aminoácido limitante da fonte de proteína. O menor valor de pontuação foi considerado o primeiro aminoácido limitante na fonte protéica.

2.2.6. Projeto experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado na distribuição dos peixes foi o DIC (delineamento inteiramente casualizado), composto por duas repetições por tratamento, em um esquema fatorial 2 x 2, sendo os fatores o método de processamento (*in natura* e extrusado) e dois marcadores de digestibilidade (Cr_2O_3 ou CIA). Todos os dados são apresentados como valores médios $\pm$ erro padrão da média (SEM) e submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA) e testes de comparação de médias de Tukey ($P < 0,05$) utilizando o pacote estatístico SPSS (Versão 13.0; SPSS Inc., Chicago, IL, EUA) para Windows.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Coeficientes de digestibilidade aparentes de matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), amido, lipídios, fibra bruta (FB) e cinzas (CZ)

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) das dietas com farinha de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade ((óxido de crômio (Cr_2O_3) e cinza insolúvel em ácido (CIA)) para matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), amido, lipídios, fibra bruta (FB) e cinzas (CZ) são mostrados na tabela 5. Foram observadas interações significativas entre processamento e o marcador para MS ($P = 0,0027$), EB ($P = 0,0017$), PB ($P = 0,0002$), CZ ($P = 0,0039$). Porém não houve interações singinificativas para lipídios ($P = 0,3998$) e FB ($P = 0,8889$).

Os resultados de CDA observados para processamento, demonstraram que a extrusão apresentou melhores resultados para MS ($P = 0,009$), EB ($P = 0,0006$), PB ($P < 0,0001$), amido ($P = 0,0043$), lipídios (0,0182), CZ (0,0010) em relação aos valores observados para dietas contendo na farinha de feijão *in natura*. O marcador Cr_2O_3 por sua vez, demonstrou resultados relevantes para MS ($P < 0,0010$), EB ($P = 0,001$), amido ($P < 0,0001$) e lipídios ($P = 0,0004$). E o marcador CIA demonstrou melhores resultados analisando o CDA para PB ($P = 0,0048$).

O CDA de FB não foi influenciada por tratamentos dietéticos (farinhas de feijão *in natura* e extrusada) e valores negativos foram observados, apresentando interações elevadas para ($P = 0,8889$), processamento ($P = 0,7690$) e marcador ($P = 0,2189$). O

processo de extrusão aumentou CDA de amido ($P = 0,0043$) e apresentou valor menor o valor menor ($P < 0,0001$) para CDA quando CIA foi usado como marcador.

2.3.2. Coeficientes de disponibilidade aparente de aminoácidos essenciais e não essenciais

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de aminoácidos (AA) essenciais das dietas com farinha de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade [(óxido de cromo (Cr_2O_3) e cinza insolúvel em ácido (CIA)] são mostrados na tabela 6. Houve interações significativas entre processamento e o marcador para AA essenciais como arginina (Arg) ($P = 0,0026$), histidina (His) ($P < 0,0001$), isoleucina (Ile) ($P = 0,0060$), leucina (Leu) ($P = 0,0094$), lisina (Lys) ($P = 0,0021$), metionina (Met) ($P < 0,0001$), fenilalanina (Phe) ($P = 0,0027$) e treonina (Thr) ($P < 0,0001$), não havendo interação para os aminoácidos triptofano (Trp) ($P = 0,0833$) e valina (Val) ($P = 0,8482$).

Em relação ao processamento, a extrusão apresentou maiores resultados do CDA para todos os AA essenciais como Arg ($P = 0,0022$), His ($P < 0,0001$), Ile ($P = 0,0001$), Leu ($P = 0,0002$), Lys ($P < 0,0001$), Met ($P < 0,0001$), Phe ($P < 0,0001$), Thr ($P < 0,0001$), Trp ($P = 0,0003$) e Val ($P = 0,0011$). O marcador CIA apresentou melhores resultados de CDA para os AA essenciais Arg ($P = 0,041$), His ($P = 0,0002$), Ile ($P = 0,0114$), Leu ($P = 0,0178$), Lys ($P = 0,0044$), Met ($P < 0,0001$), Phe ($P = 0,0062$). Para Thr ($P < 0,0001$) o marcador que obteve melhor resultado foi Cr_2O_3 e para Trp ($P = 0,0368$) e Val ($P = 0,2538$), não houve resultados satisfatórios em relação ao marcador.

Na tabela 7 são mostrados os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de AA não essenciais das dietas com farinha de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade [(óxido de cromo (Cr_2O_3) e cinza insolúvel em ácido (CIA)]. Observou-se que houve interações significativas para os seguintes AA: ácido aspártico (Asp) ($P = 0,0052$), cisteína (Cys) ($P = 0,0049$), ácido glutâmico (Glu) ($P = 0,0068$), glicina (Gly) ($P = 0,0032$), serina (Ser) ($P = 0,0436$) e tirosina (Tyr) ($P < 0,0001$), não apresentando interação para alanina (Ala) ($P = 0,8701$).

O processamento não afetou o CDA para Ala ($P = 0,5282$), porém os demais aminoácidos não essenciais mostraram resultados satisfatórios. Em relação ao marcador, o Cr_2O_3 apresentou melhores resultados de CDA para Ala ($P = 0,0016$) e Cys ($P = 0,0115$)

e o marcador CIA para Asp ($P < 0,0001$), Glu ($P = 0,0116$), Gly ($P = 0,0048$) e Tyr ($P < 0,0001$); para Ser ($P = 0,0773$), por outro lado, o marcador não afetou o CDA.

2.3.3. Perfil essencial de aminoácidos de farinha de feijão

O perfil de aminoácidos essenciais em dietas com farinha de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE), bem como as exigências dietética de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) são demonstrados na tabela 8. Os aminoácidos metionina (Met) (FI: 0,90; FE: 1,10), histidina (His) (FI: 2,23; FE: 2,56), arginina (Arg) (FI: 5,32; FE: 5,55) e fenilalanina (Phe) (FI: 1,63; FE: 1,85) foram os primeiros, segundo, terceiro e quarto aminoácidos limitantes para tilápia do Nilo.

Além disso, a treonina (Thr) (FI: 4,97; FE: 5,51) e valina (Val) (FI: 3,77; FE: 4,27) apareceram limites marginais à exigência dietética para tilápia do Nilo. Até o presente estudo, farinhas de feijão têm sido boas fontes de isoleucina (Ile) (FI: 3,86; FE: 4,41), leucina (Leu) (FI: 6,82; FE: 7,84), lisina (Lys) (FI: 9,73; FE: 10,22) e (Trp) triptofano (FI: 7,33; FE: 9,21).

Tabela 5. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) das dietas com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade [óxido de cromo (Cr_2O_3) e cinza insolúvel em ácido (CIA)]¹

Itens		Parâmetros ²						
		MS, %	EB, kcal/kg	PB %	Amido, %	Lipídio, %	FB, %	CZ, %
Proc. ³	FI	59,72	70,26	81,71	84,13	89,32	-99,16	29,03
	FE	61,90	71,99	84,01	85,21	88,61	-103,75	35,77
Marcador ⁴	Cr_2O_3	63,43	72,64	82,64	87,68	90,26	-90,40	33,15
	CIA	58,18	69,61	83,08	81,67	87,67	-112,52	31,65
SEM ⁵		0,05	0,03	0,01	0,04	0,04	407,33	0,55
<i>P-valor</i>								
Processamento		0,0009	0,0006	<0,0001	0,0043	0,0182	0,7690	0,0010
Marcador		<0,0001	0,0001	0,0048	<0,0001	0,0004	0,2189	0,0647
Proc. x marcador		0,0027	0,0017	0,0002	0,7205	0,3998	0,8889	0,0039

¹Os dados obtidos através de dois aquários de digestibilidade, contendo 15 tilápias do Nilo machos com peso corporal inicial $150,16 \pm 20,32$ g;

²MS: matéria seca, EB: energia bruta, PB: proteína bruta, FB: fibra bruta, CZ: cinzas;

³Proc.: Processamento, FI: farinha de feijão *in natura*, FE: farinha de feijão extrusada;

⁴ Cr_2O_3 : óxido crômico, CIA: cinza insolúvel em ácido;

⁵SEM: erro padrão da média.

Tabela 6. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de aminoácidos essenciais das dietas com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade [óxido de crômio (Cr₂O₃) e cinza insolúvel em ácido (CIA)]¹

Itens		Parâmetros ²									
		Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
Proc. ³	FI	77,62	56,06	49,77	56,16	53,82	66,54	45,99	40,29	50,77	57,68
	FE	82,73	71,20	78,17	80,41	80,40	75,36	84,88	67,82	85,76	73,21
Marcador ⁴	Cr ₂ O ₃	78,11	60,37	60,89	65,67	64,54	68,58	62,84	68,33	65,07	66,33
	CIA	82,24	66,90	67,04	70,90	69,68	73,31	68,03	39,77	71,45	64,56
SEM ⁵		0,53	0,14	2,44	2,43	0,86	0,05	1,13	0,28	6,29	3,17
<i>P-valor</i>											
Processamento		0,0022	<0,0001	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0011
Marcador		0,0041	0,0002	0,0114	0,0178	0,0044	<0,0001	0,0062	<0,0001	0,0368	0,2538
Proc. x marcador		0,0026	<0,0001	0,0060	0,0094	0,0021	<0,0001	0,0027	<0,0001	0,0833	0,8482

¹Os dados obtidos através de 2 aquários de digestibilidade, contendo 15 tilápias do Nilo machos com peso corporal inicial 150,16 ± 20,32 g;

²Arg: argenina, His: histidina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Lys: lisina, Met: metionina, Phe: fenilalanina, Thr: treonina, Trp: triptofano, Val: valina;

³Proc.: Processamento, FI: farinha de feijão *in natura*, FE: farinha de feijão extrusada;

⁴Cr₂O₃: óxido crômico, CIA: cinza insolúvel em ácido;

⁵SEM: erro padrão da média.

Tabela 7. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de aminoácidos não essenciais das dietas com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) avaliadas por dois marcadores de digestibilidade [óxido de cromo (Cr_2O_3) e cinza insolúvel em ácido (CIA)]¹

Item		Parâmetros ²						
		Ala	Asp	Cys	Glu	Gly	Ser	Tyr
Proc. ³	FI	48,28	46,44	50,40	63,11	40,77	43,64	50,27
	FE	50,97	81,23	57,92	81,31	53,16	75,53	86,45
Marcador ⁴	Cr_2O_3	70,53	61,34	70,15	70,08	41,20	56,31	65,07
	CIA	28,71	66,32	38,17	74,34	52,73	62,86	71,45
SEM ⁵		28,55	0,03	1,59	1,18	4,66	12,27	0,02
<i>P-valor</i>								
Processamento		0,5282	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0039	0,0010	<0,0001
Marcador		0,0016	<0,0001	0,0115	0,0116	0,0048	0,0773	<0,0001
Proc. x marcador		0,8701	0,0052	0,0049	0,0068	0,0032	0,0436	<0,0001

¹Os dados obtidos através de 2 aquários de digestibilidade, contendo 15 tilápias do Nilo machos com peso corporal inicial $150,16 \pm 20,32$ g;

²Ala: alanina, Asp: ácido aspártico, Cys: Cisteína, Glu: ácido glutâmico, Gly: glicina, Ser: serina, Tyr: tirosina;

³Proc.: Processamento, FI: farinha de feijão *in natura*, FE: farinha de feijão extrusada;

⁴ Cr_2O_3 : óxido crômico, CIA: cinza insolúvel em ácido;

⁵SEM: erro padrão da média.

Tabela 8. Perfil de aminoácidos [% da proteína bruta (PB)] em dietas com farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrusada (FE) de acordo com a exigência dietética de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e índice de aminoácidos essenciais

Aminoácidos	Perfil de aminoácidos (% proteína bruta)			Pontuação química ¹	
	FI	FE	Requerimento ²	FI	FE
Arginina (Arg)	5,32	5,55	6,24 ^a	85,18	88,95
Histidina (His)	2,23	2,56	3,09 ^b	72,14	82,69
Isoleucina (Ile)	3,86	4,41	3,11 ^c	12,05	141,65
Leucina (Leu)	6,82	7,84	4,31 ^d	158,14	181,94
Lisina (Lys)	9,73	10,22	5,80 ^e	167,77	176,21
Metionina (Met)	0,90	1,10	2,94 ^f	30,62	37,46
Fenilalanina (Phe)	1,63	1,85	3,21 ^c	154,91	171,55
Treonina (Thr)	4,97	5,51	3,99 ^g	94,54	107,10
Triptofano (Trp)	7,33	9,21	1,04 ^h	115,41	122,84
Valina (Val)	3,77	4,27	4,53 ⁱ	108,82	112,81

¹Pontuação química: 100 x (aminoácido essencial em dietas contendo farinhas de feijão *in natura* (FI) ou extrudada (FE) / correspondente aminoácido essencial na necessidade dietética de tilápia do Nilo).

²Exigências dietéticas de aminoácidos da tilápia do Nilo: ^a(YUE et al., 2015), ^b(MICHELATO et al., 2017), ^c(SANTIAGO; LOVELL, 1988), ^d(GAN et al., 2016), ^e(MICHELATO et al., 2016b), ^f(HE et al., 2017), ^g(MICHELATO et al., 2016a), ^h(ZAMINHAN et al., 2017), ⁱ(XIAO et al., 2018).

2.4. DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, não foram observados efeitos negativos da substituição das farinhas (*in natura* e/ou extrusada) em 30% da dieta de referência. Os dados composicionais mostraram que as farinhas de feijão *in natura* (FI) e extrusada (FE) se apresentaram como boas fontes de proteína (média 23,0 %) e amido (média 38,6 %) concordando com os valores relatados por Espinosa - Páez et al. (2017) para proteína bruta, aminoácidos, lipídios, fibra bruta, cinza, amido (WOJEICCHOWSKI et al., 2018). Em relação a energia bruta, está de acordo com Ejigui et al. (2005).

As farinhas de feijão avaliadas neste estudo mostraram-se rica em proteínas, contendo alto teor de lisina (média de 2,30%) e baixo de metionina (0,23%), em concordância com o descrito por Rezende et al. (2017). As informações sobre o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de farinhas de feijão para tilápia do Nilo são escassas e o impacto causado pelo

processo de extrusão nas avaliações do coeficiente de digestibilidade não são bem compreendidos.

Neste estudo, a extrusão melhorou o valor nutritivo, devido aos tratamento térmico, pressão (KAMARUDIN et al., 2018) e forças de cisalhamento (SAMUELSEN; MJØS; OTERHALS, 2013; STOREBAKKEN et al., 2015), decorrentes da extrusão, apresentando assim, efeitos benéficos similares ao encontrados na literatura referente o valor nutricional de muitos cereais (GAYLORD et al., 2008) e leguminosas (VENOU et al., 2006; SANTIS et al., 2016) comumente utilizados para formular as rações aquáticas.

No presente estudo, o conteúdo de energia bruta (EB) de amostras de FI (16,35 MJ / kg) e FE (17,17 MJ / kg) está de acordo com os relatados anteriormente por Ejigui et al. (2005) que foi de 17,34 MJ / kg. Devido o procedimento de extrusão aplicado na farinha de feijão, mostrou aumentou do CDA para energia bruta em 2,46% passando de 70,26% (FI) para 71,99% (FE). O coeficiente de digestibilidade obtido para FE foi menor em comparação com valores descrito para farelo de soja 84,5% (SKLAN et al., 2004), porém, foi próximo aos encontrados para ervilhaca (*Vicia sativa* L.) 73% (MAINA et al., 2002), utilizadas em dietas deitas para tilápia do Nilo.

A extrusão é o processamento mais eficaz para melhorar a digestibilidade do amido em relação ao observado em leguminosas não tratadas. Durante a extrusão, ocorre a gelatinização do amido, melhorando o valor nutritivo dos alimentos (GAYLORD et al., 2009), havendo publicações relatando tal efeito, ocorrendo também, a expansão e o aumento da susceptibilidade dos grânulos de amido à ação enzimática (GLENCROSS et al., 2011) e consequentemente elevando a energia digestível em produtos utilizados na alimentação de peixes (STOREBAKKEN et al., 2015). Neste estudo, foi confirmado o aumento da gelatinização do amido pelo CDA em relação ao observado na dieta contendo farinha de feijão *in natura*. O processamento via extrusão também afeta os parâmetros de qualidade física das dietas para organismos aquáticos, podendo ser avaliado por propriedades como estabilidade em água, densidade, dureza e durabilidade (SØRENSEN et al., 2009; MORKEN et al., 2012; CRUZ; KAMARUDIN; SAADA, 2015).

Além disso, a extrusão inativa os fatores antinutricionais termo sensíveis, como os inibidores de protease (SOETAN; OYEWOLE, 2009). Observou-se maior concentração de inibidores de tripsina e taninos na farinha de feijão *in natura* e o processamento térmico

aplicado colaborou na redução de inibidores de tripsina termo sensíveis. Como esperado o tanino, também foi afetado em concordância com os relatados anteriormente (ROJAS; STEIN, 2017). O alto conteúdo de inibidores de tripsina é o principal fator que explica a baixa disponibilidade de proteínas e aminoácidos em muitas leguminosas (AL-MARZOOQUI; WISEMAN, 2009). No entanto, no presente trabalho, a menor CDA também pode ser atribuída a teores mais elevados de taninos termoestáveis, uma vez que os teores de taninos permaneceram mais elevados no FE e o CDA afetou negativamente os valores nutritivos de todos os aminoácidos. O efeito do processamento de extrusão no CDA dos aminoácidos do feijão não é compreendido para as tilápias e não encontrando informação comparativa. Os taninos são um dos fatores antinutricionais mais importantes nas leguminosas que afetam o CDA de proteína e dos aminoácidos para peixes (KROGDAHL et al., 2010).

No presente estudo, os CDAs de proteína bruta (PB) e aminoácidos (AA) foram afetados pelo processo de extrusão aumentando seus valores. Esse efeito positivo no coeficiente de digestibilidade dos aminoácidos foi confirmado em publicação anterior com frangos de corte utilizando feijão (HEJDYSZ; KACZMAREK; RUTKOWSKI, 2016), mas não está documentada para a tilápia do Nilo. O cozimento por extrusão apresentou efeito benéfico na CDA dos aminoácidos, com exceção da cisteína, o qual é considerado um aminoácido termolábil (MOUGHAN, 2003). Até o momento, o coeficiente de digestibilidade de todos os aminoácidos da FE foi menor do que o relatado no farelo de soja (GUIMARÃES et al., 2008).

Nos últimos anos, muita melhora foi alcançada e a exigência de AA na dieta das tilápias foi atualizada. Neste estudo, baseado no escore químico, FI e FE apareceram como boas fontes de aminoácidos para a tilápia do Nilo. No entanto, a metionina e a histidina apareceram como AA limitantes e devem ser consideradas durante a formulação. A metionina também é considerada o primeiro aminoácido limitante no farelo de soja e coprodutos para muitas espécies de peixes (GATLIN III et al., 2007) e deve ser suplementada em dietas contendo leguminosas como fonte de proteína principal (NRC, 2011). Além disso, a cisteína deve ser considerada também, devido apresentar um menor CDA encontrado neste estudo em comparação aos outros aminoácidos sulfurados.

Com base nos resultados apresentados, a cinza insolúvel em ácido (CIA) se apresentou como um marcador ineficaz para uso no estudo de digestibilidade da tilápia e a influência do tipo de marcador seguiu tendências estatisticamente diferentes para MS, EB e demais nutrientes avaliados. As exceções foram, CZ e AA como valina e serina, esses resultados foram

inconsistentes com os achados anteriores em truta arco-íris (Atkinson et al., 1984; Vandenberg e De La Noüe, 2001), abalone sul-africano (SALES; BRITZ, 2001) e tilápias (BOWEN, 1981; GODDARD; MCLEAN, 2001) onde a CIA foi descrita como marcador confiável.

No presente estudo, os coeficientes de digestibilidade da MS, EB, PB, amido, lipídios, FB, CZ foram maiores que os observados com óxido crômico (Cr_2O_3). Por outro lado, com exceção dos AA essenciais, treonina e valina que foram menores. Já para o CDA de aminoácidos não essenciais foi inconsistentemente mais alto para alanina, cisteína e menor para ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, serina e tirosina, comparado aos observados quando o Cr_2O_3 foi usado. Em suma, FE pode ser uma fonte alternativa de energia e proteína para a tilápia do Nilo, mas os baixos teores de metionina devem ser considerados. A extrusão pode ser a maneira mais eficaz e prática de otimizar o valor nutritivo da farinha de feijão, expandindo a utilização de produtos vegetais locais nas rações de tilápia do Nilo.

2.5. CONCLUSÃO

Em conclusão, o processo de extrusão melhora o valor nutritivo da farinha de feijão como fonte alternativa promissora e sustentável de energia e proteína para elaborar dietas equilibradas, de baixo custo e baixo impacto ambiental para a produção de tilápia. O marcador cinza insolúvel em ácido não se apresentou confiável para determinar o coeficiente de digestibilidade para tilápia do Nilo (*Oreochomis niloticus*).

2.6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - (CAPES), Brasília, DF, Brasil - Código de Financiamento 001. E o apoiado nas análises pela Ajinomoto Nutrição Animal - Divisão de Nutrição Animal, em São Paulo, SP, Brasil, BASF SE – Laboratórios global de meio ambiente e segurança alimentar (GENCS) em Ludwigshafen am Rhein, RP, Alemanha e ao professor Luiz Edivaldo Pezzato da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FMVZ/ UNESP), campus de Botucatu (Botucatu, SP, Brasil). E a Cagill® Industria Multinacional - Unidade Soja, em Ponta Grossa, PR, Brasil e Fazenda Violas, em Teixeira Soares, PR, Brasil, pelo fornecimento das matérias primas utilizadas.

2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MARZOOQUI, W.; WISEMAN, J. Animal Feed Science and Technology Effect of extrusion under controlled temperature and moisture conditions on ileal apparent amino acid and starch digestibility in peas determined with young broilers. **Animal Eye Research**, v. 153, p. 113–130, 2009.
- ALONSO, R.; RUBIO, L. A.; MUZQUIZ, M.; MARZO, F. The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. **Animal Feed Science and Technology**, v. 94, 2001.
- AOAC. (Association of official analytical chemists) **Official Methods of Analysis of AOAC international**. 16th. ed. Arlington, USA: AOAC international, 1995.
- ATKINSON, J. L.; HILTON, J. W.; SLINGER, S. J. Evaluation of Acid-Insoluble Ash as an Indicator of Feed Digestibility in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 41, p. 1384–1386, 1984.
- BLOCK, R. J.; MITCHELL, H. H. The Correlation of the Amino Acid Composition of Proteins with Their Nutritive Value. **Nutrition Abstracts & Reviews**, v. 16, p. 249–278, 1946.
- BOWEN, S. H. Digestion and assimilation of periphytic detrital aggregate by *Tilapia mossambica*. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 110, p. 239–245, 1981.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - **Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Estatística da Produção Agrícola - Março de 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.
- CRUZ, C. R.; KAMARUDIN, M. S.; SAADA, C. R. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. **Animal Feed Science and Technology**, v. 199, p. 137–145, 2015.
- CRUZ, G. A. D. R.; OLIVEIRA, M. G. de. A.; PIRES, C. V.; GOMES, M. R. A.; COSTA, N. M. B.; BRUMANO, M. H. N.; MOREIRA, M. A. Protein Quality and in Vivo Digestibility of Different Varieties of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Qualidade da Proteína e Digestibilidade *in vitro* de Diferentes Variedades de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, p. 157–162, 2003.
- DELFINI, J.; MODA-CIRINO, V.; RUAS, C. D. F.; DOS SANTOS NETO, J.; RUAS, P. M.; BURATTO, J. S.; RUAS, E. A.; GONÇALVES, L. S. A. Distinctness of Brazilian common bean cultivars with carioca and black grain by means of morphoagronomic and molecular descriptors. **PLoS ONE**, v. 12, n. 11, p. 1–22, 2017.
- EJIGUI, J.; SAVOIE, L.; MARIN, J.; DESROSIERS, T. Influence of Traditional Processing Methods on the Nutritional Composition and Antinutritional Factors of Red Peanuts (*Arachis hypogea*) and Small Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 5, p. 597–605, 2005.
- ESPINOSA-PÁEZ, E.; GUADALUPE ALANIS-GUZMÁN, M.; HERNÁNDEZ-LUNA, C. E.; BÁEZ-GONZÁLEZ, J. G.; AMAYA-GUERRA, C. A.; ANDRÉS-GRAU, A. Digestibility in *Phaseolus vulgaris* and *Avena sativa*. **Molecules**, v. 22, p. 2–11, 2017.

FORSTER, I. A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds for aquatic animals. **Aquaculture Nutrition**, v. 5, p. 143–145, 1999.

FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 32, p. 502–506, 1966.

GAN, L.; ZHOU, L.-L.; LI, X.-X.; YUE, Y.-R. Dietary leucine requirement of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 1040–1046, 2016.

GATLIN III, D. M.; BARROWS, F. T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T. G.; HARDY, R. W.; HERMAN, E.; HU, G.; KROGDAHL, Å.; NELSON, R.; OVERTURF, K.; RUST, M.; SEALEY, W.; SKONBERG, D.; SOUZA, E. J.; STONE, D.; WILSON, R.; WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 551–579, 2007.

GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T.; RAWLES, S. D.; LIU, K.; BREGITZER, P.; HANG, A.; OBERT, D. E.; MORRIS, C. Apparent digestibility of nutrients and energy in extruded diets from cultivars of barley and wheat selected for nutritional quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 306–312, 2009.

GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T.; RAWLES, S. D. Apparent Digestibility of Gross Nutrients from Feedstuffs in Extruded Feeds for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. v. 39, n. 6, p. 827–834, 2008.

GLENCROSS, B.; HAWKINS, W.; EVANS, D.; RUTHERFORD, N.; MCCAFFERTY, P.; DODS, K.; HAULER, R. A comparison of the effect of diet extrusion or screw-press pelleting on the digestibility of grain protein products when fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 312, n. 1–4, p. 154–161, 2011.

GODDARD, J. S.; MCLEAN, E. Acid-insoluble ash as an inert reference material for digestibility studies in tilapia, *Oreochromis aureus*. **Aquaculture**, v. 194, p. 93–98, 2001.

GUIMARÃES, I. G.; FALCON, D. R.; SCHICH, D.; BARROS, M. M.; PEZZATO, L. E. Digestibilidade aparente de rações contendo complexo enzimático para tilápia-do-nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 6, p. 1397–1402, 2009.

GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; TACHIBANA, L. Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, n. 6, p. 781–789, 2008.

HE, J.Y.; TIAN, L.X.; LEMME, A. The effect of dietary methionine concentrations on growth performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with two different digestible energy levels. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 76–89, 2017.

HEJDYSZ, M.; KACZMAREK, S. A.; RUTKOWSKI, A. Extrusion cooking improves the metabolisable energy of faba beans and the amino acid digestibility in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 212, p. 100–111, 2016.

KAMARUDIN, M. S.; CRUZ, C. R. De; SAAD, C. R.; ROMANO, N.; RAMEZANI-FARD, E. Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level

on physical properties of floating fish pellets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 236, n. July 2017, p. 122–130, 2018.

KROGDAHL, A.; PENN, M.; THORSEN, J.; REFSTIE, S.; BAKKE, A. M. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 3, p. 333–344, 2010.

KRUPA, U. MAIN NUTRITIONAL AND ANTINUTRITIONAL COMPOUNDS OF BEAN SEEDS – A REVIEW. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 58, n. 2, p. 149–155, 2008.

MAINA, J. G.; BEAMES, R. M.; HIGGS, D.; MBUGUA, P. N.; IWAMA, G.; KISIA, S. M. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture Research**, v. 33, p. 853–862, 2002.

MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K. **Animal nutrition**. New York: McGraw-Hill, 1969.

MEGAZYME, **Total Starch; Assay Procedure (Amyloglucosidase/ α -amylase Method), K-TSTA 09/2014. Kit**. 9^a ed. Megazyme, Bray, 2014.

MICHELATO, M.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; GRACIANO, T. G.; MOURA, L. B.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Dietary threonine requirement to optimize protein retention and fillet production of fast-growing Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 759–766, 2016a.

MICHELATO, M.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; MOURA, L. B.; ALMEDIDA, F. L. A.; PEDROSA, V. B.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 11, n. 2, p. 124–130, 2016b.

MICHELATO, M.; ZAMINHAN, M.; BOSCOLO, W. R.; NOGAROTO, V.; VICARI, M. R.; ARTONI, R. F.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. **Aquaculture**, v. 467, p. 63–70, 2017.

MORKEN, T.; KRAUGERUD, O. F.; SØRENSEN, M.; STOREBAKKEN, T.; HILLESTAD, M.; CHRISTIANSEN, R.; ØVERLAND, M. Effects of feed processing conditions and acid salts on nutrient digestibility and physical quality of soy-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 21–34, 2012.

MOUGHAN, P. J. Amino acid availability. Aspects of chemical analysis and bioavailability methodology. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, n. 127–141, 2003.

NRC. National Research Council. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. 3^{ed}. Washington: National Academy Press, 2011. p.392.

OLIVEIRA, A. P. de; MATEÓ, B. dos S. O.; FIOROTO, A. M.; OLIVEIRA, P. V. de; NAOZUKA, J. Effect of cooking on the bioaccessibility of essential elements in different varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 67, p. 135–140, 2018.

OMNES, M. H.; LE GOASDUFF, J.; LE DELLIOU, H.; LE BAYON, N.; QUAZUGUEL, P.;

ROBIN, J. H. Effects of dietary tannin on growth, feed utilization and digestibility, and carcass composition in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture Reports**, v. 6, p. 21–27, 2017.

REZENDE, A. A.; TERESA, M.; PACHECO, B.; SÔNIA, V. Nutritional and protein quality of dry Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 38, n.3, p. 1–7, 2017.

ROJAS, O. J.; STEIN, H. H. Processing of ingredients and diets and effects on nutritional value for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2017.

SALES, J.; BRITZ, P. J. Evaluation of different markers to determine apparent nutrient digestibility coefficients of feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.). **Aquaculture**, v. 202, n. 1–2, p. 113–129, 2001.

SALES, J.; JANSSENS, G. P. . Acid-insoluble ash as a marker in digestibility studies: a review. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 12, n. July 2003, p. 383–401, 2003.

SAMUELSEN, T. A.; MJØS, S. A.; OTERHALS, Å. Impact of variability in fishmeal physicochemical properties on the extrusion process , starch gelatinization and pellet durability and hardness. **Animal Feed Science and Technology**, v. 179, n. 1–4, p. 77–84, 2013.

SANTIAGO, C. B.; LOVELL, R. T. Amino Acid Requirements for Growth of Nile Tilapia. **The Journal of Nutrition**, v. 118, n. 12, p. 1540–1546, 1988.

SANTIS, C.; MARTIN, S. A. M.; DEHLER, C. E.; IANNETTA, P. P. M.; LEEMING, D.; TOCHER, D. R. In fl uence of dietary inclusion of a wet processed faba bean protein isolate on post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 465, p. 124–133, 2016.

SILVA, D.J.; QUEIROZ A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Imprensa Universitária, 2002. p.165.

SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). **Aquaculture Research**, v. 35, n. 4, p. 358–364, 2004.

SOETAN, K. O.; OYEWOLE, O. E. The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. **African Journal of Food Science**, v. 3, n. 9, p. 223–232, 2009.

SØRENSEN, M.; STJEPANOVIC, N.; ROMARHEIM, O. H.; KREKLING, T.; STOREBAKKEN, T. Soybean meal improves the physical quality of extruded fish feed Technol. 149, 149–161. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, n. 1–2, p. 149–161, 2009.

STOREBAKKEN, T.; ZHANG, Y.; KRAUGERUD, O. F.; MA, J.; ØVERLAND, M.; APPER, E.; FENEUIL, A. Restricted process water limits starch gelatinization , and reduces digestibility of starch , lipid , and energy in extruded rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. **Aquaculture**, v. 448, p. 203–206, 2015.

VANDENBERG, G. W.; DE LA NOÛE, J. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) assessed using three methods of faeces collection and three digestibility

markers. **Aquaculture Nutrition**, v. 7, p. 237–245, 2001.

VENOU, B.; ALEXIS, M. N.; FOUNTOULAKI, E.; HARALABOUS, J. Effects of extrusion and inclusion level of soybean meal on diet digestibility , performance and nutrient utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v. 261, n. 261, p. 343–356, 2006.

WOJEICCHOWSKI, J. P.; LIANDRA, G. L. de A. de; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I. M. Physicochemical , structural and thermal properties of oxidized , acetylated and dual - modified common bean (*Phaseolus vulgaris* L .) starch. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1–10, 2018.

XIAO, W.; LI, D. Y.; ZHU, J. L.; ZOU, Z. Y.; YUE, Y. R.; YANG, H. Dietary valine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 315–323, 2018.

YUE, Y.; ZOU, Z.; ZHU, J.; LI, D.; XIAO, W.; HAN, J.; YANG, H. Effects of dietary arginine on growth performance, feed utilization, haematological parameters and non-specific immune responses of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v. 46, p. 1801–1809, 2015.

ZAMINHAN, M.; BOSCOLO, W.R.; NEU, D. H.; FEIDEN, A.; BARRIVEIRA, V. R. B.; FURUYA, W. M.; Dietary tryptophan requirements of juvenile Nile tilapia fed corn-soybean meal-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 227, p. 62–67, 2017.

CAPÍTULO III

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Os resultados permitiram concluir que o feijão se mostrou como boa fonte de proteínas e de amido, tendo lisina em quantidade satisfatória e metionina como aminoácido limitante.
2. O processo de extrusão melhorou a digestibilidade aparente da farinha de feijão e a substituição em 30% da dieta referência pela farinha *in natura* ou extrusada não impactou negativamente o valor nutricional das rações.
3. A redução dos níveis de fatores antinutricionais termolábeis como os taninos do feijão foi confirmada pelos resultados experimentais, bem como o aumento da digestibilidade do amido que está relacionada à gelatinização.