

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**SUBSTITUIÇÃO DO MILHO PELO SORGO (*Sorghum bicolor* (L).
Moench) EM DIETAS EXTRUSADAS PARA A TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

MILENE SANTOS DA SILVA

SALVADOR - BAHIA
ABRIL 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**SUBSTITUIÇÃO DO MILHO PELO SORGO (*Sorghum bicolor* (L).
Moench) EM DIETAS EXTRUSADAS PARA A TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

MILENE SANTOS DA SILVA
Engenheira de Pesca

SALVADOR - BAHIA
ABRIL 2024

MILENE SANTOS DA SILVA

**SUBSTITUIÇÃO DO MILHO PELO SORGO (*Sorghum bicolor* (L).
Moench) EM DIETAS EXTRUSADAS PARA A TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Bahia como pré-requisito para obtenção do título de doutora em zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Luiz Vitor Oliveira Vidal.

SALVADOR - BA

ABRIL 2024

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Silva, Milene Santos da.

Substituição do milho pelo sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Milene Santos da Silva. - 2024.

96 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Victor Oliveira Vidal.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Salvador, 2024.

1. Zootecnia. 2. Peixes - Alimentação e rações. 3. Tilápia (Peixe) - Alimentos. 4. Sorgo como ração.
I. Vidal, Luiz Victor Oliveira. II. Universidade Federal da Bahia. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

CDD - 639.3774

CDU - 639.37

**SUBSTITUIÇÃO DO MILHO PELO SORGO (*Sorghum bicolor* (L).
Moench) EM DIETAS EXTRUSADAS PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis
niloticus*)**

Milene Santos da Silva

**Tese defendida e aprovada para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia**

Salvador, 05 de abril de 2024

Comissão examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIZ VITOR OLIVEIRA VIDAL
Data: 11/04/2024 14:38:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Luiz Vítor Oliveira Vidal
UFBA
Orientador / Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br JULIANA CANTOS FAVEI
Data: 26/04/2024 23:38:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Juliana Cantos Favei
UFBA

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO OLIVETTI DE MATTOS
Data: 11/04/2024 20:49:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Bruno Olivetti de Mattos

Documento assinado digitalmente
gov.br SELDON ALMEIDA DE SOUZA
Data: 26/04/2024 15:58:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Seldon Almeida de Souza
UNIVASF

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIS GUSTAVO TAVARES BRAGA
Data: 12/04/2024 13:07:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Luís Gustavo Tavares Braga
UESC

A verdadeira beleza do ser humano está em seu interior...
o maior tesouro em seu coração.”

(A autora)

DEDICO

Ao meu filho, Denver, pelo amor que representa em minha vida, aos meus pais Dalvanice e João Roberto, meu marido Deickson, a minha amiga Cherlle e aos meus irmãos por todo apoio e incentivo dados a mim, por estarem comigo me apoiando e me estimulando a seguir em todas as etapas da minha vida. Por fazerem parte de mim, da minha vida, da minha história...

AGRADECIMENTOS

Especialmente a Deus pelo dom da vida, por ser minha fortaleza e refúgio em todos os momentos.

Aos meus pais João Roberto e Dalvanice pelo amor incondicional, pelas palavras de incentivo e apoio ao longo de toda caminhada da minha vida, por tudo que são para mim.

Ao meu filho, Denver, que por existir em minha vida me fortalece.

Ao meu marido Deickson, por não medir esforços para me ajudar em tudo que me proponho a fazer e por tudo que representa em minha vida.

Aos meus irmãos, Valberto, João Roberto, Roberta, Mirtes, Aline, Eberton, Lirtis e Robson e as minhas tias Maria e Luciene, pelo incentivo nesta e em todas as etapas da minha vida, pelos momentos compartilhamos.

Aos meus sobrinhos Pedro, Julianne e Maria Vitória pelo amor e carinho.

À minha avó Floraci pelo amor e aconchego.

À minha amiga que a vida me deu de presente, Cherlle, que sempre esteve comigo compartilho todos os momentos especiais e vivendo todas as fases de lutas e conquistas, quem me apoia, conforta e incentiva a continuar sempre, pela ajuda incansável durante todo o mestrado e na vida.

Ao Prof. Vidal, pela orientação, ensinamentos e compreensão.

À Universidade Federal Bahia UFBA pela pelo doutorado

À equipe do laboratório de aquicultura LASOA – UFBA em especial a Janilson (*in memorian*), Rayra, Emanuelle, e aos demais que me auxiliarem durante a execução do experimento participando ativamente desta etapa do meu trabalho.

A Seldon, Bartira pelo apoio nas análises.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho e com o meu doutorado e aqui não foram citados.

Muito obrigada!

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Caracterização e valor nutritivo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) para peixes

	Página
Tabela 1. Perfil aminoacídico do sorgo e do milho.....	41
Tabela 2. Perfil de ácidos graxos do sorgo.....	43
Tabela 3. Vitaminas quantificadas no sorgo.....	44

Capítulo 2

O sorgo pode substituir o milho totalmente em dietas para juvenis de tilápia do Nilo

	Página
Tabela 1 . Composição percentual e calculada das dietas controle e experimentais, com diferentes níveis de inclusão de sorgo (0, 25, 50, 75 e 100%) em substituição ao milho, para juvenis de tilápia do Nilo.....	70
Tabela 2. Variáveis de desempenho e índices somáticos de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	78
Tabela 3. Composição química da carcaça de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	79
Tabela 4. Hemograma completo de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.	80
Tabela 5. Bioquímica plasmática de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	81
Tabela 6. Enzimas digestivas do trato intestinal de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	82

Tabela 7. Transaminases hepáticas e glicogênio muscular de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	83
Tabela 8. Histomorfometria do intestino proximal de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAs - Aminoácidos
Ag - Prata
Al -Alumínio
ALB - Albumina
ALT - Alanina aminotransferase
AMI - Amilase
ANOVA - Análise de variância
AOAC - Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists
International
As -Arsênio
AST - Aspartato aminotransferase
AV – Altura dos vilos
BApNA - N α -benzoil-DL-arginina-p- nitroanilida
Ba - Bário
Be – Berílio
BI -Biomassa inicial
BF - Biomassa final
CAA - Conversão alimentar aparente
Ca - Cálcio
CC - Coeficiente de crescimento
Cd – Cádmiio
CDA - Coeficientes de digestibilidade aparentes
CDAEB - Coeficientes de digestibilidade aparentes energia bruta
CDAMS - Coeficientes de digestibilidade aparentes da matéria seca
CDRA – Consumo diário de ração
CR - Consume de ração Conversão alimentar aparente
Co - Cobalto
Cr - Cromo
Cu - Cobre
CHCM Concentração de Hemoglobina
CITVET - Centro de Diagnóstico Veterinário

CT - Colesterol total
DMSO - Sulfóxido de dimetilo DNSA - 3,5-dinitrossalicílico ácido
EB - Energia bruta
EE - Extrato etéreo
EM - Espessura do musculo
EPM - Erro padrão da média
EUA Estados Unidos da América
FAL - Fosfatase alcalina
FB - Fibra bruta
Fe - Ferro
GB - Ganho de biomassa
g.Kg⁻¹ - grama por quilograma
GL - Glicose
GPM - Ganho de peso médio
GPMD - Ganho de peso médio diário
GP - Ganho de peso
HCl - Ácido clorídrico
HCT - Hematócrito
HCM - Hemoglobina Corpuscular Média
HDL - Lipoproteínas de baixa densidade H₂SO₄
Hg - Mercúrio
IE - Índice de esplenossomático
IG - Índice de gordura víscerosomática
IH - Índice hepatossomático
IV Índice viscerossomático
K - Potássio
Kcal/Kg - Quilocaloria por quilograma
Kg - Quilograma
K₂SO₄ - Sulfato de potássio
LAC - Lactato
LCPTD - Lecinoaminopeptidase
LDH - Lactato desidrogenase
LDL - Lipoproteínas de alta densidade

LIP - Lipase
Leu-p-Nan - p-nitroanilide-leucine
LV - Largura dos vilos⁴
M- Mol
Mg - Magnésio
mg -Miligrama
mg. L¹ -Miligrama por litro
mL - Mililitro
MM- Matéria mineral
mM. - Milimol
Mn- Manganês
Mo - Molibdênio
MS - Matéria seca
MT – Megatoneladas
mU mg⁻¹ - miliunidades por miligrama de proteína
Mort - Mortalidade
Na -Sódio
ND Não determinado
Ni - níquel
nm - Nanômetro
QTP - Quimiotripsina
PAT -Proteases alcalinas Totais
Pb -Chumbo
pH - Potencial hidrogeniônico
PB - Proteína bruta
PMi - Peso médio inicial–
PMf - Peso médio final
PT - Proteínas totais
PV -Perímetro dos vilos
RE – Retenção de energia⁵,
RN - Retenção de nitrogênio
RPM - Rotação por minuto
SAPNA - Succinilo prolina fenilalanina alanina aminotransferase p- nitroanilide

SAS Statistical Analysis System

Sb - Antimônio

Se- Selênio

Sn -Estanho

TAGs - triglicerídeos -

TCA - Ácido tricloroacético

TCE - Taxa de crescimento específico

Ti – Titânio

TP - Tripsina

TRI - Triglicerídeos

TRP -Taxa de retenção proteica

U - Unidade

U - Uranio

μL - Microlitros

U.mg - Unidade por miligramas

USDA - United States Department of Agriculture

V - Vanádio

VCM - Volume Corpuscular Médio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

Página

Substituição do milho pelo sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L). Moench) em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	
1. Introdução Geral.....	17
2. Revisão de literatura Geral	19
2.1 A tilápia do Nilo	19
2.2 O sorgo e o milho	20
2.3 Inclusão do sorgo na alimentação de peixes	22
3 Referências	25

Capítulo 1

Caracterização e valor nutritivo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) para peixes

Resumo	31
1 Introdução	32
2 Valor nutricional do sorgo	34
2.1 O amido do sorgo.....	34
2.2 Proteínas e aminoácidos do sorgo.....	36
2.3 Lipídios e ácidos graxos do sorgo.....	41
2.4 Vitaminas e minerais	45
3 Fatores antinutricionais do sorgo.....	46
3.1 Taninos	46
3.2 Proteínas Kafirinas	48
4 Inclusão do sorgo em dietas para peixes.....	50
4.1 Digestibilidade do amido, proteína e energia do sorgo para peixes.....	50
4.2 Efeito da inclusão do sorgo sob o desempenho de diferentes de peixes.....	53
5 Considerações finais.....	54

Referencias	55
-------------------	----

Capítulo 2

O sorgo pode substituir o milho totalmente em dietas para juvenis de tilápia do Nilo

Resumo.....	65
Abstract.....	66
Introdução.....	67
Material e Métodos.....	69
Resultados	77
Discussão.....	84
Conclusões.....	89
Referências Bibliográficas.....	90
Considerações finais e implicações	96

1 INTRODUÇÃO GERAL

A nutrição consiste em um dos fatores mais importantes para o sucesso na produção animal. Na piscicultura, o fornecimento de dietas balanceadas que atendam às exigências nutricionais do animal em cada fase de vida, com menor custo e impacto ambiental, é um desafio. Pesquisas são realizadas para avaliar o potencial de ingredientes na alimentação de peixes, o que possibilita maior disponibilidade de ingredientes para a formulação de dietas que viabilizam um cultivo sustentável, contribuindo para o sucesso constante da atividade.

A tilápia do Nilo é uma das principais espécies na piscicultura, a terceira mais cultivada mundialmente (FAO, 2022) e a primeira no Brasil (PeixeBr, 2023). O sucesso da tilapicultura é atribuído às características da espécie, pois são favoráveis ao cultivo, por apresentar desenvolvimento precoce; ausência de espinhas em Y; robustez e adaptabilidade a variações ambientais (El-Sayed, 2006). O hábito alimentar onívoro permite aos formuladores utilizar muitos ingredientes na sua matriz nutricional, buscando sempre as dietas de melhor custo-benefício (Al-Ogaily *et al.*, 1996; Furuya, Pezzato, Miranda, *et al.*, 2001; Guimarães *et al.*, 2008; Azaza *et al.*, 2009; de Souza *et al.*, 2018; de Souza *et al.*, 2021).

O milho é o principal concentrado energético na nutrição animal, inclusive na piscicultura. Trata-se de uma *commodity*, conseqüentemente com custo sujeito a grandes variações, em função do dólar e lei de oferta e demanda internacionais. Por esse motivo é constante a busca por ingredientes alternativos ao milho, visando formular dietas com melhor custo-benefício econômico e ambiental. Diversos ingredientes vegetais são estudados como fontes energéticas em dietas para a tilápia do Nilo, como o milho e coprodutos, trigo, arroz, palmas forrageiras, sorgo, algaroba e mandioca (Aiura e de Carvalho, 2007; Guimaraes *et al.*, 2011; Gominho-Rosa *et al.*, 2015; Vidal *et al.*, 2015; de Souza *et al.*, 2018; de Souza *et al.*, 2021).

O sorgo *Sorghum bicolor* (L). Moench) é um ingrediente mundialmente distribuído (Venkateswaran *et al.*, 2019), comparado ao milho, apresenta maior produtividade de grãos e menor custo de produção, sob condições de seca (Staggenborg *et al.*, 2008). Quanto ao conteúdo nutricional, o teor de proteína bruta do sorgo varia de 7,76 a 13,71% (Douglas *et al.*, 1990; Guimarães *et al.*, 2008; Adebo e Kesa, 2023;

Wulandari *et al.*, 2023) similar ao teor proteico do milho 7,2 a 10,4% (Douglas *et al.*, 1990; Zhang e Hamaker, 1998; Rawles e Gatlin III, 2000; Guimarães *et al.*, 2008; Vidal *et al.*, 2015) e do trigo (9 a 15%) (Shewry *et al.*, 2003; Collar, 2017); conteúdo energético 3941 Kcal/Kg similar ao do milho 4028 Kcal/Kg (Guimarães *et al.*, 2008). O amido do sorgo constitui a principal carboidrato e principal fonte de energia do grão, (Pan *et al.*, 2018) com teor de cerca de 66,9% similar ao do milho 65,1% (González-Félix *et al.*, 2010). Apesar da similaridade na composição nutricional, o sorgo, geralmente, apresenta mais fatores antinutricionais que o milho, tais como taninos (Pan *et al.*, 2018), os quais se complexam com as proteínas tornando-as inacessíveis a digestão pelas proteases (Butler *et al.*, 1984; Duodu *et al.*, 2003; Awika e Rooney, 2004), inibe as enzimas amilolíticas (Mkandawire *et al.*, 2013) e proteínas kafirinas, que contém quantidades elevadas de enxofre nos resíduos de aminoácidos que formam ligações de dissulfeto, relativamente resistentes à digestão por proteases (Duodu *et al.*, 2003; Ezeogu *et al.*, 2005).

Variedades de sorgo são desenvolvidas para melhorar a qualidade nutricional do mesmo, sendo que as de baixo tanino apresentam teor de tanino entre (0,2 a 1,1 g.Kg⁻¹) (Pan *et al.*, 2018). A inclusão de sorgo com teor de taninos variando entre 0,087% e 0,57%, em dietas para a tilápia do Nilo, não prejudicou o desempenho produtivo da espécie (Aiura e de Carvalho, 2007). Guimarães *et al.* (2008) avaliaram a digestibilidade aparente da matéria seca e energia bruta do sorgo, milho e outros cereais pela tilápia do Nilo. O sorgo apresentou coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca CDAMS (87,29%) e coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta CDAEB (87,37%) superiores aos do milho com CDAMS (82,21%) e CDAEB (67,34 %). Guimarães *et al.* (2011) relataram maior digestibilidade do amido do sorgo (98,49%) comparado ao amido do milho (96,48%) para a tilápia do Nilo. O sorgo também é fonte de minerais, como cálcio e fósforo, e estes apresentam maior disponibilidade aparente no sorgo (39,89 e 58,09%) que no milho (22,18 e 19,48%), respectivamente, para a tilápia do Nilo.

Os estudos realizados avaliando o efeito do sorgo na alimentação da tilápia do Nilo e nos parâmetros metabólicos e fisiológicos da espécie, tais como: a determinação das enzimas digestivas e enzimas envolvidas no metabolismo energético, proteico e parâmetros bioquímicos, não foram relatados na literatura. Assim, ressaltando o valor nutritivo, a produtividade e menor custo relativo ao milho em condições de seca e a necessidade de investigações mais abrangentes sobre o efeito do sorgo na alimentação de peixes, faz-se necessário avaliar o seu efeito em dietas para a tilápia do Nilo. Portanto,

essa pesquisa objetiva avaliar a capacidade do sorgo em substituir o milho em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo, observando seus efeitos sobre o desempenho, respostas fisiológicas e metabólicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 A tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo é uma das espécies com maior importância na piscicultura, ocupando a terceira posição no ranking da produção mundial (FAO, 2023). No Brasil, é a primeira espécie mais produzida, em 2022 representou 63,93% da produção nacional (860.355t), correspondendo a 550.060t, o que significou um incremento de 3% em relação ao ano anterior (534.005t), conforme estatísticas do Anuário peixe BR piscicultura 2023. A rusticidade; alta proliferação; precocidade; hábito alimentar onívoro e resistência a enfermidades são características que tornam a tilápia do Nilo uma das espécies mais apropriadas para a piscicultura (El-Sayed, 2006). O pacote tecnológico dominado e biologia conhecida também contribuem para o sucesso no seu cultivo. Outro fator não menos importante é sua apreciação no mercado consumidor, possui carne branca de textura firme, sabor delicado e ausência de espinhas em Y (El-Sayed, 2006) e ainda seu hábito onívoro que possibilita maior disponibilidade de ingredientes à formulação de rações para espécie.

Em habitat natural, a tilápia do Nilo alimenta-se de fitoplâncton, perifíton, plantas aquáticas, pequenos invertebrados, fauna bentônica, detritos e filmes bacterianos associados a detritos (El-Sayed, 2006). No ambiente de cultivo, depende de alimentos artificiais. Desde a fase larval é capaz de utilizar eficientemente os nutrientes oriundos dos vegetais e utilizar os carboidratos como fonte energética, poupando proteínas (Furuya, Pezzato, Miranda, *et al.*, 2001; Furuya, Pezzato, Pezzato, *et al.*, 2001; Vidal *et al.*, 2015). Essa eficiência está diretamente relacionada ao seu intestino relativamente longo o que permite maior tempo de retenção da digesta no trato digestório possibilitando maior ataque enzimático e plasticidade do intestino em resposta a ingestão do amido resistente presente na dieta (Kihara e Sakata, 1997) e das enzimas em função do aumento dos níveis de carboidratos na dieta (Azaza *et al.*, 2009; Azaza *et al.*, 2015).

A nutrição é um dos fatores preponderantes para o sucesso nesta atividade, portanto, a habilidade dessa espécie em utilizar, de forma eficiente, os carboidratos da dieta, pode ser destacada como uma das principais características que contribuiu para que a tilapicultura se consolidasse no Brasil e no mundo, pois, os carboidratos são os macronutrientes mais abundantes na natureza, suas fontes são menos onerosas quando comparadas as fontes de proteínas e lipídios, prevenindo a oxidação desses para produção de energia.

2.2 O sorgo e o milho

Os dois cereais, o sorgo e o milho, pertencem à família, *Poaceae* (Gramineae) (Assefa *et al.*, 2013), são culturas adaptadas a clima quentes, devido ao metabolismo C4, com fotossíntese mais eficiente que as plantas com metabolismo C3 (Zelitch, 1971), estão entre os principais cereais cultivados no mundo, cultivadas em regiões tropicais, subtropicais e temperadas de todos os continentes do mundo. Em condições adequadas, (temperatura, água, solo) o milho apresenta maior produtividade por área que o sorgo. O milho, cultivado sob irrigação, tem maior rendimento de grãos (1082 g.m²) que o sorgo (854 g.m²), entretanto sob condições de estresse hídrico severo o sorgo se sobrepõe ao milho com rendimento de grãos de 64g.m² e o milho com apenas 10g.m². A eficiência de utilização de água para rendimento do grão sob restrição hídrica varia entre 0,23e 1,26 g m²mm¹ para o sorgo, superior à do milho com valores entre 0,05 e 1,7 g.m²mm¹ (Farré e Faci, 2006). Staggenborg *et al.* (2008) analisaram dados de produção do sorgo e do milho cultivados no Kansas e em Nebraska (1992–2005) e estudaram o rendimento e/ou as vantagens econômicas do sorgo granífero em relação ao milho, conforme os resultados, o sorgo foi mais produtivo que o milho, quando cultivados sob estresse hídrico, a produção de sorgo foi cerca de 6,4 mg.ha⁻¹ superior a do milho. Quanto aos retornos líquidos (RL) (\$·ha⁻¹), o RL do sorgo superou o RL do milho, quando cultivados em ambiente seco. Assim, em locais ou períodos do ano em que ocorre seca, o cultivo de sorgo pode constituir alternativa viável ao cultivo do milho.

A superior resistência do sorgo ao estresse ambiental (hídrico, térmico e solos salinos) comparado ao milho, está provavelmente associada tanto a aspectos anatômicos quanto a fisiológicos. O sorgo possui um sistema radicular mais extenso, o que confere maior capacidade de extrair água de solos mais profundos; apresenta controle efetivo da

evapotranspiração superior ao do milho e seus estômatos possuem capacidade de recuperação rápida após períodos de estresse hídrico e habilidade de permanecerem abertos em baixos níveis de potencial hídrico, conferindo maior capacidade fotossintética e resistência à seca para essa cultura (Assefa *et al.*, 2013). Nesse contexto, lugares onde a chuva é disponível ou possui sistema de irrigação, o milho é a cultura dominante devido à superioridade na produção, locais onde a chuva e temperatura não são condições favoráveis, o sorgo é a cultura mais indicada (Assefa *et al.*, 2013).

As duas culturas constituem cereais importantes na alimentação animal e humana, seus grãos disponibilizam energia para processos metabólicos e fisiológicos. O sorgo apresentar composição nutricional similar à do milho. O conteúdo energético do sorgo (3941 - 4431 Kcal/kg) pode representa 98% do valor energético do milho (4028 – 4532 Kcal/kg) (Rawles e Gatlin III, 2000; Guimarães *et al.*, 2008); o teor de fibra bruta é semelhante entre os dois cereais, o sorgo com 1,96% e o milho 2,00%, assim como a concentração de proteína bruta, o sorgo com valores de 7,76 a 13,71% e o milho com 7,21 a 10,4% (Douglas *et al.*, 1990; Rawles e Gatlin III, 2000; Guimarães *et al.*, 2008; Vidal *et al.*, 2015; Adebo e Kesa, 2023). Entretanto, o sorgo possui mais fatores antinutricionais que o milho, como taninos e proteínas kafirinas. As principais proteínas do sorgo, as prolaminas, denominadas Kafirinas, são relatadas como menos digestíveis que as zeínas, prolaminas do milho, por serem mais resistentes a clivagem enzimática devido às ligações dissulfeto entre as kafirinas, a presença de taninos também pode reduzir a qualidade nutricional do sorgo, por afetar negativamente a digestão dos nutrientes, como as proteínas e o amido (Daiber, 1975; Butler *et al.*, 1984; Chandrashekar e Kirleis, 1988; Ezeogu *et al.*, 2005; Dykes e Rooney, 2006; Oom *et al.*, 2008; Austin *et al.*, 2012; Mkandawire *et al.*, 2013; Pan *et al.*, 2018).

O amido do sorgo constitui o principal carboidrato e fonte de energia do grão, Pan *et al.* (2019) analisaram a composição química de três variedades de sorgo de alto tanino e três variedades de sorgo baixo tanino e do milho, observaram que o teor de amido das variedades de sorgo (61,4 a 64,1%) foi similar ao do milho (61,5%). Neste estudo a variedade de sorgo de baixo tanino (0,2 g.Kg⁻¹) foi similar ao do milho (0,2 g. Kg⁻¹), porém as demais variedades apresentaram concentrações superiores.

Ressaltando a maior produtividade e resistência ao estresse hídrico e térmico, menor custo de produção sob condições ambientais adversas e similaridade da

composição nutricional do sorgo em relação ao milho, é possível afirmar que o sorgo possui potencial de substituir o milho na nutrição animal.

2.3 Inclusão do sorgo na alimentação de peixes

O uso de grãos para alimentação animal tem sido um elemento dinâmico na estimulação do consumo global de sorgo (FAO, 1995), o crescimento exponencial da piscicultura demanda grande disponibilidade de alimento, pois a nutrição constitui um dos principais pilares para o sucesso da atividade, nesse contexto, a utilização de ingredientes alternativos, como o sorgo em substituição ao milho, viabiliza esse cenário de expansão, pois, diversifica a disponibilidade de ingredientes à formulação de dietas.

O estudo da viabilidade do sorgo para peixes tem sido avaliado por meio da análise da digestibilidade, desempenho, índices somáticos, custos da ração por ganho de peso, parâmetros hematológicos de peixes alimentados com dietas contendo o grão, demonstrando o potencial do sorgo em substituir outros grãos nas rações para espécies onívoras como tilápia do Nilo, carpa (*Cyprinus carpio* (L.)), jundiás (*Rhamdia quelen*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Al-Ogaily *et al.* (1996), avaliaram o desempenho e a composição corporal da tilápias, alimentadas com dietas contendo diferentes grãos (milho, trigo, sorgo e arroz) ao nível de 25% de inclusão. Nesse estudo, os peixes alimentados com a dieta contendo sorgo apresentaram maior ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico (TCE), melhor conversão alimentar e maior taxa de retenção proteica (TRP) comparados aos peixes alimentados com as dietas contendo os outros grãos; posteriormente Furuya *et al.* (2003), corroboraram com esses autores, ao relatarem que a silagem de sorgo de alto e baixo taninos foram eficientes em substituir o milho em dietas peletizadas para esse peixe. Outro estudo demonstrou que a substituição de 100% do milho pelo sorgo em dietas para jundiás (*Rhamdia quelen*) não afetou o desempenho produtivo, a composição centesimal da carcaça, o tamanho e densidade das vilosidades intestinais (Rabelo *et al.*, 2016) o que foi confirmado por Rodrigues *et al.* (2020) que relataram que a substituição total do milho pelo sorgo em dieta para essa espécie, não afetou as variáveis zootécnicas. Em dietas para juvenis de pacu, níveis crescentes até 100% de substituição do milho pelo sorgo, não afetaram o desempenho, índices somáticos e parâmetros hematológicos da espécie e o custo da ração por quilo de ganho de peso foi menor para todos os níveis de substituição (25, 50, 75 e 100%), com redução de 7,2; 14,4;

9,6 e 10,4%, respectivamente (Sanchez *et al.*, 2016). Os resultados obtidos nessas pesquisas inferem a viabilidade da inclusão do sorgo em dietas para peixes, principalmente espécies de hábito onívoros.

O sorgo constitui um ingrediente energético com teor de energia similar ao do milho (Rawles e Gatlin III, 2000; Guimarães *et al.*, 2008), que pode ser eficientemente utilizada por peixes. Alguns estudos dão suporte a essa teoria, resultados obtidos por Guimarães *et al.* (2008) para os coeficientes de digestibilidade aparentes da matéria seca (CDAMS) e energia bruta (CDAEB) do sorgo, milho e outros cereais pela tilápia do Nilo, mostraram que o sorgo apresentou maior digestibilidade da matéria seca e energia bruta, o CDAMS (82,21 e 87,29%) e CDAEB (67,34 e 87,37%) para milho e sorgo, respectivamente. Provavelmente o amido do sorgo contribuiu para essa superioridade na digestibilidade da energia desse cereal em relação ao milho. Guimaraes *et al.* (2011) relataram maior digestibilidade do amido do sorgo (98,49%) comparado ao amido do milho (96,48%) para a tilápia do Nilo. O sorgo também é fonte de minerais, como cálcio e fosforo, e estes apresentam maior disponibilidade aparente no sorgo (39,89 e 58,09%) que o milho (22,18 e 19,48%) para cálcio e fosforo, respectivamente, para a tilápia do Nilo, segundo os autores acima citados.

Os teores de proteínas do milho e do sorgo são similares, entretanto a qualidade da proteína do milho parece ser superior à do sorgo para espécies onívoras, o que não parece ser verdade para peixes carnívoros. Guimarães *et al.* (2008) observaram resultados dos coeficientes de digestibilidade aparentes da proteína (CDAPB) inferior para o sorgo (56,77%) em relação ao milho (72,86%) para a tilápia do Nilo. A digestão da proteína do sorgo (84,38%) também foi inferior quando comparada a do milho (92,93%) para o pacu (Abimorad e Carneiro, 2004). O menor coeficiente de digestibilidade da proteína do sorgo pode ser atribuído a presença das kafirinas e taninos do sorgo, como anteriormente citado. Contrariando esse padrão, foi observado digestibilidade da proteína do sorgo (60%) superior a do milho (52%) para robalo Sunshine, *Morone chrysops*♀ × *M. saxatilis*♂, porem menor que a do trigo (81%), provavelmente devido ao menor teor de proteína do milho em relação ao sorgo e desse em relação ao trigo, em peixe carnívoro a digestibilidade da proteína pode ser diretamente proporcional a concentração da mesma no alimento (Rawles e Gatlin III, 2000), esse resultado contraria as expectativas de que os fatores antinutricionais do sorgo poderiam ser mais acentuado em peixes carnívoros que em onívoros, pois é sabido que os primeiros têm menor tolerância a fontes vegetais

na alimentação e, portanto, menor capacidade de utilizar seus nutrientes. (Rawles e Gatlin III, 2000).

Baseando-se nos relatos disponíveis na literatura, é permissível pressupor que a maior descarga de composto nitrogenado nos ecossistemas aquáticos, proveniente da excreção das proteínas indigestíveis do sorgo, pode ser compensada pela menor excreção de fósforo deste ingrediente em substituição ao milho e a menor digestibilidade da proteína do sorgo não interfere no desempenho produtivo das espécies estudadas e, ainda, que a inclusão do sorgo em dietas para peixes pode reduzir os custos da ração.

Outros parâmetros também devem ser analisados para avaliar o efeito no metabolismo e fisiologia, quando se estuda a inclusão de um determinado ingrediente na alimentação animal, tais como: a determinação das enzimas digestivas e enzimas envolvidas no metabolismo energético/proteico e parâmetros bioquímicos. Existem lacunas na literatura referente aos efeitos da inclusão do sorgo sob esses parâmetros, e sob a histomorfometria do intestino proximal. Uma avaliação mais completa implica em resposta mais concretas e confiáveis referentes à inclusão de um alimento na dieta do animal. Portanto, são necessários estudos mais abrangentes da inclusão do sorgo em dietas para a tilápia no Nilo.

REFERÊNCIAS

- Abimorad, E. G.; Carneiro, D. J. Fecal Collection Methods and Determination of Crude Protein and of Gross Energy Digestibility Coefficients of Feedstuffs for Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004.
- Adebo, J. A.; Kesa, H. Evaluation of nutritional and functional properties of anatomical parts of two sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. **Heliyon**, v. 9, n. 6, p. e17296, 2023/06/01/ 2023.
- Aiura, F. S.; de Carvalho, M. R. B. Body lipid deposition in Nile tilapia fed on rations containing tannin. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 51-56, 2007.
- Al-Ogaily, S. M.; Al-Asgah, N. A.; Ali, A. Effect of feeding different grain sources on the growth performance and body composition of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture Research**, v. 27, n. 7, p. 523-529, 1996.
- Assefa, Y.; Roozeboom, K. L.; Thompson, C.; Schlegel, A.; Stone, L.; Lingenfelter, J. **Corn and Grain Sorghum Comparison: All Things Considered**. Elsevier Science, 2013. ISBN 9780128003954. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=N3spAgAAQBAJ> >.
- Austin, D. L.; Turner, N. D.; McDonough, C. M.; Rooney, L. W. Effects of Brans from Specialty Sorghum Varieties on In Vitro Starch Digestibility of Soft and Hard Sorghum Endosperm Porridges. **Cereal Chemistry**, v. 89, n. 4, p. 190-197, 2012/07/01 2012.
- Awika, J. M.; Rooney, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004/05/01/ 2004.
- Azaza, M. S.; Khiari, N.; Dhraief, M. N.; Aloui, N.; Kräem, M. M.; Elfeki, A. Growth performance, oxidative stress indices and hepatic carbohydrate metabolic enzymes activities of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., in response to dietary starch to protein ratios. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 1, p. 14-27, 2015.
- Azaza, M. S.; Mensi, F.; Kammoun, W.; Abdelouaheb, A.; Brini, B.; Kraïem, M. Nutritional evaluation of waste date fruit as partial substitute for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 262-272, 2009.
- Butler, L. G.; Riedl, D. J.; Lebryk, D. G.; Blytt, H. J. Interaction of proteins with sorghum tannin: Mechanism, specificity and significance. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 61, n. 5, p. 916-920, 1984/05/01 1984.
- Chandrashekar, A.; Kirleis, A. W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 457-462, 1988.

Collar, C. Significance of heat-moisture treatment conditions on the pasting and gelling behaviour of various starch-rich cereal and pseudocereal flours. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 7, p. 623-636, 2017/10/01 2017.

Daiber, K. H. Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 9, p. 1399-1411, 1975/09/01 1975.

de Souza, A. M.; Silva, A. F. e.; Campeche, D. F. B.; Melo, J. F. B.; Santos, A. T. S. d.; Vidal, L. V. O. Corn substitution by mesquite bean flour (*Prosopis juliflora*) maintains growth and improves protein metabolism of Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). **Tropical Animal Health and Production**, 2021.

de Souza, A. M.; Silva, A. T.; Felix e Silva, A.; Campeche, D. F. B.; Melo, J. F. B.; Vidal, L. V. O. Mesquite bean (*Prosopis juliflora*) meal in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Nutritional value, growth, physiological responses and health. **Aquaculture Research**, n. May, p. 1-14, 2018.

Douglas, J. H.; Sullivan, T. W.; Bond, P. L.; Struwe, F. J. Nutrient Composition and Metabolizable Energy Values of Selected Grain Sorghum Varieties and Yellow Corn^{1,2}. **Poultry Science**, v. 69, n. 7, p. 1147-1155, 1990/07/01/ 1990.

Duodu, K. G.; Taylor, J. R. N.; Belton, P. S.; Hamaker, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 117-131, 2003/09/01/ 2003.

Dykes, L.; Rooney, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 236-251, 2006/11/01/ 2006.

El-Sayed, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277-277

Ezeogu, L. I.; Duodu, K. G.; Taylor, J. R. N. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 33-44, 2005/07/01/ 2005.

FAO. **Sorghum and millets in human nutrition**. NATIONS, F. A. A. O. O. T. U. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations 1995.

_____. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. NATIONS, F. A. A. O. O. T. U. Rome: United Nations 2022.

_____. **FishStatJ, a tool for fishery statistics analysis**. Rome: FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2023.

Farré, I.; Faci, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 83, n. 1, p. 135-143, 2006/05/16/ 2006.

Furuya, W. M.; Pezzato, L. E.; Miranda, E. C. d.; Furuya, V. R. B.; Barros, M. M.; Lanna, E. A. T. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes do farelo de canola pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, 2001.

Furuya, W. M.; Pezzato, L. E.; Pezzato, A. C.; Barros, M. M.; Miranda, E. C. d. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1143-1149, 2001/7// 2001.

Furuya, W. M.; Silva, L. C. R.; Hayashi, C.; Furlan, A. C.; Neves, P. R.; Botaro, D.; Santos, V. G. d. Substituição do milho pela silagem de sorgo com alto e baixo teor de tanino em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 25, n. 2, 2003.

Gominho-Rosa, M. d. C.; Rodrigues, A. P. O.; Mattioni, B.; de Francisco, A.; Moraes, G.; Fracalossi, D. M. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. **Aquaculture**, v. 435, p. 92-99, 2015/1// 2015.

González-Félix, M. L.; Davis, D. A.; Rossi, W.; Perez-Velazquez, M. Evaluation of apparent digestibility coefficient of energy of various vegetable feed ingredients in Florida pompano, *Trachinotus carolinus*. **Aquaculture**, v. 310, n. 1-2, p. 240-243, 2010/12// 2010.

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, 2008/12// 2008.

Guimaraes, I. G.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Tachibana, L.; Fernandes, R. d. N. Digestibilidade do amido e disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science**, v. 12, n. 3, p. 415-419, 09/29 2011.

Kihara, M.; Sakata, T. Fermentation of dietary carbohydrates to short-chain fatty acids by gut microbes and its influence on intestinal morphology of a detritivorous teleost tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 118, n. 4, p. 1201-1207, 1997/12/01/ 1997.

Mkandawire, N. L.; Kaufman, R. C.; Bean, S. R.; Weller, C. L.; Jackson, D. S.; Rose, D. J. Effects of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Tannins on α -Amylase Activity and in Vitro Digestibility of Starch in Raw and Processed Flours. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 18, p. 4448-4454, 2013/05/08 2013.

Oom, A.; Pettersson, A.; Taylor, J. R. N.; Stading, M. Rheological properties of kafirin and zein prolamins. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 1, p. 109-116, 2008/01/01/ 2008.

Pan, L.; Ma, X.; Hu, J.; Liu, L.; Yuan, M.; Liu, L.; Li, D.; Piao, X. Low-tannin white sorghum contains more digestible and metabolisable energy than high-tannin red sorghum if fed to growing pigs. **Animal Production Science**, v. 59, n. 3, p. 524-530, 2018.

PeixeBr. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2023**. Peinheiros: Associação Brasileira da Piscicultura: 65-65 p. 2023.

Rabelo, P. C.; Pessini, J. E.; Sanchez, M. S. d. S.; Boscolo, W. R.; Feiden, A., Fábio; Signor, A. Sorgo em dietas para o jundiá *Rhamdia quelen*. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, n. 4, p. 339-345, 2016.

Rawles, S. D.; Gatlin III, D. M. Nutrient Digestibility of Common Feedstuffs in Extruded Diets for Sunshine Bass *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 31, n. 4, p. 570-579, 2000/12/01 2000.

Rodrigues, M. L.; Sanchez, M. S. d. S.; Pessini, J. E.; Weiler, K. A.; Deparis, A.; Boscolo, W. R.; Bittencourt, F.; Signor, A. Replacement of corn by sorghum and phytase supplementation in silver catfish (*Rhamdia quelen*) diets: growth performance, physiological variables and bone mineralization. **Journal of Applied Animal Research**, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2020/01/01 2020.

Sanchez, M. S. d. S.; Nascimento, M. d. S.; Hisano, H. Substituição do milho pelo sorgo em dietas para juvenis de pacu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, 2016.

Shewry, P. R.; Halford, N. G.; Tatham, A. S.; Popineau, Y.; Lafiandra, D.; Belton, P. S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. In: (Ed.). **Advances in Food and Nutrition Research**: Academic Press, v.45, 2003. p.219-302. ISBN 1043-4526.

Staggenborg, S. A.; Dhuyvetter, K. C.; Gordon, W. B. Grain Sorghum and Corn Comparisons: Yield, Economic, and Environmental Responses. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 6, p. 1600-1604, 2008/11/01 2008.

Venkateswaran, K.; Sivaraj, N.; Pandravada, S. R.; Reddy, M. T.; Babu, B. S. Chapter 3 - Classification, Distribution and Biology. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S., *et al* (Ed.). **Breeding Sorghum for Diverse End Uses**: Woodhead Publishing, 2019. p.33-60. ISBN 978-0-08-101879-8.

Vidal, L. V. O.; Xavier, T. O.; Michelato, M.; Martins, E. N.; Pezzato, L. E.; Furuya, W. M. Apparent Protein and Energy Digestibility and Amino Acid Availability of Corn and Co-products in Extruded Diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 2, p. 183-190, 2015.

Wulandari, E.; Moody, S. D.; Andoyo, R.; Md Sikin, A. B.; Firdauza, A. P.; Harlina, P. W. Amino acid profiling and structural characterization of sorghum protein concentrates using enzyme liquefaction. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 4, p. 3561-3567, 2023/08/01 2023.

Zelitch, I. 6 - Glycolate Metabolism and the Mechanism of Photorespiration. In: ZELITCH, I. (Ed.). **Photosynthesis, Photorespiration, and Plant Productivity**: Academic Press, 1971. p.173-212. ISBN 978-0-12-779250-7.

Zhang, G.; Hamaker, B. R. Low α -Amylase Starch Digestibility of Cooked Sorghum Flours and the Effect of Protein. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, p. 710-713, 1998/09/01 1998.

CAPÍTULO 1

**Caracterização e valor nutritivo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L).
Moench) para peixes**

Artigo de revisão

Caracterização e valor nutritivo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) para peixes

Resumo

O sorgo é uma das principais cerealíferas do mundo, contribuindo com a ampliação de alimentos na nutrição animal. Um cereal energético, rico em amido, principal componente do sorgo, representando cerca 72% do peso do grão; o sorgo também é fonte de lipídios (1,94 – 10,4), dos quais os ácidos graxos insaturados representam a principal fração (80%), desses os poliinsaturados compõem cerca de 44%. O sorgo também é fonte de minerais (1,3 – 3,3%); vitaminas (A, complexo B, C, D, E e K) e proteínas (7,76 a 13,71%), segundo maior componente do grão, as kafirinas são as principais proteínas do sorgo, representando até 72,9% do seu teor proteico, as quais são relatadas como sendo um fator antinutricional, por formarem ligações dissulfeto, resistentes a hidrólise enzimática e por formarem complexos com o amido e por conseguinte reduzir a solubilidade e gelatinização do mesmo. Os taninos condensados, são relatados como sendo outros fatores antinutricionais presentes no sorgo, esse cereal é classificado de acordo com o teor de taninos em tipo I, II e III, o tipo I, não contém taninos, os sorgos tipos II e III, contêm taninos variando de (6,4 a 15,5) e (11 – 56,3) mg de equivalentes de catequina/g, respectivamente. Os fatores antinutricionais no sorgo, podem comprometer a digestibilidade da proteína e da energia em peixes, foi demonstrado que o aumento do teor de taninos do sorgo na dieta reduziu a digestibilidade da proteína de (84,94 -87,78%) para (68, 37 – 83,73), respectivamente, e da energia bruta (82,40%) para (70,17%) para a tilápia do Nilo; as kafirinas apresenta menor digestibilidade que as proteínas de outros grãos, a digestibilidade da proteína do sorgo (67,83%) foi inferior à do milho (91,66%) em dietas peletizadas e em dietas extrusadas (56,77%) e (72,86%) respectivamente, para a tilápia Nilo; para o pacu (*Colossoma macropomum*), a digestibilidade da proteína do sorgo (84,38%) foi inferior a digestibilidade da proteína do milho (92,93%) em dietas extrusadas; menor qualidade da proteína do sorgo em relação ao trigo e do arroz, também foi relatada para a carpa comum (*Cyprinus carpio*), com coeficientes de digestibilidade de 71,86, 80,64 e 91,84%, respectivamente. Diferente das proteínas, a disponibilidade da energia do sorgo parece ser melhorada quando a dieta é submetida ao processo de extrusão, a energia digestível do sorgo (2779 Kcal/Kg), em dietas peletizadas para a tilápia do Nilo, foi inferior à do milho (3316 Kcal/Kg), em dietas extrusadas, a digestibilidade da energia bruta do sorgo (82,37%) foi superior a do milho (67,34%) para a mesma espécie; a digestibilidade do amido do sorgo foi superior a do milho em dietas extrusadas, também para a tilápia do Nilo, de (98,49%) e (96,48%) respectivamente. Em dietas peletizadas para o carnívoro marinho Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) a digestibilidade da energia do sorgo (21,6%) foi inferior a energia do milho (44,8%). Os relatos referentes aos efeitos da inclusão do sorgo em substituição ao milho na dieta para peixes ao nível de 100%, demonstraram que a substituição não afetou as variáveis zootécnicas (peso final, ganho de peso, crescimento específico, conversão alimentar, eficiência proteica) e composição química da carcaça (matéria seca, proteína bruta, energia bruta, extrato etéreo e material mineral) da tilápia do Nilo, do pacu e de jundiá; a inclusão de até 60% não causou redução nos índices zootécnicos em bagre híbrido

(*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*) e a inclusão de até 50% de sorgo na alimentação do Bagre (*Clarias gariepinus*) melhorou o crescimento e utilização dos nutrientes para o animal;. Níveis crescente de inclusão do amido do sorgo de 15 a 30% na dieta do híbrido tilápia vermelha (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*) não resultou em efeitos negativos no crescimento, desempenho e utilização de nutrientes, porém o nível de 35% resultou em redução dessas variáveis, devido à diminuição da digestibilidade do amido, causada pelo aumento de taninos na dieta. Esses estudos demonstram a possibilidade da substituição do milho pelo sorgo em dietas para esses animais.

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) é um grão amplamente cultivado em diversos países da África, Américas, Europa, Ásia e Oceania (Popescu *et al.*, 2018), sendo a quinta cultura de cereais mais importante do mundo (Izquierdo e Godwin, 2005), com a produção mundial de 62.020 (1000MT), antecedida apenas pelo milho (*Zea mays*) com 1.241,473 (1000MT), trigo (*Triticum aestivum* L.) com 783.430 (1000MT), arroz (*Oryza sativa*) 518.136 (1000MT) e cevada (*Hordeum vulgare* L.) 141.773 (1000MT). O Brasil é o oitavo maior produtor mundial de sorgo, com 2.455 (1000MT) o que corresponde a 5% da produção mundial (USDA, 2023).

A busca constante por alimentos sustentáveis contribui para ampla produção do sorgo, pois é uma cultura adaptável a climas secos e solos salinos, condições que outras culturas como o milho não toleram com a mesma eficiência (Staggenborg *et al.*, 2008). Outro fator determinante para o aumento na produção de sorgo é que o amido possui diversos usos na indústria alimentar e não alimentar (farmacêutica, construção civil, produção de papel e plástico). O milho, o trigo e o arroz são cereais destaques na indústria do amido, que exige um fornecimento constante e sustentável, o que não é satisfeito apenas com a utilização desses cereais, nesse contexto o sorgo é uma alternativa viável para suprir, de forma complementar, o fornecimento desse composto (Audilakshmi e Swarnalatha, 2019). O sorgo também é fonte de proteínas, lipídios, minerais e vitaminas. Presume-se, a partir dos relatos na literatura, que presença de fatores antinutricionais, como taninos e proteínas kafirinas, não inviabilizam sua inclusão em dietas para os animais, inclusive em dietas para peixes.

Em relação ao seu uso como alimento, o sorgo constitui fonte de nutrientes para animais e humanos. Em países desenvolvidos como os Estados Unidos, Japão e Austrália

e em alguns países em desenvolvimento, incluindo a China e o México o sorgo é cultivado por grandes fazendas comerciais, principalmente, para a alimentação animal; em países africanos e asiáticos o sorgo é cultivado para alimentação humana, por agricultores de baixa renda (Visarada e Aruna, 2019). O sorgo pode ser consumido de diversas formas e processamento: farelo, farinha, grão, silagem. Portanto, o sorgo constitui um grão de importância nutricional, ampliando a disponibilidade de alimento sustentável na nutrição animal. Algumas pesquisas demonstraram a viabilidade da inclusão do sorgo na nutrição de peixes, ampliando a disponibilidade de alimentos na formulação de dietas para esses animais, o que contribui para a sustentabilidade na piscicultura (Al-Ogaily *et al.*, 1996; Furuya *et al.*, 2003; Aiura e de Carvalho, 2007; Hussein *et al.*, 2016; Yones *et al.*, 2019).

Os relatos referentes aos efeitos da inclusão do sorgo em substituição ao milho na dieta para peixes ao nível de 100%, demonstraram que a substituição não afetou as variáveis zootécnicas (peso final, ganho de peso, crescimento específico, conversão alimentar, eficiência proteica) e composição química da carcaça (matéria seca, proteína bruta, energia bruta, extrato etéreo e material mineral) da tilápia do Nilo, do pacu e de jundiá; a inclusão de até 60% não causou redução nos índices zootécnicos em bagre híbrido (*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*); a até 50% de inclusão de sorgo na alimentação do Bagre (*Clarias gariepinus*) melhorou o crescimento e utilização dos nutrientes do animal;. Níveis crescente de inclusão do amido do sorgo de 15 a 30% na dieta do híbrido tilápia vermelha (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*) não resultou em efeitos negativos no crescimento, desempenho e utilização de nutrientes, porém o nível de 35% resultou em redução dessas variáveis, devido à diminuição da digestibilidade do amido, causada pelo aumento de taninos na dieta (Al-Ogaily *et al.*, 1996; Furuya *et al.*, 2003; Aiura e de Carvalho, 2007; Aderolu *et al.*, 2009; Obe e Wuraola, 2014; Abdel e Atallah, 2016; Hussein *et al.*, 2016; Rabelo *et al.*, 2016; Sanchez *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2020). Esses estudos comprovam a viabilidade do sorgo em substituir o milho em dietas para peixes. Essa pesquisa bibliográfica visa reunir informações disponíveis na literatura, apresentando a caracterização e utilização do sorgo na nutrição de diferentes espécies de peixes, confirmando, por intermédio das informações coletadas, o valor nutritivo desse cereal para peixes de diferentes hábitos alimentares.

2 Valor nutricional do sorgo

O sorgo é um ingrediente energético que constitui fonte de proteínas, carboidratos, lipídios, minerais e vitaminas. A distribuição desses nutrientes ocorre de maneira variada no grão, o amido, as proteínas e algumas vitaminas do complexo B (Niacina, riboflavina e piridoxina) se encontram principalmente no endosperma que representa até 82,3% do grão (Taylor e Emmambux, 2010); os lipídios e minerais são mais concentrados no germe do grão, que compões 9,8% do grão integral (Treviño-Salinas *et al.*, 2021).

2.1 O amido do sorgo

Os ingredientes energéticos de origem vegetal são constituídos majoritariamente por carboidratos, desses o amido representa a fração dominante, é a principal fonte de energia em todos os alimentos e rações básicas do mundo (Audilakshmi e Swarnalatha, 2019). O amido de diferentes origens apresenta diferença em sua complexidade molecular, como proporção de amilose e amilopectina; comprimento das cadeias de amilopectinas; tamanho, forma e distribuição do grânulo (Svihus *et al.*, 2005). Diferenças que somadas a interação do amido com outros componentes determinam as propriedades físicas e químicas do amido e a sua digestibilidade.

No sorgo, o conteúdo de amido pode representar até 94% do total de amido do grão; no germe o teor de amido é de até 20% (FAO, 1995) e, em menor quantidade, o amido também pode estar presente no pericarpo do grão (Taylor e Emmambux, 2010). O sorgo, apresenta diferentes tipos de endospermas: normal, ceroso, heteroceroso, farináceo (amiláceo), córneo (vítreo), rico em lisina (FAO, 1995; Figueroa *et al.*, 1995). Os endospermas dos sorgos ceroso, heteroceroso e normal são determinados em função dos genes presentes, tem-se, portanto: o endosperma do sorgo ceroso recessivo (wxwxwx); endosperma do sorgo heteroceroso o qual contém pelo menos um gene recessivo (WxWxwx ou Wxwxwx) e o endosperma do sorgo normal, que não contém gene recessivo (LxLxLx), a dose de um gene recessivo determina o teor de amilose do grão de sorgo (Khoddami *et al.*, 2023). No endosperma vítreo ou córneo há maior proporção de γ -prolaminas e α -prolaminas as quais são as principais responsáveis pela dureza do endosperma vítreo (Chandrashekar e Kirleis, 1988) nesse tipo de endosperma o amido está ligado a matriz proteica, que é espessa e contínua e ao corpos proteicos; no

endosperma farináceo a ligação entre a matriz proteica e o amido é mais fraca e essa matriz proteica encontra-se na forma de lâminas finas e descontínuas o que torna o amido desse tipo de grão mais suscetível a ação das enzimas (Sullins e Rooney, 1975), dessa forma a digestibilidade do amido do sorgo também depende do tipo de endosperma do grão.

O conteúdo de amido pode representar cerca de 72% do peso seco do grão do sorgo (Awika, 2017), constituindo o composto primário na farinha do sorgo (LIN et al., 2021). O tamanho dos grânulos de amido no sorgo varia entre 2 e 35 μm (Rooney e Pflugfelder, 1986; Gaffa *et al.*, 2004; Sang *et al.*, 2008). A maioria dos grânulos do amido do sorgo se apresenta de forma agrupada e possui formatos diversos, tais como: esférico, regulares, inteiros ou poligonal; tem superfície lisa, desprovida de porções ásperas, que contém reentrâncias e poros, a presença de poros na superfície do amido pode influenciar na taxa de hidrólise enzimática desse, por meio da entrada de enzimas amilolíticas no grânulo (Kang *et al.*, 2023; Wulandari *et al.*, 2023). Os grânulos do amido do sorgo e do milho normais são similares e microscopicamente difíceis de distinguir (Rooney e Pflugfelder, 1986). Os grânulos de amido de ambos os cereais contêm canais semelhantes a tubos para conectar a cavidade central (hilo) (Taylor e Emmambux, 2010).

A proporção entre o teor de amilose e amilopectina é um determinante importante nas propriedades físicas e funcionais do amido, pois amidos com alto teor de amilose tendem a formar géis com baixa extensão e viscosidade (Kang *et al.*, 2023), além de serem mais propensos ao processo de enrijecimento (cristalinização) (Collar, 2017). A quantidade e características das ramificações (comprimento e número de ramificações) da amilopectina também afetam essas propriedades. Amidos com elevado teor de amilopectina tendem a ter alta extensão e alta viscosidade (Kang *et al.*, 2023) e amilopectina com cadeias longas pode afetar negativamente a temperatura de gelatinização, o grau de retrogradação e a taxa de hidrólise enzimática do amido (Sang *et al.*, 2008; Khoddami *et al.*, 2023).

A estrutura e a relação de amilose e amilopectina do amido do sorgo varia entre os tipos de sorgo. A composição de amido, conteúdo de amilose e tamanho das ramificações de amilopectina, de três variedades de sorgos graníferos (heteroceroso, normal e ceroso) foram estudadas por (Sang *et al.*, 2008). Os autores observaram que o amido de sorgo heteroceroso apresentou teor intermediário de amilose (14,0%) em comparação com sorgo ceroso (0%) e normal (23,7%) e relataram que a amilopectina do

amido normal apresentou maior número de cadeias curtas e menores temperaturas de pico de gelatinização (temperatura em que ocorre a viscosidade máxima da pasta quente) e grau de retrogradação; os autores concluíram que um amido de sorgo com alto nível de cadeias longas resulta em aumento da retrogradação e maior resistência à digestão enzimática. Além do número e tamanho das cadeias da amilopectina conforme relatado nesse trabalho, o teor de amilose pode afetar o grau de retrogradação e gelatinização do amido.

Comparado a outros cereais como o milho e o trigo, por exemplo, o amido do sorgo apresenta, geralmente, estrutura da amilose e amilopectina similares; maior relação de amilose: amilopectina; grau de gelatinização inferior; grau de retrogradação superior; maior tempo e temperatura para gelatinização completa e por consequência menor taxa de hidrólise (Figuroa *et al.*, 1995; Sang *et al.*, 2008; Awika, 2017; Collar, 2017; Kang *et al.*, 2023).

O perfil quantitativo de viscosidade do farelo do sorgo durante o cozimento e resfriamento é inferior ao do farelo de trigo e do milho, esse perfil determina o grau de gelatinização e retrogradação do amido, o que se relaciona diretamente com a digestibilidade desse. O amido do sorgo demanda maior temperatura de gelatinização (68–75°C) que o amido do milho (62–72°C), do trigo (51–72°C), do arroz (65,9°C) e da cevada (60°C) (Figuroa *et al.*, 1995; Awika, 2017), a temperatura de gelatinização é a temperatura em que o amido começa a inchar, quanto menor a temperatura mais rápida é a gelatinização do amido; o amido do sorgo apresenta menor poder de inchaço (6,6 a 7,23%) e solubilidade (28,6 a 35,3%) que o amido do milho (9,1%) e (76,2%), respectivamente, a 85°C. O poder de inchaço reflete a capacidade das moléculas do amido interagir com a molécula de água e a solubilidade é o indicativo do grau de dispersão da molécula do amido pós-cozimento, quanto maiores, maior é gelatinização do amido (Zhang e Hamaker, 1998); o amido do sorgo apresenta também menor pico de viscosidade (viscosidade máxima da pasta quente) (1313 mPa s) que o amido do trigo (3839 mPa s), o pico de viscosidade é um parâmetro atribuído ao inchaço e a gelatinização do amido, é diretamente proporcional a digestibilidade do amido. O amido do sorgo também apresentou aumento no recuo da viscosidade após resfriamento, superior ao do trigo, o que está atribuído à reassociação e rearranjo de moléculas constituintes do amido,

principalmente amilose, valores baixos de recuo indicam baixa taxa de retrogradação do amido (Collar, 2017).

A condição negativa na viscometria do amido do sorgo pode estar atribuída a alguns fatores tais como: maior teor de amilose (Sun *et al.*, 2014), pois a amilose pode interagir com os lipídeos, formando uma camada de complexos amilose-lipídico na superfície do grânulo, desenvolvendo uma rede rígida de estruturas intragranulares do complexo amilose-lipídico ou a reação de uma camada lipídica na superfície do grânulo é responsável pela menor absorção de água através do aumento da hidrofobicidade (Collar, 2017). A amilose também é responsável pelo aumento da temperatura de pasta e da rigidez dos grânulos por limitar o inchaço do amido (Sang *et al.*, 2008); tipo de proteína do sorgo, as proteínas kafirinas, fração proteica dominante no sorgo, têm a capacidade de interagir com amido, essas proteínas contêm quantidades elevadas de enxofre nos resíduos de aminoácidos que formam ligações de dissulfeto, que são resistentes a hidrólise enzimática, o que interfere na solubilidade e gelatinização do amido (Chandrashekar e Kirleis, 1988; Zhang e Hamaker, 1998; Salinas *et al.*, 2006; Wong *et al.*, 2009).

A presença de taninos também afeta digestibilidade do amido, por inibir a ação da alfa-amilase e aumentar o amido resistente (Austin *et al.*, 2012; Mkandawire *et al.*, 2013). Entretanto, no sorgo, as proteínas kafirinas são, provavelmente, os fatores que mais contribuem para a redução da digestibilidade do amido do sorgo. Pois, não há diferenças significativa na digestibilidade do amido do sorgo e do milho, quando isolados dos demais componentes do grão, todavia quando ocorre a interação do amido de ambos os cereais com os respectivos componentes do pericarpo (fibras e polifenóis) dos grãos, a digestibilidade do amido do sorgo é mais afetada que a do amido do milho; entretanto, a digestibilidade do amido do sorgo é marcadamente menor devido à presença das prolaminas do sorgo, que após tratamento com pepsina e agente redutor que clivam as ligações dissulfeto, a digestibilidade do amido do sorgo se iguala a do amido do milho (Zhang e Hamaker, 1998).

A digestibilidade do amido pode ser aumentada quando o amido é cozido sob pressão, por gerar fortes pressões internas dentro dos grânulos de amido, fazendo com que ele se expanda anormalmente e, no processo, ocorre também a ruptura física da proteína estrutural, desfazendo a barreira proteica que envolve o amido do sorgo (Ezeogu *et al.*, 2005). O processo de extrusão que utiliza calor úmido e pressão é uma alternativa

viável para melhorar a digestibilidade do amido do sorgo, pois já foi relatado que a extrusão reduz os fatores antinutricionais e melhora a digestibilidade de diversos ingredientes vegetais (de Souza *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020).

No sorgo a digestibilidade do amido depende da sua estrutura química e física, e de outros componentes não amidos, como os nutrientes e fatores antinutricionais do sorgo e a complexa interação desses. Submeter o sorgo a temperatura e pressões elevadas é uma alternativa para ampliar a digestibilidade do amido, a extrusão, por exemplo, é comprovadamente viável para este fim.

2.2 Proteínas e aminoácidos do sorgo

As proteínas nos grãos são classificadas conforme a solubilidade (Bean *et al.*, 2019). As classes de proteínas identificadas no grão do sorgo são: as prolaminas (solúveis em álcool) representando (37,5% a 72,9%); glutelinas (solúveis em soluções básicas) com valores variando entre (4 a 38%); albuminas (solúveis em água) e globulinas (solúveis em soluções salinas), juntas constituem cerca de (7,1 – 30%) das proteínas totais do sorgo (Virupaksha e Sastry, 1968; Watterson *et al.*, 1993; Selle *et al.*, 2010; Bean *et al.*, 2019).

Com exceção da prolaminas, as demais classes não são bem caracterizadas no sorgo, poucos estudos são desenvolvidos a cerca de sua composição de aminoácidos, estruturas e pesos moleculares, portanto os estudos dessas classes se concentram em determinar os níveis das proteínas (Bean *et al.*, 2019). Conforme relatado por esses autores, apesar dos níveis de lisina nessas frações proteicas serem mais altos, a proporção total de albumina e globulinas na proteína total do grão limita o impacto que essas proteínas podem ter na qualidade nutricional do grão. As glutelinas constituem a matriz proteica, representam a segunda classe mais abundando do sorgo, está ligada ao corpo proteico contendo as prolaminas (Selle *et al.*, 2010; Wulandari *et al.*, 2023).

As prolaminas constituem a classe dominante de proteínas de armazenamento nas sementes em muitos cereais; no milho, essas proteínas são denominadas de zeínas (α , δ , γ e β) e no sorgo de kafirinas (α , δ , γ e β), presentes no endosperma dos respectivos grãos, essas proteínas se agrupam e ocorre o empacotamento das mesmas nos corpos proteicos do retículo endoplasmático rugoso, formando endosperma vítreo (Holding, 2014).

No sorgo, o corpo proteico, contendo principalmente as kafirinas, possui forma esférica e está ligado a matriz proteica de glutelinas, onde a kafirinas e as glutelinas são

circundadas pelos grânulos do amido (Selle et al., 2010; Wulandari et al., 2023). No corpo proteico as kafirinas estão distribuídas de forma que as α -kafirinas encontram-se localizadas no interior, e estão envolvidas pelas kafirinas subclasses β - e γ - que estão distribuídas região central e mais externa do corpo proteico (Shull et al., 1992). Entre as prolaminas do sorgo, as α -kafirinas são as mais abundantes (Watterson et al., 1993) e as mais digestíveis (Massel et al., 2022), pois as subclasses β - e γ - kafirinas são menos solúveis e formam estruturas mais resistentes a digestão (Jampala et al., 2012). Em relação ao conteúdo aminoacídico, as α -kafirinas são ricas em glutamina (21,8 mole %) e resíduos de leucina (15,1 mole %), entretanto contêm baixo teor de lisina (0,4 mole %), arginina (0,8 mole %) e aminoácidos contendo enxofre metionina (0,6 mole %) e cisteína (1,1 mole %); as β e γ Kafirinas também contêm elevados teores de glutamina (17,7 e 13,8 mole %) e leucina (12 e 9,0 mole%), respectivamente, e baixo teor de lisina (0,5 e 0,4 mole %), porém contêm maiores teores de cisteína (4,9 e 6,9 mole %) que as α -kafirinas as β contêm maior teor de metionina (5,7 mole %) que α e γ Kafirinas (1,0 mole %) (Shull et al., 1992).

Em relação ao conteúdo total de proteínas do sorgo, é relatado teor de proteína bruta variando entre (7,76 a 13,71%) (Douglas et al., 1990; Guimarães et al., 2008; Adebo e Kesa, 2023; Wulandari et al., 2023) similar ao teor proteico do milho 8,94 a 10,4% (Douglas et al., 1990; Zhang e Hamaker, 1998; Vidal et al., 2015) e do trigo (9 a 15%) (Shewry et al., 2003; Collar, 2017). Apesar do teor similar de proteínas, que constituem o segundo nutriente mais abundante no grão (Lin et al., 2021), o sorgo possui menor qualidade proteica que as dos outros dois cereais (Khan et al., 2023), principalmente devido à presença das proteínas kafirinas (Jampala et al., 2012) que são mais hidrofóbicas que as prolaminas do milho, as zeínas, (Duodu et al., 2003) e do trigo (Belton et al., 2006), pois formam ligações resistentes a hidrólise enzimática e também devido a presença de taninos, que se complexam com as proteínas prejudicando a ação das proteases (Butler et al., 1984; Duodu et al., 2003).

Quanto ao conteúdo de aminoácidos, em relação à composição de proteína bruta do sorgo, os resultados são consistentes em relatar a deficiência de aminoácidos sulfurados (metionina e cistina), triptofano, lisina, treonina e histidina e confirmar a abundância dos aminoácidos ácido aspártico, leucina e fenilalanina (Douglas et al., 1990; Guimarães et al., 2008; Adebo e Kesa, 2023; Wulandari et al., 2023). Os aminoácidos

limitantes e abundantes no sorgo são os mesmos relatados para o milho (Tabela 1) (Douglas et al., 1990; Guimarães et al., 2008).

Apesar da similaridade no perfil de aminoácidos do sorgo e do milho, a digestibilidade dos aminoácidos de ambos os grãos pode ser distinta, pois a digestibilidade *in vitro* da proteína do sorgo é inferior à do milho (Duodu et al., 2003; Ezeogu et al., 2005), o que implica em afirmar que os aminoácidos do sorgo são menos digestíveis. Os fatores que afetam a digestão dos AAs são os mesmos que reduzem a digestibilidade da proteína do sorgo, citados anteriormente.

Estudos são realizados para desenvolvimento de grão de sorgo mutantes, visando aumentar o conteúdo de proteínas e aminoácidos essenciais, em especial os mais limitantes; melhorar a digestibilidade dos mesmos (Khan et al., 2023), e reduzir o conteúdo de proteínas β -kafirinas (Massel et al., 2022), para a produção de sorgos com melhor qualidade nutricional, para potencializar sua inclusão em dietas animal.

Tabela 1. Perfil aminoacídico do sorgo e do milho

Conteúdo aminoacídico do sorgo e do milho						
Aminoácidos	Sorgo ^a	Sorgo ^b	Sorgo ^c	Sorgo ^d	Milho ^c	Milho ^d
Essenciais						
Arginina*	0,33 – 0,68	5,71	0,30	2,98 – 4,99	0,28	4,54 – 5,59
Fenilalanina	0,44 - ,57	10,56	0,37	4,17 – 5,54	0,38	3,89 – 4,63
Histidina	0,26 – 0,54	3,78	0,19	1,62 – 2,66	0,20	2,15 - 2,67
Isoleucina	0,41 – 0,65	5,13	0,23	2,74 -4,18	0,24	2,74 – 3,75
Leucina	0,39 – 1,06	16,4	0,77	10,54 – 15,38	0,77	9,59 – 13,83
Lisina	0,17 – 0,41	2,34	0,21	1,95 – 2,73	0,21	2,47 – 2,72
Metionina	0,09 – 0,12	NR	0,10	1,41 – 2,28	0,09	1,73 – 2,06
Treonina	0,28 – 0,41	5,0	0,26	2,25 – 3,68	0,26	2,32 – 3,29
Triptofano	ND	0,86	0,06	ND	0,05	ND
Valina	0,47 – 0,69	6,84	0,33	4,03 – 5,17	0,33	3,84 -4,52
Não essenciais						
Ácido Aspártico	0,57 – 1,01	7,15	0,47	5,85 – 7,11	0,47	5,56 -6,45
Ácido glutâmico	1,18 – 2,76	24,10	1,34	16,54 – 24,47	1,28	4,96 – 18,49
Alanina	0,73 – 1,77	9,8	0,49	6,97 – 10,57	0,49	5,85 – 8,17
Cistina	ND	0,43	0,09	1,74 – 2,66	0,08	1,75 – 1,95
Glicina	0,24 – 0,51	4,585	0,28	2,66 – 3,68	0,28	3,1 – 3,7
Prolina	0,67 – 0,99	10,48	Zx	ND	0,70	ND
Serina	0,37 – 0,67	6,77	0,32	3,88 – 5,13	0,32	4,23 – 4,84
Tirosina	0,37 – 0,52	5,09	0,12	2,88 – 3,56	0,12	2,80 – 3,17

^aAdebo e Kesa (2023) valores expressos em grama por 100 grama de proteína bruta; ^b Wulandari *et al.* (2023), valores expressos em miligrama g rama de proteína bruta; ^c Guimarães *et al.* (2008), valores expressos em % da proteína bruta; Douglas *et al.* (1990), valores expressos em valores expressos em % da proteína bruta; *arginina considerado aminoácido essencial para peixes.

2.3 Lipídeos e ácidos graxos do sorgo

Os lipídios são compostos fundamentais na nutrição animal, compõem moléculas biológicas, desempenham diversas funções orgânicas e contribuem com a saúde animal, quando inclusos observando a quantidade de cada constituinte lipídico. No grão do sorgo, os lipídios estão presentes majoritariamente no gérmen (Treviño-Salinas *et al.*, 2021), o conteúdo total desse nutriente no sorgo varia entre (1,94 – 10,4) (Mehmood *et al.*, 2008; Martino *et al.*, 2012). Os principais ácidos graxos constituintes do sorgo são o ácido graxo

poliinsaturado linolênico C18:2 (ácido 9-12-octadecadienoico) (2,4% – 54,39%), o ácido graxo predominante no óleo do grão, seguido pelo ácido graxo monoinsaturado oleico C18:1 (Octadec-9-enóico) (1,0% - 48,99) e o ácido saturado palmítico C16:0 (hexadecanoico) (0,8% - 26,18%), juntos podem representar mais de 95% do total de ácidos graxos. O ácido esteárico C18:0 (octadecanoico) também está presente em todas as variedades (1,4% - 2.94), porém não é um dos mais abundantes (Mehmood *et al.*, 2008; Bhandari e Lee, 2013; Buitimea-Cantúa *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019; Treviño-Salinas *et al.*, 2021; Pontieri *et al.*, 2022; Desta *et al.*, 2023).

Outros ácidos graxos são relatados como componentes do sorgo, porém tanto a concentração quanto a presença são variáveis nos diferentes cultivares. Um perfil de ácido graxo mais detalhado foi relatado por Treviño-Salinas *et al.* (2021) os quais observaram os seguintes ácidos graxos em diferentes variedades de sorgo: ácidos butílico C4:0 (butanoico); caproico C6:0 (hexanoico), cáprico C6:0 (decanoico), undecílico C8:0 (undecanoico), láurico C10:0 (dodecanoico), tridecanoico C13:0, mirístico (tetradecanoico) C14:0, pentadecanoico C15:0, palmítico C16:0 (hexadecanoico), margárico C17:0 (heptadecanoico), esteárico C18:0 (octadecanoico), araquídico C20:0 (eicosanoico), heneicosanoico C21:0, beénico C22:0 (ocosanoico),tricosanoico C23:0 e os ácidos graxos insaturados encontrados incluíam os ácidos palmitoleico C16:1 (Delta-9-cis-hexadecénico), oleico, linoléico, eicosanoico C20:1, linolênico (ácido 9,12,15-Octadecatrienóico), erúcico C18;3 (cis-13-cosenóico). e docosadienóico C22:2 e por PONTIERI *et al.* (2022), que determinaram os ácidos graxos mirístico, palmítico, palmitoleico, margárico, margaroleico C17:1, esteárico, oleico, linoléico, linolênico, araquídico, beénico, lignocérico C24:0 (Tetracosanoico), erúcico. Os ácidos graxos, octanodióico C8:0 e azelaico C9:0 (nonadióico), também foram determinados em algumas variedades do sorgo (Mehmood *et al.*, 2008) (Tabela 2).

Os ácidos graxos L: ácido linoléico; O: ácido oleico; P: ácido palmítico; Ln: ácido linolênico; S: ácido esteárico; Z: ácido zoomárico; E: ácido eicosenóico; A: ácido araquídico foram identificados como componentes dos triglicerídeos (TAGs) do sorgo (Zhang *et al.*, 2019) os autores relataram um total de 17 TAGs detectados e identificados; os TAGs identificados, L-L-O, L-L-L, O-O-L e L-L-P foram os quatro principais TAGs, cada um contribuindo com mais de 10% do peso total dos TAGs. Outros seis TAGs, incluindo L-O-P, O-O-O, O-O-P, L-L-Ln, S-O-L e Ln-L-P também foram relativamente abundantes em óleo de sorgo vermelho, variando entre 1,04% e 9,03% do peso total dos

TAGs. Além disso, alguns TAGs de baixo teor (C20: 1) e ácidos zoomáricos (C16: 1) também foram identificados, incluindo L-L-Z, E-O-L, O-O-S, L-L-A, O-O-E, S-S-P e L-O-A.

Os dados obtidos pelos diversos autores citados são consistentes em afirmar que o sorgo apresenta concentração de ácido graxos insaturados superiores aos saturados, sendo os ácidos graxos polinsaturados predominantes no sorgo. Variedades de sorgo contêm cerca de 80% de ácidos graxos insaturados em seu conteúdo total de ácido graxos, destes, mais de 44,1% são polinsaturados (Bhandari e Lee, 2013), proporção de TUFA para SFA variou de 3,50 a 5,44, (Desta *et al.*, 2023). Os estudos sugerem que o sorgo é um alimento saudável do ponto de vista do seu conteúdo lipídico, foi relatado que os ácidos graxos insaturados apresentam propriedades benéficas a saúde, pois podem reduzir o colesterol e concentrações de lipoproteínas de alta densidade (LDL) no sangue, modular a função imunológica, diminuir a suscetibilidade à oxidação do LDL e melhorar a fluidez das lipoproteínas de baixa densidade HDL, esses dentre outros benefícios são relatados (Hargrove *et al.*, 2001; Simopoulos, 2002; Villa *et al.*, 2002).

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos do sorgo

Ácido graxos	A	B	C	D	E	F
Saturados						
Butílico	ND	ND	ND	17,45-20,8	ND	ND
Caproico	ND	ND	ND	13,4 – 14,6	ND	ND
Octanodióico	0,09 – 0,37	ND	ND	ND	ND	ND
Azelaico	0,04 – 1,88	ND	ND	ND	ND	ND
Cáprico	ND	ND	ND	1,17 – 1,2	ND	ND
Undecílico	ND	ND	ND	0,5	ND	ND
Láurico	ND	ND	ND	0,1 – 0,2	ND	ND
Tridecanóico	ND	ND	ND	1,4	ND	ND
Mirístico	ND	ND	ND	2,4	0,012 - 0,036	ND
Pentadecanóico	ND	ND	ND	6,34	ND	ND
Palmitico	11,73 – 20,18	21,48–26,18	15.62	0,8 -5,9	18,6 -12,76	14,1 – 20,8
Margárico	ND	ND	ND	1,3 – 16,3	0,064 - 0,099	ND
Esteárico	1,09 – 2,59	2,13 – 2,84	2.94	1,4 – 9,4	1,234 - 2,236	0,99 – 2,21
Araquídico	ND	ND	0.13	5,4	0,435 - 0,214	ND
Heneisocanóico	ND	ND	ND	1,6	ND	ND
Beênico	ND	ND	ND	0,4 – 1,9	0,027 - 0,072	ND
Tricosanóico	ND	ND	ND	2 – 3,8	ND	ND
Lignocérico	ND	ND	ND	ND	0,188- 0,232	ND
Insaturados						
Palmitoleico	0,43– 0,56	ND	ND	1,6 - 2,3	0,824 - 0,690	ND
Margaroleic	ND	ND	ND	ND	0,061 - 0,067	ND
Oleico	31,12 – 48,99	35,72- 38,41	36.67	1,0 – 20,3	37,62 - 42,655	25,85-43,55
Linoléico	27,59 – 50,73	32,69 – 38,9	43.75	2,4 – 27,3	33,985 - 42,084	37,84-54,39
Eicosenoico	ND	ND	0.22	1,2 – 2,7	0,302 - 0,220	ND
Linolênico	1,71 – 3,89	0,59 – 1,17	ND	1,4 – 7,7	1,958 - 2,084	0,98 - 2,30
Erúcido	ND	ND	ND	1,8	0,018 - 0,065	ND
Docosadienoico	ND	ND	ND	2,4	0,188- 0,232	ND
Palmitoleico	0,43 – 0,56	ND	ND	1,6 - 2,3	0,824 - 0,690	ND
Margaroleico	ND	ND	ND	ND	0,061 - 0,067	ND

A Mehmood *et al.* (2008) porcentagem (%) de ácidos graxos saturados e insaturados analisados por CG–EM e seus tempos de retenção (Rt); B Buitimea-Cantúa *et al.* (2013), valores expressos em g/100g ácido graxos; C Zhang *et al.* (2019) valores expressos em g/100g ácido graxos; D Treviño-Salinas *et al.* (2021) valores expressos mg/100g de ácido graxo; E Pontieri *et al.* (2022) valores expressos em g/100g ácido graxos; F Desta *et al.* (2023); ND não determinado.

2.4 Vitaminas e minerais

O conteúdo vitamínico do sorgo não é amplamente relatado na literatura, o grão é fonte de vitaminas solúveis do complexo B, com exceção da vitamina B12 e B7 e vitamina C, também é fonte de vitaminas lipossolúveis A, D e E (Tabela 3). O sorgo apresentara três formas de isômeros de vitamina E: α -e γ -tocoferol e α -tocotrienol, o γ -tocoferol e constituinte majoritário da vitamina E (Bhandari e Lee, 2013).

Tabela 3. Vitaminas quantificadas no sorgo

VITAMINA	QUANTIDADE (unidade/mg)
Vitamina C	2 mg
Tiamina (B1)	0,237 mg
Riboflavina (B2)	0,142 mg
Niacina (B3)	2,927 mg
Ácido pantotênico (B5)	1,25 mg
Piridoxina (B6)	0,59 mg
Folato (B9))	0,02 μ g
Cianocobalamina (B12)	0 μ g
Vitamina A	16 UI
Vitamina E	1,2 mg

Aptado de: United Sorghum Checkoff Program and Lindsay, John, "Sorghum: An Ancient, Healthy and Nutritious Old-World Cereal" (2010). INTSORMIL Scientific Publications. 7; mg: miligrama; μ g: microgramas; IU unidades internacionais.

O conteúdo de minerais no sorgo varia de 1,3 a 3,3% (Hassan, 2023). O sorgo contém minerais e outros elementos como: potássio K, magnésio Mg, cálcio Ca, sódio Na, ferro Fe, zinco Zn, alumínio Al, manganês Mn, cromo Cr, níquel Ni, cobre Cu, bário Ba, molibdênio Mo, chumbo Pb, cobalto Co, estanho Sn, prata Ag, arsênio As, selênio Se, berílio Be, vanádio V, Titânio Ti, Antimônio Sb, mercúrio Hg, cádmio Cd, uranio U. Nas três variedades de sorgo, branco, vermelho e preto, os macroelementos seguiram a sequência $K > Mg > Ca > Na$ e os microelementos $Fe > Zn > Al$ (Pontieri *et al.*, 2022). A disponibilidade dos minerais pode ser comprometida pela presença de fatores antinutricionais como ácido fítico e taninos, para ampliar a disponibilidade dos minerais

no sorgo tecnologias são empregadas, o melhoramento genético, por exemplo, pode aumentar a quantidade e biodisponibilidade do Fe e Zn do sorgo (Hassan, 2023), processos térmicos, como a extrusão, é eficiente na redução dos fatores antinutricionais e melhoramento da qualidade dos ingredientes vegetais.

As vitaminas e os minerais constituem micronutrientes fundamentais para processos vitais, participam como cofatores ou coenzimas, atuando em inúmeras reações enzimáticas.

3 Fatores antinutricionais do sorgo

Os fatores antinutricionais são substâncias presentes no alimento que reduzem a qualidade nutricional por comprometer a digestão dos nutrientes e por consequência a utilização dos mesmos pelos animais.

3.1 Taninos

Os taninos são compostos polifenólicos secundários nas plantas, são solúveis em água, têm peso molecular variando de 500 a 20.000 Da (Melone *et al.*, 2013), são classificados em taninos condensados e hidrolisáveis, os taninos hidrolisáveis são ácidos carboxílicos fenólicos, como o ácido gálico, esterificados em açúcares como a glicose; os taninos condensados (não hidrolisáveis), quimicamente conhecidos como proantocianidinas, são polímeros de flavin-3-óis ligados por ligações carbono-carbono (Butler *et al.*, 1984).

Os taninos condensados são os taninas componentes do sorgo, os taninos hidrolisáveis não foram encontrados em nenhuma variedade (Butler *et al.*, 1984; Dykes e Rooney, 2006), estão localizados na testa da semente, tecido altamente pigmentado que se encontra abaixo do pericarpo, a presença de taninos é determinada pela presença da testa no sorgo (Magalhaes e Duraes, 2003). A concentração de taninos dos grãos escuros geralmente é superior aos dos grãos claros e é afetada por fatores ambientais (Hassan, 2023), entretanto a cor do grão não é um indicador qualitativo eficiente da concentração de taninos no sorgo (Boren e Waniska, 1992). Sorgos com pericarpo de coloração branca, amarela, vermelha ou marrom podem, ou não, conter taninos, o que determina é a presença de uma testa pigmentada (Dykes e Rooney, 2006).

O sorgo é categorizado de acordo com a presença ou ausência de taninos, sendo tipo I, II e III. Sorgo do tipo I, possui a testa não pigmentada, contém níveis baixos de fenóis e não contém taninos; sorgos tipos II e III, ambos têm a testa pigmentada e contêm taninos variando de (6,4 a 15,5) e (11 – 56,3) mg de equivalentes de catequina/g, respectivamente (Dykes e Rooney, 2006). Conforme esses autores, valores abaixo de 1,8 mg de equivalentes de catequina/g, relatados para o sorgo tipo I, estão abaixo do limite de tolerância e são erroneamente interpretados como níveis baixos de taninos no sorgo, quando, na verdade, é devido à presença de outros compostos fenólicos e não de taninos.

O efeito antinutricional dos taninos do sorgo está relacionado, principalmente, com a sua capacidade de se complexar com as proteínas, por meio de ligações de hidrogênio por meio de interações hidrofóbicas (Butler *et al.*, 1984). As interações entre tanino e as proteínas albumina, globulina e prolaminas tornam a maioria das proteínas insolúveis (Duodu *et al.*, 2003), o que compromete a digestibilidade das proteínas e, portanto, diminui o valor nutricional do sorgo (Awika e Rooney, 2004). A digestibilidade do amido do sorgo também é afetada pela presença de taninos, pois reduz a atividade da enzima α -amilase (Daiber, 1975; Mkandawire *et al.*, 2013), afetando a digestibilidade do amido e aumentaram o teor de amido resistente (Austin *et al.*, 2012).

Elevadas concentrações de taninos na dieta de monogástrico pode reduzir a qualidade dos nutrientes, por provocar redução na digestibilidade, desempenho e metabolismo do animal. O sorgo com alto teor de tanino pode prejudicar a digestibilidade dos nutrientes, contém menor energia digestível e metabolizável para suínos, comparado ao sorgo de baixo teor de taninos (Pan *et al.*, 2018; Pan *et al.*, 2022) e pode provocar redução da digestibilidade da proteína e energia em peixes (Freire *et al.*, 2002; Furuya *et al.*, 2004). Os níveis de taninos suportados variam entre as espécies de peixes e o tipo de tanino inserido na dieta. Pesquisas demonstraram que níveis até 0,23% de taninos na dieta não afetou o desempenho produtivo de piaçu (*Leporinus macrocephalus*), níveis iguais ou superiores a 0,46% resultaram em ganho de peso significativamente inferior para espécie citada (Pinto *et al.*, 2001); a tilápia do Nilo alimentada com dietas contendo níveis crescentes de taninos condensados e hidrossolúveis (0 a 2,5% da dieta), os efeitos negativos no desempenho produtivo foram mais acentuados nos espécimes alimentados com as dietas contendo taninos hidrolisáveis, a inclusão de 0,5% exerceu efeito negativo

no crescimento, os taninos condensados até 0,5% não exerceu efeito deletério nos índices zootécnicos dos peixes (Buyukcapar *et al.*, 2011).

Os taninos podem exercer efeitos benéficos à saúde quando inclusos na dieta em concentrações que não ultrapassem o limiar do animal. Variedades de sorgo contendo de 0.087% a 0.57% de taninos, inclusos em dietas para a tilápia do Nilo, não prejudicaram o desempenho produtivo da espécie (Aiura e de Carvalho, 2007). Os taninos condensados exerceram efeito antioxidante para a tilápia do Nilo, inclusos na proporção de 0,4% da dieta, proporcionaram redução significativa da peroxidação lipídica dos músculos (Thitichayaphong e Rukkwamsuk, 2017). Portanto, o efeito dos taninos depende do tipo de tanino, do nível de inclusão e da espécie estudada. A tilápia do Nilo suporta até 0,5% de taninos condensados na dieta, sem efeito deletério ao desempenho (Buyukcapar *et al.*, 2011). O que permite afirmar que os taninos condensados presentes no sorgo de baixo tanino podem não exercer efeito deletério ao ser incluso em dietas para espécie, como ingrediente alternativo ao milho.

3.2 Proteínas Kafirinas

As proteínas kafirinas são as principais proteínas presentes no sorgo, representando entre 50 e 60% das proteínas do endosperma do grão (Shull *et al.*, 1991). São relatadas quatro subclasses, α , β , γ - e δ kafirinas, como proteínas presentes no sorgo (Laidlaw *et al.*, 2010), classificação baseada no peso molecular, solubilidade e sequência de genes (Shull *et al.*, 1991). Estão distribuídas em um corpo proteico no retículo endoplasmático do endosperma do grão, de forma que as α -kafirinas estão no interior do corpo proteico envolvidas pelas as β -, γ – kafirinas que por sua vez estão circundadas pelo grânulo do amido (Shull *et al.*, 1992; Selle *et al.*, 2010; Wulandari *et al.*, 2023).

As α kafirinas são as subclasses mais abundantes, representando cerca de 66 a 84% do total das kafirinas no endosperma do sorgo (Watterson *et al.*, 1993) contêm mais aminoácidos hidrofóbicos fenilalanina (4,0 mole%), leucina (15,1 mole%) e isoleucina (4,4 mole%) que as kafirinas β (1,9; 12,0; 2,3 moles%) e γ (1,8; 9,0; 2,6 mole%), respectivamente (SHULL *et al.* 1992), as α kafirinas são menos resistentes a digestão (MASSEL *et al.*, 2023). As subclasses β e γ representam cerca de (7 a 13%) e (9 a 21%) do total de kafirinas do endosperma do sorgo, respectivamente (Watterson *et al.*, 1993), contêm elevado conteúdo de cistina 4,9 e 6,9 mole%, respectivamente, em relação a α

kafirinas 1,1 mole % (SHULL *et al.*, 1992), o que favorece a polimerização das proteínas, por meio de ligações dissufeto, formadas entre os resíduos de cistina (Shull *et al.*, 1992; El Nour *et al.*, 1998; Duodu *et al.*, 2002) caracterizando o estado natural de insolubilidade dessas proteínas (Belton *et al.*, 2006) e reduzindo a acessibilidade do corpo proteico pelas enzimas digestivas (Duodu *et al.*, 2002). Entretanto, o grau de polimerização das proteínas kafirinas, também pode ser determinado pela ligação dissufeto entre γ e α kafirinas (El Nour *et al.*, 1998).

A condição antinutricional das kafirinas está atribuída a sua resistência a digestão, principalmente devido à ligação dissufeto que impermeabiliza a proteína e o amido, impedindo a hidrólise enzimática e consequente digestibilidade. Há décadas estudos vem demonstraram o efeito negativo do cozimento do sorgo sob a digestibilidade das proteínas e/ou do amido do sorgo, por resultar em um aumento das proteínas polimerizadas por meio de ligações cruzadas de dissufeto (Ezeogu *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2022). Quanto ao comprometimento da digestão do amido, é provável que as proteínas kafirinas envolvam o amido formando uma barreira física, por meio de uma rede de proteínas (Ezeogu *et al.*, 2005), reduzindo a gelatinização do amido do sorgo (Chandrashekar e Kirleis, 1988) ou interagindo com o amido durante o cozimento, ou resfriamento (Zhang e Hamaker, 1998), tornando-se, portanto, um impedimento para atividade das enzimas amilolíticas.

As kafirinas comparadas as prolaminas do milho, as zeínas, são similares na estrutura, porém são mais hidrofóbicas, o que impede a hidratação da proteína (Duodu *et al.*, 2003; Oom *et al.*, 2008), conforme demonstrado por Oom *et al.* (2008), na presença de ácidos oleico tanto a zeínas quanto a kafirinas podem formar uma massa viscoelástica, entretanto devido a presença de cistina e consequente ligação de dissufeto, ocorre enrijecimento pronunciado das resinas de kafirinas. É provável que o grau de polimerização das prolaminas do sorgo durante o cozimento seja superior ao das prolaminas do milho (Duodu *et al.*, 2003; Ezeogu *et al.*, 2005). A digestibilidade *invitro* da proteína do farelo sorgo (55,8 – 59,1%) foi inferior ao do farelo do milho (66,6%), quando submetidos ao cozimento a digestibilidade da proteína do sorgo foi mais comprometida (30,5-36,6%) que a do milho (62%), o que foi atribuído ao aumento das ligações dissufeto entre as kafirinas (Duodu *et al.*, 2002), efeito similar foram relatados posteriormente por (Ezeogu *et al.*, 2005).

Foi demonstrado que o cozimento sob pressão reduz o efeito negativo supracitado, por romper as ligações responsáveis pela polimerização das proteínas (Ezeogu *et al.*,

2005), corroborando com achado anterior, onde a extrusão melhorou a digestibilidade da proteína do sorgo (Fapojuwo *et al.*, 1987). Esses relatos permitem inferir que as ligações dissulfeto podem ser rompidas pelo processo de extrusão, reduzindo esse efeito antinutricional do sorgo.

4 Inclusão do sorgo em dietas para peixes

A avaliação dos efeitos na inclusão do sorgo na dieta animal, é o elemento chave para consolidar a viabilidade do sorgo como alimento energético alternativo. Em peixes os estudos são concentrados em avaliar a digestibilidade do grão, o efeito da inclusão no desempenho produtivo das espécies. Entretanto, são escassos os relatos dos efeitos do sorgo sob a fisiologia, metabolismo de peixes.

4.1 Digestibilidade do amido, proteína e energia do sorgo para peixes

A composição química e a digestibilidade constituem as primeiras ferramentas na avaliação do potencial de inclusão de um alimento na dieta animal (Guimarães *et al.*, 2008), possibilita estimar o valor nutricional do alimento e a formulação de rações com menores custos (McGoogan e Reigh, 1996) e ambientalmente sustentáveis (Silva *et al.*, 2020). A digestibilidade dos nutrientes e energia do sorgo foi avaliada para algumas espécies de peixes. O efeito do tanino do sorgo na digestibilidade da proteína e energia foi evidenciado para a tilápia do Nilo alimentadas com dietas peletizadas contendo sorgo de alto e baixo tanino, Furuya *et al.* (2004) demonstraram que a silagem do sorgo de baixo tanino (0,44%) apresenta coeficientes de digestibilidade da proteína bruta (84,94%) e energia bruta (70,17%) superiores aos da proteína (68,37%) e energia bruta (82,40%) da silagem de sorgo de alto tanino (1,44%); esses relatos confirmam os resultados observados anteriormente por Freire *et al.* (2002) os quais concluíram que o sorgo de baixo tanino tem digestibilidade da proteína (87,78%) e energia (72,26%) mais próxima a do milho (89,03%) e (72,20%), respectivamente, que o sorgo com alto teor de tanino, que apresentou menor digestibilidade da proteína (83,73%) e energia (68,65%), dentre as três fontes energéticas. O efeito negativo dos taninos do sorgo na digestibilidade do amido foi observado para híbrido tilápia vermelha (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*), o ADC de amido (80,4%) foi significativamente menor quando o nível de

amido de sorgo na dieta foi 35% em comparação com peixes alimentados com as outras dietas de amido de sorgo (15, 20, 25, 30%) com CDAs do amido de (88,6; 86,4; 84,5; 85,2%), respectivamente, efeito atribuído ao aumento dos taninos na dita que foi de 0,42% para o maior nível de inclusão, entretanto os CDAPB e dos lipídios não foram influenciados pelas dietas (Abdel e Atallah, 2016). Os taninos do sorgo podem comprometer a digestibilidade da proteína e energia, porém é plausível salientar que o sorgo contendo reduzidos teores de taninos não compromete a digestibilidade dos nutrientes.

A digestibilidade da proteína do sorgo parece ser menor que a proteína do milho em peixes onívoros, o que pode ser atribuído principalmente a presença das proteínas kafirinas do sorgo que são menos digestíveis que as zeínas do milho. A digestibilidade da proteína do sorgo (67,83%), em dietas peletizadas para a tilápia do Nilo, foi marcadamente menor que a do milho (91,66%) (Pezzato *et al.*, 2002). Efeito similar foi observado por Guimarães *et al.* (2008) para a mesma espécie alimentada com dietas extrusadas, sendo relatada diferenças significativas entre a digestibilidade da proteína do sorgo (56,77%) e do milho (72,86%), neste caso a extrusão não foi capaz de melhorar a qualidade proteica do sorgo ao nível da proteína do milho. Esse padrão de menor qualidade da proteína do sorgo também foi relatado para o pacu (*Colossoma macropomum*), a digestibilidade da proteína do sorgo (84,38%) foi inferior a digestibilidade da proteína do milho (92,93%) quando os peixes foram alimentados com dietas extrusadas contendo as duas fontes energéticas (Abimorad e Carneiro, 2004). A proteína do sorgo também tem menos qualidade que a do trigo e do arroz para a carpa comum (*Cyprinus carpio*), com coeficientes de digestibilidade de 71,86, 80,64 e 91,84%, respectivamente.

Em contrapartida, o mesmo comportamento na digestão da proteína do sorgo não foi observado para o carnívoro robalo Sunshine *Morone chrysops*♀ × *M. saxatilis*♂, que apresentou digestibilidade da proteína de 60%, superior a do milho com 52% e inferior aos CDAPB do farelo de soja descascado, farelo de algodão, farelo de trigo e farelo de arroz os quais foram de 73 a 100% (Rawles e Gatlin III, 2000), os autores atribuíram a menor digestibilidade da proteína do milho e do sorgo à menor concentração proteica dos mesmos 8,8 e 10,3%, respectivamente, em relação aos demais produtos com teores proteicos entre 12,4 a 51,6% e ao elevado teor de carboidratos, não determinados na referida pesquisa. Provavelmente, o efeito na digestibilidade da proteína do sorgo pode

ser em razão deste conter maior teor de tanino e, principalmente, devido à presença das prolaminas, kafirinas, conforme anteriormente relatado. A digestibilidade de alimentos em peixes é relativa e dependente da qualidade do ingrediente, do processamento deste, bem como da espécie submetida ao alimento.

A disponibilidade da energia do sorgo parece ser melhorada quando a dieta é submetida ao processo de extrusão. Pezzato *et al.* (2002) relataram que a energia digestível do sorgo (2779 Kcal/Kg) em dietas peletizadas para a tilápia do Nilo é inferior que a do milho (3316 Kcal/Kg), entretanto em dietas extrusadas para esse peixe a digestibilidade da energia bruta do sorgo (82,37%) foi superior a do milho (67,34%) (Guimarães *et al.*, 2008), os autores atribuíram a maior digestibilidade da energia do sorgo aos carboidratos indigestíveis (lignina, pentosanas e celulose) que podem ter digestibilidade melhorada com a extrusão. (Guimaraes *et al.*, 2011), ao avaliar a digestibilidade do amido do sorgo e do milho em dietas extrusadas, também para a tilápia do Nilo, observaram maior digestibilidade do amido do sorgo (98,49%) em relação ao amido do milho (96,48%), outro fator que pode contribuir para maior digestibilidade da energia do sorgo em relação à energia do milho, em dietas extrusadas para essa espécie. Em dietas peletizadas para o carnívoro marinho Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) a digestibilidade da energia do sorgo (21,6%) é drasticamente menor que a digestibilidade da energia do milho (44,8%) (González-Félix *et al.*, 2010), conforme os autores, a digestibilidade seria melhorada se as dietas fossem submetidas a maiores temperaturas, que expandiria o amido e aumentaria sua gelatinização. A menor digestibilidade do amido do milho e do sorgo para peixe carnívoro em relação aos onívoros, observadas para os diferentes estudos, pode ser devido anatomofisiologia dos carnívoros em ser menos adaptada a utilizar a energia de ingredientes vegetais. É provável que para peixes, independente do hábito alimentar, a digestibilidade do amido do sorgo é significativamente melhorada com o processo de extrusão, entretanto isso parece não acontecer em relação a proteína desta fonte.

Quanto a digestibilidade dos lipídios e a disponibilidade dos minerais, os dados são ainda mais escassos na literatura. Os lipídeos do sorgo foram menos digestíveis (38,01%) que os do milho em dietas peletizadas para a tilápia do Nilo (69,03%) (Pezzato *et al.*, 2002); e menos (76,21%) que os lipídeos do trigo (82,01%) e do arroz (79,84%) em dietas peletizadas para a carpa comum (Degani, 2006); em dietas extrusadas para o carnívoro robalo branco o CDA dos lipídeos do sorgo (79%) e do milho (82%) foram

similares entre si e superiores ao CDA dos lipídeos do trigo (66%). Os lipídeos podem interagir com amidos e proteínas o que reduz sua digestibilidade, sabendo que o amido em dietas peletizadas são menos acessíveis para a digestão e a proteínas do sorgo é menos digestível que as proteínas dos outros cereais e, ainda, que os taninos podem se complexar com esses nutrientes, é provável que essa interação afete a digestibilidade dos lipídeos do sorgo e o processo de extrusão reduza esse efeito negativo. Entretanto, mais estudos são necessários para confirmação. Quanto aos minerais o Ca e o fosforo foram mais disponíveis no sorgo com 39,89% e 58,09%, respectivamente, que para o milho, o qual apresentou valores para esses minerais na sequência, 22,18% e 19,48% em dietas extrusadas para tilápia do Nilo (Guimaraes *et al.*, 2011). A estimativa da disponibilidade de minerais para peixes praticamente não é relatada na literatura, tendo por base esses achados para o Ca e P, o sorgo é uma fonte de qualidade para esses minerais para a tilápia do Nilo.

4.2 Efeito da inclusão do sorgo sob o desempenho de diferentes de peixes

A avaliação do desempenho animal é uma das ferramentas amplamente utilizadas na análise da viabilidade de um ingrediente alternativo, pois o desempenho é um dos determinantes para o sucesso na produção animal. Assim como para a avaliação da digestibilidade, a avaliação do desempenho produtivo com a inclusão do sorgo em dietas, foi mais relatado para a tilápia do Nilo que para outras espécies e os resultados dos estudos são unânimes em afirmar que a substituição total do milho pelo sorgo não afetou as variáveis zootécnicas estudadas para essa espécie (Al-Ogaily *et al.*, 1996; Furuya *et al.*, 2003; Aiura e de Carvalho, 2007; Hussein *et al.*, 2016; Yones *et al.*, 2019). Esses autores avaliaram o peso final, ganho de peso, crescimento específico, conversão alimentar, eficiência proteica, composição química da carcaça (matéria seca, proteína bruta, energia bruta, extrato etéreo e material mineral) os quais não foram comprometidos com a inclusão do sorgo na alimentação da espécie. E concluíram que para essa espécie, baseando-se nesses resultados, o sorgo é viável como alimento alternativo ao milho, podendo substituir totalmente o milho em dietas para esse animal.

A substituição do milho pelo sorgo também não afetou o desempenho zootécnico de pacu (Sanchez *et al.*, 2016) quando alimentados com dietas contendo 100% de sorgo e 0% de milho; o que também não causou efeito negativo nas variáveis zootécnicas de

jundiá (Rabelo *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2020); para o Bagre (*Clarias gariepinus*) foi estudado o efeito de até 50% de substituição do milho pelo sorgo e foi observado melhor crescimento e utilização dos nutrientes para os peixes alimentados com as dietas contendo o sorgo (Aderolu *et al.*, 2009); a inclusão de até 60% não causou redução nos índices zootécnicos em bagre híbrido (*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*), porém o maior nível avaliado nesse estudo, 80%, provocou redução no ganho de peso, taxa de crescimento específico, eficiência na retenção de proteínas e piora na conversão alimentar, o que foi atribuído ao maior teor de fibra nas dietas que foi crescente de 2,54 a 4,72%, sendo o maior teor de fibra na dieta contendo 80% de sorgo (Obe e Wuraola, 2014). Níveis crescente de inclusão do amido do sorgo de 15 a 30% na dieta do híbrido tilápia vermelha (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*) não resultou em efeitos negativos no crescimento, desempenho e utilização de nutrientes, porém o nível de 35% resultou em redução dessas variáveis, devido à diminuição da digestibilidade do amido, causada pelo aumento de taninos na dieta (Abdel e Atallah, 2016). Esses estudos demonstram a possibilidade da substituição do milho pelo sorgo em dietas para esses animais.

Considerações finais

A quantidade suportada de um alimento é bastante variável em peixes, devido as diferenças na capacidade de cada espécie de usar os nutrientes da fonte e, também, pelo conteúdo nutricional que pode variar em um mesmo alimento, dependendo de fatores como o local e as condições de cultivo, variações genéticas ou diferentes cultivares do ingrediente estudado. O sorgo pode substituir o milho em dietas para peixes sem prejudicar seu desempenho zootécnico. As respostas apresentadas para os diferentes peixes contradizem as expectativas de que o sorgo, por conter mais elementos antinutricionais do que o milho, poderia prejudicar o desempenho dos peixes. Esses resultados inferem que os peixes são eficientes em processar e utilizar os nutrientes do sorgo, tal como os do milho.

REFERENCIAS

Abdel, M. Y. M.; Atallah, M. A. Influence of dietary Sorghum starch on growth performance, digestibility coefficient and some hepatic enzyme activities in hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Fisheries and Aquaculture Journal**, 2016.

Abimorad, E. G.; Carneiro, D. J. **Fecal Collection Methods and Determination of Crude Protein and of Gross Energy Digestibility Coefficients of Feedstuffs for Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)**. p.1101-1109. 2004

Adebo, J. A.; Kesa, H. Evaluation of nutritional and functional properties of anatomical parts of two sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. **Heliyon**, v. 9, n. 6, p. e17296, 2023/06/01/ 2023.

Aderolu, A. Z.; Kuton, M. P.; Odu-Onikosi, S. G. Substitution effect of sorghum meal for maize meal in the diet of catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) juvenile. **Research Journal of Fisheries and Hydrobiology**, 4(2): 41-45, 2009.

Aiura, F. S.; de Carvalho, M. R. B. Body lipid deposition in Nile tilapia fed on rations containing tannin. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 51-56, 2007.

Al-Ogaily, S. M.; Al-Asgah, N. A.; Ali, A. Effect of feeding different grain sources on the growth performance and body composition of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture Research**, v. 27, n. 7, p. 523-529, 1996.

Audilakshmi, S.; Swarnalatha, M. Chapter 15 - Sorghum for Starch and Grain Ethanol. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S., *et al* (Ed.). **Breeding Sorghum for Diverse End Uses**: Woodhead Publishing, 2019. p.239-254. ISBN 978-0-08-101879-8.

Austin, D. L.; Turner, N. D.; McDonough, C. M.; Rooney, L. W. Effects of Brans from Specialty Sorghum Varieties on In Vitro Starch Digestibility of Soft and Hard Sorghum Endosperm Porridges. **Cereal Chemistry**, v. 89, n. 4, p. 190-197, 2012/07/01 2012.

Awika, J. M. Chapter 3 - Sorghum: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In: TAYLOR, J. R. N. e AWIKA, J. M. (Ed.). **Gluten-Free Ancient Grains**: Woodhead Publishing, 2017. p.21-54. ISBN 978-0-08-100866-9.

Awika, J. M.; Rooney, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004/05/01/ 2004.

Bean, S. R.; Zhu, L.; Smith, B. M.; Wilson, J. D.; Ioerger, B. P.; Tilley, M. Chapter 6 - Starch and Protein Chemistry and Functional Properties*. In: TAYLOR, J. R. N. e DUODU, K. G. (Ed.). **Sorghum and Millets (Second Edition)**: AACC International Press, 2019. p.131-170. ISBN 978-0-12-811527-5.

Belton, P. S.; Delgadillo, I.; Halford, N. G.; Shewry, P. R. Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 272-286, 2006/11/01/ 2006.

Bhandari, S. R.; Lee, Y.-S. The Contents of Phytosterols, Squalene, and Vitamin E and the Composition of Fatty Acids of Korean Landrace *Setaria italica* and *Sorghum bicolor* Seeds. **Korean Journal of Plant Resources**, v. 26, n. 6, p. 663-672, 12/31 2013.

Boren, B.; Waniska, R. D. Sorghum Seed Color as an Indicator of Tannin Content. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 1, n. 1, p. 117-121, 1992/03/01/ 1992.

Buitimea-Cantúa, N. E.; Torres-Chávez, P. I.; Ledesma-Osuna, A. I.; Ramírez-Wong, B.; Robles-Sánchez, R. M.; Serna-Saldívar, S. O. Effect of defatting and decortication on distribution of fatty acids, phenolic and antioxidant compounds in sorghum (*Sorghum bicolor*) bran fractions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 10, p. 2166-2175, 2013/10/01 2013.

Butler, L. G.; Riedl, D. J.; Lebryk, D. G.; Blytt, H. J. Interaction of proteins with sorghum tannin: Mechanism, specificity and significance. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 61, n. 5, p. 916-920, 1984/05/01 1984.

Buyukcapar, H. M. B.; Atalay, A. İ.; Kamalak, A. Growth Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed with Diets Containing Different Levels of Hydrolysable and Condensed Tannin. **mdrsjrn**, v. 13, n. 7, p. 1045-1051, 2011.

Chandrashekar, A.; Kirleis, A. W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 457-462, 1988.

Collar, C. Significance of heat-moisture treatment conditions on the pasting and gelling behaviour of various starch-rich cereal and pseudocereal flours. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 7, p. 623-636, 2017/10/01 2017.

Daiber, K. H. Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 9, p. 1399-1411, 1975/09/01 1975.

de Souza, A. M.; Silva, A. T.; Felix e Silva, A.; Campeche, D. F. B.; Melo, J. F. B.; Vidal, L. V. O. Mesquite bean (*Prosopis juliflora*) meal in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Nutritional value, growth, physiological responses and health. **Aquaculture Research**, n. May, p. 1-14, 2018.

Degani, G. **Digestible energy in dietary sorghum, wheat bran, and rye in the common carp (*Cyprinus carpio* L.)**. p.71-77. 2006

Desta, K. T.; Choi, Y.-M.; Shin, M.-J.; Yoon, H.; Wang, X.; Lee, Y.; Yi, J.; Jeon, Y.-a.; Lee, S. Comprehensive evaluation of nutritional components, bioactive metabolites, and antioxidant

activities in diverse sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces. **Food Research International**, v. 173, p. 113390, 2023/11/01/ 2023.

Douglas, J. H.; Sullivan, T. W.; Bond, P. L.; Struwe, F. J. Nutrient Composition and Metabolizable Energy Values of Selected Grain Sorghum Varieties and Yellow Corn^{1,2}. **Poultry Science**, v. 69, n. 7, p. 1147-1155, 1990/07/01/ 1990.

Duodu, K. G.; Nunes, A.; Delgadillo, I.; Parker, M. L.; Mills, E. N. C.; Belton, P. S.; Taylor, J. R. N. Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 35, n. 2, p. 161-174, 2002/02/01/ 2002.

Duodu, K. G.; Taylor, J. R. N.; Belton, P. S.; Hamaker, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 117-131, 2003/09/01/ 2003.

Dykes, L.; Rooney, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 236-251, 2006/11/01/ 2006.

El Nour, I. N. A.; Peruffo, A. D.; Curioni, A. Characterisation of Sorghum Kafirins in Relation to their Cross-linking Behaviour. **Journal of Cereal Science**, v. 28, n. 2, p. 197-207, 1998/09/01/ 1998.

Ezeogu, L. I.; Duodu, K. G.; Taylor, J. R. N. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 33-44, 2005/07/01/ 2005.

FAO. **Sorghum and millets in human nutrition**. NATIONS, F. A. A. O. O. T. U. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations 1995.

Fapojuwo, O. O.; Maga, J. A.; Jansen, G. R. Effect of Extrusion Cooking on in Vitro Protein Digestibility of Sorghum. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 1, p. 218-219, 1987/01/01 1987.

Figuroa, J. D. C.; Martínez, B. F.; Ríos, E. Effect of Sorghum Endosperm Type on the Quality of Adjuncts for the Brewing Industry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 53, n. 1, p. 5-9, 1995/01/01 1995.

Freire, E. D. S.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Sampaio, G.; Emerson, J.; Ferrari, C. Digestibilidade aparente pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L) de rações contendo sorgo (alto e baixo tanino) e metionina. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 24, n. 4, p. 927-934, 2002.

Furuya, W. M.; Silva, L. C. R.; Hayashi, C.; Furlan, A. C.; Neves, P. R.; Botaro, D.; Santos, V. G. d. Substituição do milho pela silagem de sorgo com alto e baixo teor de tanino em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 25, n. 2, 2003.

Furuya, W. M.; Silva, L. C. R.; Neves, P. R.; Botaro, D.; Hayashi, C.; Furlan, A. C.; dos Santos, V. G. Coeficientes de digestibilidade aparente da energia e proteína da silagem de sorgo com alto e baixo tanino pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) **Ciência Rural**, v. 4, p. 1213-1217, 2004.

Gaffa, T.; Yoshimoto, Y.; Hanashiro, I.; Honda, O.; Kawasaki, S.; Takeda, Y. Physicochemical Properties and Molecular Structures of Starches from Millet (*Pennisetum typhoides*) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Cultivars in Nigeria. **Cereal Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 255-260, 2004/03/01 2004.

González-Félix, M. L.; Davis, D. A.; Rossi, W.; Perez-Velazquez, M. Evaluation of apparent digestibility coefficient of energy of various vegetable feed ingredients in Florida pompano, *Trachinotus carolinus*. **Aquaculture**, v. 310, n. 1-2, p. 240-243, 2010/12// 2010.

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, 2008/12// 2008.

Guimaraes, I. G.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Tachibana, L.; Fernandes, R. d. N. Digestibilidade do amido e disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science**, v. 12, n. 3, p. 415-419, 09/29 2011.

Hargrove, R. L.; Etherton, T. D.; Pearson, T. A.; Harrison, E. H.; Kris-Etherton, P. M. Low Fat and High Monounsaturated Fat Diets Decrease Human Low Density Lipoprotein Oxidative Susceptibility In Vitro. **The Journal of Nutrition**, v. 131, n. 6, p. 1758-1763, 2001/06/01/ 2001.

Hassan, S. M. Nutritional, Functional and Bioactive Properties of Sorghum (*Sorghum Bicolor* I. Moench) with its Future Outlooks: A Review Review Article. **Open Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 5, p. 1030-1030, 2023.

Holding, D. R. Recent advances in the study of prolamin storage protein organization and function. v. 5, 2014-June-20 2014.

Hussein, M.; younes, A. E.-m.; Ali, M.; Abd El-azim, A. E.-A. Effect of sorghum replacement and probiotic on growth performance and feed utilization of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries**, v. 20, n. 2, p. 113-121, 2016.

Izquierdo, L.; Godwin, I. D. Molecular Characterization of a Novel Methionine-Rich δ -Kafirin Seed Storage Protein Gene in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 6, p. 706-710, 2005/11/01 2005.

Jampala, B.; Rooney, W. L.; Peterson, G. C.; Bean, S.; Hays, D. B. Estimating the relative effects of the endosperm traits of waxy and high protein digestibility on yield in grain sorghum. **Field Crops Research**, v. 139, p. 57-62, 2012/11/01/ 2012.

Kang, X.; Gao, W.; Cui, B.; Abd El-Aty, A. M. Structure and genetic regulation of starch formation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) endosperm: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 239, p. 124315, 2023/06/01/ 2023.

Khan, A.; Khan, N. A.; Bean, S. R.; Chen, J.; Xin, Z.; Jiao, Y. **Variations in Total Protein and Amino Acids in the Sequenced Sorghum Mutant Library**. *Plants*. 12 2023.

Khoddami, A.; Messina, V.; Vadabali Venkata, K.; Farahnaky, A.; Blanchard, C. L.; Roberts, T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 9, p. 1170-1186, 2023/04/03 2023.

Laidlaw, H. K. C.; Mace, E. S.; Williams, S. B.; Sakrewski, K.; Mudge, A. M.; Prentis, P. J.; Jordan, D. R.; Godwin, I. D. Allelic variation of the β -, γ - and δ -kafirin genes in diverse Sorghum genotypes. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 121, n. 7, p. 1227-1237, 2010/11/01 2010.

Lin, H.; Bean, S. R.; Tilley, M.; Peiris, K. H. S.; Brabec, D. Qualitative and Quantitative Analysis of Sorghum Grain Composition Including Protein and Tannins Using ATR-FTIR Spectroscopy. **Food Analytical Methods**, v. 14, n. 2, p. 268-279, 2021/02/01 2021.

Martino, H. S. D.; Tomaz, P. A.; Moraes, É. A.; Conceição, L. L. d.; Oliveira, D. d. S.; Queiroz, V. A. V.; Rodrigues, J. A. S.; Pirozi, M. R.; Pinheiro-Sant`Ana, H. M.; Ribeiro, S. M. R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption Caracterização química e distribuição granulométrica de genótipos de sorgo para alimentação humana. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012.

Massel, K.; Hintzsche, J.; Restall, J.; Kerr, E. D.; Schulz, B. L.; Godwin, I. D. CRISPR-knockout of β -kafirin in sorghum does not recapitulate the grain quality of natural mutants. **Planta**, v. 257, n. 1, p. 8, 2022/12/08 2022.

McGoogan, B. B.; Reigh, R. C. J. A. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. v. 141, p. 233-244, 1996.

Mehmood, S.; Orhan, I.; Ahsan, Z.; Aslan, S.; Gulfranz, M. Fatty acid composition of seed oil of different Sorghum bicolor varieties. **Food Chemistry**, v. 109, n. 4, p. 855-859, 2008/08/15/ 2008.

Melone, F.; Saladino, R.; Crestini, C. Tannin Structural Elucidation and Quantitative ³¹P NMR Analysis. 1. Model Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 39, p. 9307-9315, 2013/10/02 2013.

Mkandawire, N. L.; Kaufman, R. C.; Bean, S. R.; Weller, C. L.; Jackson, D. S.; Rose, D. J. Effects of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Tannins on α -Amylase Activity and in Vitro Digestibility of Starch in Raw and Processed Flours. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 18, p. 4448-4454, 2013/05/08 2013.

Obe, B.; Wuraola, B. **Growth Performance and Nutrient Utilization of Catfish Hybrid (*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*) Fed Fermented Sorghum (*Sorghum bicolor*) Waste Meal Diets**. International Journal of Applied Science and Technology Vol. 4, No. 3; 2014.

Oom, A.; Pettersson, A.; Taylor, J. R. N.; Stading, M. Rheological properties of kafirin and zein prolamins. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 1, p. 109-116, 2008/01/01/ 2008.

Pan, L.; Li, W.; Gu, X. M.; Zhu, W. Y. Comparative ileal digestibility of gross energy and amino acids in low and high tannin sorghum fed to growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 292, p. 115419, 2022/10/01/ 2022.

Pan, L.; Ma, X.; Hu, J.; Liu, L.; Yuan, M.; Liu, L.; Li, D.; Piao, X. Low-tannin white sorghum contains more digestible and metabolisable energy than high-tannin red sorghum if fed to growing pigs. **Animal Production Science**, v. 59, n. 3, p. 524-530, 2018.

Pezzato, L. E.; Miranda, E. C. d.; Barros, M. M.; Pinto, L. G. Q.; Furuya, W. M.; Pezzato, A. C. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1595-1604, 2002/7// 2002.

Pinto, L. G. Q.; Pezzato, L. E.; Miranda, E. C. d.; Barros, M. M. Desempenho do piauçu (*Leporinus macrocephalus*) arraçoado com dietas contendo diferentes teores de tanino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 1164-1171, 2001.

Pontieri, P.; Troisi, J.; Calcagnile, M.; Bean, S. R.; Tilley, M.; Aramouni, F.; Boffa, A.; Pepe, G.; Campiglia, P.; Del Giudice, F.; Chessa, A. L.; Smolensky, D.; Aletta, M.; Alifano, P.; Del Giudice, L. **Chemical Composition, Fatty Acid and Mineral Content of Food-Grade White, Red and Black Sorghum Varieties Grown in the Mediterranean Environment**. Foods. 11 2022.

Popescu, A.; Dinu, T. A.; Stoian, E. Sorghum-an important cereal in the world, in the European Union and Romania. **Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development**, v. 18, 2018.

Rabelo, P. C.; Pessini, J. E.; Sanchez, M. S. d. S.; Boscolo, W. R.; Feiden, A., Fábio; Signor, A. Sorgo em dietas para o jundiá *Rhamdia quelen*. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, n. 4, p. 339-345, 2016.

Rawles, S. D.; Gatlin III, D. M. Nutrient Digestibility of Common Feedstuffs in Extruded Diets for Sunshine Bass *Morone chrysops*♀×*M. saxatilis* ♂. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 31, n. 4, p. 570-579, 2000/12/01 2000.

Rodrigues, M. L.; Sanchez, M. S. d. S.; Pessini, J. E.; Weiler, K. A.; Deparis, A.; Boscolo, W. R.; Bittencourt, F.; Signor, A. Replacement of corn by sorghum and phytase supplementation in silver catfish (*Rhamdia quelen*) diets: growth performance, physiological variables and bone mineralization. **Journal of Applied Animal Research**, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2020/01/01 2020.

Rooney, L. W.; Pflugfelder, R. L. Factors Affecting Starch Digestibility with Special Emphasis on Sorghum and Corn. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, 1986.

Salinas, I.; Pró, A.; Salinas, Y.; Sosa, E.; Becerril, C. M.; Cuca, M.; Cervantes, M.; Gallegos, J. Compositional variation amongst sorghum hybrids: Effect of kafirin concentration on metabolizable energy. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 342-346, 2006/11/01/ 2006.

Sanchez, M. S. d. S.; Nascimento, M. d. S.; Hisano, H. Substituição do milho pelo sorgo em dietas para juvenis de pacu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, 2016.

Sang, Y.; Bean, S.; Seib, P. A.; Pedersen, J.; Shi, Y.-C. Structure and Functional Properties of Sorghum Starches Differing in Amylose Content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 15, p. 6680-6685, 2008/08/01 2008.

Selle, P. H.; Cadogan, D. J.; Li, X.; Bryden, W. L. Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, v. 156, n. 3, p. 57-74, 2010/03/30/ 2010.

Shewry, P. R.; Halford, N. G.; Tatham, A. S.; Popineau, Y.; Lafiandra, D.; Belton, P. S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. In: (Ed.). **Advances in Food and Nutrition Research**: Academic Press, v.45, 2003. p.219-302. ISBN 1043-4526.

Shull, J. M.; Watterson, J. J.; Kirleis, A. W. Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (kafirins) of *Sorghum bicolor* (L. Moench) based on molecular weight, solubility, and structure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 1, p. 83-87, 1991/01/01 1991.

Shull, J. M.; Watterson, J. J.; Kirleis, A. W. Purification and immunocytochemical localization of kafirins in *Sorghum bicolor* (L. Moench) endosperm. **Protoplasma**, v. 171, n. 1, p. 64-74, 1992/03/01 1992.

Silva, M. S. d.; Melo, J. F. B.; Vasconcelos, R. T.; Souza, S. A. d.; Campos, F. S.; Vidal, L. V. O. Digestibility of spineless cactus meals in extruded diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): energy, protein, amino acids, and carbohydrates. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 4, p. 1-9, 2020.

Simopoulos, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 56, n. 8, p. 365-379, 2002/10/01/ 2002.

Staggenborg, S. A.; Dhuyvetter, K. C.; Gordon, W. B. Grain Sorghum and Corn Comparisons: Yield, Economic, and Environmental Responses. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 6, p. 1600-1604, 2008/11/01 2008.

Sullins, R. D.; Rooney, L. W. Light and scanning electron microscopy studies of waxy and nonwaxy endosperm sorghum varieties. **Cereal Chemistry**, v. 52, p. 361-366, 1975.

Sun, Q.; Han, Z.; Wang, L.; Xiong, L. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 145, p. 756-764, 2014/02/15/ 2014.

Svihus, B.; Uhlen, A. K.; Harstad, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 122, n. 3, p. 303-320, 2005/09/01/ 2005.

Taylor, J. R. N.; Emmambux, M. N. REVIEW: Developments in Our Understanding of Sorghum Polysaccharides and Their Health Benefits. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 4, p. 263-271, 2010/07/01 2010.

Thitichayaphong, N.; Rukkwamsuk, T. Dietary supplementation of condensed tannin decreased lipid peroxidation in muscle of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **The Thai Journal of Veterinary Medicine**, v. 46, n. 4, p. 649-654, 01/05 2017.

Treviño-Salinas, M.; Perales-Torres, A.; Castillo-Ruíz, O.; Montes-García, N.; Lizarazo-Ortega, C.; Navarro-Cortez, R.; Rodríguez-Castillejos, G. Proximal analysis and profile of fatty acids on six varieties of white grain sorghum with potential use in human consumption. **CyTA - Journal of Food**, v. 19, n. 1, p. 547-551, 2021/01/01 2021.

USDA. Sorghum Explorer. 2023. Disponível em: <
<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200> >.

Vidal, L. V. O.; Xavier, T. O.; Michelato, M.; Martins, E. N.; Pezzato, L. E.; Furuya, W. M. Apparent Protein and Energy Digestibility and Amino Acid Availability of Corn and Co-products in Extruded Diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 2, p. 183-190, 2015.

Villa, B.; Calabresi, L.; Chiesa, G.; Risè, P.; Galli, C.; Sirtori, C. R. Omega-3 fatty acid ethyl esters increase heart rate variability in patients with coronary disease. **Pharmacological Research**, v. 45, n. 6, p. 475-478, 2002/06/01/ 2002.

Virupaksha, T. K.; Sastry, L. V. S. Protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 16, n. 2, p. 199-203, 1968/03/01 1968.

Visarada, K. B. R. S.; Aruna, C. Chapter 1 - Sorghum: A Bundle of Opportunities in the 21st Century. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S., *et al* (Ed.). **Breeding Sorghum for Diverse End Uses**: Woodhead Publishing, 2019. p.1-14. ISBN 978-0-08-101879-8.

Watterson, J. J.; Shull, J. M.; Kirleis, A. W. Quantitation of alpha-, beta-, and gamma-Kafirins in Vitreous and Opaque Endosperm of *Sorghum bicolor*. **Cereal Chemistry**, v. 70, p. 452-457, 1993.

Wong, J. H.; Lau, T.; Cai, N.; Singh, J.; Pedersen, J. F.; Vensel, W. H.; Hurkman, W. J.; Wilson, J. D.; Lemaux, P. G.; Buchanan, B. B. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 1, p. 73-82, 2009/01/01/ 2009.

Wulandari, E.; Moody, S. D.; Andoyo, R.; Md Sikin, A. B.; Firdauza, A. P.; Harlina, P. W. Amino acid profiling and structural characterization of sorghum protein concentrates using enzyme liquefaction. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 4, p. 3561-3567, 2023/08/01 2023.

Xu, X.; Bean, S.; Wu, X.; Shi, Y.-C. Effects of protein digestion on in vitro digestibility of starch in sorghum differing in endosperm hardness and flour particle size. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132635, 2022/07/30/ 2022.

Yones, A. M. A. S. M.; Eissa, I. A. M. M.; Ghobashy, M. A. E. F. A.; Marzok, S. S. Effects of different dietary carbohydrate sources on growth performance and liver histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Egyptian Journal of Histology**, v. 42, n. 3, p. 599-607, 2019.

Zhang, G.; Hamaker, B. R. Low α -Amylase Starch Digestibility of Cooked Sorghum Flours and the Effect of Protein. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, p. 710-713, 1998/09/01 1998.

Zhang, Y.; Li, M.; Gao, H.; Wang, B.; Tongcheng, X.; Gao, B.; Yu, L. Triacylglycerol, fatty acid, and phytochemical profiles in a new red sorghum variety (Ji Liang No. 1) and its antioxidant and anti-inflammatory properties. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 949-958, 2019/03/01 2019.

CAPÍTULO 2

O sorgo pode substituir o milho totalmente em dietas para juvenis de tilápia do Nilo

O sorgo pode substituir o milho totalmente em dietas para juvenis de tilápia do Nilo

Milene Santos da Silva ¹, Cherlle Kally Lima de Almeida ¹, Seldon Almeida de Souza ², Janilson Felix da Silva¹, Luiz Vitor Oliveira Vidal ¹

¹Departamento de Zootecnia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal da Bahia, Av. Adhemar de Barros, 500, Ondina, CEP: 40170-110, Salvador-BA, Brasil

² Campus Ciências Agrárias, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Rodovia BR 407, km 12, Lote 543, Projeto de Irrigação Nilo Coelho, CEP: 56300-000, Petrolina-PE, Brasil.

Resumo

Esta pesquisa objetiva avaliar a possibilidade do sorgo em substituir o milho em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo, avaliando seus efeitos no desempenho, respostas fisiológicas, histológicas e metabólicas. 480 juvenis de tilápia do Nilo, com peso médio 27g foram distribuídos aleatoriamente em 24 tanques de 250 litros, constituindo um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. As dietas constituíam os tratamentos T1 0%, T2 20%, T3 40%, T4 60%, T5 80%, T6 100%, correspondendo os níveis de substituição. Foram analisados os índices de desempenho zootécnicos; índices somáticos IH; composição química da carcaça CQC; hemograma e parâmetros bioquímicos; atividade de enzimas digestivas; metabolitos hepáticos e muscular: glicogênio, AST e ALT e histomorfometria do intestino proximal. A substituição não afetou o desempenho, o IH, a CQC, o hemograma, nem o glicogênio hepático; o TRI sanguíneo e o glicogênio muscular foram superiores nos peixes dos T4 e T5, as enzimas AST hepática nos peixes dos T4, T5, T6 e muscular nos peixes do T3 foram superiores; a espessura do músculo foi superior nos peixes do T2, o perímetro dos vilos foi superior nos peixes dos tratamentos T4 e T6, a altura dos vilos foi maior nos peixes dos tratamentos T2, T4 e T6. As diferenças detectadas não foram capazes de afetar o desempenho e desregular o metabolismo dos peixes. O conjunto de respostas observadas, permite afirmar que o sorgo é um potencial substituto do milho em dietas para espécie, sem efeitos negativos para a tilápia do Nilo.

Palavra chaves: desempenho zootécnicos, glicogênio muscular, histomorfometria, metabolitos

Abstract

This research aims to evaluate the ability of sorghum to replace corn in extruded diets for Nile tilapia, evaluating its effects on performance, physiological, histological and metabolic responses. 480 juvenile Nile tilapia, with an average weight of 27g, were randomly distributed in 24 tanks of 250 liters, constituting a completely randomized design, with six treatments and four replications. The diets consisted of treatments T1 0%, T2 20%, T3 40%, T4 60%, T5 80%, T6 100%, corresponding to the levels of substitution. Zootechnical performance indices were analyzed; somatic indices HI; chemical composition of CQC substrate; complete blood count and biochemical parameters; digestive enzyme activity; hepatic and muscle metabolites: glycogen, AST and ALT, and proximal gut histomorphology. The replacement did not affect the performance, IH, CQC, blood count and hepatic glycogen; blood TRI and muscle glycogen were higher in T4 and T5 fish, hepatic AST enzymes in T4, T5, T6 fish and muscle enzymes in T3 fish were higher; muscle thickness was higher in T2 fish, villus perimeter was higher in T4 and T6 fish, villi height was higher in T2, T4 and T6 fish. The differences detected were not able to affect the performance and deregulate the metabolism of the fish. The set of responses observed allows us to affirm that sorghum is a potential substitute for corn in diets for the species, with no negative effects for Nile tilapia.

Keywords: zootechnical performance, muscle glycogen, histomorphology, metabolites

1. Introdução

A tilápia do Nilo é uma das principais espécies na aquicultura, a terceira mais cultivada mundialmente (FAO, 2022). Espécie com características favoráveis ao cultivo, como, desenvolvimento precoce, ausência de espinhas em Y e adaptabilidade ao confinamento em diversos sistemas de produção (El-Sayed, 2006). Outro fator a contribuir é o hábito alimentar onívoro que permite a utilização de uma variedade de ingredientes sua matriz nutricional, facilitando a obtenção de dietas com melhor custo-benefício (NRC, 2011).

O milho é o principal concentrado energético na dieta animal, inclusive na piscicultura (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). Trata-se de uma *commodity*, com custo variável conforme a oferta e demanda mundial, que em países emergentes é amplificado por flutuações cambiais. Por esse motivo, é constante a busca por ingredientes energéticos alternativos, tais como: arroz, palmas forrageiras, sorgo, algaroba e mandioca (Aiura e de Carvalho, 2007; Guimarães et al., 2012; Silva et al., 2020; de Souza et al., 2021).

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) é um ingrediente mundialmente distribuído (Stamenković et al., 2020) e sob condição de seca, apresenta maior produtividade de grãos e menor custo de produção que o milho (Staggenborg et al., 2008). A composição nutricional do sorgo é similar à do milho, o teor proteína bruta PB% milho (8,2 – 9,82), sorgo (8,5 – 11,03); energia bruta EB Kcal/kg milho (3950 -4532), sorgo (3940 - 4431); extrato etéreo EE% milho (2,2 – 4,8), sorgo (2,4 – 4,3); fibra bruta FB% milho (2,17 – 5,2), sorgo (2,3 – 7,2); matéria mineral MM% milho (1,1 – 1,98), sorgo (1,3 – 2,39); amido% milho 66,9 e o sorgo 65,1 (Al-Ogaily et al., 1996; Freire et al., 2002; Guimarães et al., 2008; González-Félix et al., 2010; Vidal et al., 2015).

Apesar da similaridade na composição nutricional, o sorgo apresenta mais fatores antinutricionais que o milho (Zarei et al., 2022), a exemplo, os taninos e as proteínas kafirinas. Os taninos são compostos fenólicos capazes de se ligarem às proteínas, reduzindo a digestibilidade do nutriente (Francis et al., 2001). A digestibilidade do amido do sorgo também é afetada pela presença de taninos, pois reduz a atividade da enzima α -amilase (Daiber, 1975; Mkandawire, et al., 2013) o que carreta em um aumento do teor de amido resistente (Austin, et al., 2012), assim os taninos podem diminuir o valor nutricional do sorgo (Awika e Rooney, 2004). As proteínas kafirinas, fração proteica dominante no sorgo, contêm quantidades elevadas de enxofre nos resíduos de

aminoácidos que formam ligações cruzadas de dissulfeto que aumentam o grau de polimerização das proteínas, tornando-as mais hidrofóbicas que as zeínas do milho, o que reduz a hidratação das mesmas, aumenta a resistência à digestão por proteases (Salinas et al., 2006; Wong et al., 2009)), provocando menor digestibilidade *in vitro* da proteína do sorgo em relação a do milho (Duodu et al., 2002; Ezeogu et al., 2005). As Kafirinas interagem com o amido, interferindo negativamente na gelatinização do mesmo e comprometendo a digestão (Chandrashekar e Kirleis, 1988; Ezeogu et al., 2005).

Variedades de sorgos são desenvolvidas para conter menor teor de taninos e melhorar a qualidade do grão, sendo classificadas de acordo com o teor de taninos, sorgo tipo I livre tanino, sorgo tipo II com baixo teor de tanino e sorgo III com alto tanino (Hahn e Rooney, 1986; Khoddami et al., 2021) sorgos tipos II e III, ambos têm a testa pigmentada, contêm taninos variando de (6,4 a 15,5) e (11 – 56,3) mg de equivalentes de catequina/g, respectivamente (Dykes e Rooney, 2006; Mandal et al., 2006).

Os fatores antinutricionais presentes no sorgo parecem não afetar a digestibilidade da matéria seca, amido e energia em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo. Guimarães et al. (2008) relataram digestibilidade aparente da matéria seca e energia bruta do sorgo, milho e outros cereais pela tilápia do Nilo, o sorgo teve CDAMS (87,29%) e CDAEB (87,37%) superiores aos do milho CDAMS (82,21%) e CDAEB (67,34 %); (Guimaraes et al., 2011) relataram maior digestibilidade do amido do sorgo (98,49%) comparado ao amido do milho (96,48%). O sorgo também é fonte de minerais, como cálcio e fósforo, e estes apresentam maior disponibilidade aparente no sorgo (39,89 e 58,09%) que no milho (22,18 e 19,48%), respectivamente. Entretanto, a proteína do sorgo é menos digestível (67,83%) e (56,77%), que a proteína do milho (91,66%) e (72,86%), tanto em dietas peletizadas quanto em dietas extrusadas, respectivamente (Pezzato et al., 2002; Guimarães et al., 2008), neste caso a extrusão não foi capaz de melhorar a qualidade proteica do sorgo ao nível da do milho, o que contraria a expectativa que a extrusão do sorgo melhora a digestibilidade deste (Fapojuwo et al., 1987).

Apesar da menor digestibilidade relatada para a proteína, alguns estudos demonstraram que o sorgo não afeta o desempenho da espécie (Al-Ogaily et al., 1996; Furuya et al., 2003; Aiura e de Carvalho, 2007; Hussein et al., 2016). O sorgo é viável para manter o desempenho de outras espécies onívoras em substituições totais ao milho para o pacu (Sanchez et al., 2016), jundiá (Rabelo et al., 2016; Rodrigues et al., 2020) e parciais para bagre (*Clarias gariepinus*) (Aderolu et al., 2009) e bagre híbrido

(*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*) (Obe e Wuraola, 2014). Por outro lado, os estudos não avaliaram respostas enzimáticas e da estrutura intestino, fatores importantes para a exposição dos animais no longo prazo. Dessa forma, essa pesquisa objetiva avaliar a capacidade do sorgo em substituir o milho em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo, avaliando seus efeitos no desempenho, respostas fisiológicas, histológicas e metabólicas.

2. Material e Métodos

2.1 Obtenção do sorgo e confecção das dietas

O farelo do sorgo de baixo tanino, variedade granífero, foi obtido da Vitaly Nutrição Animal, Feira de Santana - BA. Para a preparação das dietas experimentais os alimentos foram pesados em balança de precisão, misturados em misturador Y durante 5 minutos, sendo a mistura moída em moinho de martelo com peneira 0,3 mm. Para o processo de extrusão a mistura foi umedecida com 12% de água, sendo então as dietas extrusadas em matriz de 2 mm, em seguida secas em estufa a 55°C. As análises de composição química centesimal do farelo do sorgo e das dietas foram realizadas conforme descrito pela AOAC (2005).

Foram formuladas seis dietas experimentais, com níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo de baixo tanino (0, 20, 40, 60, 80 e 100%). O nível de substituição 0% constituiu a dieta controle. Todas as dietas foram formuladas para serem isoproteicas, isoenergéticas e isofibrosas, além de atenderem as exigências nutricionais de juvenis da espécie, de acordo com Furuya et al., (2010), utilizando o programa computacional SUPER CRAC®. O perfil de aminoácidos foi mantido com a adequada suplementação de aminoácidos industriais (Tabela 1).

Tabela 1. Composição percentual e calculada das dietas controle e experimentais, com diferentes níveis de inclusão de sorgo (0, 25, 50, 75 e 100%) em substituição ao milho, para juvenis de tilápia do Nilo.

	Dietas (Substituição do milho pelo sorgo (%))					
	0	20	40	60	80	100
Farelo de trigo	338,6	323,5	308,3	293,2	278,1	262,9
Milho grão	253,3	202,6	152,0	101,3	50,7	0,0
Sorgo grão	0,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
Glúten de milho	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0	105,0
Farinha vísceras de aves	192,5	192,5	192,5	192,5	192,5	192,5
Farelo de soja	110,8	110,8	110,8	110,8	110,8	110,8
Óleo de soja	0,0	6,0	12	18	24	30
L-Treonina	22	22	22	23	23	23
L-Triptofano	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L-Lisina	0,00	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8
Fosfato bicálcico	30	30	30	30	30	30
Sup. Peixe vit/mineral ¹	50	50	50	50	50	50
Premix-peixes ²	80	80	80	80	80	80
Sal comum	50	50	50	50	50	50
Antifungico ³	10	10	10	10	10	10
B H T ⁴	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
Nutrientes (g. kg ⁻¹) Composição proximal calculada ⁶ e analisada ⁷						
Matéria seca ⁷	90,19	90,16	90,14	90,12	90,10	90,07
Energia digestível ⁶	3300,00	3300,00	3300,00	3300,00	3300,00	3300,00
Proteína bruta ⁷	28,85	29,14	29,44	29,73	30,03	30,32
Proteína dig tilápias ⁶	27,04	27,03	27,02	27,02	27,01	27,00
Fibra bruta ⁷	4,62	4,55	4,48	4,41	4,34	4,28
Extrato Etério ⁷	5,24	5,23	5,22	5,21	5,20	5,19
Fosforo disponível ⁶	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,68
Fosforo total ⁶	1,04	1,03	1,02	1,00	0,99	0,98
Arginina dig tilápia ⁶	3,57	3,22	2,88	2,53	2,18	1,83
Fenil dig tilápia ⁶	1,33	1,34	1,34	1,35	1,36	1,37
Histidina dig tilápia ⁶	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56
Isoleucina dig ⁶	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09
Leucina dig tilápia ⁶	2,57	2,60	2,62	2,65	2,68	2,71
Lisina dig tilápia ⁶	1,51	1,52	1,52	1,53	1,53	1,54
Metionina dig tilápia ⁶	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Treonina dig tilápia ⁶	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Triptofano dig ⁶	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Valina dig tilápia ⁶	1,25	1,25	1,24	1,24	1,24	1,23

¹ Mineral and vitamin supplement (per kg): vitamin A, 1200000 IU; vitamin D3, 200000 IU; vitamin E, 12000 mg; vitamin K3, 2400 mg; vitamin B1, 4800 mg; vitamin B2, 4800 mg; vitamin;

B6, 4000 mg; vitamin B12, 4800 mg; folic acid = 1200 mg; D-calcium pantothenate, 12000 mg; ascorbic acid, 48000 mg; biotin, 48 mg; choline, 65000 mg; nicotinic acid, 24000 mg; iron, 10000 mg; copper sulfate, 600 mg; manganese sulfate, 4000 mg; zinc sulfate, 6000 mg; potassium iodine, 20 mg; cobalt, 2 mg; selenium, 20 mg², Vitamin C: calcitic salt, active principle-42% ascorbic acid; ³-monophosphate; ⁴Butyl-hydroxy-toluene; ⁴Calcium propionate. According to Furuya, Pezzato, Barros, Boscolo, Cyrino, Furuya and Feiden (2010).

2.2 Obtenção dos peixes e manejo experimental

Juvenis de tilápia do Nilo, machos, revertidos sexualmente, com peso médio inicial $27 \pm 0,21$ g foram obtidos da piscicultura Lago Dourado (12°30'33.9"S 39°08'46.4"W), com o transporte realizado em caixa isotérmica, com suplementação de oxigênio puro. O ensaio de desempenho foi conduzido no Laboratório de Aquicultura, da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia (13°00'15.3"S 38°30'32.5"W), da Universidade Federal da Bahia, no município de Salvador-BA.

2.3 Desempenho zootécnico

Ao chegarem ao laboratório, os peixes foram mantidos em tanques de 2000 litros durante 10 dias, alimentados três vezes ao dia com uma dieta comercial, contendo 32% de proteína bruta, para adaptação ao manejo e condições do laboratório. Após esse período, 480 peixes foram distribuídos em 24 tanques de 250 litros, com volume útil de 220 litros. Os tanques foram mantidos em sistema de recirculação contínua de água, sendo utilizado filtro biológico e mecânico, com vazão de 200 litros por hora. Os tanques recebiam aeração suplementar por meio de um soprador radial e pedras porosas. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, sendo seis tratamentos com quatro repetições, considerando cada aquário com 20 peixes uma unidade experimental. Durante o período experimental (60 dias) os peixes foram alimentados com as dietas experimentais até a saciedade aparente, quatro vezes ao dia (8:00 às 18:00h).

Os parâmetros físico-químicos da água, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, amônia e nitrito, foram mensurados duas vezes por dia, utilizando o analisador multiparâmetros Handheld Professional Plus YSI 55-12, (YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, EUA). Os valores encontram-se dentro da faixa ideais para a espécie conforme El-Sayd, 2006. Ao final do experimento, os todos os peixes foram insensibilizados por aprofundamento anestésico com eugenol na concentração 100mg.L¹

(Vidal et al., 2008) e, posteriormente, eutanasiados por secção medular, para realização das análises.

Antes da biometria final todos os peixes foram submetidos a um jejum de 24h, para esvaziamento do trato gastrointestinal. Foram realizadas duas biometrias, uma no início e outra ao final do experimento, para aferição dos seguintes índices:

a) Desempenho zootécnico: Peso médio inicial – PM i (g) = [peso total da amostra (g) ÷ número de peixe da amostra]; Peso médio final – PM f (g) = [peso total da amostra (g) ÷ número de peixes da amostra]; Ganho de peso médio – GPM (g) = PM f - PM i; Ganho de peso médio diário GPMD = (peso médio final – peso médio inicial) / período experimental; Taxa de crescimento específico – TCE (%) = $100 \times [(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{período experimental}]$; Consumo diário de ração – CDRA(g) = Consumo total / período experimental x 100; Conversão alimentar aparente – CAA (g) = Consumo de ração / ganho de peso.

b) Índices somático: para a avaliação dos índices somáticos, foram selecionados, aleatoriamente, quatro peixes de cada repetição. Para determinação dos índices foram utilizadas as seguintes fórmulas: Índice hepatossomático (IH) = (Peso Fígado/ Peso corporal) x 100; Índice de gordura víscerosomática (IG) = (Peso da gordura visceral / Peso corporal) x 100; Índice de esplenossomático (IE) = (Peso do baço/Peso corporal) x 100.

c) Composição química das carcaças: para a análise da composição química das carcaças dos peixes, no início e ao término do experimento, foram selecionados quatro peixes de cada unidade experimental, totalizando 12 peixes por tratamento. Para análise da composição corporal os peixes foram desidratados em estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas, posteriormente, foram moídos em moinho de bola. Foram determinados os teores matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e cinzas das carcaças, conforme método proposto pela AOAC (2005).

2.4 Parâmetros sanguíneos (Hematológicos e bioquímicos)

Para determinação dos parâmetros sanguíneos, quatro peixes de cada repetição foram selecionados aleatoriamente para a coleta de sangue. A coleta sanguínea foi realizada através da punção do vaso da nadadeira caudal, com auxílio de seringas heparinizadas. O sangue coletado foi, imediatamente, transferido para tubos de ensaios

para análises sanguíneas. Para obtenção do plasma, o sangue foi centrifugado a 5.000 rpm por 5 minutos. Os parâmetros hematológicos avaliados foram: eritrograma (hematócrito, número total de eritrócitos, hemoglobina, VCM (Volume Corpuscular Médio): $HCT \times 10 / ER = fls$, HCM (Hemoglobina Corpuscular Média), CHCM (Concentração de Hemoglobina)) e leucograma, contagem dos leucócitos totais e diferenciais, realizadas no laboratório Centro de Diagnóstico Veterinário (CITVET), localizado em Salvador- BA.

Para determinação das variáveis plasmáticas, foram realizadas as análises de parâmetros bioquímicos, tais como: Glicose (GL), Colesterol total (CT), Triglicerídeos (TRI), Proteínas totais (PT), Albumina (ALB), Alanina aminotransferase (ALT), Aspartato aminotransferase (AST), Lactato desidrogenase (LDH), Fosfatase alcalina (FAL), Lipase (LIP), Amilase (AMI), Lactato (LAC) determinados através de kit comercial da LABTEST® com leitura em espectrofotômetro colorimétrico.

2.5 Metabólitos em tecidos biológicos

O intestino total, o fígado e músculo branco de quatro peixes de cada unidade experimental, constituindo 12 peixes por tratamento, foram coletados, para análises dos parâmetros metabólicos. Foi realizada a pesagem de 100 miligramas dos tecidos biológicos, em balança analítica, em seguida foi adicionado 1,0 ml de solução tampão (Fosfato 10 mM / Tris 20 mM -pH 7,0 em glicerina 50%), posteriormente foram homogeneizados com auxílio de um homogeneizador mecânica tipo Potter-Elvehjem para dissolução completa das amostras. Durante o processo, os tecidos foram mantidos sob refrigeração (4°C). Os homogeneizados foram centrifugados, sob refrigeração a 4°C, à 15.000 rpm por 5 minutos. Os sobrenadantes foram novamente centrifugados por 10 minutos 15.000 rpm a 4°C, para obtenção de sobrenadantes límpidos, esses foram utilizados como extratos para as análises descritas a seguir.

2.5.1 Determinação da concentração da proteína tecidual

A concentração de proteínas totais teciduais foi determinada pelo método de Bradford et al. (1976), utilizando albumina de soro bovina como padrão. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm. Os resultados foram utilizados para normalizar os dados da atividade enzimática em 1 mg de proteína por mL de solução. Ou seja, para

obtenção da atividade específica das enzimas analisadas, os valores obtidos na determinação da atividade de inespecífica das enzimas foram divididos pelos valores obtidos na determinação da proteína total.

2.5.2 Atividade de enzimas digestivas

2.5.2.1 Atividade proteolítica alcalina total

As atividades enzimáticas das proteases alcalinas presentes nos extratos brutos do intestino, foram realizadas em tubos de microcentrífuga, utilizando 1% de azocaseína como substrato, preparado em 0,01 M de Tris-HCl, pH 8,0. Alíquotas contendo 30 µL do extrato bruto foram incubadas com 50 µL da solução substrato durante 1 hora a 25°C. Em seguida, foi adicionado 240 µL de ácido tricloroacético (TCA) a 10% para parar a reação. Após 15 minutos a mistura foi centrifugada a 8.000 g durante 5 minutos. O sobrenadante foi recolhido e 70 µL foi misturado na solução de 130 µL de hidróxido de sódio 1 M (solução reveladora) em microplacas 96 poços. A absorbância foi medida num leitor de microplacas (Bio-Rad X-Mark™ spectrophotometer, California, EUA) num comprimento de onda de 450 nm. Um controle negativo (branco) foi realizado, substituindo o extrato da enzima pelo tampão usado na sua preparação. As atividades foram realizadas em triplicatas e uma unidade (U) de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima necessária para hidrolisar azocaseína e produzir uma mudança de 0,001 unidades de absorbância por minuto por miligrama de proteína (U.mg⁻¹) (Bezerra et al., 2005).

2.5.2.2 Atividade proteolítica específica

As atividades enzimáticas de tripsina, quimotripsina e leucinoaminopeptidase do intestino, foram determinadas em microplacas com o uso de N α -benzoil-DL-arginina-p-nitroanilida (BApNA), succinilo prolina fenilalanina alanina aminotransferase p-nitroanilide (SApNA) e p-nitroanilide-leucine (Leu-p-Nan), respectivamente (Bezerra et al., 2005). Estes substratos foram dissolvidos em sulfóxido de dimetilo (DMSO) a uma concentração final de 8 mM. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas. Os extratos de enzima (30 µL) foram incubados com 140 µL de tampão Tris-HCl 0,1 M, pH 8,0, e 30

μL de seus respectivos substratos por um período de 10 minutos. Logo depois, as leituras de absorbância foram medidas e registradas utilizando um leitor de microplacas (Bio-Rad X-Mark™ spectrophotometer, California, EUA). O comprimento de onda usado nas medições foi de 405 nm. Uma unidade (U) de atividade foi definida como a quantidade de enzima necessária para produzir um mole de p-nitroanilina por minuto. A atividade específica foi expressa em miliunidades por miligrama de proteína (mU mg^{-1}).

2.5.2.3 Atividade Amilolítica

A atividade total da amilase foi baseada no método de (Bernfeld, 1955), utilizando uma solução de amido a 2% (p/v) como substrato. A reação consistiu na incubação de 20 μL do extrato bruto do intestino com 125 mL de tampão de 0,1 M de Tris-HCl, pH 8,0 e 125 μL de substrato a 37°C durante 10 minutos. Em seguida, 30 μL da solução incubada foi adicionada à 300 mL de 3,5-dinitrossalicílico ácido (DNSA) a 100°C durante 10 minutos para parar a reação. Logo após o seu arrefecimento, 200 μL da solução foram transferidos para microplacas e a absorbância foi medida a 570 nm utilizando um leitor de microplacas (Bio-Rad X-Mark™ spectrophotometer, California, EUA). Uma unidade de atividade da enzima foi expressa em mg de maltoseliberada a 37°C por minuto por miligrama de proteína (U.mg^{-1}). Para determinar a concentração de maltose, uma curva de calibração foi preparada utilizando maltose comercial.

2.5.2.4 Atividade Lipolítica

A atividade da lipase foi determinada (triplicata) com substrato p-NP-palmitato 8Mm preparado em isopopropanol, e solução goma arábica 0,1%, e sua absorbância lida em espectrofotômetro de placas a 405nm, conforme Aryee et al. (2007). A atividade da lipase foi determinada em microplacas com o substrato p-NP- palmitato 8 mM preparado em isopopropanol 10% (solução de estoque do substrato). Em seguida, 1 mL dessa solução foi dissolvido em 9 mL de Tris-HCl 50mM com Tween 80 a 0,4% (p/v) e goma arábica 0,1% (p/v) pH 8,0 (solução de reação), conforme Aryee et al. (2007). Todos os ensaios foram realizados em triplicatas. Os extratos de enzima (30 μL) foram incubados com 27 μL da solução de reação por um período de 10 minutos. Logo depois, as leituras de absorbância foram medidas e registradas utilizando um leitor de microplacas (Bio-Rad

X-Mark™ spectrophotometer, California, USA). O comprimento de onda usado nas medições foi de 405 nm. Uma unidade (U) de atividade foi definida como a quantidade de enzima necessária para produzir um mole de p-NP- palmitato por minuto. A atividade específica foi expressa em miliunidades por miligrama de proteína (mU mg⁻¹).

2.5.3 Metabolismo hepático e muscular

2.5.3.1 Enzimas

Alíquotas dos extratos do fígado e do músculo, obtidos como descrito anteriormente, foram transferidas para tubos de ensaio, para as determinações das enzimas (Aspartato Aminotransferase (AST), Alanina Aminotransferase (ALT), realizadas por meio de kit comercial LABTEST®.

2.5.3.2 Glicogênio

O glicogênio foi quantificado como descrito por Bidinotto et al. (1997). As amostras de fígado (50 mg) e de músculo branco (200 mg) foram pesadas e transferidas para tubos de ensaio. Aos tubos foram adicionados 1,0 ml de KOH 6,0 N e estes foram incubados em banho-maria a 100 C durante 3 minutos, após total dissolução do tecido, 100 µl deste extrato dissolvido foi transferido para tubos de ensaio, a esses tubos contendo o extrato, foi adicionado 250 µl de etanol e 100 µl de K₂SO₄ 10%, em seguida o conteúdo dos tubos foi homogeneizado e centrifugado a 3.000 rpm por três minutos. O sobrenadante foi descartado, o precipitado ressuspendido pela adição de dois mL de água destilada seguida de homogeneização, sendo utilizado como amostra. Foi realizado a transferência de 100 µl da amostra, 250 µl de fenol e 1 mL de H₂SO₄ para inibir a reação. Um volume próximo a dois mL dessa solução foi analisado quanto ao seu teor de açúcares redutores totais pelo método hidrolítico de Dubois et al. (1956). O conteúdo de glicogênio foi mensurado em espectrofotômetro com comprimento de onda de 480nm, com seus valores expressos em µmoles de glicose/mg de tecido.

2.6 Histomorfometria do intestino proximal

Para análise histológica foram coletados fragmentados do intestino proximal de 9 peixes por tratamento e fixados em formol tamponado a 10%, por 24 horas, para prevenção do tecido biológico. As amostras foram desidratadas através da imersão dos fragmentos dos tecidos em séries crescentes de álcool etílico (70, 80, 90 e 100%). Em seguida as amostras foram submersas em xilol (diafanização), posteriormente as amostras foram submetidas ao processo de impregnação que consiste em imergir as amostras em parafina a 60°C.

As amostras foram submetidas ao processo de inclusão, o qual consiste em colocar, com o auxílio de uma pinça previamente aquecida, os tecidos previamente infiltrados em parafina no interior de um molde contendo parafina líquida com a superfície a ser seccionada. A secção dos tecidos (quatro micrometros) foi realizada através do micrótomo. Após secção do tecido, foi realizada a confecção das lâminas e a coloração com corantes hematoxilina e eosina para visualização do tecido ao microscópio de luz, para análise da espessura do musculo; perímetro, altura e largura dos vilos.

2.7 Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada por teste de Shapiro-Wilk e a homoscedasticidade das variâncias verificada pelo teste de Levene. Os dados foram avaliados por ANOVA de uma via seguida, seguido de teste de Dunnett para comparação do tratamento controle positivo com os demais tratamentos, com nível mínimo de significância de 95% ($P < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o SAS® OnDemand for acadêmico.

3 Resultados

3.1 Desempenho zootécnico

Não foi observado diferença significativa ($P > 0,05$) para as variáveis zootécnicas de desempenho (peso inicial, peso final, ganho de peso, biomassa inicial, biomassa final, ganho de biomassa, mortalidade, consumo de ração, conversão alimentar aparente e

coeficiente de crescimento) (Tabela 2). Os índices somáticos hepatossomático e esplenossomático também não foram afetados pela substituição, em contrapartida, o índice víscerosomático foi afetado ao nível de 100% de substituição do milho pelo sorgo (Tabela 2), sendo, portanto, superior nos peixes alimentados com dietas nesse nível de substituição.

Tabela 2. Variáveis de desempenho e índices somáticos de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Substituição do milho pelo sorgo (%)						EPM	P valor
	0	20	40	60	80	100		
PF ² (g)	123,9	122,4	116,9	126	116,9	132,1	11,4	0.0757
GP ³ (g)	96,9	95,5	89,7	99,1	89,9	105,1	6,8	0.0762
BF ⁵ (g)	2447,8	2418	2308,5	2488,3	2309,8	2641,3	46,00	0.0916
GB ⁶ (g)	1908,3	1879,6	1764,1	1949,9	1769,6	2102	31,15	0.0861
Mort ⁷ (%)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,08	0.8983
CR ⁸ (g)	2428,5	2234,5	2243,3	2411,5	2346,5	2536	40,78	0.5213
CAA ¹⁰	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	0,02	0.6738
CC ¹¹	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	0,01	0.0900
IV ¹²	11,5	11,7	12	11,9	11,4	12,9**	0,14	0.0083
IH ¹³	2,8	2,8	2,4	2,7	2,5	3,1	0,07	0.3099
IE ¹⁴	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,01	0.4598

Peso inicial¹, Peso final², Ganho de peso³, Biomassa inicial⁴, Biomassa final⁵, Ganho de biomassa⁶ Mortalidade⁷, Consumo de ração⁸, Conversão alimentar aparente¹⁰, Coeficiente de crescimento¹¹, Índice víscerosomático¹², Índice hepatossomático¹³, Índice esplenossomático¹⁴, EPM (Erro padrão da média), médias seguidas de ** diferem da média do tratamento controle pelo teste de Dunnett (P<0,05).

A composição da carcaça não foi alterada pela substituição do milho pelo sorgo (energia bruta, proteína bruta, extrato etéreo, material mineral, retenção de energia e retenção de nitrogênio) (Tabela3).

Tabela 3. Composição química da carcaça de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Níveis de substituição do milho pelo sorgo						EPM	P valor
	0,0	20	40	60	80	100		
EB ¹ (kcal kg ⁻¹)	1715,60	1694,16	1833,26	1848,91	1821,02	1878,95	23.24	0.4627
PB (g kg ⁻¹)	13,77	14,09	12,91	12,93	12,69	12,35	0.18	0.0585
EE ³ (g kg ⁻¹)	9,34	9,61	9,46	9,86	9,33	10,32	0,19	0.5473
MM ⁴ (g kg ⁻¹)	3,73	3,46	3,91	3,62	3,78.5	3,24	0.10	0.4638
RE ⁵ (g kg ⁻¹)	33,48	35,34	36,07	36,40	34,20	37,671	0,65	0.2915
RN ⁶ (g kg ⁻¹)	50,82	53,93	45,3	49,20	44,07	45,74	1,16	0.4142

Energia bruta ¹, Proteína bruta², Extrato etéreo³, Material mineral⁴, Retenção de energia⁵, Retenção de nitrogênio⁶, EPM (Erro padrão da média).

3.2 Parâmetros sanguíneos

Nenhum dos parâmetros hematológicos analisados da série vermelha (eritrócitos, hemoglobina, hematócrito, CHCM, HCM, VCM) e branca (Leucócitos totais e diferenciais: basófilos, eosinófilos, heterofilos, linfócitos e monócitos) dos peixes alimentados com as dietas contendo sorgo como substituto do milho diferiram estatisticamente ($P > 0,05$) dos peixes alimentados com a dieta controle (0% de inclusão de sorgo) (Tabela 4).

Tabela 4. Hemograma completo de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Níveis de substituição do milho pelo sorgo						P valor
	0	20	40	60	80	100	
Série vermelha							
Eritrócitos (mm ⁶)	2.27	2.100	2.150	2.175	2.375	2.275	0.4184
Hemoglobina (%)	8,27	7,70	7,70	7,82	8,75	8,50	0.6745
Hematócrito (%)	40,75	36,50	38,50	40,0	42,0	41,50	0.4124
CHCM ¹ %	20,5	21,25	20,00	19,75	20,75	20,25	0.7355
HCM ²	36,50	36,50	35,70	35,70	36,70	37,70	0.7135
VCM ³ μμ	179,0	173,50	173,50	177,50	186,70	177,00	0.7732
Série branca							
Leucócitos (mm ³)	12.27	9.400	8.950	11.975	9.025	7.425	0.3048
Basófilos (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Eosinófilos (%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
Linfócitos (%)	53,75	56,25	57,00	56,50	42,75	42,25	0.5580
Monócitos (%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-

Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média¹, Hemoglobina Corpuscular Média², Volume Corpuscular Médio³, EPM (Erro padrão da média).

Quanto aos parâmetros bioquímicos do plasma apenas os triglicerídeos foram afetados pelas dietas ($P > 0,05$), observando-se valores inferiores nos peixes alimentados com as dietas com 60 e 80% de substituição. Os demais parâmetros (glicose, colesterol total, proteínas totais, albumina, lactado, lactato desidrogenase, fosfatase alcalina, lipase e amilase) não sofreram influência das dietas ($P > 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Bioquímica plasmática de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Níveis de substituição do milho pelo sorgo						EPM	P valor
	0	20	40	60	80	100		
GL ¹ (mg/dL)	110	108	108	109	124	112	2.00	0.9992
CT ² (mg/dL)	133	140	148	140	146	154	4.06	0.5321
TRI ⁶ (mg/dL)	224	234	233	179**	140**	191	9.86	0.0228
PT ⁷ (U/L)	5,81	5,85	5,71	4,26	4,68	5,8	0.30	0.4813
ALB ⁸ (U/L)	1,29	1,51	1,22	1,19	1,27	1,3	0.04	0.6103
ALT ⁹ (U/L)	25	30	33	27	32	32	1.49	0.6845
AST ¹⁰ (U/L)	17	19	19	16	21	18	1.00	0.8395
LDH ¹¹ (U/L)	550	661	753	515	641	643	60.6	0.8952
FAL ¹² (U/L)	21	16	22	21	20	21	1.22	0.6188
LIP ¹³ (U/L)	11	11	14	12	11	10	0.51	0.2613
AMI ¹⁴ (U/L)	25	24	25	23	24	25	0.50	0.6044

Glicose¹, Colesterol total², Triglicérides⁶, Proteínas totais⁷, Albumina⁸, Alanina aminotransferase⁹, Aspartato aminotransferase¹, Lactato desidrogenase¹¹, Fosfatase alcalina¹², Lipase¹³, Amilase¹⁴, EPM (Erro padrão da média), médias seguidas de ** diferem da média do tratamento controle pelo teste de Dunnett (P<0,05).

3.3 Atividade de enzimas digestivas

Não foram detectadas diferenças significativas nas atividades das enzimas digestivas amilase, lipase, proteases alcalinas totais, quimotripsina, tripsina e Leucinoaminopeptidase (Tabela 6) analisada nos peixes alimentados com as diferentes dietas.

Tabela 6. Enzimas digestivas do trato intestinal de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Níveis de substituição do milho pelo sorgo						EPM	P valor
	0,0	20	40	60	80	100		
Ami ¹ (U.mg ⁻¹)	222,41	217,31	225,31	222,24	255,65	280,80	15.00	0.7462
Lip ² (mU mg ⁻¹)	0,30	0,24	0,33	0,41	0,41	0,36	0.02	0.4643
PAT ³ (U.mg ⁻¹)	1,45	1,34	1,46	1,58	1,94	1,80	0.10	0.3561
LCPTD ⁴ (mU mg ⁻¹)	0,26	0,29	0,24	0,32	0,39	0,34	0.01	0.4608
QTP ⁵ (mU mg ⁻¹)	0,78	0,67	0,64	0,80	0,92	1,08	0.05	0.2728
TP ⁶ (mU mg ⁻¹)	2,20	1,62	1,73	1,80	1,43	2,15	0.16	0.7639

Amilase¹, Lipase², Proteases alcalinas Totais³, Lecinoaminopeptidase⁴, Quimiotripsina⁵, Tripsina⁶, EPM (Erro padrão da média), médias seguidas de ** diferem da média do tratamento controle pelo teste de Dunnett (P<0,05).

3.4 Metabolismo hepático e glicogênio muscular

A atividade da transaminase ALT hepática nos peixes alimentados com as dietas testes não diferiu da dos peixes alimentados com a dieta controle, entretanto a transaminase AST hepática foi superior nos peixes alimentados com as dietas com 60, 80 e 100% de substituição. O glicogênio hepático não foi afetado pelas dietas, porém o glicogênio muscular foi superior nos peixes alimentados com a dieta 20% de substituição e inferior nos peixes alimentados com as dietas 60 e 80% de substituição (Tabela 7).

Tabela 7. Transaminases hepáticas e glicogênio muscular de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Níveis de substituição do milho pelo sorgo						EPM	P valor
	0	20	40	60	80	100		
Metabólitos hepático								
Glicogênio ¹	6.91	7.76	7.27	7.74	7.21	7.47	0,20	0.6470
ALT ² (mU mg ⁻¹).	33.28	34.44	37.65	34.51	36.99	37.07	0,85	0.7947
AST ³ (mU mg ⁻¹).	18.32	24.38	24.66	26.83**	26.72**	29.59**	1,23	0.0006
Glicogênio muscular ¹	6,99	8,14**	7,60	5,85**	5,47**	7,9	0,74	0.0007

µmoles de glicose/mg¹, Alanina aminotransferase², Aspartato aminotransferase³, médias seguidas de ** diferem da média do tratamento controle pelo teste de Dunnett (P<0,05).

3.5 Histomorfometria do intestino proximal

Dentre as variáveis analisadas na histomorfometria do intestino proximal dos peixes (Tabela 8) a largura dos vilos foi a única que não foi afetada pelas dietas, a espessura do músculo foi superior nos peixes alimentados com a dieta 20% de substituição, o perímetro dos vilos foi superior nos peixes alimentados com as dietas com 60 e 100% de substituição e a altura dos vilos foi maior nos peixes alimentados com as dietas 20, 60 e 100% de substituição, em relação aos peixes alimentados com a dieta controle (P< 0,05) (tabela 8).

Tabela 8 Histomorfometria do intestino proximal de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo.

	Substituição do milho pelo sorgo (%)						EPM	P valor
	0	20	40	60	80	100		
EM ¹	44,16	50,31**	42,38	45,37	42,67	45,14	0,63	0.0206
PV ²	743,75	845,3	811,65	933,73**	757,84	1068,2**	15,53	0.0008
AV ³	363,43	432,33**	367,94	439,49**	379,85	473,93**	6,27	<.0001
LV ⁴	121,05	117,83	142,2	159,99	109,42	147,34	6,42	0.2734

Espessura do musculo¹, Perímetro dos vilos², Altura dos vilos³, Largura dos vilos⁴, EPM (Erro padrão da média), médias seguidas de ** diferem da média do tratamento controle pelo teste de Dunnett (P< 0,05).

4 Discussão

A inclusão de ingredientes em dietas para a nutrição animal envolve etapas diversas, sendo iniciada na composição química e valor nutritivo do ingrediente (Guimarães et al., 2008) e finalizada em estudos que avaliem o desempenho (Al-Ogaily et al., 1996) e respostas de saúde, metabólicas e teciduais dos animais (Abdel e Atallah, 2016). Uma vez que os estudos com peixes são realizados em períodos inferiores ao total necessário para um ciclo de produção, possíveis respostas negativas de crescimento no longo prazo, ocasionadas por alterações metabólicas e estruturais, poderiam não ser detectadas (de Francesco et al., 2004), dessa forma, o atual estudo aumenta a segurança de utilização do sorgo para a tilápia do Nilo, por estudar os efeitos da inclusão do sorgo na dieta desses animais por um período de 60 dias, os quais possibilitam obter respostas zootécnicas, fisiológicas e metabólicas confiáveis.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, para os dados de desempenho, confirmam outros achados na literatura, pois, a substituição do milho pelo sorgo também não afetou o desempenho de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com níveis crescentes de substituição do milho pelo sorgo de baixo tanino, demonstrando a capacidade de substituição em até 100%, pois as respostas foram similares entre os espécimes alimentados com as diferentes dietas (Al-Ogaily et al., 1996; Hussein et al., 2016; Yones et al., 2019b), assim como para outras espécies, tais como: juvenis de pacu (*Piaractus*

mesopotamicus) (Sanchez et al., 2016); tilápia vermelha (*Oreochromis mossambicus*X *Oreochromis niloticus*) (Abdel e Atallah, 2016); bagre Catfish (*Clarias gariepinus*) (Aderolu et al., 2009). Esses resultados confirmam a viabilidade do sorgo como ingrediente energético na alimentação de peixes, sem comprometer o desenvolvimento dos mesmos, contrariando expectativas de que a referida substituição poderia comprometer o desempenho animal, uma vez que o sorgo apresenta compostos antinutricionais, por exemplo, os taninos condensados que podem comprometer a palatabilidade reduzindo o consumo da ração, além de formar complexos principalmente com proteínas além de reduzir a atividade da enzima α -amilase, comprometendo a digestão e afetando negativamente a utilização desses nutrientes e prolaminas kafirinas, principais proteínas do sorgo, ricas em aminoácidos cisteína que formam ligações dissulfeto que são resistentes a digestão por proteases, essas proteínas podem se complexarem com o amido impedindo a ação das amilases (McCuistion et al., 2019).

A composição química da carcaça também não foi afetada pela substituição, corroborando com os resultados observados por (Yones et al., 2019b) que também não detectaram diferenças nos parâmetros avaliados em tilapia do Nilo alimentadas com dietas contendo até 100% de substituição do milho pelo sorgo. Essas repostas permitem afirmar que a tilapia do Nilo utiliza eficientemente os nutrientes e energia provenientes do sorgo.

Outro aspecto importante a ser considerado quando se avalia um ingrediente alternativo, além do desempenho, é o quanto esse ingrediente pode afetar a fisiologia, metabolismo e estado imunológico do animal. A avaliação hematologia constitui uma ferramenta para avaliação do estado de saúde do peixe, a qualidade e a quantidade da dieta influenciam significativamente nas variáveis hematológicas dos mesmos (Ranzani-Paiva et al., 2013). Neste estudo o sorgo não afetou os parâmetros hematológicos analisados, o que implica em afirmar que não interfere negativamente na utilização dos nutrientes da dieta. Conforme McDowell (2003) nutrientes como vitaminas e minerais são essenciais na hematopoese e maturação das células vermelha. As deficiências desses nutrientes provocam anemias severas diversas e redução de células brancas como neutrófilos e linfócitos em animais. A ausência de diferenças significativas hematológicas permite afirmar que o sorgo, em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo, não causa interferências negativas na hematopoese nem supressão no estado imunológico do animal. Esses resultados corroboram com Yones et al. (2019a) que também não

observaram diferenças significativas em parâmetros hematológicos (leucócitos totais, eritrócitos, hemoglobina e hematócrito) de alevinos de tilápia do Nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de sorgo em substituição ao milho.

A similaridade na atividade das enzimas digestivas, dos peixes alimentados com as dietas testes e os alimentados com a dieta controle, contraria dados anteriores que demonstraram menor digestibilidade da proteína do sorgo (56,77%) que a do milho (72,86%) para a tilápia do Nilo, em dietas extrusadas (Guimarães et al., 2008) o que infere menor atividade das proteases. O que permite afirmar que o sorgo não interfere negativamente na atividade das enzimas digestivas e, portanto, não afeta a digestibilidade dos nutrientes nem a utilização deles, afirmativa que pode ser ratificada pelas respostas similares na composição química das carcaças e nos parâmetros zootécnicos dos peixes alimentados com as dietas testes e a dieta contendo apenas milho como fonte de energia.

Dessa forma, supõe-se que a substituição do milho pelo sorgo não altere parâmetros importantes como a digestibilidade da energia e nutrientes. Resultados disponíveis na literatura embasam essa afirmação; Guimaraes et al. (2011) ao avaliarem a digestibilidade do amido e a disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo, observaram maior digestibilidade do amido e disponibilidade dos dois minerais citados para o sorgo comparado às outras fontes (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e farelo de arroz). Além da extrusão, pode-se atribuir também ao fato de que o sorgo utilizado nesta pesquisa foi o sorgo de baixo tanino, Freire et al. (2002) observaram CDA do sorgo de baixo tanino similar ao do milho, e menor CDA do sorgo de alto tanino em dietas peletizadas para alevinos de tilápia do Nilo, esses achados permitem inferir que a atividade das enzimas digestivas não sofre influência negativa com a inclusão do sorgo em dietas extrusadas para a tilápia do Nilo.

O glicogênio e os triglicerídeos constituem fonte de energia armazenáveis em vertebrados. Os triglicerídeos são acumulados em células especializadas denominadas adipócitos (Fracalossi e Cyrino, 2013); O glicogênio é um polímero de reserva de glicose, especialmente armazenado no fígado e no músculo (Hemre et al., 2002). Em peixes, as concentrações sanguíneas de triglicerídeos e colesterol podem sofrer alterações consequentes da qualidade do alimento (de Souza et al., 2021). Neste estudo não foi detectada diferença significativa na concentração de colesterol plasmático, entretanto a concentração de triglicerídeos foi inferior nos peixes alimentados com as dietas 60 e 80% de substituição, resposta similar foi observada para o glicogênio muscular que foi menor

nos mesmos peixes, sugerindo que ocorreu menor glicogênese neste tecido, provavelmente por menor disponibilidade de glicose proveniente das dietas a esses níveis de substituição, para suprir a demanda energética (glicose) o glicerol dos triglicerídeos foram direcionados para gliconeogênese.

De maneira distinta do glicogênio muscular, utilizado para obtenção de energia *in situ*, a reserva hepática é mobilizada para obtenção de energia nos tecidos extra hepáticos, quando necessário (Hemre et al., 2002). A similaridade no glicogênio hepático relacionada com a similaridade na glicemia dos peixes alimentados com as diferentes dietas e com as diferenças detectadas acima citada para o glicogênio muscular níveis de 60 e 80% de substituição, que como já mencionado, pode ter sido disponibilizado menos glicose a esses níveis, entretanto pode-se afirmar que não foi insuficiente ao ponto de desestabilizar a homeostase relativa ao metabolismo geral da glicose, provavelmente porque, nos peixes alimentados com os níveis de substituição citados acima, o fígado manteve a concentração glicêmica estável, fornecendo glicose constantemente ao passo que esta era consumida e manteve a reserva de glicogênio hepático estável, priorizando o uso da glicose proveniente da gliconeogênese. Portanto, baseando-se na ausência de diferenças significativas nas concentrações hepáticas de glicogênio e nas demais respostas de desempenho, fisiologia e metabolismo, pode-se inferir que o sorgo não afetou negativamente o metabolismo, nem a fisiologia dos juvenis de tilápia do Nilo. Argumento sustentado pela similaridade nos parâmetros sanguíneos estudados, a exemplo a albumina, que é uma das principais proteínas transportadoras de nutrientes e, portanto, é um indicativo do estado nutricional (Yılmaz e Ergün, 2012), bem como os parâmetros hematológicos, o que implica afirmar que a condição nutricional dos peixes não foi afetada, confirmação ratificada pela eficiência da retenção de nutrientes corporal e desempenho, que como já citado, não foram influenciados.

As transaminases ALT e AST são enzimas envolvidas no metabolismo dos aminoácidos e podem ser influenciadas pela dieta (Li et al., 2014), seja pela relação da concentração de nutrientes (Gaye-Siessegger et al., 2006; Li et al., 2014; Silva et al., 2020), seja pela substituição de um ingrediente por outro (de Souza et al., 2021; Liu et al., 2021). Houve diferença significativa na atividade da enzima AST hepática, essa transaminase teve atividade mais intensificada no fígado dos peixes alimentados com as dietas contendo 60, 80 e 100% de substituição do milho pelo sorgo e no músculo dos peixes alimentados com 40% de substituição, o que implica dizer que o sorgo apresentou

efeito no metabolismo dos peixes, forçando maior captação de aminoácidos para exercer uma função energética. Conforme sugerido por de Souza et al. (2018) a utilização de ingredientes com possíveis efeitos antinutricionais tendem a elevar a transaminação e desaminação dos aminoácidos, condição relacionada ao aumento na captação desses. Provavelmente ocorreu gliconeogênese devido maior disponibilidade de aminoácidos como substrato para a atividade dessas enzimas e não catabolismo para fornecimento de energia, já que a eficiência proteica não foi afetada pela inclusão da dieta, bem como não houve redução de crescimento por detrimento da deposição de proteína para suprimento energético e não houve diferença no glicogênio hepático, como citado.

O bom desenvolvimento animal depende, dentre outros fatores, da digestão e absorção dos nutrientes presentes na dieta, estas funções estão diretamente relacionadas com a saúde e desenvolvimento dos órgãos digestórios. A função absorptiva depende do desenvolvimento intestinal, a estrutura e a função do trato intestinal também refletem a dieta e são bastante sensíveis a mudanças qualitativas e quantitativas na nutrição (Wang et al., 2017). A substituição do sorgo pelo milho, na presente pesquisa, induziu a plasticidade no intestino de juvenis de tilápia do Nilo. Foram observadas diferenças significativas na espessura do músculo; perímetro e altura dos vilos, sendo superiores nos peixes alimentados com as dietas contendo sorgo. Essas modificações morfológicas nas estruturas intestinais podem significar adaptações positivas, já que o aumento na altura e largura dos vilos é indicativo de aumento na função absorptiva do intestino, por ampliar a superfície de absorção dos nutrientes disponíveis (Caspary, 1992; Mello et al., 2013). Rabelo et al. (2016) ao avaliarem o efeito do sorgo em dietas para o jundiá (*Rhamdia quelen*), relataram que a presença do sorgo, com 0,24% de taninos, incluso até 30% da ração, não acarretou alterações na altura e densidade dos vilos, portanto não teve efeito deletério ao intestino de jundiá. Nesta pesquisa, porém, o sorgo teve efeito benéfico na estrutura do intestino de tilápia do Nilo.

As adaptações morfológicas intestinais, são devidas a componentes da dieta e ocorrem para minimizar seus efeitos negativos que comprometem a digestibilidade e absorção dos nutrientes. Para a tilápia do Nilo a redução da farinha de peixe e o aumento da proteína bruta acarretou em aumento da altura das vilosidades intestinais e melhor desempenho da espécie (Honorato et al., 2021) esse aumento pode ser atribuído ao fato de que a proteína bruta apresenta um perfil aminoacídico menos balanceado que a proteína do peixe, bem como mais fatores antinutricionais; o uso da silagem de peixe

fermentada (resíduos de filetagem de tilápia (cabeça, vísceras, restos de musculatura, espinhas, pele, escamas e nadadeiras) na dieta dessa espécie acarretou em maior altura das vilosidades nos intestinos dos peixes submetidos `essa fonte proteica em comparação aos alimentados com dietas contendo farinha de peixe e farelo de soja, que possuem qualidade nutricional superior que a referida silagem de peixe (Honorato et al., 2014). Nesta pesquisa a maior espessura muscular dos peixes alimentados com as dietas contendo sorgo, pode ser devido maior intensificação dos movimentos peristálticos, para promover maior transporte e ampliar a digestão e absorção dos nutrientes e o aumento das vilosidades ocorreu para ampliar a função absorptiva. Essas alterações podem ser reflexos da presença de fatores antinutricionais do sorgo como proteínas kafirinas e taninos que podem reduzir a qualidade do grão e induzir o intestino a aumentar sua eficiência e garantir o aproveitamento dos nutrientes, evitando perdas e consequentes prejuízos fisiológicos e metabólicos. Portanto, para compensar a menor qualidade no alimento, o intestino é modulado para maior aproveitamento dos nutrientes.

3. Conclusão

O conjunto de respostas observadas nesta pesquisa para o desempenho, fisiologia, metabolismo e histomorfometria do intestino proximal de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo sorgo de baixo tanino, permite afirmar que o sorgo é um ingrediente energético viável para substituir do milho em dietas para juvenis de tilápia do Nilo, pois não acarreta efeitos negativos para a espécie.

Referências

Abdel, M. Y. M.; Atallah, M. A. Influence of dietary Sorghum starch on growth performance, digestibility coefficient and some hepatic enzyme activities in hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* X *Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Fisheries and Aquaculture Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2016.

Aderolu, A. Z.; Kuton, M. P.; Odu-Onikosi, S. G. Substitution effect of sorghum meal for maize meal in the diet of catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) juvenile. **Research Journal of Fisheries and Hydrobiology**, v. 4, n. 2, p. 41-45, 2009.

Aiura, F. S.; de Carvalho, M. R. B. Body lipid deposition in Nile tilapia fed on rations containing tannin. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 51-56, 2007.

Al-Ogaily, S. M.; Al-Asgah, N. A.; Ali, A. Effect of feeding different grain sources on the growth performance and body composition of tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture Research**, v. 27, n. 7, p. 523-529, 1996.

AOAC. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International**. Gaithersburg, Md.: AOAC International, 2005. ISBN 1080-0344 0935584757 9780935584752.

Aryee, A. N. A.; Simpson, B. K.; Villalonga, R. Lipase fraction from the viscera of grey mullet (*Mugil cephalus*). Isolation, partial purification and some biochemical characteristics. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 3, p. 394-402, 2007.

Awika, J. M.; Rooney, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004/05/01/ 2004.

Bernfeld, P. Amylase, α and β . **Methods in Enzymology**, v. 1, p. 149-158, 1955 1955.

Bezerra, R. S.; Lins, E. J. F.; Alencar, R. B.; Paiva, P. M. G.; Chaves, M. E. C.; Coelho, L. C. B. B.; Carvalho, L. B. Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Process Biochemistry**, v. 40, n. 5, p. 1829-1834, 2005.

Bidinotto, P. M.; Moraes, G.; Souza, R. H. S. Hepatic glycogen and glucose in eight tropical freshwater teleost fish: A procedure for field determinations of microsamples. **Boletim Técnico do CEPTA**, v. 10, p. 53-60, 1997.

Caspary, W. F. Physiology and pathophysiology of intestinal absorption. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 55, n. 1, p. S299-S308, 1992.

Chandrashekar, A.; Kirleis, A. W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, v. 65, n. 6, p. 457-462, 1988.

de Francesco, M.; Parisi, G.; Médale, F.; Lupi, P.; Kaushik, S. J.; Poli, B. M. Effect of long-term feeding with a plant protein mixture-based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 236, n. 1, p. 413-429, 2004/06/14/ 2004.

de Souza, A. M.; Silva, A. F. e.; Campeche, D. F. B.; Melo, J. F. B.; Santos, A. T. S. d.; Vidal, L. V. O. Corn substitution by mesquite bean flour (*Prosopis juliflora*) maintains growth and improves protein metabolism of Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). **Tropical Animal Health and Production**, 2021.

de Souza, A. M.; Silva, A. T.; Felix e Silva, A.; Campeche, D. F. B.; Melo, J. F. B.; Vidal, L. V. O. Mesquite bean (*Prosopis juliflora*) meal in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Nutritional value, growth, physiological responses and health. **Aquaculture Research**, n. May, p. 1-14, 2018.

Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

Duodu, K. G.; Nunes, A.; Delgadillo, I.; Parker, M. L.; Mills, E. N. C.; Belton, P. S.; Taylor, J. R. N. Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 35, n. 2, p. 161-174, 2002/02/01/ 2002.

Dykes, L.; Rooney, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 236-251, 2006.

El-Sayed, A. F. M. **Tilapia Culture**. 1. Wallingford: CABI Publishing, 2006. 277-277

Ezeogu, L. I.; Duodu, K. G.; Taylor, J. R. N. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 33-44, 2005/07/01/ 2005.

FAO. **FishStatJ, a tool for fishery statistics analysis**. Rome: FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2022.

Fapojuwo, O. O.; Maga, J. A.; Jansen, G. R. Effect of Extrusion Cooking on in Vitro Protein Digestibility of Sorghum. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 1, p. 218-219, 1987/01/01 1987.

Fracalossi, D. M.; Cyrino, J. E. P. **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013. 375-375

Francis, G.; Makkar, H. P. S.; Becker, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v. 199, n. 3-4, p. 197-227, 2001.

Freire, E. D. S.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Sampaio, G.; Emerson, J.; Ferrari, C. Digestibilidade aparente pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L) de rações contendo sorgo (alto e baixo tanino) e metionina. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 24, n. 4, p. 927-934, 2002.

Furuya, W. M.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Boscolo, W. R.; Cyrino, J. E. P.; Furuya, V. R. B.; Feiden, A. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias**. 1. Toledo: GFM Gráfica & Editora, 2010. 100-100

Furuya, W. M.; Silva, L. C. R.; Hayashi, C.; Furlan, A. C.; Neves, P. R.; Botaro, D.; Santos, V. G. d. Substituição do milho pela silagem de sorgo com alto e baixo teor de tanino em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 25, n. 2, 2003.

Gaye-Siessegger, J.; Focken, U.; Becker, K. Effect of dietary protein/carbohydrate ratio on activities of hepatic enzymes involved in the amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 32, n. 4, p. 275-282, 2006.

González-Félix, M. L.; Davis, D. A.; Rossi, W.; Perez-Velazquez, M. Evaluation of apparent digestibility coefficient of energy of various vegetable feed ingredients in Florida pompano, *Trachinotus carolinus*. **Aquaculture**, v. 310, n. 1-2, p. 240-243, 2010.

Guimarães, I. G.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Fernandes, R. d. N. Apparent nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for Nile tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 8, p. 1801-1808, 2012.

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, 2008/12// 2008.

Guimaraes, I. G.; Pezzato, L. E.; Barros, M. M.; Tachibana, L.; Fernandes, R. D. N. Digestibilidade do amido e disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Animal Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 415-419, 2011.

Hahn, D. H.; Rooney, L. W. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. **Cereal chemistry**, v. 63, n. 1, p. 4-8, 1986.

Hemre, G. I.; Mommsen, T. P.; Krogdahl, Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 175-194, 2002/09/01 2002.

Hertrampf, J. W.; Piedad-Pascual, F. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds**. 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Honorato, C. A.; Cruz, C. d.; Carneiro, D. J.; Machado, M. R. F.; Nascimento, C. A.; Saturnino, K. C. Histologia do fígado de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com dietas contendo silagem biológica de pescado. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 34, 2014.

Honorato, C. A.; Souza, R. M.; Santos, R. F. B.; Neu, D. H.; Carneiro, D. J. Growth and intestinal morphology in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): decrease in fishmeal in diets with crude protein levels. **Medicina Veterinaria (Brazil)**, v. 15, n. 4, p. 404-412, 2021/12// 2021.

Hussein, M.; Abd El-monaam, Y.; Ali, M.; El-Azem, A.; El-azim, A. Effect of sorghum replacement and probiotic on growth performance and feed utilization of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries**, v. 20, n. 2, p. 37-49, 2016.

Khoddami, A.; Messina, V.; Vadabaliya Venkata, K.; Farahnaky, A.; Blanchard, C. L.; Roberts, T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-17, 2021.

Li, Y.; Ai, Q.; Mai, K.; Xu, W.; Deng, J.; Cheng, Z. Comparison of high-protein soybean meal and commercial soybean meal partly replacing fish meal on the activities of digestive enzymes and aminotransferases in juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier, 1828). **Aquaculture Research**, v. 45, n. 6, p. 1051-1060, 2014.

Liu, T.; Han, T.; Wang, J.; Liu, T.; Bian, P.; Wang, Y.; Cai, X. Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth performance, feed utilization and physiological status of juvenile redlip mullet *Liza haematocheila*. **Aquaculture Reports**, v. 20, p. 100756-100756, 2021.

Mandal, A. B.; Tyagi, P. K.; Elangovan, A. V.; Tyagi, P. K.; Kaur, S.; Johri, A. K. Comparative apparent metabolisable energy values of high, medium and low tannin varieties of sorghum in cockerel, guinea fowl and quail. **British Poultry Science**, v. 47, n. 3, p. 336-341, 2006.

McCustion, K. C.; Selle, P. H.; Liu, S. Y.; Goodband, R. D. Chapter 12 - Sorghum as a Feed Grain for Animal Production. In: TAYLOR, J. R. N. e DUODU, K. G. (Ed.). **Sorghum and Millets (Second Edition)**: AACC International Press, 2019. p.355-391. ISBN 978-0-12-811527-5.

Mello, H. D.; Moraes, J. R. E.; Niza, I. G.; Moraes, F. R. D.; Ozório, R. O. A.; Shimada, M. T.; Filho Engracia, J. R. E. R.; Claudiano, G. S. Efeitos benéficos de probióticos no intestino de juvenis de tilápia-do-nilo. **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 724-730, 2013.

NRC. **Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: The National Academy Press, 2011. 376-376

Obe, B.; Wuraola, B. **Growth Performance and Nutrient Utilization of Catfish Hybrid (*Heterobranchus bidorsalis* X *Clarias gariepinus*) Fed Fermented Sorghum (*Sorghum bicolor*) Waste Meal Diets**. 2014

Pan, L.; An, D.; Zhu, W. Y. Sorghum as a dietary substitute for corn reduces the activities of digestive enzymes and antioxidant enzymes in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 273, n. January, 2021.

Pezzato, L. E.; Miranda, E. C. d.; Barros, M. M.; Pinto, L. G. Q.; Furuya, W. M.; Pezzato, A. C. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1595-1604, 2002/7// 2002.

Rabelo, P. C.; Pessini, J. E.; Dossanshez Santos Sanchez, M. S.; Boscolo, W. R.; Feiden, A.; Bittencourt, F.; Signor, A. Sorgo Em Dietas Para O Jundiá *Rhamdia quelen*. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 10, n. 4, p. 339-345, 2016.

Ranzani-Paiva, M. J. T.; Pádua, S. B. d.; Tavares-Dias, M.; Egami, M. I. **Métodos para análise hematológica em peixes**. 1. Maringá: EDUEM, 2013. 140-140

Rodrigues, M. L.; Sanchez, M. S. d. S.; Pessini, J. E.; Weiler, K. A.; Deparis, A.; Boscolo, W. R.; Bittencourt, F.; Signor, A. Replacement of corn by sorghum and phytase supplementation in silver catfish (*Rhamdia quelen*) diets: growth performance, physiological variables and bone mineralization. **Journal of Applied Animal Research**, v. 48, n. 1, p. 142-150, 2020/01/01 2020.

Salinas, I.; Pró, A.; Salinas, Y.; Sosa, E.; Becerril, C. M.; Cuca, M.; Cervantes, M.; Gallegos, J. Compositional variation amongst sorghum hybrids: Effect of kafirin concentration on metabolizable energy. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 342-346, 2006.

Sanchez, M. S. d. S.; Nascimento, M. d. S.; Hisano, H. Substituição do milho pelo sorgo em dietas para juvenis de pacu. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 1-

Silva, M. S. d.; Melo, J. F. B.; Vasconcelos, R. T.; Souza, S. A. d.; Campos, F. S.; Vidal, L. V. O. Digestibility of spineless cactus meals in extruded diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): energy, protein, amino acids, and carbohydrates. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, n. 4, p. 1-9, 2020.

Sousa, R. F.; Carvalho, F. B.; Guimarães, I. G.; Café, M. B.; Stringhini, J. H.; Ulhôa, C. J.; Oliveira, H.; Leandro, N. S. M. The effect of hydrothermal processing on the performance of broiler chicks fed corn or sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 277, n. April, 2021.

Staggenborg, S. A.; Dhuyvetter, K. C.; Gordon, W. B. Grain sorghum and corn comparisons: Yield, economic, and environmental responses. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 6, p. 1600-1604, 2008.

Stamenković, O. S.; Siliveru, K.; Veljković, V. B.; Banković-Ilić, I. B.; Tasić, M. B.; Ciampitti, I. A.; Đalović, I. G.; Mitrović, P. M.; Sikora, V. Š.; Prasad, P. V. V. Production of biofuels from sorghum. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 124, p. 109769-109769, 2020.

Vidal, L. V. O.; Albinati, R. C. B.; Albinati, a. C. L.; De Lira, A. D.; De Almeida, T. R.; Santos, G. B. Eugenol como anestésico para a tilápia-do-nilo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1069-1074, 2008.

Vidal, L. V. O.; Xavier, T. O.; Michelato, M.; Martins, E. N.; Pezzato, L. E.; Furuya, W. M. Apparent Protein and Energy Digestibility and Amino Acid Availability of Corn and Co-products in Extruded Diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 2, p. 183-190, 2015.

Wang, Y.-r.; Wang, L.; Zhang, C.-x.; Song, K. Effects of substituting fishmeal with soybean meal on growth performance and intestinal morphology in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). **Aquaculture Reports**, v. 5, p. 52-57, 2017.

Wong, J. H.; Lau, T.; Cai, N.; Singh, J.; Pedersen, J. F.; Vensel, W. H.; Hurkman, W. J.; Wilson, J. D.; Lemaux, P. G.; Buchanan, B. B. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 1, p. 73-82, 2009.

Yılmaz, S.; Ergün, S. Effects of Garlic and Ginger Oils on Hematological and Biochemical Variables of Sea Bass *Dicentrarchus labrax*. **Journal of Aquatic Animal Health**, v. 24, n. 4, p. 219-224, 2012.

Yones, A.-M. M.; Hussein, M. S.; Ali, M. W.; Abdel-Azem, A.-A. M. Effect of dietary Lacto cel-con probiotic on growth performance and hematology indices of fingerlings mono-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries**, v. 23, n. 2, p. 227-239, 2019a.

Yones, A. M. A. S. M.; Eissa, I. A. M. M.; Ghobashy, M. A. E. F. A.; Marzok, S. S. Effects of different dietary carbohydrate sources on growth performance and liver histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Egyptian Journal of Histology**, v. 42, n. 3, p. 599-607, 2019b.

Zarei, M.; Amirkolaei, A. K.; Trushenski, J. T.; Sealey, W. M.; Schwarz, M. H.; Ovissipour, R. Sorghum as a Potential Valuable Aquafeed Ingredient: Nutritional Quality and Digestibility. **Agriculture**, v. 12, n. 5, 2022.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

O crescimento constante na tilapicultura demanda diversidade de ingredientes para o fornecimento sustentável de alimentos, pois a nutrição constitui um dos fatores preponderantes para o sucesso produtivo, os alimentos alternativos possibilitam essa diversidade. Considerando as respostas determinadas neste estudo para o desempenho, metabolismo e fisiologia de tilápia do Nilo, alimentadas com dietas contendo 100% de substituição do milho, e os relatos da superior resistência à seca e maior produtividade de grãos do sorgo, sob condições adversas ao cultivo, sua inclusão em dietas para a tilápia do Nilo é uma possibilidade para a produção sustentável da espécie, ratificando dados anteriores. Quanto a inclusão do sorgo em dietas para outros peixes, os dados disponíveis na literatura são, relativamente, escassos, havendo a necessidade de mais informações quanto aos seus efeitos sob metabolismo e fisiologia desses animais. Entretanto, os dados são consistentes em afirmar que o sorgo é eficiente em substituir parcial ou totalmente o milho em dietas para esses animais, contribuindo com a ampliação de alimentos que é uma condição necessária para o sucesso na piscicultura.