



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPHE BOAVENTURA

EVALUATION OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATS (WISTAR)  
FED WITH DIFFERENT SOURCES OF STARCH

CURITIBA

2022

FELIPHE BOAVENTURA

EVALUATION OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATS (WISTAR)  
FED WITH DIFFERENT SOURCES OF STARCH

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Veterinárias.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ananda Portella Félix

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Boaventura, Felipe

Evaluation of postprandial glycemc response in rats (wistar)  
fed with different sources of starch/ Felipe Boaventura. –  
Curitiba, 2022.  
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Veterinárias.

Orientadora: Profª. Drª. Ananda Portella Félix

1. Índice glicêmico. 2. Amidos. 3. Alimentação enteral . I.  
Félix, Ananda Portella. II Universidade Federal do Paraná.  
Programa Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS  
VETERINÁRIAS - 40001016023P3

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIAS VETERINÁRIAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FELIPHE BOAVENTURA** intitulada: **Evaluation of Postprandial Glycemic Response in Rats (Wistar) Fed With Different Sources of Starch**, sob orientação da Profa. Dra. ANANDA PORTELLA FÉLIX, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 24 de Março de 2022.

Assinatura Eletrônica

13/05/2022 09:36:25.0

ANANDA PORTELLA FÉLIX

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

25/05/2022 15:11:47.0

MARIANA SCHERAIBER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

13/05/2022 10:48:05.0

CHAYANE DA ROCHA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

---

RUA DOS FUNCIONÁRIOS, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80035050 - Tel: (41) 3350-5621 - E-mail: [cpgcv@ufpr.br](mailto:cpgcv@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 185244

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 185244

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por esta realização profissional. Aos meus familiares, pelo suporte financeiro e emocional. Sobretudo, a minha mãe Claudete Boaventura, minha principal referência de dedicação, sempre incentivando minha busca pelo saber e mostrando que tudo é possível com grandes esforços e fé.

Aos amigos Patrícia Ribeiro, Marley Santos, Nina Cunha, Caique Ercole, Angela Reck, Daine Alves Bertagi, Rafaela Ceron, Bruno Henrique Santos, Laressa Cristina Cardoso Maria, Isabela Veloso, Suellen Gossen, Marina Sucha, Iandara Gouvea, Marina Silvestre Sombrio, Anny Gomes, Julia Dalanese, Carolina Grassi, Leonardo Rosca, Tais Silvino Bastos, Leandro Kuritza, Gabriela Paz e Fara de Andrade que de forma gratuita e espontânea, contribuíram com tempo e conhecimento ao longo deste processo.

Sou grato também à Universidade Positivo pelo apoio a minha pesquisa. Em especial, à professora e responsável técnica do biotério Thais Andrade Costa Casagrande e ao Professor João Ribas Coelho por colaborar pela execução das análises laboratoriais.

Agradeço também a minha orientadora Ananda Portella Félix por aceitar me orientar e por conduzir nosso trabalho com excelência. E por fim, agradeço ao laboratório LENUCAN UFPR, equipe incrível que tive o privilégio de conhecer e fazer parte.

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

Charles Chaplin

## RESUMO

O amido é a principal fonte de carboidrato na nutrição de animais não ruminantes. As distintas fontes de amido determinam variações na biodisponibilidade de glicose pós-prandial e nas propriedades de processamentos dos alimentos extrusados. Os cereais são as fontes de amido mais comumente utilizadas, e o milho representa cerca de 85% da produção mundial. Entretanto, a maior susceptibilidade a degradação enzimática do milho, pode ocasionar na obesidade e demais distúrbios endócrinos correlacionados. A maior proporção de fibra solúvel, amido resistente (AR) e fatores antinutricionais presentes em cereais integrais, alguns tubérculos e leguminosas, reduzam a resposta glicêmica pós-prandial e também promovem maior produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), sobre tudo o butirato, que contribui para saúde enteral. Neste sentido, fontes alternativas de amido foram testadas com o intuito de auxiliar o controle destas disfunções metabólicas. O presente estudo avaliou a resposta glicêmica pós-prandial de ratos alimentados com quatro dietas contendo milho, arroz integral, batata-doce ou ervilha, como principal fonte de amido. Para isto, foram utilizados 32 ratos machos da linhagem Wistar, com três meses de idade. Cada 8 animais receberam de modo inteiramente casualizado uma das dietas experimentais durante 30 dias. A glicemia dos animais foi mensurada no 29º e 30º dias experimentais. No 29º dia as mensurações foram realizadas nos períodos 0, 30, 60, 120 e 240 minutos após a administração oral de solução de glicose 50%, obtendo assim a curva glicêmica padrão. No 30º dia o mesmo protocolo foi repetido após fornecimento de 3 g de dieta para cada animal, para obter a curva glicêmica das dietas experimentais. As dietas com amido de ervilha e batata-doce proporcionaram menor índice glicêmico, glicemia média e máxima e incremento glicêmico, em relação às demais fontes de amido ( $P < 0,05$ ). Os animais alimentados com a dieta contendo milho apresentaram maior concentração séria de triglicerídeos e hemoglobina glicada, em relação aos demais tratamentos ( $P < 0,05$ ). Os resultados sugerem que as fontes de amido que refletem em alterações mais importantes no auxílio de controle glicêmico são as de ervilha e batata-doce.

Palavras-chave: Amido resistente. Controle glicêmico. Índice glicêmico. Modelo-animal. Saúde enteral.

## ABSTRACT

Starch is the main source of carbohydrate in the nutrition of non-ruminant animals. The different sources of starch determine variations in postprandial glucose bioavailability and in the processing properties of extruded foods. Cereals are the most commonly used sources of starch, and corn represents about 85% of world production. However, the greater susceptibility to enzymatic degradation of corn can lead to obesity and other correlated endocrine disorders. The higher proportion of soluble fiber, resistant starch (RA) and anti-nutritional factors present in whole grains, some tubers and legumes, reduce the postprandial glycemic response and also promote greater production of short-chain fatty acids (SCFA), especially butyrate, that contributes to enteric health. In this sense, alternative sources of starch were tested in order to help control these metabolic disorders. The present study evaluated the postprandial glycemic response of rats fed four diets containing corn, brown rice, sweet potato or pea as the main source of starch. Thirty-two male Wistar rats with three months of age, were used. Each 8 animals received one of the experimental diets in a completely randomized fashion for 30 days. The glycemia of the animals was measured in the 29<sup>o</sup> and 30<sup>o</sup> experimental days. On the 29th day, measurements were performed at 0, 30, 60, 120 and 240 minutes after oral administration of 50% glucose solution, thus obtaining the standard glycemic curve. On the 30th day, the same protocol was repeated after providing 3 g of diet to each animal, to obtain the glycemic curve of the experimental diets. Diets with pea and sweet potato starch provided lower glycemic index, mean and maximum glycemia and glycemic increment, in relation to the other sources of starch ( $P<0.05$ ). The animals fed the diet containing corn had a higher serum concentration of triglycerides and glycated hemoglobin, in relation to the other treatments ( $P<0.05$ ). The results suggest that the sources of starch that reflect the most important changes in aiding glycemic control are peas and sweet potatoes.

Keywords: Animal model. Glycemic control. Glycemic index. Gut Health. Resistant starch.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - POSTPRANDIAL GLYCEMIC CURVES OF MALE WISTAR RATS FED<br>DIETS CONTAINING CORN, BROWN RICE, SWEET POTATO, AND<br>PEAS (N= 8/DIET). ..... | 34 |
|--|----|

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍCAS DO AMIDO DE MILHO, ARROZ INTEGRAL, BATATA-DOCE E ERVILHA SEGUNDO A LITERATURA. .... | 21 |
| TABELA 2 - VARIAÇÃO DOS ÍNDICES GLICÊMICOS DO AMIDO DE MILHO, ARROZ INTEGRAL, BATATA-DOCE E ERVILHA EM RATOS E HUMANOS.....                | 25 |
| TABELA 3 - ANALYZED CHEMICAL COMPOSITION (% OF DRY MATTER) OF THE STARCH SOURCES. ....   | 30 |
| TABELA 4 - INGREDIENTS (KG/TON) AND ANALYZED CHEMICAL COMPOSITION (% OF DRY MATTER) OF THE EXPERIMENTAL DIETS. ....                        | 30 |
| TABELA 5 - MEANS OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATOS FED DIETS CONTAINING DIFFERENT STARCH SOURCES OR GLUCOSE SOLUTION. ....        | 33 |
| TABELA 6 - MEANS OF SERUM BIOCHEMICAL VARIABLES OF RATOS FED DIETS CONTAINING DIFFERENT STARCH SOURCES.....                                | 35 |

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| AGCP  | - Ácido Graxo de Cadeia Curta     |
| AM    | - Amilose                         |
| AP    | - Amilopectina                    |
| AST   | - Aminotransferase                |
| AUC   | - Area Under the Glucose Curve    |
| GI    | - Glycemic Index                  |
| HBA1c | - Glycated Haemoglobin            |
| HDL   | - High-Density Lipoprotein        |
| IG    | - Índice Glicêmico                |
| LDL   | - Remnant Low-Density Lipoprotein |
| RS    | - Resistant Starch                |
| RDS   | - Rapidly Digestible Starch       |
| SDS   | - Slowly Digestible Starch        |
| VLDL  | - Low-Density Protein             |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | <b>18</b> |
| 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO .....   | 18        |
| 2.2 FONTES DE AMIDO .....  | 21        |
| 2.2.1 Milho .....  | 22        |
| 2.2.2 Arroz integral .....   | 22        |
| 2.2.3 Batata doce .....  | 23        |
| 2.2.4 Ervilha .....  | 24        |
| 2.3 ÍNDICE GLICÊMICO (IG).....   | 24        |
| 2.4 IMPACTO DO AMIDO NA SAÚDE INTESTINAL.....  | 26        |
| 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 27        |
| <b>3 EVALUATION OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATS (WISTAR)<br/>FED EXTRUDED DIETS WITH DIFFERENT STARCH SOURCES.....</b> | <b>28</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>28</b> |
| 2.6 INTRODUCTION .....   | 28        |
| 2.7 MATERIAL AND METHODS .....   | 30        |
| 2.7.1 Experimental diets.....  | 30        |
| 2.7.2 Animals.....   | 31        |
| 2.7.3 Postprandial glyceimic curve determination.....  | 32        |
| 2.7.4 Serum biochemical analyses.....  | 32        |
| 2.7.5 Statistical analysis .....   | 33        |
| 2.8 RESULTS.....   | 33        |
| 2.9 DISCUSSION .....   | 35        |
| 2.10 CONCLUSION .....  | 37        |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>37</b> |
| <b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | <b>50</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O amido é um carboidrato composto basicamente por carbono, hidrogênio e oxigênio e por dois polímeros de glicose: amilose e amilopectina (BEYNEN, 2016), sendo a sua principal função, o fornecimento de energia ao organismo. Além da função energética, o amido desempenha papel importante tecnológico como agente de expansão, gelatinização, estabilizador de coloides, retenção de água e auxílio nas propriedades de textura dos alimentos (DERNARDIN et al., 2009). Desse modo, o amido é o carboidrato mais consumido por humanos e demais animais não-ruminantes, estando presente em várias fontes vegetais como polissacarídeo de reserva nos grãos de cereais, tubérculos e leguminosas (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986).

De modo geral, os principais fatores que podem influenciar a digestibilidade do amido e a taxa de absorção de glicose incluem: sua origem botânica, proporção de amilose: amilopectina, concentração de fibras, fatores anti-qualitativos dos ingredientes, forma e tipo de processamento, e fenômenos como a gelatinização e retrogradação. Portanto, dependendo da fonte de amido consumida e do seu processamento, pode haver maior ou menor resposta glicêmica pós-prandial (CARCIOFI et al., 2008).

De acordo com a susceptibilidade a ação enzimática as frações do amido podem ser classificadas em: rapidamente digestível (ARD), que resulta em maior resposta glicêmica pós-prandial; lentamente digestível (ALD), que por ser digerido mais lentamente gera menor índice glicêmico e resistente (AR), o qual não é hidrolisado pela  $\alpha$ -amilase e, portanto, não é digestível (WONG; LOUISE, 2017). As concentrações de AR interferem na digestibilidade do amido e conseqüentemente no incremento glicêmico (CHUNG et al., 2008; QIN et al., 2019). Ainda, o consumo de AR pode aumentar a produção intestinal de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), uma vez que ele é fermentável pela microbiota do sistema gastrointestinal. Dentre os AGCC produzidos, o butirato propicia maior expressão gênica de mucina 2, e atua como substrato metabólico energético dos colonócitos e na regeneração do epitélio intestinal (PEIXOTO et al., 2018). O maior teor de AR também exerce efeito benéfico na eficiência intestinal de absorção de água e eletrólitos (KNUDSEN et al., 2012).

Fontes de amido ricas em fração ARD, como o milho, podem resultar em hiperglicemia e hiperinsulinemia, causando o aumento exponencial no índice

glicêmico, devido à dessensibilização das células  $\beta$ -pancreáticas, ocasionando resistência à insulina. Isso pode resultar em distúrbios metabólicos como Diabetes Mellitus tipo II e obesidade (CARPILES et al., 2009). Desse modo, para prevenir ou controlar esses distúrbios, é necessário o consumo de dietas que contenham fontes de amido com maior fração ALD e AR, para reduzir a resposta glicêmica pós-prandial. Dentre essas fontes, estudos observaram que o amido de leguminosas, como a ervilha e de alguns tubérculos, como a bata doce podem auxiliar no controle glicêmico pós-prandial (CARCIOFI et al., 2008 ). No entanto, há escassez de estudos em ratos, como modelo animal, alimentados com dietas extrusadas contendo diferentes fontes de amido. Sendo assim, a presente revisão de bibliografia tem por objetivo apresentar sobre os impactos de diferentes fontes de amido na saúde dos animais e humanos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO

O amido é um polissacarídeo de armazenamento vegetal, composto por dois polímeros de glicose: amilose (AM) e amilopetina (AP), associados a lipídios, proteínas e minerais (SCHIRMER et al., 2013; HARRIS, 2019). Em relação ao aspecto físico, o amido é composto por “anéis de crescimento” formado por conchas semicristalinas concêntricas de 120-400 nm de espessura, separado por regiões amorfas em torno de um hilo central (LOURDIN et al., 2015).

A molécula de AM possui estrutura curta e essencialmente linear formada por ligações  $\alpha$ -1,4 unidas a D-glucose, já a AP é um polímero ramificado, longo e de conformação semelhante a AM com ramificações ( $\alpha$ -1,6) a cada 20 - 25 unidades de glicose (ABDULLAH, 2010). De modo geral, as quantidades de AM e AP dos amidos são variáveis de acordo com as fontes de origem, no entanto, amidos regulares contêm cerca de 70-80% de AP e 20-30% de AM (SCHIRMER et al., 2013). A conformação da AM predispõe ao processo de cristalização e formação de géis resistentes, enquanto a AP se dispersa e retrograda mais lentamente em água, resultando em produtos de menor resistência (WITCZAK et al., 2016).

A organização estrutural da AP dá origem ao aspecto semicristalino do amido, o qual é composto por zonas amorfas, caracterizada pelos pontos de ramificação da molécula e cristalinas, composta pelas partes lineares da AP. Já, a AM está dispersa nas regiões amorfas e cristalinas do grânulo de amido (MAGALLANES-CRUZ et al., 2017). Ainda, os grânulos de amido nativo podem ser classificados em A, B e C de acordo com suas proporções de AM e AP, conteúdo de água e configuração do empacotamento das duplas hélices (RAIGOND et al., 2015). A cristalinidade tipo A se caracteriza pela maior proporção de AP altamente condensada e cristalina, sendo comumente encontrada em cereais, como milho e arroz. No entanto, apesar da configuração condensada da AP dos grânulos tipo A, esse amido é o mais susceptível a hidrólise enzimática, devido à presença de poros na superfície do grânulo, o que facilita a ação da  $\alpha$ -amilase. No tipo B as frações de AM são mais abundantes do que no A, e a estrutura do amido é mais claramente definida, apresentando cadeias empacotadas em arranjo hexagonal com maior acúmulo de moléculas de água. A cristalinidade do tipo B é mais resistente a hidrólise enzimática e é comum em

grânulos de amido de tubérculos, como batata e mandioca. A cristalinidade tipo C apresenta estrutura intermediária entre os tipos A e B e é encontrada em leguminosas, como ervilha e lentilha (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010).

As diferentes fontes vegetais de amido determinam variações na sua funcionalidade, tamanho do grânulo (0,1 – 200  $\mu$ ), forma (esferas, elipsoides plaquetas e túbulos irregulares) e cristalinidade (A, B e C) (WITCZAK et al., 2016). No entanto, a arquitetura nativa do amido pode ser alterada por meio de processamentos industriais hidrotérmicos (aquecimento na presença de água), associados a forças de cisalhamento. Tais modificações resultam no processo denominado gelatinização (WANG; COPELAND, 2013). O processo de extrusão da dieta aumenta significativamente a digestibilidade do amido, pois quando realizado de modo eficiente resulta em alta taxa de gelatinização (ALVARENGA et al., 2021).

A gelatinização do amido é reversível e promove o inchaço dos grânulos e a liberação e solubilização da AM e AP (WANG et al., 2017). O processo de gelatinização ocorre em faixas de temperatura entre 60 – 80 °C e favorece a formação de pontes de hidrogênio entre a água e o amido, desestabilizando as regiões cristalinas e predispondo a lixiviação dos polissacarídeos solúveis (DONMEZ et al., 2021). Ainda, modifica o aspecto dos grânulos, tornando-os viscosos e macromoleculares (WANG et al., 2017). Todavia, os fatores endotérmicos que influenciam a gelatinização são determinados pela origem botânica, relação AM/AP, água e condições dos processamentos industriais (LIU et al., 2006). O amido gelatinizado desempenha um papel fundamental no processamento dos alimentos amiláceos, sobretudo nos alimentos extrusados (DONMEZ et al., 2021).

Em contraste, a retrogradação do amido é o retrocesso contínuo da gelatinização (DONMEZ et al., 2021). O processo de retrogradação é espontâneo e ocorre em condições termodinâmicas de baixa energia, favorecendo a estabilidade (estado cristalino) do amido e o tornando resistente à digestão (FU et al., 2013). A sequência dos eventos nucleação (agrupamento das cadeias de glucanas), crescimento ou propagação dos cristais (formação de duplas hélices justapostas e fusão dos cristais com redução da distância intramolecular entre cadeias de glucanas) e perda da água do gel (sinérese) caracterizam a retrogradação (VAMADEVAN; BERTOFT, 2018).

As características reológicas dos amidos também interferem na retrogradação. A fração AM dos amidos retrograda e recristaliza de maneira mais

rápida quando comparado a AP (WANG et al., 2015). Amidos compostos por cadeias de AP mais longas (como a batata e ervilha) retrogradam mais rapidamente que os amidos provenientes de cereais e complexos amido-lipídicos (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015). Contudo, a gelatinização e a retrogradação causam efeitos importantes na digestibilidade do amido, e a retrogradação da AM tem sido um dos principais focos das investigações na produção de AR (CHUNG et al., 2006).

A digestibilidade do amido pode ser determinada por meio de metodologias *in vitro* ou *in vivo*. O principal foco de avaliações *in vitro* é a taxa de degradação enzimática, e na metodologia *in vivo* além da determinação da ação enzimática, são considerados o índice glicêmico (IG) e a taxa de absorção de glicose (WANG; COPELAND, 2015). Os fatores intrínsecos do amido (teor de proteína, lipídeos, parede celular e relação AM/AP) e extrínsecos (tratamento de calor-umidade e recozimento) alteram a digestibilidade dos grânulos (CHI et al., 2021). Para fins nutricionais, a digestão do amido é subdividida em três frações: amido rapidamente digestível (ARD) (digestão < 20 minutos *in vitro*); amido lentamente digestível (ALD) (hidrolise entre 20-120 minutos *in vitro*) e amido resistente (AR) (YE et al., 2019).

O AR é a fração de amido não digerido pela  $\alpha$ -amilase *in vitro* e não degradado no intestino delgado após 120 minutos do seu consumo (RAIGOND et al., 2015). De acordo com as especificidades do AR, podemos classificá-lo em: AR tipo I - presente nas camadas externas e indigeríveis do amido, AR tipo II - polimorfos B e C resistentes à hidrólise enzimática, AR tipo III - moléculas retrogradadas e realinhadas do amido subproduto da gelatinização, AR tipo IV – moléculas de amido quimicamente modificadas com ligações cruzadas ou derivados químicos e o AR tipo V - complexos lipídicos associados a molécula de amilose (WONG; LOUISE, 2017).

Devido a maior resistência aos processos de digestão, o consumo de AR é associado a um melhor controle de peso corporal, balanço energético e também ao maior controle dos níveis séricos de lipídios (CAPRILES; ARÉAS, 2016). Além disso, a adição de AR na dieta, em contraste à fibra alimentar, não interfere no sabor, aparência e textura dos alimentos (TIAN; SUN, 2020). Porém, apesar do consumo de AR proporcionar potenciais benefícios a saúde, sua utilização implica em limitações industriais como menor estabilidade no aquecimento, ácido e tensão de cisalhamento e maior predisposição a retrogradação (MA et al., 2020).

## 2.2 FONTES DE AMIDO

Dentre as possíveis fontes de amido, podemos citar os cereais, tubérculos e leguminosas, que desempenham importante papel como fonte energética na indústria alimentícia (BAJAJ et al., 2018). Estas fontes botânicas são consideradas alimentos básicos em países desenvolvidos ou em desenvolvimento e são os ingredientes mais comumente utilizados nos alimentos para animais de estimação (LIU et al., 2006; ALVARENGA et al., 2021). Nos cereais, a síntese do amido ocorre nos amiloplastos e nas células do endosperma; nos tubérculos, nos parênquimas; e nas leguminosas, nos cotilédones (DHITAL et al., 2019).

Neste contexto, os cereais são as principais fontes de extração dos amidos, devido a sua maior disponibilidade e digestibilidade (SVIHUS et al., 2005; AGAMA-ACEVEDO et al., 2019). Como comentado anteriormente, a porosidade da superfície dos grânulos dos amidos nos cereais facilita a entrada das amilases, sendo este um aspecto que o torna mais digestível que os tubérculos e as leguminosas (SINGH et al., 2010). Desse modo, os cereais em contraste às demais fontes de amido, geralmente tem a fração de ARD mais abundante (RAIGOND et al., 2015). O amido de cereais geralmente tem maior predisposição à gelatinização em relação às leguminosas, devido à maior proporção de AP. Esta característica também melhora a qualidade física dos pellets de ração (SVIHUS et al., 2005).

A digestibilidade dos amidos está intimamente relacionada com suas características reológicas, tais características variam de acordo com a fonte vegetal de origem. Portanto, estas características promovem variações na resposta glicêmica pós-prandial (CHUNG et al., 2008). A TABELA 1 mostra características estruturais e físico-químicas do amido de milho, arroz integral, batata-doce e ervilha descritas na literatura.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO DE MILHO, ARROZ INTEGRAL, BATATA-DOCE E ERVILHA SEGUNDO A LITERATURA.

| <b>Características gerais do amido</b> | <b>Milho</b>                              | <b>Arroz Integral</b>                      | <b>Batata-Doce</b>   | <b>Ervilha</b>   |
|--|---|--|--|--|
| Classificação<br>Formato               | A<br>Arredondado e frequentemente angular | A, B ou C<br>Grânulos menores e poligonais | B<br>Grandes variações no formato, com predomínio da forma poligonal | C<br>Grandes variações no formato com predomínio da forma oval |

| <b>Características gerais do amido</b>              | <b>Milho</b> | <b>Arroz Integral</b>    | <b>Batata-Doce</b> | <b>Ervilha</b> |
|---|--------------|--------------------------|--------------------|----------------|
| Tamanho ( $\mu\text{m}$ )                           | 5-25         | >15 (A); 5-15 (B); <5(C) | 10-13              | 2-40           |
| Amilose (%)   | 15-25        | 19,3                     | 8,5-37,4           | 30-40          |
| Amido Resistente (%)                                | 2,5          | 3,52                     | 6,8                | 10,5           |
| Umidade (%)   | 13,65        | 12,53                    | 13,51              | 9,88           |
| Proteína Bruta (%)                                  | 0,05         | 12,5                     | 0,3                | 21,85          |
| Extrato Etéreo (%)                                  | 0,12         | 11,8                     | 0,13               | 2,34           |
| Fibra Total (%)                                     | 9,68         | 19,3                     | 0,82               | 10,41          |
| Temperatura de Gelatinização ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 62-72        | 55-80                    | 60-96              | 55-117         |

FONTE: Rooney; Pflugfelder (1986); Zobel (1988); Tian et al. (1991); Cooke; Gidley (1992); Batistuti et al. (1993); Hoover (2000); Ratnayake et al. (2002); Frei; Becker (2003); Costa (2005); Stork et al. (2005); Weber et al. (2005); Alexandrino (2006); Gonçalves (2007); Pereira et al. (2007); Gonçalves et al. (2009); Polesi (2009); Mingotte et al. (2012); Pereira (2012); Warsk et al. (2012); Weber (2012); Zuh et al. (2017); Borba et al. (2018); Batista (2019).

### 2.2.1 Milho

O milho é uma monocotiledônea pertencente à família das gramíneas, fornece cerca de 85% da produção de amido anual mundial, apresentando grande relevância em aplicações na indústria alimentícia e não alimentícia (ZHANG et al., 2021). Ainda, o milho é cultivado em quase todos os estados do Brasil, sendo 90% da produção nacional concentrada na região Sul (40,8%), Sudeste (19,1) e Centro-Oeste (30,2%) (LUCHESE et al., 2017).

O amido é o principal componente da estrutura do milho e corresponde a aproximadamente 80% de sua estrutura (PALACIOS-FONSECA et al., 2013), sendo constituído principalmente por fração de ARD (ZHANG et al., 2021). As propriedades físico-químicas e características como teor de matéria seca (MS), baixo custo e capacidade de gelatinização contribuem para que o milho seja a fonte de carboidrato primária nas dietas humana e animal (BLASEL et al., 2006; WANG et al., 2022).

A capacidade de expansão e gelatinização do milho reduz a perda de água e melhora a viscosidade e textura dos alimentos (WITCZAK et al., 2016). Neste sentido, a gelatinização do milho beneficia não somente os aspectos funcionais, mas também contribui para as características desejáveis dos produtos extrusados (WANG et al., 2022).

### 2.2.2 Arroz integral

O arroz é uma das principais culturas de cereal e tem grande importância como alimento básico no mundo, sobretudo em países asiáticos incluindo a China, Índia, Paquistão e Tailândia (YOU et al., 2016; KUMAR et al., 2017). O arroz integral é o arroz branco com sua camada de farelo rica em fibras preservada (pericarpo, tegumento e germe), sendo, portanto, considerado um grão integral (MUSA et al., 2011; XIA et al., 2017).

A composição do arroz integral também é constituída por moléculas biofuncionais como o ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA), fibras dietéticas, ácido fítico e vitaminas E e B. A molécula de amido o principal componente deste grão, correspondendo a 75% da sua estrutura (MUSA et al., 2011; KUMAR et al., 2017).

O consumo de grãos integrais, como o arroz integral, vem sendo recomendado uma vez que por possuírem maior teor de fibra e nutrientes são considerados mais saudáveis (MATSUBARA et al., 2021). No entanto, particularidades estruturais do arroz integral como tamanho de partícula e estrutura ordenada de curto alcance limitam a sua gelatinização (WANG et al., 2020). Além disso, os fatores antinutricionais do arroz integral (tanino e fitato) afetam negativamente as propriedades culinárias organolépticas como a textura e digestibilidade (MUSA et al., 2011; XIA et al., 2017). Entretanto, estas variáveis podem ser reduzidas com o auxílio do tempo de germinação e cozimento, tornando o arroz integral uma alternativa interessante como fonte vegetal de amido (WANG et al., 2020).

### 2.2.3 Batata doce

Cerca de 90 % da produção anual mundial de batata doce ocorre na China. A cultura dessa dicotiledônea da família *Convolvulaceae* é a sexta mais importante do mundo depois do arroz, trigo, batata, milho e mandioca, sendo a quinta mais relevante em países em desenvolvimento (ZHU; WANG, 2014; ZHOU et al., 2017).

A batata-doce é uma cultura perene, abundante e barata, e se adapta aos mais variados climas mesmo em regiões onde há escassez de macro e micronutrientes no solo, exigindo pouca supervisão de plantio (ZHU et al., 2011; de ALBUQUERQUE et al., 2019). A composição nutricional da batata-doce altera de acordo com suas variações (batata-doce branca, amarela, laranja e roxa), sendo a batata-doce roxa a mais consumida pelos humanos, devido aos seus compostos

bioativos como a antocianina que auxiliam a eliminação dos radicais livres (ZHANG et al., 2018).

O principal componente da batata-doce é o amido, que corresponde a cerca de 50-80% do seu peso seco (DUPUIS; LIU, 2019). Além disso, a batata-doce é rica em vitaminas A, E, C e vitaminas do complexo B, que atuam como cofatores do sistema imune e na eliminação de radicais livres, além de fornecer minerais vitais (ferro, cálcio, magnésio, manganês e potássio), que favorecem a síntese proteica e o metabolismo dos carboidratos (MOHANRAJ; SIVASANKAR, 2014). Apesar dos benefícios do consumo da batata-doce, sua utilização na indústria alimentícia é limitada devido às suas características inerentes como baixo grau de intumescimento e solubilidade, maior viscosidade de pasta e tendência a retrogradação (WANG et al., 2020).

#### 2.2.4 Ervilha

O cultivo de ervilha é destinado principalmente para produção de alimentação animal e parcialmente para consumo humano (PIECYK et al., 2018). Em termos de produção mundial a ervilha ocupa o quarto lugar dentre as leguminosas alimentícias abaixo da soja (RATNAYEKE et al., 2002). Ainda, o amido da ervilha é um subproduto da extração de proteína (MA et al., 2008). Além disso, o plantio de ervilha, assim como de outras leguminosas, contribui na fertilidade e restauração de solos degradados uma vez que promove a fixação do nitrogênio atmosférico (RATNAYEKE et al., 2002).

A ervilha é composta por cerca de 30 – 50 % de amido, sendo que 35 – 65 % do amido de ervilha e corresponde a AM (LEITE et al., 2017; ZHOU et al., 2019). As características estruturais da ervilha proporcionam limitações nas aplicações industriais, devido a sua baixa estabilidade térmica, baixa resistência a ácidos e cisalhamento e maior tendência a retrogradação (ZHOU et al., 2019). No entanto, estas características são desejáveis na tendência atual de produtos alimentícios palatáveis, com índice glicêmico reduzido e maior potencial de benefícios à saúde (MA et al., 2018).

### 2.3 ÍNDICE GLICÊMICO (IG)

Fontes de amido proporcionam diferentes respostas glicêmicas pós-prandiais. A variação nas respostas glicêmicas ocorre pelas diferentes características físico-químicas, proporções de AM, cristalinidade, teores de fibras, proteínas e lipídios e fatores que interferem na sua degradação enzimática (PANLASIGUI et al., 1991; CUNHA, 2013). A TABELA 2 mostra valores de IG presentes na literatura, referente as fontes de amido aqui descritas. Os valores foram obtidos por meio da aferição de glicemia em diferentes espécies, tais como ratos e humanos.

TABELA 2 - VARIAÇÃO DOS ÍNDICES GLICÊMICOS DO AMIDO DE MILHO, ARROZ INTEGRAL, BATATA-DOCE E ERVILHA EM RATOS E HUMANOS.

| Fontes de amido | Mínimo | Intermediário | Máximo |
|-----------------|--------|---------------|--------|
| Milho           | 52     | 61-67         | 73-74  |
| Arroz Integral  | 34     | 55            | 66     |
| Batata Doce     | 30-48  | 52-54         | 69-80  |
| Ervilha         | 32-44  | 49-55         | 61-77  |

FONTE: Heaton et al. (1988); Foster-Powell; Miller (1995); Skarbanja et al. (1999); Junior et al. (2005); Chung Liu; Hoover (2009); Astawan; Widowati (2011); Bahado-Singh et al. (2011); Santos (2011); Allen et al. (2012); Cunha (2013); Li et. al. (2014); Carvalho et al. (2016); Shaikh et al. (2019).

De maneira geral, o amido de cereais proporciona maior IG em relação ao amido de alguns tubérculos e leguminosas (SINGH et al., 2010). No entanto, cereais integrais, como o arroz integral, possuem em sua constituição maior teor de fibras que restringem a degradação enzimática do amido e deflagram menores IG (ALVARENGA et al., 2021). A presença de fotoquímicos nos cereais integrais, tais como ácido fenólicos, flavonoides, carotenoide e tocoferol, agem como agentes antioxidante das células  $\beta$ -pancreáticas e também auxiliam no controle glicêmico (ADEFEGHA et al., 2018). Apesar das características intrínsecas favoráveis, o modo de preparo influencia na disponibilidade de glicose do arroz integral, como o processo de embebição, que pode potencializar a gelatinização do amido, melhorando as características organolépticas e ocasionando em maiores valores de IG (LIN et al., 2010). Os aspectos do milho, como menor proporção de AM e menor fração de AR também resultou em maior IG em roedores no estudo de Singh et al. (2010).

O tubérculo batata-doce é uma cultura interessante para controle glicêmico, pois possui maior concentração de fibra e ALD e AR, contribuindo para disponibilidade mais gradual de glicose no sangue (BAHADO-SINGH et al., 2011). Além disso, a presença de polifenóis e ligações covalentes da batata-doce a tornam mais resistente aos processos enzimáticos (LU et al., 2020).

A menor resposta glicêmica determinada por fontes de amido de leguminosas pode ser atribuída principalmente as proteínas e lipídeos da superfície, que bloqueiam os sítios de adsorção e influenciam na ligação das enzimas digestivas (SINGH et al., 2010). Além do mais, o arranjo entre regiões amorfas e cristalinas do amido de leguminosas também deflagra maior resistência à digestão (MA et al., 2017). Diante do exposto, podemos observar que, compreender o impacto das particularidades estruturais de fontes de amido pode contribuir no controle de distúrbios relacionados à hiperglicemia.

## 2.4 IMPACTO DO AMIDO NA SAÚDE INTESTINAL

As concentrações de AR contribuem para a produção de proprionato, butirato e mucinas, que alteram a profundidade das criptas do intestino grosso (TOPPING et al., 1997). Paturi et al. (2012) observaram que camundongos alimentados com milho apresentaram maior agregado de células secretoras de mucina e displasia de criptas intestinais, o que pode indicar injúria do epitélio intestinal por condições inflamatórias. A redução das criptas intestinais também é associada a um maior desafio microbiano induzido por componentes antigênicos nutricionais (CHEN et al., 2013). Porém, Knudsen et al. (2012) observaram que suínos alimentados com milho combinado com frutooligossacarídeos tem melhor desempenho nas características morfológicas do segmento distal do intestino, em relação ao arroz branco cozido. Da mesma forma, observaram-se efeitos benéficos do consumo de milho em humanos, como maior produção de AGCC e butirato, em relação ao consumo de batata (BENDIKS et al., 2020).

As concentrações de ácido  $\gamma$ -amirobutírico (GABA), fibra dietética, inositóis e ácido fítico do arroz integral regulam a expressão de  $\beta$ -catenina, COX-2 e processos inflamatórios, que refletem nos aspectos morfológicos enterais (LATIFAH et al., 2010). Além disso, Liu et al. (2018) identificaram que o ácido fítico do arroz integral estimula maior expressão de Mucina 2 e inibe citocinas pró-inflamatórias, pela supressão da  $\beta$ -catenina e do complexo E-caderina, causando um efeito protetor ainda maior. Além do mais, Lee et al. (2021) observaram em suínos recém desmamados, que os compostos fenólicos do arroz integral têm efeito antioxidante que promovem melhorias no status imunológicos e maior proteção da mucosa intestinal, mesmo em condições de stress.

O estudo de Li et al. (2019) em ratas idosas observou que a antocianina da batata-doce é outro importante fator que favorece a proliferação de *Lachnospiraceae* e *Ruminococcaceae*, que deflagram maiores concentrações de AGCC, butirato e fortalece as junções das barreiras do intestino. O estudo de Sun et al. (2020) também demonstrou em camundongos com colite induzida, que a batata-doce contribuiu para maior comprimento de cólon e redução de citocinas pró-inflamatórias como a IL-1 $\beta$ , IL-6 e TNF.

Assim como para a batata-doce, o estudo de Forgie et al. (2019) em camundongos, também demonstrou que a ervilha proporcionou maior controle nas condições inflamatórias enterais, devido as suas proporções de polifenóis, taninos e fibras solúveis fermentáveis. Além disso, os efeitos benéficos da ervilha sobre a saúde intestinal também podem ser atribuídos à fermentação do AR no cólon (CHEN et al., 2013).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos nos permitem concluir que fontes de amido com maior teor de fibras e fatores que retardam a degradação enzimática disponibilizam glicose no sangue de forma mais gradual. Dessa forma, além das atribuições já bem estabelecidas como agente de expansão e fonte energética, o amido pode atuar também como alimento coadjuvante no controle de doenças endócrinas relacionadas a hiperglicemia. Além disso, fontes com maior teor de AR contribuem para eubiose intestinal e conseqüentemente trazem benefícios à saúde e integridade da mucosa intestinal.

### **3 EVALUATION OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATS (WISTAR) FED EXTRUDED DIETS WITH DIFFERENT STARCH SOURCES**

#### **ABSTRACT**

The consumption of readily digestible starch sources such as corn can negatively impact endocrine disorders related to hyperglycemia in predisposing animals. In this sense, starch sources containing slowly digestible and resistant fractions can assist in glycemic control. The present study evaluated the postprandial glycemic response and blood variables in rats fed with four extruded diets containing corn, brown rice, sweet potato, and pea as a starch source. Thirty-two male Wistar rats, 90 days old, were divided into groups of eight animals each and received one of the experimental diets for 30 days. The glycemia was measured on 29th and 30th days. The analyses on the 29th day were performed at 0, 30, 60, 120, and 240 minutes after oral administration of 50% glucose solution. On the 30th day, the same protocol was repeated after providing 3 g of diet for each animal to obtain the glycemic curve. After euthanasia, 7 mL of blood was collected via cardiac puncture for glycated hemoglobin (HBA1c) and triglycerides analysis. The diets with pea and sweet potato resulted in lower glycemic index, average and maximum glycemia, and glycemic increment in relation to the other starch sources ( $P<0.05$ ). The animals fed with the corn diet had higher serum concentrations of triglycerides and HBA1c in relation to the other treatments ( $P<0.05$ ). The results demonstrated that the pea and sweet potato starch sources presented the most significant changes regarding glycemic control.

Keywords: 1. Animal model 2. Brown rice 3. Corn 4. Glycemic control 5. Peas 6. Resistant starch 7. Sweet potato.

#### **2.6 INTRODUCTION**

Starch is a polysaccharide that provides energy for organism maintenance (BEYNEN, 2016), being one of the main components in diets for humans, laboratory rats, and companion animals. Besides, starch has an important technological role in the texture properties of extruded foods (DERNADIN et al., 2009). According to the enzymatic hydrolysis degree, starch is classified as: rapidly digestible (RDS), slowly digestible (SDS), and resistant (RS) (WONG; LOUISE, 2017). The dietary concentration of these different starch fractions affects starch digestibility and the postprandial glycemic increment (QIN et al., 2019). The RDS, SDS, and RS contents vary depending on the botanical origin; physical-chemical characteristics, such as granule size and crystalline structure; grinding and cooking degree; fiber content; and starch source (SCHIRMER et al., 2013).

Corn is the most used starch source in animal nutrition due to its low cost and its rheological properties that facilitate the extrusion and pelleting process (YONGFENG, 2016). However, corn has a high concentration of RDS fraction due to the high concentration of amylopectin (more than 75%) and low fiber content (less than 2% crude fiber), contributing to its rapid digestion (DERNADIN et al., 2009; MINGOTTE et al., 2012). In vivo tests in rats have shown that the consumption of diets with corn triggers a high glycemic response (BRITES et al., 2011), which may contribute to the appearance of metabolic disorders, such as obesity, type II diabetes mellitus, and cardiovascular disease in humans and other animals (PAWLAK et al., 2001; CAPRILES et al., 2009).

Therefore, in order to obtain glycemic control and assist in the treatment of obese and diabetic animals, it is necessary to consume diets with starch sources with higher concentrations of SDS and RS fractions, which minimizes and prolongs the postprandial glycemic response (CARCIOFI et al., 2008; Bang et al., 2019). Among the potential starch sources with a lower glycemic index (GI) are whole grains, such as brown rice; pulses, such as peas; and some tubers, such as sweet potato (RATNAYAKE et al., 2002; PANLASIGUI; THOMPSON, 2006; CHEN et al., 2012). In vitro studies have shown that these starch sources can result in a lower GI, mainly due to their higher fibrous fraction and higher amylose and RS content, which slows the gastric emptying and reduce the glucose absorption rate (CAPRILES; ARÊAS, 2016). However, there seems to be a scarcity of in vivo studies with rats as animal model to confirm these effects. Thus, the aim of this study was to evaluate the postprandial

glycemic response and blood variables in Wistar rats fed with diets containing corn, brown rice, sweet potato, and pea as the main starch source.

## 2.7 MATERIAL AND METHODS

This study was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals (CEUA) of Universidade Positivo under certified protocol n.574/2020.

### 2.7.1 Experimental diets

Four extruded diets containing the following starch sources were evaluated: corn, brown rice, sweet potato, and pea. The diets supplied the nutritional requirements of laboratory rats recommended by the NRC (1995) and were formulated to be iso-starch (approximately 30%) and iso-protein. The chemical composition of the starch sources and experimental diets are shown in TABLES 3 and 4, respectively.

TABELA 3 - ANALYZED CHEMICAL COMPOSITION (% OF DRY MATTER) OF THE STARCH SOURCES.

| Item                   | Corn   | Brown Rice | Pea    | Sweet Potato |
|------------------------|--------|------------|--------|--------------|
| Dry matter             | 88.78  | 88.76      | 88.15  | 91.51        |
| Crude protein          | 7.45   | 13.77      | 25.54  | 2.78         |
| Ether extract          | 3.81   | 4.11       | 2.39   | 1.10         |
| Total dietary fiber    | 5.23   | 6.89       | 23.70  | 11.23        |
| Ash                    | 2.51   | 1.45       | 2.89   | 1.79         |
| Calcium                | 0.03   | 0.03       | 0.05   | 0.11         |
| Phosphorus             | 0.24   | 0.29       | 0.33   | 0.06         |
| Starch                 | 70.06  | 76.75      | 47.62  | 78.69        |
| Gross energy (Kcal/Kg) | 4829.2 | 4429.9     | 4545.6 | 4126.4       |

TABELA 4 - INGREDIENTS (KG/TON) AND ANALYZED CHEMICAL COMPOSITION (% OF DRY MATTER) OF THE EXPERIMENTAL DIETS.

| Ingredients             | Corn    | Brown Rice | Pea     | Sweet Potato |
|-------------------------|---------|------------|---------|--------------|
| Corn                    | 433.899 | -          | -       | -            |
| Brown rice              | -       | 447.450    | -       | -            |
| Pea                     | -       | -          | 565.627 | -            |
| Sweet potato flour      | -       | -          | -       | 366.278      |
| Poultry by-product meal | 267.889 | 264.360    | 227.203 | 293.127      |
| Isolated swine protein  | 147.430 | 138.727    | 81.262  | 171.837      |
| Cellulose               | 54.998  | 61.914     | 53.332  | 74.752       |
| Poultry fat             | 49.706  | 41.432     | 23.050  | 46.205       |
| Choline chloride        | 2.000   | 2.000      | 2.000   | 2.000        |
| Calcium propionate      | 2.000   | 2.000      | 2.000   | 2.000        |
| Taurine                 | 1.000   | 1.000      | 1.000   | 2.000        |
| DL-Methionine           | 0.800   | 0.800      | 0.800   | 1.000        |

| Ingredients           | Corn    | Brown Rice | Pea     | Sweet Potato |
|-----------------------|---------|------------|---------|--------------|
|                       |         |            |         |              |
| Dry matter            | 96.33   | 95.36      | 94.11   | 95.02        |
| Crude protein         | 32.84   | 32.08      | 34.50   | 35.01        |
| Ether extract         | 12.87   | 12.31      | 12.30   | 12.38        |
| Total dietary fiber   | 7.73    | 8.17       | 17.06   | 9.62         |
| Ash                   | 7.97    | 8.71       | 8.47    | 8.17         |
| Calcium               | 1.50    | 1.45       | 1.23    | 1.50         |
| Phosphorus            | 0.73    | 0.79       | 0.83    | 0.77         |
| Starch                | 30.41   | 37.37      | 26.94   | 28.83        |
| Metabolizable energy* | 4190.50 | 4200.80    | 4167.90 | 4221.10      |

\*Estimative in Kcal/Kg according to the NRC (1995).

The ingredients were ground in a 1-mm sieve and extruded in a twin-screw extruder (E96D, Ferraz, Ribeirão Preto, Brazil). Water addition and the temperature in the conditioner varied between 210 to 300 L/h and 60 to 85°C, respectively. The screw speed was 19 Hz and the amperage in the extruder barrel ranged from 109 to 134 A. The diets presented a density between 350 and 400 g/L. After extrusion, the diets were dried in a horizontal dryer (G3.130, Ferraz, Ribeirão Preto, Brazil) at an average temperature of 85°C for 25 minutes. After drying, the diets were coated with poultry fat and liquid hydrolysate by spraying.

Samples of the diets and starch sources were ground in a hammer mill with 1-mm sieve and analyzed for dry matter at 105°C for 12h, crude protein (method 954.01), ash (method 942.05), ether extract after acid hydrolysis (method 954.02), and starch (method 996.11), according to the AOAC (1995). Total dietary fiber (TDF) was analyzed according to Prosky et al. (1988). Gross energy was determined in a bomb calorimeter (Parr Instrument Co., Model 1261, Moline, IL, USA).

### 2.7.2 Animals

Thirty-two male Wistar rats (*Rattus norvegicus*), with an average weight of 262 ± 25 g and 90 days of age, were used. The animals were housed two by two in a polypropylene box with an area of 738 cm<sup>2</sup>, with a feeder and a drinker, under controlled environmental conditions: temperature at 21°C, humidity of 65%, and a circadian cycle of 12 hours of light and 12 hours of dark. The animals were randomly distributed into four treatments, with eight animals per treatment.

The rats were subjected to a period of a gradual transition to the experimental diets for seven days. During this period the extruded diet for laboratory rats was

gradually replaced by the experimental diets. Then, the experimental diets were provided accordingly to the maintenance energy needs proposed by NRC (1995) for laboratory rats for 30 days. The food intake and leftovers were recorded daily, and the animals were weighed weekly, in order to adjust the food offered for each rat, avoiding weight gain or loss.

### 2.7.3 Postprandial glyceic curve determination

Postprandial glyceic measurements were performed according to the methodology of Brites et al. (2011) on the 29th (standard glucose curve) and 30th (test curves of the diets) experimental days. On the day before each glyceic measurement, the animals were subjected to eight-hour overnight fasting. Then, blood glucose was measured in all fasting rats (time zero) and at the times 15, 30, 60, 120, and 240 minutes after oral administration of a 1 mL dose of 50% glucose solution, by gavage (29th day), or after providing 3 g of the experimental diet (30th day). The animals fully consumed the offered amount of the diet within a maximum of 15 minutes. The blood glucose was measured using a portable Accu-Chek® device (Active; Roche Diagnostics, Japan). The samples were obtained through a drop of capillary blood after sectioning the distal region of the tail, discarding the first drop of blood, before measuring the blood glucose. All animals were euthanized at the end of the experiment with an overdose of inhalational anesthetic Isoflurane® (Isoflurane 5%) for seven minutes in a closed bell, according to Campion et al. (2012). The area under the glucose curve (AUC) was calculated using the Origin 2020® software. The GI for each diet was calculated according to FAO/WHO (1998).

### 2.7.4 Serum biochemical analyses

Approximately 7 mL of blood was collected by cardiac puncture of each animal after their euthanasia. The samples were centrifuged at 3,500 rpm for ten minutes for the following measurements: triglycerides, high-density lipoprotein (HDL), low-density lipoprotein (LDL), aspartate aminotransferase (AST/TGO), alanine aminotransferase (ALT/TGP), and glycated hemoglobin (HBA1c). Biochemical laboratory determinations were performed using the liquid chemistry technique and reading by automated spectrophotometry. Also, for HBA1c evaluation, immunoturbidimetry was applied. The

readings were performed on the BS-240 device (Mindray, China) and commercial kits from the Quibasa/Bioclin brand (Belo Horizonte, MG).

### 2.7.5 Statistical analysis

The results were analyzed considering a completely randomized design with a total of eight replications per treatment. The data was previously analyzed for normality using the Shapiro-Wilk test and then were submitted to ANOVA. When the F test indicated a statistical difference ( $P < 0.05$ ), means were compared using the Tukey test (5%).

## 2.8 RESULTS

All animals were healthy and normally consumed the diets throughout the study. There were no differences ( $P < 0.05$ ) in the body weight ( $262 \pm 0.1$  g) and feed intake ( $10 \pm 1$  g/animal/day) among the experimental diets

The different starch sources affected the postprandial glycemic response of the animals (TABLE 5 and FIGURE 1). Pea and sweet potato resulted in lower GI and average blood glucose compared to corn and brown rice ( $P < 0.05$ ). Also, pea presented the lowest initial and total AUC of the evaluated starch sources ( $P < 0.05$ ). Corn and brown rice did not differ on GI and mean blood glucose ( $P > 0.05$ ). However, brown rice resulted in lower maximum glycemia, initial AUC, and initial incremental peak, compared to corn ( $P < 0.05$ ). Furthermore, the fall in the glycemic peak of corn from 60 to 240 minutes was more pronounced in relation to the other treatments. The 50% glucose solution showed the highest glycemic response values in relation to the starch sources evaluated including a shorter time to the glycemic peak: 15 minutes versus 30 minutes for the starch sources ( $P < 0.05$ ).

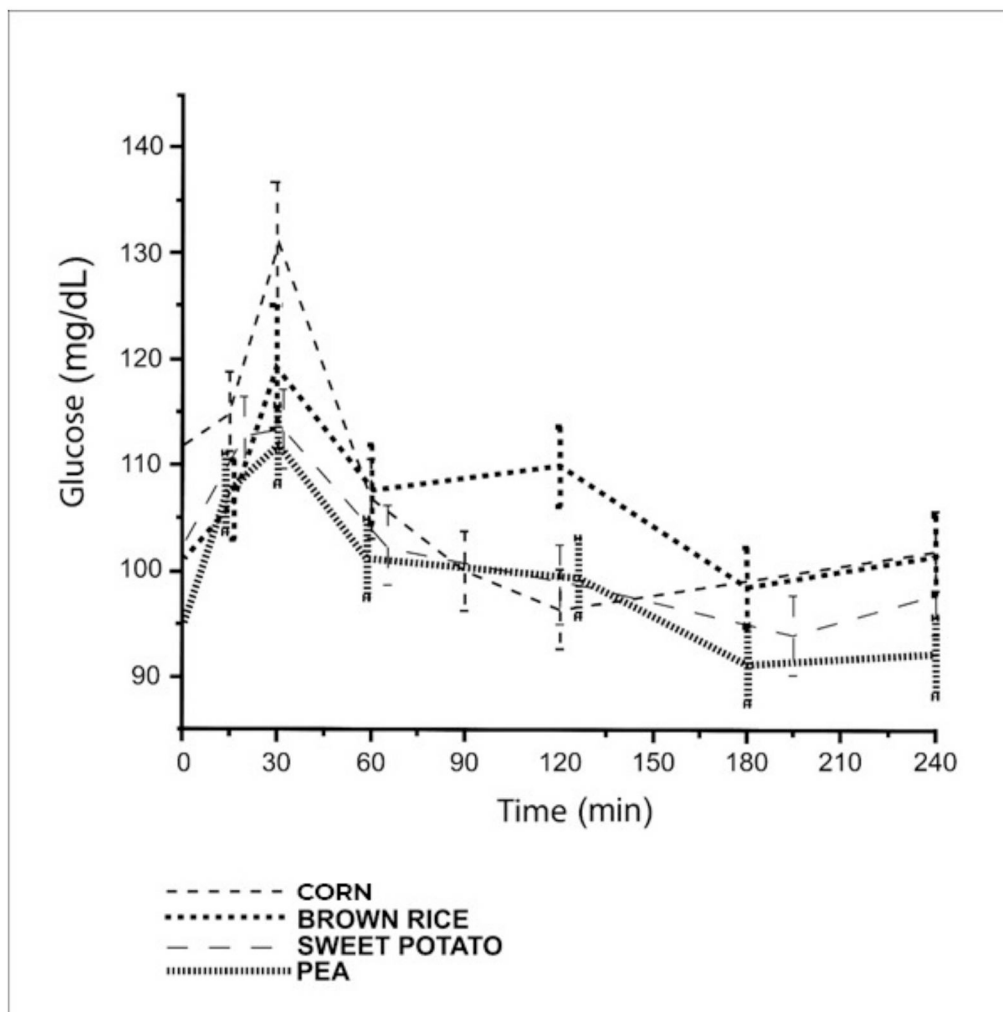
TABELA 5 - MEANS OF POSTPRANDIAL GLYCEMIC RESPONSE IN RATS FED DIETS CONTAINING DIFFERENT STARCH SOURCES OR GLUCOSE SOLUTION.

| Item               | Glucose                        | Corn                 | Brown Rice           | Sweet Potato         | Pea                  | SEM    | P      |
|--------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
|                    | Area Under the Curve(mg/dL*mm) |                      |                      |                      |                      |        |        |
| Total (0-240 min)  | 27398.8 <sup>a</sup>           | 25025.9 <sup>b</sup> | 25459.4 <sup>b</sup> | 24274.7 <sup>c</sup> | 23586.7 <sup>d</sup> | 312.51 | <0.001 |
| Initial (0-30 min) | 3898.7 <sup>a</sup>            | 3541.9 <sup>b</sup>  | 3274.8 <sup>c</sup>  | 3300.6 <sup>c</sup>  | 3170.4 <sup>d</sup>  | 59.37  | 0.003  |

| Item               | Glucose          | Corn               | Brown Rice         | Sweet Potato        | Pea                | SEM  | P      |
|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------|--------|
| Glycemia (mg/dL)   |                  |                    |                    |                     |                    |      |        |
| Mean               | 117 <sup>a</sup> | 108.9 <sup>b</sup> | 107.4 <sup>b</sup> | 103.4 <sup>bc</sup> | 99.9 <sup>c</sup>  | 2.40 | 0.012  |
| Maximum            | 140 <sup>a</sup> | 130.8 <sup>b</sup> | 119.3 <sup>b</sup> | 112.9 <sup>c</sup>  | 112.1 <sup>c</sup> | 4.99 | 0.046  |
| Peak increment     | 42 <sup>a</sup>  | 35 <sup>b</sup>    | 17 <sup>c</sup>    | 16 <sup>c</sup>     | 21 <sup>c</sup>    | 0.95 | <0.001 |
| Time to peak (min) | 15 <sup>b</sup>  | 30 <sup>a</sup>    | 30 <sup>a</sup>    | 30 <sup>a</sup>     | 30 <sup>a</sup>    | 2.53 | <0.001 |
| GI (%)             | 100 <sup>a</sup> | 87 <sup>b</sup>    | 87 <sup>b</sup>    | 83 <sup>c</sup>     | 32 <sup>c</sup>    | 1.02 | <0.001 |

SEM = Standard Error of the Mean; P = Probability; GI = Glycemic Index; Area Under the Glucose Curve:  $\Sigma$  of the areas of the triangles and trapezoids of the glycemic increment above the basal value; Peak increment: basal blood glucose – peak blood glucose; <sup>a,b,c</sup> = Means with different letters are different according to the Tukey's test (P<0.05).

FIGURA 1 - POSTPRANDIAL GLYCEMIC CURVES OF MALE WISTAR RATS FED DIETS CONTAINING CORN, BROWN RICE, SWEET POTATO, AND PEAS (N= 8/DIET).



The animals fed with the corn diet presented higher serum concentrations of triglycerides and HbA1c, in relation to the other treatments (P<0.05, TABLE 6). The other blood variables did not differ among treatments (P>0.05, TABLE 6).

TABELA 6 - MEANS OF SERUM BIOCHEMICAL VARIABLES OF RATS FED DIETS CONTAINING DIFFERENT STARCH SOURCES.

| Item                  | Corn             | Brown Rice       | Sweet Potato     | Pea              | SEM  | P     |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|-------|
| HDL (mg/dL)           | 46               | 49               | 48               | 44               | 1.4  | 0.062 |
| LDL (mg/dL)           | 81               | 91               | 89               | 81               | 3.4  | 0.366 |
| Triglycerides (mg/dL) | 125 <sup>a</sup> | 92 <sup>ab</sup> | 81 <sup>b</sup>  | 81 <sup>b</sup>  | 9.6  | 0.008 |
| AST/TGO (U/L)         | 100              | 90               | 72               | 95               | 9.8  | 0.217 |
| ALT/TGO (U/L)         | 47               | 37               | 32               | 39               | 5.3  | 0.298 |
| HBA1c (%)             | 6.0a             | 4.7 <sup>b</sup> | 5.1 <sup>b</sup> | 4.6 <sup>b</sup> | 0.42 | 0.049 |

SEM = Standard Error of the Mean; P = Probability; HbA1c = Glycated Hemoglobin; HDL = High-Density Lipoprotein; LDL = Low-Density Lipoprotein; AST/TGO=Aspartate Aminotransferase; ALT/TGP= Alanine Aminotransferase; <sup>a,b,c</sup> = Means with different letters are different according to the Tukey's test (P<0.05).

## 2.9 DISCUSSION

In the present study, corn and brown rice diets resulted in higher GI and total AUC of glucose than diets with sweet potato and pea. Besides, the corn diet also resulted in the highest maximum glycemia and peak increment among the starch sources evaluated. The higher postprandial glycaemic response of corn resulted in an increase in the HbA1c and blood triglyceride concentration. Likewise, Koo et al. (2010) also observed higher values of triglycerides and Hba1c in mice fed corn in relation to other starch sources with higher RS content. The ingestion of high-starch diets from corn by individuals susceptible to metabolic disorders related to hyperglycemia can trigger peripheral insulin resistance, overstimulation of hepatic gluconeogenesis (PAWLAK et al., 2001; RAIGOND et al., 2015), and hyperlipidemia (FENG et al., 2015). Thus, the use of corn in diets for animals with a predisposition to disorders related to hyperglycemia should be used rationally due to the potential effect of increasing the GI, HBA1c, and triglyceride concentrations.

Regarding brown rice, it was expected that due to its higher fiber concentration, its GI would be lower, such as observed by Kongkachuicha et al. (2020). In their study, humans fed with brown rice presented GI lower than 70, which is considered a low GI ingredient (KONGKACHUICHA et al., 2020). One possible explanation for the results observed in the present study is the higher starch content of the diet with brown rice (37.4%), in relation to the other diets (26.9% to 30.4%). This was different from the expected, considering that the diets were formulated to have similar starch content. Furthermore, other factors, such as the starch gelatinization degree during the heat

process, starch structure, presence of starch-lipid complexes, and antiqualitative factors that inhibit  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase, also represent important factors that affect the degree of starch hydrolysis in the gastrointestinal tract, and thus the glycemic response (KONGKACHUICHA et al., 2020).

Despite the higher GI of brown rice observed in our study, it resulted in an intermediary glycemic response among the evaluated starch sources, with lower initial glucose AUC, peak increment, and maximum glycemia than corn, but higher total AUC of glucose and GI than sweet potato and pea diets. Besides its fiber content, brown rice presents bioactive compounds, such as the gamma-aminobutyric acid (GABA) and polyphenols, that may influence the modulation of  $\alpha$  and  $\beta$  pancreatic cells and insulin and glucagon secretions, which may contribute to the glycemic control (TORIMITSU et al., 2010; KONGKACHUICHA et al., 2020). Therefore, it is important that novel studies evaluate the effects of iso-starch extruded diets containing brown rice on the glycemic response of rats.

Sweet potato and pea were the starch sources that resulted in the lower postprandial glycemic response in this study. Sweet potato is considered a starch source of low GI, and its consumption provided GI values below 70 in rats (CHEN et al., 2012). Sweet potato starch has an amylose proportion close to 65% (ZHOU et al., 2015) and longer and more resistant branched chains in amylopectin than starches from cereals and other tubers (GUO et al., 2019). Besides, its crystallinity is classified as type C, which is commonly attributed to starch from pulses and is more resistant to hydrolysis (ZHU et al., 2011). These characteristics make the digestion process of sweet potato starch more difficult and, consequently, contribute to the GI control (SHIN et al., 2005). Therefore, this may be an interesting source of starch to assist the control of metabolic disorders related to glycemia.

Pea starch presents a structure similar to sweet potato starch. It also has lipid and protein complexes joined to SDS and RS fractions, which further contribute to the reduction of the starch hydrolysis rate in the gastrointestinal tract (CHUNG et al., 2009). Also, the soluble fiber content of peas promotes glycemic control through the excretion of appetite-suppressing hormones and modification of the incretin hormone, which reduces nutrient absorption and gastric emptying time (THOMPSON et al., 2017). In addition, the control of glycemic index is facilitated by the stimulation of glucagon-like hormones excretion in the final portions of the intestine due to the fermentation of RS (MCNABNEY; HENAGAN, 2017; SAWICKA; GUPTA, 2018). Low glycemic responses

were also observed in humans, rats, dogs, and cats fed diets with pea (RATNAYAKE et al., 2002; DE-OLIVEIRA, 2008; CARCIOFI et al., 2008; SAWICKA; GUPTA, 2018; BRIENS et al., 2021), demonstrating that this pulse is one of the main dietary alternatives to avoid endocrine disorders for some species.

Although the results found in the present study demonstrated that sweet potato and pea present a lower GI than corn and brown rice, the values found were higher (higher than 80) than those described in humans and dogs (below 70) for these ingredients (RATNAYAKE et al., 2002; BRIENS et al., 2021). It is possible that these discrepancies are due to different physiological characteristics, such as enzyme activity (amylase, disaccharidases, maltase) and glucose transporters (SGLT1, SGLT2 e GLUT4) among species (BRIENS et al., 2021). Besides, the methods to determine the GI were different among the studies. The original FAO/WHO method (1998) recommends consumption of 50 g per person of glucose or white bread as a high GI standard and subsequent comparison with the AUC of glucose after the consumption of 50 g of a test starch source. However, this would result in a glucose/starch intake four to five times lower than the consumed by the rats of the present study. Considering that, it is important to better standardize methods to evaluate GI in animal models.

## 2.10 CONCLUSION

Sweet potatoes and peas provide blood glucose availability in a more controlled and gradual way in Wistar rats. Thus, these starch sources can help in the prevention and treatment of metabolic disorders related to high blood glucose levels. On the other hand, corn increases serum glucose over the post-absorptive time, the glycated hemoglobin, and the triglycerides serum concentration.

## REFERÊNCIAS

ADEFEGHA, S. A.; OLASEHINDE, T. A.; OBOH, G. Pasting alters glycemic index, antioxidant activities, and starch-hydrolyzing enzyme inhibitory properties of whole wheat flour. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 6, p. 1591-1600, 2018.

- ADOLPHE, J. L. et al. Postprandial impairment of flow-mediated dilation and elevated methylglyoxal after simple but not complex carbohydrate consumption in dogs. **Nutrition research**, v. 32, n. 4, p. 278-284, 2012..
- AGAMA-ACEVEDO, E; FLORES-SILVA, P. C.; BELLO-PEREZ, L. A.. Cereal starch production for food applications. In: **Starches for food application**. Academic Press, 2019. p. 71-102.
- AI, Yongfeng; JANE, J-I. Macronutrients in corn and human nutrition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 581-598, 2016.
- ALEXANDRINO, C. D. **Utilização dos amidos de milho e de batata na elaboração de tapioca**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ALLEN, J. C. et al. **Glycemic index of sweet potato as affected by cooking methods**. 2012.
- ALVARENGA, I. C.; ALDRICH, C. G.; SHI, Y-C. Factors affecting digestibility of starches and their implications on adult dog health. **Animal Feed Science and Technology**, v. 282, p. 115134, 2021.
- APRIANITA, A. et al. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 12, p. 3669-3679, 2014.
- ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 1995. **Official Methods of Analysis**, 16th ed. AOAC, Washington, D.C., USA.
- ASTAWANA, M. et al. **Evaluation of nutrition and glycemic index of sweet potatoes and its appropriate processing to hypoglycemic foods**. 2011.
- BAHADO-SINGH, P. S. et al. Relationship between processing method and the glycemic indices of ten sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars commonly consumed in Jamaica. **Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 2011, 2011.
- BANG, S-J. et al. Effect of raw potato starch on the gut microbiome and metabolome in mice. **International journal of biological macromolecules**, v. 133, p. 37-43, 2019.
- BAJAJ, R. et al. Structural, morphological, functional and digestibility properties of starches from cereals, tubers and legumes: a comparative study. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 9, p. 3799-3808, 2018.
- BATISTA, C. de S.. **Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

BATISTUTI, J. P.; VALIM, M. F. C. F. A.; CÂMARA, F. L. A.. Amido de batata doce (Ipomoea batatas L, Lam): II–caracterização morfológica e estudo de algumas propriedades funcionais. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 5, n. 1, 2009.

BENDIKS, Z. A. et al. Conserved and variable responses of the gut microbiome to resistant starch type 2. **Nutrition Research**, v. 77, p. 12-28, 2020.

BEYNEN, C.,A. **Starch in dog foods**. In: Creature Companion, 2016.

BLASEL, H. M.; HOFFMAN, P. C.; SHAVER, R. D. Degree of starch access: An enzymatic method to determine starch degradation potential of corn grain and corn silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 128, n. 1-2, p. 96-107, 2006.  
BORBA, V. S. et al. AVALIAÇÃO DAS FRAÇÕES DE AMIDO DISPONÍVEL E RESISTENTE EM RELAÇÃO AO TIPO E MARCA DE ARROZ.

BRANCO, A. C. S. C. et al. Parâmetros bioquímicos e hematológicos de ratos Wistar e camundongos Swiss do Biotério Professor Thomas George. **Rev Bras Ciênc Saúde**, v. 15, n. 2, p. 209-14, 2011.

BRITES, C. M. et al. Maize and resistant starch enriched breads reduce postprandial glycemic responses in rats. **Nutrition Research**, v. 31, n. 4, p. 302-308, 2011.

BRIENS, J. M. et al. Glycemic, insulinemic and methylglyoxal postprandial responses to starches alone or in whole diets in dogs versus cats: Relating the concept of glycemic index to metabolic responses and gene expression. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 257, p. 110973, 2021.

CARCIOFI, A. C. et al. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 92, n. 3, p. 326-336, 2008..

CAMPION, S. N. et al. Isoflurane reduces motile sperm counts in the Sprague-Dawley rat. **Drug and Chemical Toxicology**, v. 35, n. 1, p. 20-24, 2012.-24, 2012.

CAPRILES, V. D.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Marcador in vitro da resposta glicêmica dos alimentos como ferramenta de auxílio à prescrição e avaliação de dietas. **Revista de Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 549-557, 2009.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Approaches to reduce the glycemic response of gluten-free products: In vivo and in vitro studies. **Food & function**, v. 7, n. 3, p. 1266-1272, 2016.

CAPRILES, V. D.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Marcador in vitro da resposta glicêmica dos alimentos como ferramenta de auxílio à prescrição e avaliação de dietas. **Revista de Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 549-557, 2009.

CARCIOFI, A. C. et al. Effects of six carbohydrate sources on dog diet digestibility and post-prandial glucose and insulin response. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 92, n. 3, p. 326-336, 2008.

CARVALHO, I., A., G.; PINTO, F., C., L. **Relevância do índice glicêmico na prescrição de dieta para portadores de diabete mellitus**. In: XIII Encontro de iniciação á Docência, 2016.

CHAMP, M. M. J. Physiological aspects of resistant starch and in vivo measurements. **Journal of AOAC International**, v. 87, n. 3, p. 749-755, 2004.

CHANG, Q. et al. A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 186, p. 163-173, 2021.

CHEN, Z.; SCHOLS, H. A.; VORAGEN, A. G. J. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 2, p. 431-437, 2003.

CHEN, Y-Y. et al. Low glycemic index sweet potato starch improves the postprandial glycemic response of STZ/nicotinamide-induced hyperglycemic rats by upregulating the proteins involved in insulin signaling. **Current Topics in Nutraceuticals Research**, v. 10, n. 3/4, p. 179, 2012.

CHEN, H. et al. Dietary fibre affects intestinal mucosal barrier function and regulates intestinal bacteria in weaning piglets. **British Journal of Nutrition**, v. 110, n. 10, p. 1837-1848, 2013.

CHI, C. et al. Basic principles in starch multi-scale structuration to mitigate digestibility: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 109, p. 154-168, 2021.

CHUNG, H-J.; LIM, H. S.; LIM, S-T.. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. **Journal of Cereal Science**, v. 43, n. 3, p. 353-359, 2006.

CHUNG, H-J. et al. In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. **Food Chemistry**, v. 111, n. 2, p. 316-321, 2008.

CHUNG, H-J.; LIU, Q.; HOOVER, R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. **Carbohydrate polymers**, v. 75, n. 3, p. 436-447, 2009.

CORSATO ALVARENGA, I.; DANTON, A. N.; ALDRICH, C. G. A review: Nutrition and process attributes of corn in pet foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-10, 2021.

COSTA, G. D. A. **Correlação entre valor nutritivo e teores de fibra alimentar e amido resistente de dietas contendo grãos de ervilha (*Pisum sativum* L.), feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) e lentilha (*Lens culinaris* Med.)**. 2005. 63f. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado

em Alimentos e Nutrição)–Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CUNHA L., S. **Análise dos efeitos de dietas baseadas no índice glicêmico em diabéticos tipo2** . Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de Nutrição) - Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2013.

DA SILVA JÚNIOR, J. W. et al. Digestibilidade de dietas com diferentes fontes de carboidratos e sua influência na glicemia e insulinemia de cães Digestibility of diets with different sources of carbohydrates and your influence in the blood glucose and blood insulin in health dogs. **Ciência e Agrotecnologia**, 2005.

DE ALBUQUERQUE, T. M. R.; SAMPAIO, K. B.; DE SOUZA, E. L Sweet potato roots: Unrevealing an old food as a source of health promoting bioactive compounds–A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 85, p. 277-286, 2019.

DE-OLIVEIRA, L. D. et al. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 9, p. 2237-2246, 2008.

DENARDIN,C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DHITAL, S.; BRENNAN, C.; GIDLEY, M. J. Location and interactions of starches in planta: Effects on food and nutritional functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 158-166, 2019.

DONMEZ, D. et al. Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: Starch gelatinization and retrogradation. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 103-109, 2021.

DREW M. D., SCHARFER T.C., ZYLSTRA R.T. Índice do amido afeta a retenção de nitrogênio em suínos produtores. **Journal of Animal Science**, v.90, n. 4, p. 1233-1241, 2012.

DUPUIS, J. H.; LIU, Q.. Potato starch: a review of physicochemical, functional and nutritional properties. **American Journal of Potato Research**, v. 96, n. 2, p. 127-138, 2019.

FAO.; CONSULTATION, WHO Expert. **Carbohydrates in human nutrition: report of a Joint FAO/WHO Expert Consiltation**, Rome, 14-18 April 1997. FAO, 1998..

FENG, R. et al. High carbohydrate intake from starchy foods is positively associated with metabolic disorders: a Cohort Study from a Chinese population. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2015.

FORGIE, A. J. et al. Pea polyphenolics and hydrolysis processing alter microbial community structure and early pathogen colonization in mice. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 67, p. 101-110, 2019.

FOSTER-POWELL, K.; MILLER, J. Brand. International tables of glycemic index. **The American journal of clinical nutrition**, v. 62, n. 4, p. 871S-890S, 1995.

FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food chemistry**, v. 83, n. 3, p. 395-402, 2003.

FU, Z-q. et al. The effect of partial gelatinization of corn starch on its retrogradation. **Carbohydrate polymers**, v. 97, n. 2, p. 512-517, 2013.

FUENTES-ZARAGOZA, E. et al. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 931-942, 2010.

GIUBERTI, G. et al. In vitro starch digestion and predicted glycemic index of cereal grains commonly utilized in pig nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, n. 3-4, p. 163-173, 2012.

GONÇALVES, M. F. V. et al. Tratamento térmico do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sob baixa umidade em micro-ondas. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 270-276, 2009.

GONÇALVES, M. F. V. **Tratamento térmico dos amidos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) e de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*.) sob baixa umidade em microondas**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUO, Li et al. The effects of sequential enzyme modifications on structural and physicochemical properties of sweet potato starch granules. **Food chemistry**, v. 277, p. 504-514, 2019.

HARRIS, K. F. An introductory review of resistant starch type 2 from high-amylose cereal grains and its effect on glucose and insulin homeostasis. **Nutrition reviews**, v. 77, n. 11, p. 748-764, 2019.

HEATON, K. W. et al. Particle size of wheat, maize, and oat test meals: effects on plasma glucose and insulin responses and on the rate of starch digestion in vitro. **The American journal of clinical nutrition**, v. 47, n. 4, p. 675-682, 1988.

HERNÁNDEZ-ALONSO, P. et al. Changes in plasma metabolite concentrations after a low-glycemic index diet intervention. **Molecular nutrition & food research**, v. 63, n. 1, p. 1700975, 2019.

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

KATAOKA, K. et al. Modifying effects of fermented brown rice on fecal microbiota in rats. **Anaerobe**, v. 13, n. 5-6, p. 220-227, 2007.

- KENDALL, C. W. C. et al. Effect of novel maize-based dietary fibers on postprandial glycemia and insulinemia. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 27, n. 6, p. 711-718, 2008.
- KOO, S. H.; LEE, K. Y.; LEE, H. G. Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch. **Food hydrocolloids**, v. 24, n. 6-7, p. 619-625, 2010..
- KONGKACHUICHAI, R. et al. Effect of processing conditions on bioactive compounds and glycemic index of the selected landrace rice variety in pre-diabetes. **Journal of Cereal Science**, v. 94, p. 102994, 2020.
- KNUDSEN, K. E. B.; HEDEMANN, M. S.; LÆRKE, H. N. The role of carbohydrates in intestinal health of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, n. 1-2, p. 41-53, 2012.
- KUMAR, S. B.; PRABHASANKAR, P. Low glycemic index ingredients and modified starches in wheat based food processing: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 32-41, 2014.
- KUMAR, P. et al. Effects of gamma irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of brown rice starch. **Journal of cereal science**, v. 77, p. 194-200, 2017.
- LATIFAH, S. Y. et al. Germinated brown rice (GBR) reduces the incidence of aberrant crypt foci with the involvement of  $\beta$ -catenin and COX-2 in azoxymethane-induced colon cancer in rats. **Nutrition journal**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2010.
- LEHMANN U. e ROBIN F. Slowly digestible starch-its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science e Technology**, v. 18, n. 7, p. 346-355, 2007.
- LEITE, T. S. et al. High pressure processing (HPP) of pea starch: Effect on the gelatinization properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 76, p. 361-369, 2017.
- LEMOS, J. M.; CAVALCANTE, A. K. M.. A influência da batata doce (ipomea batatas l.) no esvaziamento gástrico de sólidos em ratos acordados submetidos ao exercício físico agudo. **RBNE-Revista Brasileira De Nutrição Esportiva**, v. 11, n. 66, p. 669-675, 2017.
- LI, J. et al. Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice, and cornstarch. **Metabolism**, v. 52, n. 9, p. 1206-1210, 2003..
- LI, Li et al. Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures. **Carbohydrate polymers**, v. 74, n. 3, p. 396-404, 2008.

- LI, G. et al. Characterization of digestion resistance sweet potato starch phosphodiester. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 13, n. 9, p. 1393-1400, 2014.
- LI, J. et al. Bilberry anthocyanin extract promotes intestinal barrier function and inhibits digestive enzyme activity by regulating the gut microbiota in aging rats. **Food & function**, v. 10, n. 1, p. 333-343, 2019.
- LIU, C. et al. Phytic acid improves intestinal mucosal barrier damage and reduces serum levels of proinflammatory cytokines in a 1, 2-dimethylhydrazine-induced rat colorectal cancer model. **British Journal of Nutrition**, v. 120, n. 2, p. 121-130, 2018.
- LIU, G. et al. Structure, functionality and applications of debranched starch: A review. **Trends in food science & technology**, v. 63, p. 70-79, 2017.
- LIU, H. et al. Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. **Carbohydrate polymers**, v. 65, n. 3, p. 357-363, 2006.
- LIU, Q. et al. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. **Food Chemistry**, v. 99, n. 3, p. 470-477, 2006.
- LOBO, A. R.; SILVA, G. M. de L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, p. 219-226, 2003.
- LOURDIN, D. et al. Crystalline structure in starch. **Starch**, p. 61-90, 2015.
- LU, P. et al. Insights on the structure and digestibility of sweet potato starch: Effect of postharvest storage of sweet potato roots. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 694-700, 2020.
- LUCHESE, C. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C.. Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 619-626, 2017.
- M THANNOUN, A. Blood glucose response and glycemic index of diets containing different sources of carbohydrate in healthy rats. **Mesopotamia Journal of Agriculture**, v. 38, n. 1, p. 24-34, 2010.
- MA, M. et al. Physicochemical properties and in vitro digestibility of legume starches. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 249-255, 2017.
- MA, S.; ZHU, P.; WANG, M. Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 234-240, 2019.
- MA, X.; CHANG, P. R.; YU, J. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. **Carbohydrate polymers**, v. 72, n. 3, p. 369-375, 2008.

MA, Z. et al. Long-and short-range structural characteristics of pea starch modified by autoclaving,  $\alpha$ -amylolysis, and pullulanase debranching. **International journal of biological macromolecules**, v. 120, p. 650-656, 2018.

MA, Z.; HU, X.; BOYE, J., I. Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 2, p. 276-297, 2020.

MAGALLANES-CRUZ, P. A.; FLORES-SILVA, P. C.; BELLO-PEREZ, L. A. Starch structure influences its digestibility: a review. **Journal of food science**, v. 82, n. 9, p. 2016-2023, 2017.

MAHMOOD, K. et al. A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. **Food Bioscience**, v. 19, p. 110-120, 2017.

MATSUBARA, M.; NAKATO, Y.; KONDO, E. Enhancing resistant starch content in brown rice using supercritical carbon dioxide processing. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 2, p. e13617, 2021.

MAZON, M. da S.; MOURA, W. G. de. Cachorros e humanos: mercado de rações pet em perspectiva sociológica. **Civitas-Revista de Ciências Sociais**, v. 17, p. 138-158, 2017.

MCNABNEY, S. M.; HENAGAN, T. M. Short chain fatty acids in the colon and peripheral tissues: a focus on butyrate, colon cancer, obesity and insulin resistance. **Nutrients**, v. 9, n. 12, p. 1348, 2017.

MINGOTTE, F. L. C.; HANASHIRO, R. K.; FORNASIERI FILHO, D. **Physico-chemical parameters of rice cultivars fertilized with nitrogen**. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 6Supl1, p. 2605-2618, 2012..

MINGOTTE, F.L.C., HANSHIRO, R.K; FILHO D.F. **Características físicas-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada**. In: Semina: Ciências Agrárias, v.33., 2012, p. 2605-2618.

MOHANRAJ, R.; SIVASANKAR, S. Sweet Potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam)-A valuable medicinal food: A review. **Journal of medicinal food**, v. 17, n. 7, p. 733-741, 2014.

MUSA, A. S. N; UMAR, M.; ISMAIL, M. Physicochemical properties of germinated brown rice (*Oryza sativa* L.) starch. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 33, p. 6281-6291, 2011.

NIELSEN, D. S. G. et al. Effect of butyrate and fermentation products on epithelial integrity in a mucus-secreting human colon cell line. **Journal of Functional Foods**, v. 40, p. 9-17, 2018.

NUWAMANYA, E. et al. A comparative study of the physicochemical properties of starches from root, tuber and cereal crops. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 56, p. 12018-12030, 2011.

PALACIOS-FONSECA, A. J. et al. Effect of the alkaline and acid treatments on the physicochemical properties of corn starch. **CyTA-Journal of Food**, v. 11, n. sup1, p. 67-74, 2013.

PANLASIGUI, L. N.; THOMPSON, L. U. Blood glucose lowering effects of brown rice in normal and diabetic subjects. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 57, n. 3-4, p. 151-158, 2006.

PATURI, G. et al. Influence of dietary blueberry and broccoli on cecal microbiota activity and colon morphology in *mdr1a*<sup>-/-</sup> mice, a model of inflammatory bowel diseases. **Nutrition**, v. 28, n. 3, p. 324-330, 2012.

PAWLAK, D. B. et al. High glycemic index starch promotes hypersecretion of insulin and higher body fat in rats without affecting insulin sensitivity. **The Journal of nutrition**, v. 131, n. 1, p. 99-104, 2001.

PEIXOTO, M. C. et al. Effect of resistant starch on the intestinal health of old dogs: fermentation products and histological features of the intestinal mucosa. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 102, n. 1, p. e111-e121, 2018.

PEREIRA, D. **Propriedade funcionais do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) Nativo e Modificado por succinilação**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia) – Faculdade de Educação e Meio ambiente, Ro, 2012.

PEREIRA, J. A. et al. **Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz-vermelho cultivado**. Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2007.

PIECYK, M. et al. Effect of hydrothermal modifications on properties and digestibility of grass pea starch. **International journal of biological macromolecules**, v. 118, p. 2113-2120, 2018.

POLESI, L.F. **Amido resistente obtido a partir de amido de leguminosas e de seus hidrolisados**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo., 2009.

PROSKY, L. et al. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 71, n. 5, p. 1017-1023, 1988.

QIAN, Y. et al. Inhibitory effects of resistant starch (RS3) as a carrier for stachyose on dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis in C57BL/6 mice. **Experimental and Therapeutic Medicine**, v. 6, n. 5, p. 1312-1316, 2013.

QIN, S. M. et al. Effect of dietary graded resistant potato starch levels on growth performance, plasma cytokines concentration, and intestinal health in meat ducks. **Poultry Science**, v. 98, n. 9, p. 3523-3532, 2019.

RAIGOND, P.; EZEKIEL, R.; RAIGOND, B. Resistant Starch in Food: A Review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 2014.

RATNAYAKE, W. S.; HOOVER, R.; WARKENTIN, T. Pea starch: composition, structure and properties—a review. **Starch-Stärke**, v. 54, n. 6, p. 217-234, 2002.

REGASSA, A.; NYACHOTI, C. M. Application of resistant starch in swine and poultry diets with particular reference to gut health and function. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 305-310, 2018.

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.

SANTOS M.,S. 2011. **Índice glicêmico: Importância e aplicação clínica**. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de Nutrição) – Universidade Regional do Nordeste do Estado do RS. Rio Grande do Sul, 2011.

SAWICKA, B.; GUPTA, P. Das. Resistant starch in potato. **Acta Scientiarum Polonorum Agricultura**, v. 17, n. 3, p. 153-169, 2018.

SHAIKH, F. et al. Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. **International journal of biological macromolecules**, v. 135, p. 314-327, 2019.

SHIN, S. I. et al. Effect of hydrothermal treatment on formation and structural characteristics of slowly digestible non-pasted granular sweet potato starch. **Starch-Stärke**, v. 57, n. 9, p. 421-430, 2005.

SINGH, J.; DARTOIS, A.; KAUR, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 4, p. 168-180, 2010.

SKRABANJA, V. et al. Influence of genotype and processing on the in vitro rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 5, p. 2033-2039, 1999.

STORCK, C.R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria., 2004.

STORCK, C. R.; SILVA, L. P. da; COMARELLA, C. G. Influência do processamento na composição nutricional de grãos de arroz. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 3, p. 259-264, 2009.

SUN, J. et al. Anti-inflammatory properties and gut microbiota modulation of an alkali-soluble polysaccharide from purple sweet potato in DSS-induced colitis mice. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 153, p. 708-722, 2020.

- 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. 3-4, p. 303-320, 2005.
- TEIXEIRA, F. A. et al. Starch sources influence lipidaemia of diabetic dogs. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2020.
- THOMPSON, S. V. et al. Effects of isolated soluble fiber supplementation on body weight, glycemia, and insulinemia in adults with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **The American journal of clinical nutrition**, v. 106, n. 6, p. 1514-1528, 2017.
- TIAN, S.; SUN, Y. Influencing factor of resistant starch formation and application in cereal products: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 424-431, 2020.
- TOPPING, D. L. et al. A high amylose (amylomaize) starch raises proximal large bowel starch and increases colon length in pigs. **The Journal of nutrition**, v. 127, n. 4, p. 615-622, 1997.
- TORIMITSU, M. et al. Replacing white rice with pre-germinated brown rice mildly ameliorates hyperglycemia and imbalance of adipocytokine levels in type 2 diabetes model rats. **Journal of nutritional science and vitaminology**, v. 56, n. 5, p. 287-292, 2010.
- VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 55-68, 2015.
- VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Impact of different structural types of amylopectin on retrogradation. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 88-96, 2018.
- XIA, Q. et al. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chemistry**, v. 214, p. 533-542, 2017.
- ZHANG, L. et al. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 168-176, 2018.
- ZHANG, R. et al. Comprehensive utilization of corn starch processing by-products: A review. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 89-107, 2021.
- ZOBEL, H. F. Starch crystal transformations and their industrial importance. **Starch-Stärke**, v. 40, n. 1, p. 1-7, 1988.
- ZHOU, W. et al. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato. **Carbohydrate polymers**, v. 122, p. 417-427, 2015.
- ZHU, F. et al. Physicochemical properties of sweetpotato starch. **Starch-Stärke**, v. 63, n. 5, p. 249-259, 2011..

ZHU, D. et al. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 525-532, 2017.

WARSIKI, E.; IRIANI, E. S.; SWANDARU, R. Physical characteristics of microwave assisted moulded foam from cassava starch-corn hominy. **Jurnal Teknik Kimia Indonesia**, v. 11, n. 2, p. 74-80, 2018.

WEBER F.H., CHANG Y.K. e COLLARES F.P. **Interação físico-químicas entre amidos de milho e hidrocolóides (Gomas Guar e Xantana) e seus efeitos nas propriedades funcionais**. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

WEBER J, M. **Arroz: Características químicas, culinárias e nutricionais das diferentes variedades consumidas no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Nutrição) – Universidade de Brasília Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília, 2012.

WONG, T. H. T.; LOUIE, J. C. Y. The relationship between resistant starch and glycemic control: A review on current evidence and possible mechanisms. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 7-8, p. 1600205, 2017.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o milho seja a fonte de amido mais próxima do ideal em relação aos aspectos nutricionais e tecnológicos, a maior proporção de ARD e o maior potencial de gelatinização, favorecem a incidência e prevalência de problemas relacionados à obesidade. A obesidade é um problema crescente em humanos e animais de companhia, e possui forte correlação com os hábitos alimentares dos animais.

A fim de e auxiliar no controle e prevenção de problemas relacionados à hiperglicemia e hiperinsulinemia, o presente estudo contribuiu na identificação e na constatação científica de fontes alternativas de amido (arroz-integral, batata-doce e ervilha) no controle glicêmico, síntese de lipídeos/colesterol. Além disso, os achados deste estudo incentivam novas investigações dos possíveis impactos destas fontes de amido nos biomarcadores de saúde enteral.

Desta forma, para obter maior longevidade e bem-estar, a busca por ingredientes que beneficiem a saúde são aspectos importantes a serem considerados. Os carboidratos são importantes para manutenção do organismo, porém sua ingestão indiscriminada por indivíduos predispostos geneticamente pode levar a desordens metabólicas que poderiam ser controladas e evitadas com escolhas assertivas dos ingredientes, como carboidratos de menor índice glicêmico mostrados no presente trabalho.