

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Nutrição**  
**Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos**



Dissertação

**Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade  
adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas**

**Sabrina Feksa Frasson**

Pelotas, 2022

**Sabrina Feksa Frasson**

**Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade  
adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos da Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Nutrição e Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Rosane Barboza Mendonça

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Caroline Dellinghausen Borges

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

F844m Frasson, Sabrina Feksa

Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate : processo via autoclave versus micro-ondas / Sabrina Feksa Frasson ; Carla Rosane Barboza Mendonça, orientadora ; Rosana Colussi, Caroline Dellinghausen Borges, coorientadoras. — Pelotas, 2022.

124 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Modificação de amido. 2. Complexo de inclusão. 3. Digestibilidade. 4. Índice glicêmico estimado. 5. Amilose-lipídio. I. Mendonça, Carla Rosane Barboza, orient. II. Colussi, Rosana, coorient. III. Borges, Caroline Dellinghausen, coorient. IV. Título.

CDD : 641.1

Sabrina Feksa Frasson

Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave versus micro-ondas

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Nutrição e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 18/01/2022.

Banca examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Rosane Barboza Mendonça (Orientadora)

Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr.<sup>a</sup> Helen Cristina dos Santos Hackbart

Doutora em Engenharia e Ciências de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande e em Química pela Universidade Federal de Pelotas

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniela Bianchini

Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Caroline Dellinghausen Borges

Doutora em Biotecnologia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

## Resumo

FRASSON, Sabrina Feksa. Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas. Orientadora: Carla Rosane Barboza Mendonça. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Alimentos) – Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2022.

A modificação do amido é utilizada para superar algumas limitações tecnológicas e melhorar as características funcionais e nutricionais, ampliando suas possibilidades de utilização na indústria de alimentos. Objetivou-se com esta pesquisa realizar uma modificação física e química do amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) em autoclave e micro-ondas com adição de óleo de abacate (OA) para formação de complexos de inclusão e avaliar parâmetros físico-químicos e nutricionais dos amidos modificados. O amido foi extraído da farinha de arroz, caracterizado e preparado para a modificação. O processo de TTBU foi executado com 30% de umidade no amido com adição de OA (2, 4 e 8%), na autoclave a 110 °C por 1 hora e por 3 minutos à 50 °C em micro-ondas. Nos amidos modificados e no nativo foram avaliados os efeitos dos tratamentos por meio de difração de raios-X, calorimetria exploratória diferencial, espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier, propriedades viscoamilográficas, digestibilidade *in vitro* e índice glicêmico estimado. A viscosidade final e a retrogradação diminuiu gradativamente, conforme a concentração de OA aumentou; as propriedades térmicas seguiram o mesmo padrão e houve um aumento na temperatura de gelatinização. Na análise de FTIR os amidos com OA apresentaram interação com o lipídio. A difração de raio-X mostrou que amido nativo possui padrão tipo A, e os modificados com OA apresentaram picos do padrão tipo V, a cristalinidade relativa dos tratamentos foi reduzida. A propriedade térmica do amido mostrou aumento na digestão após TTBU. O amido modificado com 8% de OA apresentou menor digestibilidade *in vitro* ( $p < 0,05$ ), e teve redução do índice glicêmico ( $p > 0,05$ ). Mesmo não havendo confirmação da formação do complexo de inclusão entre o amido e o óleo de abacate, pode-se observar as diferenças dos processos de modificação por autoclave e micro-ondas. O amido de arroz modificado via TTBU com OA apresentou resultados satisfatórios pelos dois processos (autoclave e micro-ondas). O uso de micro-ondas para modificação de amido é muito interessante por ser um processo rápido, seguro, com boa eficiência energética, que permite o uso de menor temperatura de modificação, preservando as propriedades desejáveis, assim o amido modificado pelos processos propostos neste trabalho poderia ser aplicado em produtos alimentícios para aumentar a funcionalidade nutricional.

**Palavras chaves:** modificação de amido; complexo de inclusão; propriedades térmicas; digestibilidade; índice glicêmico estimado; FTIR; alimento funcional.

## Abstract

FRASSON, Sabrina Feksa. Modification of rice starch by heat-moisture treatment added with avocado oil: autoclave versus microwave. Advisor: Carla Rosane Barboza Mendonça. 2022. 125 p. Dissertation (Masters in Nutrition and Food) – Graduate Program in Nutrition and Food, Faculty of Nutrition, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

The modification of starch is used to overcome some technological limitations and improve the functional and nutritional characteristics, expanding its possibilities of use in the food industry. The objective of this research was to carry out a physical and chemical modification of rice starch by heat-moisture treatment (HMT) in an autoclave and microwave with the addition of avocado oil (AO) for the formation of inclusion complexes and to evaluate physical-chemical parameters and nutritional aspects of modified starches. Starch was extracted from rice flour, characterized and prepared for modification. The HMT process was performed with 30% moisture in the starch with the addition of AO (2, 4 and 8%), in the autoclave at 110 °C for 1 hour and for 3 minutes at 50 °C in the microwave. In modified and native starches, the effects were evaluated by means of X-ray diffraction, differential scanning calorimetry, spectroscopy in the infrared region with Fourier transform, viscoamylographic properties, in vitro digestibility and estimated glycemic index. The final viscosity and the retrogradation gradually decreased as the AO concentration increased, the thermal properties followed the same pattern and there was an increase in the gelatinization temperature. In the FTIR analysis, the starches with AO showed interaction with the lipid. X-ray diffraction showed that native starch has a type A pattern, and those modified with OA showed peaks of a type V pattern, the relative crystallinity of the treatments was reduced. The thermal property of starch showed an increase in digestion after HMT. Even though there is no confirmation of the formation of the inclusion complex between starch and AO, the differences in modification between autoclave and microwave can be clarified. The M8% showed lower digestibility in vitro ( $p < 0.05$ ) and had a reduction in the glycemic index ( $p > 0.05$ ). The modified rice starch via TTBU with OA showed satisfactory results by both processes (autoclave and microwave). The use of microwaves for starch modification is very interesting because it is a fast, safe process, with good energy efficiency, which allows the use of a lower modification temperature, preserving the desirable properties, thus the starch modified by the processes proposed in this work could be applied in food products to increase nutritional functionality.

**Keywords:** starch modification; inclusion complex; thermal properties; digestibility; estimated glycemic index; FTIR; functional food.

## Lista de Figuras

### Dissertação

- Figura 1 – Grânulos de amido de arroz, visualizados com microscopia de varredura eletrônica com aumento de 1000x. Fonte: Singh et al. (2006) ..... 17
- Figura 2 – Diferentes perspectivas do complexo amido-lipídio em dimensão molecular à micro dimensional: nível molecular (a), nível nano (b) e nível micro (c). Fonte: adaptado de Wang et al. (2020) ..... 24

### Projeto de dissertação

- Figura 1 – Grânulos de amido de arroz, visualizados com microscopia de varredura eletrônica com aumento de 1000x. Fonte: Singh et al. (2006) ..... 42
- Figura 2 – Diferentes perspectivas do complexo amido-lipídio em dimensão molecular à micro dimensional: nível molecular (a), nível nano (b) e nível micro (c). Fonte: adaptado de Wang et al. (2020) ..... 49

## Lista de Tabelas

### Dissertação

<b>Tabela 1 –</b> Tipos de amidos resistentes (AR) .....	18
--	----

### Projeto de dissertação

<b>Tabela 1 –</b> Tipos de amidos resistentes (AR) .....	44
<b>Tabela 2 –</b> Delineamento experimental para a modificação de amido por tratamento térmico de baixa umidade .....	54
<b>Tabela 3 –</b> Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos complexos de inclusão de amido e óleo de abacate .....	55
<b>Tabela 4 –</b> Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos bolos com a adição de amido modificado por TTBU e complexos de inclusão utilizando óleo de abacate .....	55
<b>Tabela 5 –</b> Cronograma das atividades para o período de 24 meses .....	69
<b>Tabela 6 –</b> Orçamento do projeto .....	70



### Lista de abreviaturas e siglas

ADL	Amido de digestão lenta
AR	Amido resistente
ARD	Amido de rápida digestão
CAO	Capacidade de absorção de óleo
CLG	Curva de liberação da glicose
CR	Cristalinidade relativa
DSC	<i>Differential Scanning Calorimeter</i>
FTIR	Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier
HDL	Lipoproteína de alta densidade
IGe	Índice glicêmico estimado
IH	Índice de hidrólise
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MUFA	Ácido graxo monoinsaturado
OA	Óleo de abacate
PUFA	Ácido graxo poli-insaturado
RVA	<i>Rapid Visco Analyser</i>
SIF	<i>Simulated intestinal fluid</i>
SGF	<i>Simulated gastric fluid</i>
TGA	<i>Thermogravimetric analysis</i>
TTBU	Tratamento térmico de baixa umidade

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>11</b>
1.1	Hipóteses .....	14
<b>2</b>	<b>Objetivos e metas .....</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo geral .....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
2.3	Metas .....	15
<b>3</b>	<b>Revisão bibliográfica.....</b>	<b>16</b>
3.1	Arroz.....	16
3.1.1	Amido de arroz .....	17
3.1.2	Amido resistente.....	19
3.2	Modificação do amido por tratamento térmico de baixa umidade .....	20
3.3	Complexo amido–lipídio .....	22
3.4	Abacate .....	25
3.4.1	Óleo de abacate .....	27
<b>4</b>	<b>Projeto de pesquisa .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Relatório de trabalho de campo.....</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Artigo.....</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>114</b>
<b>8</b>	<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>115</b>

## 1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal produzido e consumido mundialmente em forma integral ou beneficiado (MUTHAYYA et al., 2014). O arroz polido, ou arroz branco, é o tipo de arroz mais consumido no mundo (GOYON; MESTRES, 2017). O seu beneficiamento ocorre através de uma série de processos, incluindo etapas de descasque e polimento, até chegar no produto final. Entretanto, estima-se que 14% da produção resulta em grãos quebrados, denominado de quirera, que tem seu valor reduzido no mercado, um coproduto interessante para a indústria de alimentos, devido ao seu elevado teor de amido (LIMBERGER et al., 2009).

O grão de arroz é composto por aproximadamente 90% de amido (SILVA; DA COSTA; GARCIA-ROJAS, 2017). O amido de arroz possui características únicas, que o tornam um dos amidos mais interessantes na indústria de alimentos, pois é hipoalergênico, não contém glúten, apresenta coloração branca e textura suave quando está na forma de gel. No entanto, os géis compostos apenas por amido apresentam elevada sinérese e retrogradação, quando submetidos a cozimento, tensão de cisalhamento e resfriamento, o que pode levar a formação de géis com dureza aumentada e características indesejáveis (VITURAWONG; ACHAYUTHAKAN; SUPHANTHARIKA, 2008).

Na forma nativa, o amido de arroz apresenta algumas propriedades indesejáveis para a indústria alimentícia, tais como: pouca absorção e insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento, tendências à retrogradação, não formação de gel a frio e alta digestibilidade (CONAB, 2015). Quando na presença de água e calor, o grânulo de amido começa a sofrer alterações na sua estrutura, resultando na gelatinização, considerada uma vantagem muito importante (ZAVAREZE et al., 2010).

Os amidos nativos são usados no processamento de alimentos, mas a utilização comercial destes é limitada, em função de suas propriedades físicas, químicas e nutricionais. A modificação do amido é empregada para superar as limitações e melhorar as características funcionais e nutricionais, ampliando as possibilidades de sua aplicação na indústria de alimentos. A modificação do amido pode se dar por meio de processos físicos, químicos, enzimáticos e genéticos (SILVA et al., 2006; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

A modificação física é de grande interesse por se tratar de uma modificação que não utiliza produtos químicos e não deixa resíduos no alimento, além de não agredir o meio ambiente, pela toxicidade de efluentes industriais. A modificação física denominada tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) ocorre quando o amido é submetido a temperaturas acima da temperatura de gelatinização com umidade insuficiente para completa gelatinização dos grânulos, o que ajuda a preservar a estrutura granular; retardar a gelatinização; reduzir o poder de inchamento; reduzir a solubilidade do amido e o lixiviamento da amilose; aumentar a estabilidade ao aquecimento e, diminuir a taxa de digestão enzimática. Essas alterações resultam em propriedades desejáveis para o processamento de vários tipos de produtos alimentícios na indústria (HOOVER, 2010; WANG et al., 2020).

Além da modificação por TTBU, outra possibilidade que tem produzido resultados interessantes, especialmente com relação à digestão *in vitro*, é a formação do complexo do amido com lipídios. Nesse processo foi observada a redução na digestão do amido, quando associado à farinha de arroz ou ao amido de arroz, o óleo de milho. Essa associação resultou na diminuição no índice glicêmico do alimento (CHEN et al., 2017). Alguns pontos positivos que se destacam na formação de complexos de inclusão de lipídios com amido é a promoção de características diferenciadas aos complexos formados, principalmente a redução da digestibilidade, efeitos significativos na qualidade e no valor nutricional dos alimentos à base de amido, e a potencial aplicação como substituto da gordura no desenvolvimento de alimentos com baixas calorias (KIM et al., 2017; WANG et al., 2020). Entretanto, são poucos os estudos focados na elaboração e aplicação destes complexos em matrizes alimentares.

A digestão do amido *in vitro* é classificada em três frações principais: amido de rápida digestão (ARD), amido de digestão lenta (ADL) e amido resistente (AR) (ENGLYST et al., 2003). A taxa de digestão do amido está diretamente relacionada às respostas glicêmicas e à insulina, uma quantidade maior de ARD nos alimentos leva a um IG mais alto. Por outro lado, maiores teores de ADL e AR resultam em menores respostas glicêmicas, suprimindo a ocorrência de doenças metabólicas (WANG et al., 2018). Assim, surgem várias oportunidades para serem trabalhadas na formulação de novos produtos alimentícios, modulando a digestibilidade do amido para obtenção de alimentos de baixo IG com benefícios à saúde.

O óleo de abacate tem despertado um crescente interesse na indústria alimentícia e cosmética. O conteúdo lipídico, principalmente de ácidos graxos monoinsaturados, está associado a benefícios do sistema cardiovascular e efeitos anti-inflamatórios (BHUYAN et al., 2019). O óleo de abacate possui propriedades nutricionais semelhantes às do azeite de oliva, porém não há parâmetros definidos internacionalmente para o óleo de abacate. Os valores utilizados são os recomendados para o azeite de oliva. O padrão de qualidade para o azeite de oliva está disponível no *Codex Alimentarius* e no *International Olive Oil Council* (IOC). Tan et al. (2018) comprovaram a eficácia do óleo de abacate no tratamento da osteoartrite, cicatrização de feridas, redução de diabetes, bem como demonstram suas propriedades hipocolesterolêmicas e hepatoprotetoras, entre outras. Esses benefícios à saúde são atribuídos aos compostos bioativos e composição em ácidos graxos, pois o óleo de abacate é rico em fitoesteróis, tocoferóis, carotenoides, polifenóis e em ácidos graxos insaturados (ácidos oleico e linolênico) (TAN et al., 2018; RAMADAN, 2019). Foi relatado por Bhuyan et al. (2019) que os ácidos graxos exibem atividade antiviral, citotóxica, antifúngica e antioxidante. Compostos fenólicos como ácido gálico, flavonoides, antocianidinas e tocoferóis foram isolados na espécie *Persea* com atividades antioxidantes, neuroprotetoras e cardioprotetoras significativas. As propriedades antioxidantes do abacate também foram atribuídas ao seu conteúdo de carotenoides em muitos estudos. A concentração de compostos bioativos no abacate possui importante relevância, como o fitoesterol, especialmente na fração lipídica, e o principal identificado é o  $\beta$ -sitosterol (DUARTE et al., 2016a). Dietas ricas em fitoesteróis podem levar à redução do colesterol total e colesterol LDL. Assim, a utilização desse óleo para produção de complexos com o amido TTBU pode ser uma alternativa interessante, pois o processo pode resultar em melhores características ao amido e enriquecimento nutricional do produto.

Considera-se que a elaboração de produtos alimentícios a base de amido, com a exclusão de farinhas que contenham glúten, pode ainda promover benefícios à saúde e a melhora da autonomia alimentar dos pacientes celíacos. Entretanto, processos tecnológicos que viabilizem adequada qualidade sensorial e potencial nutritivo a estes alimentos representam um desafio para a pesquisa científica e para tecnologia de alimentos.

## 1.1 Hipóteses

Há viabilidade de produção de complexo de amido de arroz com óleo de abacate. O complexo obtido apresentará propriedades especiais ao amido, como redução do índice glicêmico e formação de amido resistente. O tratamento térmico de baixa umidade poderá auxiliar nas propriedades nutricionais do amido.

O TTBU realizado via micro-ondas poderá produzir modificações no amido similares àquelas do processo por autoclave, com redução de tempo.

## **2 Objetivos e metas**

### **2.1 Objetivo geral**

Modificar amido de arroz pelo emprego de tratamento térmico de baixa umidade com óleo de abacate para formação de complexos de inclusão, aplicando processo por autoclave e por micro-ondas, e avaliar comparativamente os parâmetros físico-químicos e nutricionais dos amidos modificados.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Extrair e caracterizar amido de arroz.
- Realizar a modificação física do amido por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) contendo diferentes teores de óleo de abacate, via autoclave e micro-ondas.
- Determinar as propriedades, físicas, químicas, térmicas, de pasta e nutricionais do amido nativo e modificado por TTBU contendo diferentes teores de óleo de abacate.

### **2.3 Metas**

Obter amidos modificados que possam mostrar características físico-químicas e nutricionais vantajosas para aplicação em produtos alimentícios.

Comparar o processo de TTBU executado via micro-ondas com aquele realizado em autoclave.

### 3 Revisão bibliográfica

#### 3.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em todos os continentes, destacando em primeiro lugar o asiático, seguido pelo americano, africano, europeu e oceânico na produção mundial de arroz. Esse cereal é a base alimentar para mais de um terço da população mundial (MUTHAYYA et al., 2014). A produção de arroz no Brasil chegou a 11.749.192 toneladas em 2018, abrangendo 1.861.313 hectares (FAO, 2019). A região Sul é a principal responsável pela produção dessa cultura, totalizando 9.627.816 toneladas em 2018 (IBGE, 2019).

O arroz é uma fonte rica de carboidratos, possui uma quantidade moderada de proteínas e gorduras, contém também vitaminas do complexo B, como niacina, riboflavina e tiamina (Oliveira et al., 2020). O principal carboidrato do arroz é o amido, composto de amilose e amilopectina (VERMA; SRIVASTAV, 2020).

No Brasil, o arroz é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, nas apresentações branco polido, parboilizado polido e integral. No arroz integral, durante o beneficiamento, retira-se apenas a casca, assim, este é mais rico em nutrientes que o arroz polido. O arroz branco polido passa por mais etapas de beneficiamento, retirando o germe, o pericarpo e a maior parte da camada externa. Já o arroz parboilizado passa por um tratamento hidrotérmico – o arroz com casca é imerso em água a uma temperatura acima de 58 °C, seguido de gelatinização parcial ou total do amido e secagem. Nesse processo ocorre o transporte de substâncias da casca para o centro do grão, aumentando seu valor nutritivo, quando comparado com o arroz branco polido (CONAB, 2015).

O arroz é um cereal que permite diversos usos, os principais produtos e subprodutos possíveis da industrialização do arroz são o arroz branco, parboilizado, integral e a quirera. Esses podem ser pré-cozido, extrudado, desidratado, expandido, cereal matinal, alimento infantil, pasta de arroz, bebidas fermentadas, vinagre, biscoito, macarrão, farinha, amido, entre outros produtos. Entretanto, apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados (PEREIRA, 2002).



### 3.1.1 Amido de arroz

O grão de arroz é um órgão de reserva, o endosperma é composto praticamente por amido. O amido está na forma de grânulos, constituído por cadeias de dois tipos de polissacarídeos: amilose e amilopectina (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). As proporções de amilose/amilopectina das cadeias de amido variam conforme as cultivares do arroz, condições climáticas, tipo de solo, entre outros fatores. Os níveis típicos de amilose nos amidos variam entre 15% e 25%. Pode-se classificar o arroz como ceroso (0-2% de amilose), com conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo (12-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%) (JULIANO, 1993; WANI et al., 2012).

O conteúdo de amilose é considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz. De forma geral, grãos com maior teor de amilose apresentam textura mais firme após o cozimento, sendo preferidos em diversos países, como no Brasil. Entretanto, outros fatores, como a estrutura das cadeias de amilopectina e o teor de proteína também influenciam nas características do amido (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Em geral, o amido de arroz tem sua composição aproximada de 75% de amilopectina e de 25% de amilose, esta porcentagem varia em função da variedade e do tipo de processamento. As principais características do amido de arroz são a fácil digestibilidade, ser hipoalergênico, apresentar cor branca e sabor suave. A pasta de amido de arroz se torna opaca formando um gel translúcido e fluido. Apresenta boa resistência a ácidos, sendo mais estável ao processo de congelamento e descongelamento em relação a outros cereais (VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

A propriedade de pasta é a propriedade físico-química mais importante do amido, sendo a chave para determinar suas aplicações no processamento de alimentos e em outras indústrias. Compreender a propriedade de pasta é fundamental para entender a mudança de textura e a capacidade de retrogradação em produtos aos quais este é aplicado (QIAN; ZHANG, 2013).

Os grânulos de amido íntegros são insolúveis em água fria, mas podem absorver água de forma reversível, retornando ao seu tamanho original ao secar. Quando aquecidos na presença de água, os grânulos de amido passam por um processo chamado de gelatinização, que é a ruptura dos grânulos, acarretando no intumescimento irreversível do grânulo, perda de birrefringência e perda de

cristalinidade. Durante a gelatinização ocorre lixiviação da amilose e a aplicação de forças de cisalhamento, com a ruptura total dos grânulos, resulta na formação de uma pasta de amido. Então, o intumescimento e a ruptura do grânulo produzem uma goma viscosa (pasta). A formação da pasta ocorre após ou simultaneamente com a gelatinização. As propriedades de pasta do amido são indicadores importantes de como o amido se comportará durante o processamento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; WANI et al., 2012).

As propriedades térmicas do amido de arroz podem ter variações devido às diferentes proporções de amilose/amilopectina, diferentes formas e tamanhos de partículas e, em função do teor de gordura existente. Estudos de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram conduzidos para confirmar a formação de complexos de amilose com lipídio. Os autores reportaram que em condições de excesso de água, o arroz sofre um processo de gelatinização a 70 °C, e a fusão do complexo amilose/lipídio ocorre a 104 °C (QIAN; ZHANG, 2013).

O amido de arroz é caracterizado por possuir os menores grânulos de amido dentre os cereais, com tamanhos variando entre 1,5 µm e 8 µm (BAO; BERGMAN, 2009; SINGH et al. 2006). Com formato poliédrico e irregular, como demonstrado na Figura 1:

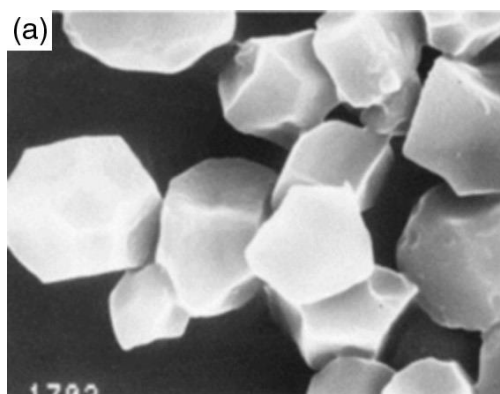


Figura 1 – Grânulos de amido de arroz, visualizados com microscopia eletrônica de varredura com aumento de 1000x. Fonte: Singh et al. (2006).

O maior teor de amilose no arroz, assim como em outros alimentos amiláceos, resulta em maior formação de amido resistente e menor resposta glicêmica e insulinêmica (GODDARD et al., 1984; MILLER et al., 1992). Essas diferenças fisiológicas são úteis na prevenção e no tratamento de doenças, como a *Diabetes mellitus* tipo 2, pois a menor taxa de digestão e absorção de carboidratos auxiliam na

manutenção de níveis regulares de glicemia (VELANGI et al., 2005). O consumo de alimentos com menor resposta glicêmica também tem sido associada à redução dos lipídios séricos em pacientes hiperlipidêmicos, diminuindo os riscos de desenvolvimento de doenças cardiovasculares.

### **3.1.2 Amido resistente**

De acordo com a taxa de digestão, os amidos são classificados como amido rapidamente digestível (ARD), amido lentamente digestível (ALD) e amido resistente (AR). ARD é a fração de amido que causa um aumento no nível de glicose no sangue imediatamente após a ingestão; ALD é a fração de amido que é digerida completamente no intestino delgado a uma taxa menor em comparação com ARD. Amido resistente (AR) é definido como uma porção de amido que não é digerido pelas amilases no intestino delgado e passa para o cólon para ser fermentado parcial ou totalmente pela microbiota (ENGLYST; CUMMINGS, 1985).

O AR faz parte da fibra dietética que possui muitas propriedades nutricionais, como a redução das respostas à glicose e insulina, a redução de calorias nos alimentos, o aumento do volume fecal e a redução do tempo de trânsito intestinal, promovendo o crescimento de bactérias intestinais benéficas e a produção de ácidos graxos de cadeia curta (BROWN et al., 2000). Com o reconhecimento desses benefícios para a saúde, a introdução do AR em produtos alimentícios tem ganhado cada vez mais interesse nos últimos anos.

Os tipos de amidos resistentes estão apresentados na Tabela 1 e são classificados em cinco categorias, o AR tipo 1 é o amido fisicamente inacessível pela amilase pancreática, está incorporado no material da parede celular ou na matriz proteica, diminuindo taxa de digestão (exemplo: leguminosas). Em seguida, o AR tipo 2 é o amido granular nativo, subdividido em tipo A (cereais), B (tubérculos) e C (leguminosas e sementes), sendo resistente à digestão enzimática. A forma AR tipo 3 representa o amido retrogradado, próprio de alimentos amiláceos cozidos e resfriados. Assim, a amilose cristalina permanece altamente resistente à hidrólise enzimática. A quarta forma, AR tipo 4 é o amido quimicamente modificado, enquanto AR tipo 5 é a designação para o amido na forma de complexo amilose-lipídio (BIRT et al., 2013).

**Tabela 1 – Tipos de amidos resistentes (AR).**

<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplo</b>
AR tipo 1	Amido fisicamente inacessível	Grãos grosseiramente moídos ou grãos inteiros
AR tipo 2	Amido granular com o polimorfo B ou C	Amido de milho rico em amilose, batata crua, amido de banana cru
AR tipo 3	Amido retrogradado	Alimentos amiláceos cozidos e resfriados
AR tipo 4	Amidos quimicamente modificados	Amido reticulado e amido octenil succinico
AR tipo 5	Complexo amilose-lipídio	Amido com alta amilose complexado com ácido esteárico

Fonte: Birt et al. (2013)

Os carboidratos são considerados como fontes primárias de energia. Tanto a fibra alimentar quanto as formas de amidos resistentes desempenham um papel positivo na redução dos fatores de risco para doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer (LOVEGROVE et al., 2017).

As vantagens de usar o AR como ingrediente comercial em aplicações de uma variedade de alimentos são apresentadas nos seguintes aspectos: o fato de serem derivados de fontes botânicas naturais, o desempenho de excelentes propriedades funcionais, incluindo a baixa capacidade de retenção de água, cor branca, sabor brando e tamanho de partícula pequena – baixa interferência na textura, todos esses aspectos fazem do AR um ingrediente com potencial promissor a ser incorporado em uma série de produtos alimentícios com melhor aceitabilidade e maior palatabilidade do que aquelas preparadas com fibras tradicionais (MA; BOYE, 2018).

### **3.2 Modificação do amido por tratamento térmico de baixa umidade**

As propriedades físicas e químicas dos amidos nativos normalmente não são adequadas para alguns tipos de processamento. A intenção de modificar o amido é alcançar propriedades funcionais não encontradas na forma nativa e ampliar o uso em indústrias de alimentos, farmacêutica, papel e têxtil. Os amidos são frequentemente modificados por processos físicos, químicos e enzimáticos para promover propriedades funcionais específicas. A modificação física do amido por umidade, calor, cisalhamento ou radiação ionizante (gama) vem conquistando uma aceitação

mais ampla, porque não deixa resíduos de reagentes químicos no amido modificado (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

O TTBU é uma modificação física que altera as propriedades físico-químicas do amido sem destruir sua estrutura granular (JACOBS; DELCOUR, 1998; ADEBOWALE et al., 2005; HORMDOK; NOOMHORM, 2007; MAACHE-REZZOUG et al., 2008). Esse processo exige que a razão de amido/umidade, a temperatura e o tempo de aquecimento sejam controlados (CHUNG; LIU; HOOVER, 2009). O TTBU é realizado com um conteúdo de umidade restrito de 10 a 30%, e temperaturas mais altas que a temperatura de gelatinização, entre 90 e 120 °C (MAACHE-REZZOUG et al., 2008).

Os amidos tratados com TTBU têm aplicações importantes na indústria de alimentos, principalmente devido à sua melhor estabilidade térmica e à menor extensão da retrogradação (ADEBOWALE et al., 2005). A diminuição do inchaço granular e da lixiviação de amilose, o aumento da estabilidade ao calor e ao cisalhamento resultantes da TTBU também são propriedades desejáveis (HORMDOK; NOOMHORM, 2007). Além disso, esse tratamento tem sido utilizado para melhorar os níveis de amido resistente, mantendo a estrutura dos grânulos (BRUMOVSKY; THOMPSON, 2001). Essas propriedades tornam os amidos modificados com tratamento hidrotérmico adequados para utilização na indústria de alimentos.

Hormdok e Noomhorm (2007) observaram redução no intumescimento do amido de arroz com TTBU. Essa redução no poder de intumescimento também foi atribuída ao aumento da cristalinidade, redução da solubilidade, aumento da interação entre moléculas de amilose e amilopectina, a formação de complexos amilose-lipídios (WADUGE et al., 2006) e mudanças nos arranjos das regiões cristalinas do amido (HOOVER; VASANTHAN, 1994).

A solubilidade do amido ocorre devido a lixiviação da amilose, que se dissocia e se difunde dos grânulos durante o intumescimento. Essa lixiviação representa uma transição da ordem para a desordem nos grânulos de amido que ocorre quando o amido é aquecido com água (TESTER; MORRISON, 1990). Hormdok e Noomhorm (2007) não observaram diferença significativa na solubilidade do amido de arroz tratado hidrotermicamente e do amido de arroz nativo, observaram também um aumento na dureza do gel de amido de arroz. Khunae, Tran e Sirivongpaisal (2007) relataram que o TTBU não alterou o tamanho ou a forma dos grânulos de amido de arroz.

No estudo de Chang et al. (2014) com amido de milho e ácido láurico mostrou-se que o TTBU retardou a gelatinização. Neste estudo, o teor de umidade ideal para a formação do complexo amilose-lipídio foi de 40% e a adição do ácido graxo antes do aquecimento favoreceu a formação de amido de digestão lenta.

Em um estudo sobre propriedades físico-químicas e digestibilidade *in vitro* de arroz após parboilização associada com TTBU, Cheng, Chen e Yeh (2019) mostraram que esses dois tratamentos induziram a formação do complexo amilose-lipídio, aumentando a concentração de amido de digestão lenta e do amido resistente.

A autoclave é o equipamento mais comumente utilizado para realizar o TTBU. O tratamento do amido em autoclave promove a hidratação da zona amorfa dos grânulos sob pressão. A camada amorfa da zona de cristalização do grânulo de amido incha na água com pressão crescente, o que causa o rearranjo das duplas hélices da amilopectina (Zheng et al., 2020). As condições usadas para o TTBU em autoclave são alta temperatura, variando de 84 a 140 °C, baixo teor de umidade (10 a 35%) e tempo de exposição variando de 1 a 16 horas (Fonseca et al., 2021).

A modificação física de amido por micro-ondas vem ganhando grande atenção, pois provoca um aquecimento rápido e uniforme de todo o material, sendo mais eficiente e rápido (Das & Sit, 2021). O calor fornecido pela radiação eletromagnética pode resultar em mudanças significativas na funcionalidade do amido mesmo em um tempo muito curto (<1 min.) (Oyeyinka et al., 2021). Ainda existem poucos estudos sobre a modificação de amido por TTBU em micro-ondas.

### **3.3 Complexo amido–lipídio**

A formação de complexos amido-lipídios ocorre naturalmente nos alimentos e pode se dar a partir do aquecimento e resfriamento – gelatinização – no processamento de alimentos (CHAO et al., 2018). Vários fatores podem afetar essa complexação, como a razão amilose/amilopectina do amido usado, o grau de polimerização da amilose, tipo e comprimento da cadeia do lipídio, grau de insaturação e estrutura química do lipídio influenciam a formação de complexos de inclusão (WANG et al., 2017; ZHENG et al., 2018). Os lipídios mais facilmente encontrados inseridos nas hélices da amilose são os ácidos graxos insaturados, monoglicerídeos e lisofosfolípidios (KARKALAS et al., 1995). Cada ácido graxo

apresenta uma faixa de concentração ideal para formar complexos com amido, que varia de acordo com as propriedades de cada lipídio. Acima de uma certa concentração, há uma tendência maior de os lipídios se auto associarem, em vez de formarem complexos com amilose (ELIASSON; WAHLGREN, 2004; ARIJAJE; WANG, 2016). Tang e Copeland (2007) analisaram a complexação entre vários ácidos graxos com amido de trigo, observou-se que em uma amostra de 2,5 g de amido a quantidade de lipídio para a formação máxima do complexo amido-lipídio foi > 60 mg de ácido caprílico, > 27 mg de ácido láurico, 18 a 27 mg de ácido mirístico, 14 a 23 mg de ácido palmítico, 9 a 14 mg de ácido esteárico, 14 a 18 mg de ácido oleico e 18 a 23 mg de ácido linoleico.

O complexo amido-lipídio é formado principalmente entre amilose e lipídios. O complexo amilose-lipídio é resistente à hidrólise enzimática devido à sua conformação helicoidal e estrutura cristalina. Apenas uma pequena porção de amilopectina pode formar um complexo com lipídios, devido ao seu impedimento estérico e ao seu comprimento curto da cadeia ramificada (CHANG et al., 2014).

A temperatura possui um papel muito importante na complexação, com o aumento do calor a mobilidade das cadeias de amido aumentam também, facilitando um maior contato entre o amido e o lipídio (WANG et al., 2020). As condições de temperatura e tempo controladas podem formar dois tipos de complexos diferentes.

O pH do meio também influencia muito para ocorrer a formação dos complexos, que são mais facilmente formados como precipitados insolúveis em meio aquoso em pH neutro (WANG et al., 2020). Se o amido é aquecido com excesso de água, os grânulos de amido absorvem a água e incham, são transformados em pasta em um processo conhecido como gelatinização (WANG; COPELAND, 2013). Os complexos amido-lipídio formam um filme insolúvel na superfície dos grânulos de amido, o que retarda a absorção de água nos grânulos de amido e aumenta a temperatura de gelatinização (PUTSEYS et al., 2010; OBIRO et al., 2012).

A adição de lipídio para a formação do complexo pode retardar a retrogradação do amido, uma explicação para esse fenômeno é a diminuição da solubilidade quando o complexo é formado, conseqüentemente diminuindo a lixiviação da amilose durante o aquecimento, reduzindo a retrogradação (BECKER et al., 2001).

O uso da farinha de arroz e diferentes fontes de ácido graxo (ácido palmítico, mirístico e esteárico) na formação do complexo amilose-lipídio também foi estudado anteriormente (KAUR; SINGH, 2000). De acordo com suas descobertas, o ácido

mirístico apresentou a maior capacidade de formar o complexo, enquanto o ácido esteárico menor capacidade. Foi relatado que o aumento do teor de ácido graxo usado e o método de cozimento a 95 °C por 30, 60 e 90 min. também aumentou a extensão do complexo amilose-lipídio (KAUR; SINGH, 2000).

Os complexos formados com maior grau de polimerização da amilose ou com amido com maior teor de amilose, apresentam maior estabilidade (GELDERS et al., 2005; ZHANG et al., 2012). A resistência à digestibilidade enzimática aumenta à medida que a quantidade de lipídios adicionados aumenta (KAWAI et al., 2012; AHMADI-ABHARI, et al. 2013). No entanto, não está claro se os complexos amido-lipídio afetam apenas a digestibilidade das cadeias de amilose complexadas, conforme sugerido por Ahmadi-Abhari et al. (2013), ou a taxa geral de digestão do amido.

Segundo Kugimiya et al. (1980), a formação do complexo ocorre imediatamente após a gelatinização, em um processo endotérmico. Antes da gelatinização o amido possui capacidade limitada de ligação aos lipídios. À medida que o amido é disperso, a amilose fica disponível para complexação. A amilose atua como um inibidor do intumescimento, principalmente na presença de lipídios. Isso pode formar complexos insolúveis com parte da amilose durante o intumescimento e a gelatinização (CHEN et al., 2015).

A formação de complexos amido-lipídio afeta a propriedade de pasta, estrutura do gel, retrogradação e digestibilidade do amido. A formação de complexos, durante o processamento, pode alterar significativamente as funcionalidades do amido de maneira a influenciar a qualidade e as propriedades nutricionais dos produtos. O complexo amilose-lipídio possui potencial muito interessante para uso em pães, substituição parcial de gorduras em preparações, estabilizantes alimentares, controle da glicemia pós-prandial e da resposta insulínica (HASJIM et al., 2010; PANYOO; EMMAMBUX, 2017).

Em um estudo com amido de lentilha marrom e óleo de girassol hidrogenado, a formação de AR5 foi promissora para aplicações em produtos alimentícios, aumentando o teor de amido resistente nas formulações. Particularmente, esses complexos podem ser usados como alternativas nas formulações alimentares especialmente para consumidores que exigem respostas mais baixas de insulina (OKUMUS et al., 2018).



Na Figura 2 é apresentada uma representação esquemática de um complexo de amido com lipídio.

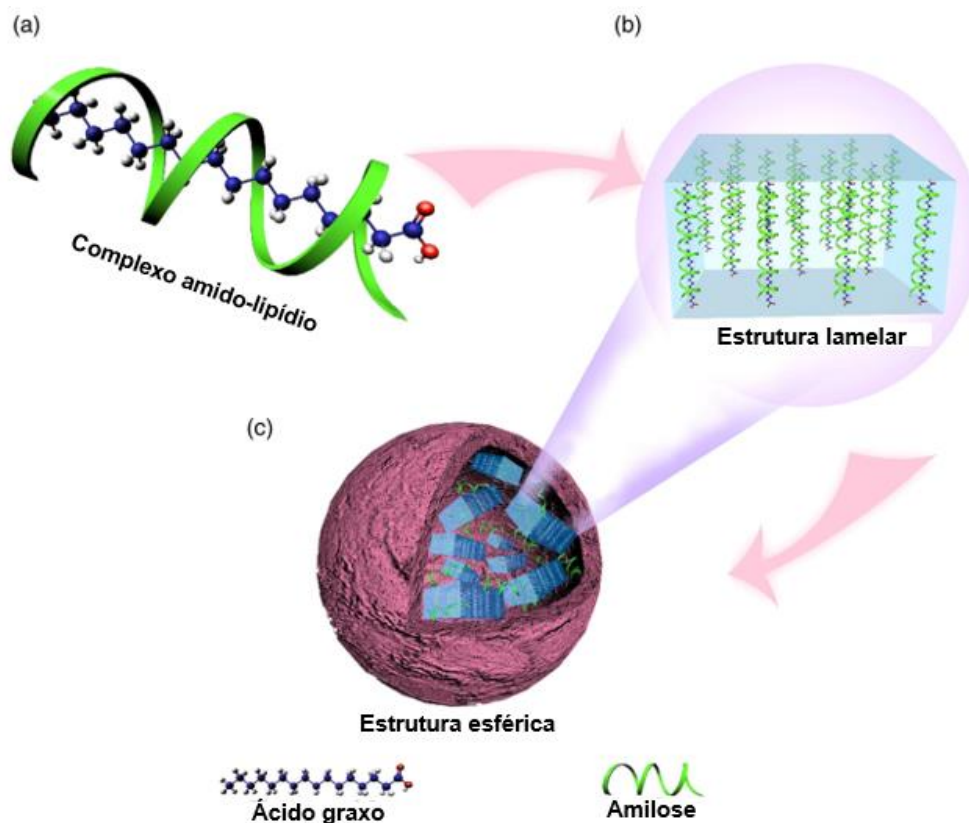


Figura 2 – Diferentes perspectivas do complexo amido-lipídio em dimensão molecular à micro dimensional: nível molecular (a), nível nano (b) e nível micro (c). Fonte: adaptado de Wang et al. (2020).

Foi revelado que a ingestão de pão com AR5 com ácido palmítico resultou em respostas pós-prandial substancialmente com valores séricos menores de glicose e insulina em indivíduos humanos em comparação com a ingestão de pão de controle feito com farinha de trigo. O consumo de AR5 indica a redução da resposta glicêmica pós-prandial, e relata-se ter potencial para intervenção de síndromes metabólicas como diabetes tipo 2, obesidade, hipertensão e doenças cardíacas (HASJIM et al., 2010).

### 3.4 Abacate

Em 2018, no Brasil, a produção agrícola destinou apenas 14.356 hectares para a produção de abacate, tendo produzido mais de 235 mil toneladas dessa fruta (IBGE, 2019), com rendimento médio de 16,45 kg por hectare, totalizando um rendimento de 318 mil reais. As principais regiões que produzem o abacate atualmente são o Estado

de São Paulo, acompanhado por Minas Gerais e Paraná. O abacate é o 24º produto mais comercializado na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP). As principais variedades comercializadas pela CEAGESP são a Breda, Fortuna, Fucks, Fuerte, Geada, Hass, Margarida e Quintal (CEAGESP, 2019), entretanto existem outras variedades como Bacon, Gwen, Ettinger, Pinkerton, Reed.

A Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS) registrou que no ano de 2019 a exportação de abacate teve um crescimento considerável no volume exportado, totalizando mais de 10 mil toneladas (ABRAFRUTAS, 2020). Entretanto, a maior parte da produção do abacate é comercializada internamente no país. Constitui-se numa fruta versátil que pode ser utilizada *in natura* ou para extração de óleo, largamente empregado na indústria farmacêutica e cosmética (DUARTE et al., 2016a).

O abacate é conhecido por seu alto valor nutricional e benefícios para a saúde, que são essencialmente devido à fonte de lipídios e fitoquímicos (SOUZA et al., 2017). A polpa de abacate contém maiores quantidades de fibras insolúveis e solúveis (70 e 30%, respectivamente) e proteínas do que muitas outras frutas (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015). A composição nutricional da polpa de abacate tem um teor de umidade variando de 67 a 78%, teor lipídico variando de 12 a 24%, teor de carboidratos variando de 0,8 a 4,8%, teor de proteína variando de 1,0 a 3,0%, teor de cinzas variando de 0,8 a 1,5%, teor de fibras variando de 1,4 a 3,0%, e energia entre 140 e 228 kcal por abacate (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015; DUARTE et al., 2016a). A composição do abacate ou qualquer outra fruta depende da variedade, grau de amadurecimento, clima, composição do solo e fertilizantes (RAMADAN, 2019).

As cascas e polpas de muitas frutas, incluindo o abacate, contêm uma grande quantidade de antioxidantes que são responsáveis pelo sistema de defesa vegetal, contra diferentes tipos de estresse, como temperatura e luz. Melgar et al. (2018) analisaram os subprodutos do abacate e a casca apresentou os melhores resultados, compostos fenólicos (227,9 mg/g de extrato para teor fenólico total), atividade antioxidante (11,7 a 152 µg/mL), e um melhor desempenho geral nos ensaios antibacterianos.

Vários estudos *in vitro* e *in vivo* demonstraram os benefícios para a saúde de uma dieta balanceada com a ingestão de abacate, principalmente na redução do colesterol e na prevenção de doenças cardiovasculares e cânceres (BOUIC, 2002; JOHNSON, 2005; DUARTE et al., 2016b; KRINSKY).

### 3.4.1 Óleo de abacate

O óleo de abacate possui uma composição química muito semelhante ao azeite de oliva quando comparados os dois perfis de ácidos graxos, mas apresenta níveis mais altos de vitamina E,  $\beta$ -sitosterol, carotenoides, clorofila e outros componentes da fração insaponificável com atividade biológica (FORERO-DORIA et al., 2017).

A composição e a qualidade do óleo de abacate dependem da origem, condições climáticas, variedade e métodos de extração. Ainda não há parâmetros definidos internacionalmente para o óleo de abacate, os valores mais usados são os recomendados para o azeite de oliva (KRUMREICH et al., 2018). O padrão de qualidade do azeite está disponível no *Codex Alimentarius* (2015) e no *International Olive Council* (COI).

O óleo de abacate caracteriza-se como um óleo principalmente monoinsaturado, com uma proporção adequada de ácidos graxos poli-insaturados, semelhante ao azeite de oliva. Além disso, contém outros compostos bioativos, presentes na fração insaponificável, como tocoferóis, polifenóis e uma proporção notável de fitoesteróis, carotenoides, álcoois alifáticos, álcoois terpênicos, tocoferóis e esqualeno (DOS SANTOS et al., 2014; FLORES et al., 2019; RAMADAN, 2019). Também foi demonstrado que este óleo tem bom desempenho em altas temperaturas, a sua estabilidade térmica é próxima a 176 °C (FORERO-DORIA et al., 2017).

Em comparação com o azeite de oliva, o óleo de abacate possui maior proporção de ácidos graxos saturados (16,4%), com predominância de ácido palmítico (15,7%), menor proporção de ácidos graxos monoinsaturados (67,8%), com predominância de ácido oleico (60,3%) e uma proporção maior de ácidos graxos poli-insaturados (15,2%), sendo o mais importante o ácido linoleico (13,7%). O óleo de abacate tem uma razão PUFA/ácidos graxos saturados e  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 mais alta que o azeite (FLORES et al., 2019). A alta concentração de componentes na fração insaponificável, principalmente de fitoesteróis e policosanóis, está associada a redução do colesterol e das lipoproteínas de baixa densidade (LDL-C) no sangue (PLAZA et al., 2009).

Além disso, devido à alta concentração de ácido oleico presente no óleo de abacate, há uma maior incorporação de ácidos graxos poli-insaturados  $\omega$ -3 nas membranas celulares, o que diminui a possibilidade de oxidação do LDL-C, produzindo efeitos benéficos à saúde, como a redução de doenças cardiovasculares

(ORTIZ-AVILA et al., 2015). Testes revelaram que uma dieta rica em abacate causa um declínio no colesterol sérico total de 16% em indivíduos saudáveis. Em indivíduos hipercolesterolêmicos, foi observada uma diminuição no colesterol sérico de 17%, colesterol LDL de 22% e triacilgliceróis de 22%, enquanto o colesterol HDL aumentou 11% (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015).

Os compostos bioativos presentes no abacate foram relatados inibindo a peroxidação lipídica, com ação antiproliferativa, antilipidêmica entre outros. Os mecanismos de ação para esses efeitos estão relacionados ao seu efeito antioxidante, e também podem modular a expressão gênica, regular a atividade proteica, inibir a atividade enzimática, regular o ciclo celular, regular o perfil lipídico sérico, induzir à saciedade, entre outros. Algumas aplicações práticas dos compostos bioativos extraídos do abacate e seus subprodutos, como preservação de alimentos, espessamento, melhoria da qualidade de produtos cárneos, como matéria-prima para filmes termoplásticos e diversos outros, têm sido propostas e parcialmente desenvolvidas (SALAZAR-LÓPEZ et al., 2020).

O consumo de abacate exerce um efeito benéfico na prevenção de doenças cardiovasculares, que podem ser atribuídos ao seu teor de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), especialmente ácido graxo oleico (SILVA CALDAS et al., 2017). Em estudo com ratos Wistar, Del Toro-Equihua et al. (2016) observaram que a adição de 5 a 30% de óleo de abacate reduziu o ganho de peso corporal, induzido por uma dieta rica em sacarose, e que a tolerância à glicose e a resistência à insulina também podem ser reduzidas, neste caso pela adição à dieta de 5 a 20% de óleo de abacate. Todas essas características indicam que o óleo de abacate possui propriedades nutricionais muito interessantes, motivando pesquisas para diversificar suas aplicações tecnológicas e ampliando o interesse em sua exploração comercial (FLORES et al., 2019).

#### **4 Projeto de pesquisa**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Nutrição**  
**Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos**



Projeto de dissertação

**Elaboração, caracterização e aplicação de amido de arroz modificado por tratamento térmico de baixa umidade e elaboração de complexo de inclusão com óleo de abacate via micro-ondas**

**Sabrina Feksa Frasson**

Pelotas, 2020

**Sabrina Feksa Frasson**

**Elaboração, caracterização e aplicação de amido de arroz modificado por tratamento térmico de baixa umidade e elaboração de complexo de inclusão com óleo de abacate via micro-ondas**

Projeto de qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos da Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Nutrição e Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Rosane Barboza Mendonça

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Caroline Dellinghausen Borges

Pelotas, 2020

FRASSON, Sabrina Feksa. **Elaboração, caracterização e aplicação de amido de arroz modificado por tratamento térmico de baixa umidade e elaboração de complexo de inclusão com óleo de abacate via micro-ondas**. 51f. 2020. Projeto de Qualificação (Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos), Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2020.

## Resumo

A modificação do amido é utilizada para superar algumas limitações tecnológicas e melhorar as características funcionais e nutricionais, ampliando suas possibilidades de utilização na indústria de alimentos. Objetiva-se com essa pesquisa modificar amido de arroz a partir de processo térmico de baixa umidade (TTBU), paralelamente, preparar complexos de amido de arroz com óleo de abacate (ambos processos via aquecimento em micro-ondas) e, avaliar parâmetros físico-químicos, nutricionais e tecnológicos dos amidos modificados e complexados, bem como identificar a viabilidade do desenvolvimento de um novo produto alimentício com esses amidos. O amido será extraído de grãos de arroz polido e avaliado quanto a cristalinidade relativa, morfologia, propriedades térmicas, propriedades viscoamilográficas, poder de inchamento e solubilidade, capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, transmitância no UV, digestibilidade *in vitro*, índice glicêmico estimado e teor de amilose. O processo de TTBU será executado com diferentes teores de umidade (25, 30 e 35%) e distintos tempos de aquecimento (3, 6 e 9 min) em micro-ondas. A seguir o amido modificado será avaliado pelas mesmas determinações descritas para o amido nativo. Na sequência, serão preparados complexos de inclusão de amido modificado que apresentar as melhores características no TTBU, com óleo de abacate (2%, 4% e 8%), aplicando aquecimento em micro-ondas. Os complexos serão avaliados por cristalinidade relativa, morfologia, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), propriedades térmicas, propriedades viscoamilográficas, poder de inchamento e solubilidade, capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, transmitância no UV, digestibilidade *in vitro*, índice glicêmico estimado, teor de amilopectina, compostos fenólicos, capacidade antioxidante – ABTS. A partir dos melhores resultados de condição de modificação por TTBU e de formação de complexo de inclusão, serão selecionadas as amostras de amidos para desenvolvimento de um produto alimentício, o qual será avaliado pelas determinações de volume específico, propriedades internas, textura, cor da crosta e do miolo, teste de aceitabilidade e preferência sensorial. Todos os resultados serão expressos por média com desvio padrão, sendo comparados por meio de análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Espera-se que os resultados deste estudo possam gerar informações sobre os processos de modificação do amido de arroz, que resultem em propriedades especiais ao produto, como a redução do índice glicêmico e a formação de amido resistente, bem como a inclusão de óleo de abacate possa auxiliar nas propriedades nutricionais e tecnológicas do amido, viabilizando o desenvolvimento de produtos alimentícios com características relevantes para a saúde humana, incluindo aqueles isentos de glúten.

**Palavras chaves:** Modificação de amido; TTBU; Bioativos; Análises físico-químicas, Propriedades tecnológicas, Análise Sensorial

## Lista de figuras

- Figura 1 – Grânulos de amido de arroz, visualizados com microscopia de varredura eletrônica com aumento de 1000x. Fonte: Singh et al. (2006) ..... 42
- Figura 2 – Diferentes perspectivas do complexo amido-lipídio em dimensão molecular à micro dimensional: nível molecular (a), nível nano (b) e nível micro (c). Fonte: adaptado de Wang et al. (2020) ..... 49



## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tipos de amidos resistentes (AR).....	44
Tabela 2 – Delineamento experimental para a modificação de amido por tratamento térmico de baixa umidade.....	54
Tabela 3 – Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos complexos de inclusão de amido e óleo de abacate.....	55
Tabela 4 – Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos bolos com a adição de amido modificado por TTBU e complexos de inclusão utilizando óleo de abacate.....	55
Tabela 5 – Cronograma das atividades para o período de 24 meses.....	69
Tabela 6 – Orçamento do projeto.....	70

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>35</b>
1.1	Hipóteses.....	38
<b>2</b>	<b>Objetivos e metas.....</b>	<b>39</b>
2.1	Objetivo geral.....	39
2.2	Objetivos específicos.....	39
2.3	Metas.....	39
<b>3</b>	<b>Revisão bibliográfica.....</b>	<b>40</b>
3.1	Arroz.....	40
3.1.1	Amido de arroz.....	41
3.1.2	Amido resistente.....	43
3.2	Modificação do amido por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU).....	44
3.3	Complexo amido-lipídio.....	46
3.4	Abacate.....	49
3.4.1	Óleo de abacate.....	51
<b>4</b>	<b>Materiais e métodos.....</b>	<b>53</b>
4.1	Materiais.....	53
4.2	Métodos.....	53
4.2.1	Extração do amido de arroz.....	53
4.2.2	Rendimento de extração do amido de arroz.....	54
4.2.3	Delineamento experimental.....	54
4.2.4	Caracterização do amido nativo.....	56
4.2.4.1	Composição centesimal.....	56
4.2.4.2	Teor de amilose.....	56
4.2.5	Modificação do amido de arroz por TTBU.....	57
4.2.5	Determinações efetuadas no amido nativo e amido modificado por TTBU.....	57
4.2.5.1	Cristalinidade relativa.....	57
4.2.5.2	Morfologia dos grânulos.....	58
4.2.5.3	Propriedades térmicas (DSC) .....	58
4.2.5.4	Análise termogravimétrica (TGA) .....	59
4.2.5.5	Propriedades viscoamilográficas (RVA) .....	59

4.2.5.6	Poder de inchamento e solubilidade.....	59
4.2.5.7	Capacidade de absorção de água.....	60
4.2.5.8	Capacidade de absorção de óleo.....	60
4.2.5.9	Transmitância no UV-Vis.....	61
4.2.5.10	Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	61
4.2.5.11	Índice glicêmico estimado (IGe) .....	62
4.2.5.12	Perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	63
4.2.5.13	Compostos fenólicos.....	63
4.2.5.14	Atividade antioxidante por ABTS.....	64
4.3	Desenvolvimento do produto alimentício.....	64
4.3.1	Análises físicas.....	65
4.3.1.1	Alveolação.....	65
4.3.1.2	Textura.....	65
4.3.1.3	Volume específico.....	65
4.3.1.4	Cor.....	66
4.3.1.5	Análises sensoriais.....	66
4.4	Análise estatística.....	67
<b>5</b>	<b>Resultados esperados.....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>Cronograma do projeto.....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Orçamento do projeto.....</b>	<b>70</b>
<b>8</b>	<b>Outros projetos e financiamentos.....</b>	<b>72</b>
	<b>Referências bibliográficas do projeto.....</b>	<b>73</b>

## 1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal produzido e consumido mundialmente em forma integral ou beneficiado (MUTHAYYA et al., 2014). O arroz polido, ou arroz branco, é o tipo de arroz mais consumido no mundo (GOYON; MESTRES, 2017). O seu beneficiamento ocorre através de uma série de processos, incluindo etapas de descasque e polimento, até chegar no produto final. Entretanto, estima-se que 14% da produção resulta em grãos quebrados, denominado de quirera, que tem seu valor reduzido no mercado, um coproduto interessante para a indústria de alimentos, devido ao seu elevado teor de amido (LIMBERGER et al., 2009).

O grão de arroz é composto por aproximadamente 90% de amido (SILVA; DA COSTA; GARCIA-ROJAS, 2017). O amido de arroz possui características únicas, que o tornam um dos amidos mais interessantes na indústria de alimentos, pois é hipoalergênico, não contém glúten, apresenta coloração branca e textura suave quando está na forma de gel. No entanto, os géis compostos apenas por amido apresentam elevada sinérese e retrogradação, quando submetidos a cozimento, tensão de cisalhamento e resfriamento, o que pode levar a formação de géis com dureza aumentada e características indesejáveis (VITURAWONG; ACHAYUTHAKAN; SUPHANTHARIKA, 2008).

Na forma nativa, o amido de arroz apresenta algumas propriedades indesejáveis para a indústria alimentícia, tais como: pouca absorção e insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento, tendências à retrogradação, não formação de gel a frio e alta digestibilidade (CONAB, 2015). Quando na presença de água e calor, o grânulo de amido começa a sofrer alterações na sua estrutura, resultando na gelatinização, considerada uma vantagem muito importante (ZAVAREZE et al., 2010).

Os amidos nativos são usados no processamento de alimentos, mas a utilização comercial destes é limitada, em função de suas propriedades físicas, químicas e nutricionais. A modificação do amido é empregada para superar as limitações e melhorar as características funcionais e nutricionais, ampliando as possibilidades de sua aplicação na indústria de alimentos. A modificação do amido pode se dar por meio de processos físicos, químicos, enzimáticos e genéticos (SILVA et al., 2006; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

A modificação física é de grande interesse por se tratar de uma modificação que não utiliza produtos químicos e não deixa resíduos no alimento, além de não agredir o meio ambiente, pela toxicidade de efluentes industriais. A modificação física denominado tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) ocorre quando o amido é submetido a temperaturas acima da temperatura de gelatinização com umidade insuficiente para completa gelatinização dos grânulos, o que ajuda a preservar a estrutura granular; retardar a gelatinização; reduzir o poder de inchamento; reduz a solubilidade do amido e o lixiviamento da amilose; aumentar a estabilidade ao aquecimento e, diminuir a taxa de digestão enzimática. Essas alterações resultam em propriedades desejáveis para o processamento de vários tipos de produtos alimentícios na indústria (HOOVER, 2010; WANG et al., 2020).

Além da modificação por TTBU, outra possibilidade que tem produzido resultados interessantes, especialmente com relação à digestão *in vitro*, é a formação do complexo do amido com lipídios. Nesse processo foi observada a redução na digestão do amido, quando associado à farinha de arroz ou ao amido de arroz, o óleo de milho. Essa associação resultou na diminuição no índice glicêmico do alimento (CHEN et al., 2017). Alguns pontos positivos que se destacam na formação de complexos de inclusão de lipídios com amido é a promoção de características diferenciadas aos complexos formados, principalmente a redução da digestibilidade, efeitos significativos na qualidade e no valor nutricional dos alimentos à base de amido, e a potencial aplicação como substituto da gordura no desenvolvimento de alimentos com baixas calorias (KIM et al., 2017; WANG et al., 2020). Entretanto, são poucos os estudos que aplicam estes complexos em matrizes alimentares.

A digestão do amido *in vitro* é classificada em três frações principais: amido de rápida digestão (ARD), amido de digestão lenta (ADL) e amido resistente (AR) (ENGLYST et al., 2003). A taxa de digestão do amido está diretamente relacionada às respostas glicêmicas e à insulina, uma quantidade maior de ARD nos alimentos leva a um IG mais alto. Por outro lado, maiores teores de ADL e AR resultam em menores respostas glicêmicas, suprimindo a ocorrência de doenças metabólicas (WANG et al., 2018). Assim, surgem várias oportunidades para serem trabalhadas na formulação de novos produtos alimentícios, modulando a digestibilidade do amido para obtenção de alimentos de baixo IG com benefícios à saúde.

O óleo de abacate tem despertado um crescente interesse na indústria alimentícia e cosmética. O conteúdo lipídico, principalmente de ácidos graxos

monoinsaturados, está associado a benefícios do sistema cardiovascular e efeitos anti-inflamatórios (BHUYAN et al., 2019). O óleo de abacate possui propriedades nutricionais semelhantes às do azeite de oliva, não há parâmetros definidos internacionalmente para o óleo de abacate. Os valores utilizados são os recomendados para o azeite de oliva. O padrão de qualidade para o azeite de oliva está disponível no *Codex Alimentarius* e no *International Olive Oil Council* (IOC). Tan et al. (2018) comprovaram a eficácia do óleo de abacate no tratamento da osteoartrite, cicatrização de feridas, redução de diabetes, bem como demonstram suas propriedades hipocolesterolêmicas e hepatoprotetoras, entre outras. Esses benefícios à saúde são atribuídos aos compostos bioativos e composição em ácidos graxos, pois o óleo de abacate é rico em fitoesteróis, tocoferóis, carotenoides, polifenóis e em ácidos graxos insaturados (ácidos oleico e linolênico) (TAN et al., 2018; RAMADAN, 2019). Foi relatado por Bhuyan et al. (2019) que os ácidos graxos exibem atividade antiviral, citotóxica, antifúngica e antioxidante. Compostos fenólicos como ácido gálico, flavonoides, antocianidinas e tocoferóis foram isolados na espécie *Persea* com atividades antioxidantes, neuroprotetoras e cardioprotetoras significativas. As propriedades antioxidantes do abacate também foram atribuídas ao seu conteúdo de carotenoides em muitos estudos. A concentração de compostos bioativos no abacate possui importante relevância, como o fitoesterol, especialmente na fração lipídica, e o principal identificado é o  $\beta$ -sitosterol (DUARTE et al., 2016a). Dietas ricas em fitoesteróis podem levar à redução do colesterol total e colesterol LDL. Assim, a utilização desse óleo para produção de complexos com o amido TTBU pode ser uma alternativa interessante, pois o processo pode resultar em melhores características ao amido e enriquecimento nutricional do produto.

Considera-se que a elaboração de produtos alimentícios a base de amido, com a exclusão de farinhas que contenham glúten, pode ainda promover benefícios à saúde e a melhora da autonomia alimentar dos pacientes celíacos. Entretanto, processos tecnológicos que viabilizem adequada qualidade sensorial e potencial nutritivo a estes alimentos representam um desafio para a pesquisa científica e para tecnologia de alimentos.

## 1.1 Hipóteses

Há viabilidade de produção de complexo de amido de arroz com óleo de abacate. O complexo obtido terá propriedades especiais ao amido, como redução do índice glicêmico e formação de amido resistente. O tratamento térmico de baixa umidade poderá auxiliar nas propriedades nutricionais e tecnológicas do amido. As características propiciadas pela modificação favorecerão a aplicação e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

## **2 Objetivos e metas**

### **2.1 Objetivo geral**

Modificar amido de arroz pelo emprego de tratamento térmico de baixa umidade e preparar complexos deste com óleo de abacate, avaliar parâmetros físico-químicos, nutricionais e tecnológicos dos amidos modificados e dos complexos, bem como testar a viabilidade do desenvolvimento de um novo produto alimentício.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Extrair e caracterizar amido de arroz.
- Caracterizar o óleo de abacate quanto ao perfil de compostos bioativos.
- Realizar a modificação física do amido por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU).
- Determinar as propriedades, físicas, químicas, térmicas e de pasta do amido nativo e modificado por TTBU.
- Elaborar complexos de amido e óleo de abacate utilizando a metodologia do TTBU via micro-ondas.
- Avaliar parâmetros físico-químicos, nutricionais e tecnológicos dos amidos modificados por TTBU e pelos complexos com óleo de abacate.
- Desenvolver um produto alimentício empregando os amidos modificados a partir das melhores condições.
- Analisar aspectos físicos e sensoriais do produto alimentício elaborado.

### **2.3 Metas**

Obter amidos modificados que possam mostrar características físico-químicas, nutricionais e tecnológicas vantajosas para aplicação em produtos alimentícios. Demonstrar a viabilidade do emprego dos amidos modificados para elaboração de produtos com boa aceitação sensorial, que possam ser usados em dietas com restrições ao glúten, de baixo índice glicêmico e que favoreçam às pessoas que desejam ou necessitam de restrições alimentares.



### 3 Revisão bibliográfica

#### 3.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado em todos os continentes, destacando em primeiro lugar o asiático, com uma produção equivalente a 90% da mundial. Segue-se o americano com 5,1%, o africano com 4,2%, o europeu 0,6 % e o oceânico com 0,1% da produção mundial de arroz. Esse cereal é a base alimentar para mais de um terço da população mundial, especialmente nos países do oriente, como China, Índia e Japão (MUTHAYYA et al., 2014). A produção de arroz no Brasil chegou a 11.749.192 toneladas em 2018, abrangendo 1.861.313 hectares (FAO, 2019). A região Sul é a principal responsável pela produção dessa cultura, totalizando 9.627.816 toneladas em 2018 (IBGE, 2019).

O arroz é uma fonte rica de carboidratos, possui uma quantidade moderada de proteínas e gorduras, contém também vitaminas do complexo B, como niacina, riboflavina e tiamina (FRESCO, 2005). O principal carboidrato do arroz é o amido, composto de amilose e amilopectina (VERMA; SRIVASTAV, 2020).

No Brasil, o arroz é consumido preferencialmente na forma de grãos inteiros, nas apresentações branco polido, parboilizado polido e integral. No arroz integral, durante o beneficiamento, retira-se apenas a casca, assim, este é mais rico em nutrientes que o arroz polido. O arroz branco polido passa por mais etapas de beneficiamento, retirando o germe, o pericarpo e a maior parte da camada externa. Já o arroz parboilizado passa por um tratamento hidrotérmico – o arroz com casca é imerso em água a uma temperatura acima de 58 °C, seguido de gelatinização parcial ou total do amido e secagem. Nesse processo ocorre o transporte de substâncias da casca para o centro do grão, aumentando seu valor nutritivo, quando comparado com o arroz branco polido (CONAB, 2015). O arroz é um cereal que permite diversos usos, os principais produtos e subprodutos possíveis da industrialização do arroz são o arroz branco, parboilizado, integral e a quirera. Esses podem ser pré-cozido, extrudado, desidratado, expandido, sucrilhos, alimento infantil, pasta de arroz, bebidas fermentadas, vinagre, biscoito, macarrão, farinha, amido, entre outros produtos. Entretanto, apenas uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados (PEREIRA, 2002).

### 3.1.1 Amido de arroz

O grão de arroz é um órgão de reserva, o endosperma é composto praticamente por amido. O amido está na forma de grânulos, constituindo uma cadeia com dois tipos de polissacarídeos: amilose e amilopectina (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). As proporções de amilose/amilopectina das cadeias de amido variam conforme as cultivares do arroz, condições climáticas, tipo de solo, entre outros fatores. Os níveis típicos de amilose nos amidos variam entre 15% e 25%. Pode-se classificar o arroz como ceroso (0-2% de amilose), conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo (12-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%) (JULIANO, 1993; WANI et al., 2012).

O conteúdo de amilose é considerado um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz. De forma geral, grãos com maior teor de amilose apresentam textura mais firme após o cozimento, sendo preferidos em diversos países, como no Brasil. Entretanto, outros fatores, como a estrutura das cadeias de amilopectina e o teor de proteína também influenciam nas características do amido (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Em geral o amido de arroz tem sua composição aproximada de 75% de amilopectina e de 25% de amilose, esta porcentagem varia em função da variedade e do processamento. As principais características do amido de arroz são a fácil digestibilidade, ser hipoalergênico, apresentar cor branca e sabor suave. A pasta de amido de arroz se torna opaca formando um gel translúcido e fluido. Apresenta boa resistência a ácidos, sendo mais estável ao processo de congelamento e descongelamento em relação a outros cereais (VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

A propriedade de pasta é a propriedade físico-química mais importante do amido, sendo a chave para determinar suas aplicações no processamento de alimentos e em outras indústrias. Compreender a propriedade de pasta é fundamental para entender a mudança de textura e a capacidade de retrogradação em produtos aos quais este é aplicado (QIAN; ZHANG, 2013).

Os grânulos de amido íntegros são insolúveis em água fria, mas podem absorver água de forma reversível, retornando ao seu tamanho original ao secar. Quando aquecidos na presença de água, os grânulos de amido passam por um processo chamado de gelatinização, que é a ruptura dos grânulos, acarretando no

intumescimento irreversível do grânulo, perda de birrefringência e perda de cristalinidade. Durante a gelatinização ocorre lixiviação da amilose, a aplicação de forças de cisalhamento, com a ruptura total dos grânulos, resulta na formação de uma pasta de amido. Então, o intumescimento e a ruptura do grânulo produzem uma goma viscosa (pasta). A pasta ocorre após ou simultaneamente com a gelatinização. As propriedades de pasta do amido são indicadores importantes de como o amido se comportará durante o processamento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; WANI et al., 2012).

As propriedades térmicas do amido de arroz podem ter variações devido à diferentes proporções de amilose/amilopectina, diferentes formas e tamanhos de partículas e, em função do teor de gordura existente. Estudos de calorimetria diferencial de varredura (DSC) foram conduzidos para confirmar a formação de complexos de amilose com lipídio, os autores reportaram que em condições de excesso de água, o arroz sofre um processo de gelatinização a 70 °C, e a fusão do complexo amilose/lipídio ocorre a 104 °C (QIAN; ZHANG, 2013).

O amido de arroz é caracterizado por possuir os menores grânulos de amido dentre os cereais, com tamanhos variando entre 3 µm e 8 µm (BAO; BERGMAN, 2009). Com formato poliédrico ou irregular, disposto em grânulos esféricos de 150 µm, como demonstrado na Figura 1:

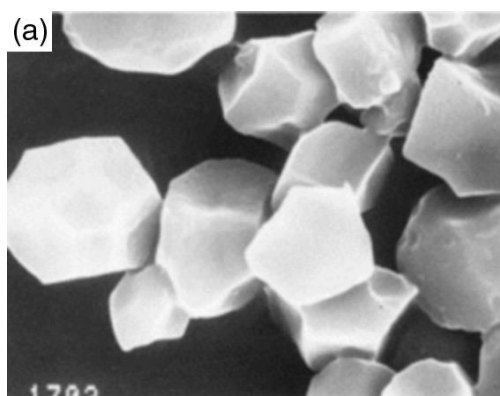


Figura 1 – Grânulos de amido de arroz, visualizados com microscopia de varredura eletrônica com aumento de 1000x. Fonte: Singh et al. (2006).

O maior teor de amilose no arroz, assim como em outros alimentos amiláceos, resulta em maior formação de amido resistente e menor resposta glicêmica e insulinêmica (GODDARD et al., 1984; MILLER et al., 1992). Essas diferenças fisiológicas são úteis na prevenção e no tratamento de doenças, como a *Diabetes*

*mellitus* tipo 2, pois a menor digestão e absorção de carboidratos auxiliam na manutenção de níveis regulares de glicemia (VELANGI et al., 2005). O consumo de alimentos com menor resposta glicêmica também tem sido associado à redução dos lipídios séricos em pacientes hiperlipidêmicos, diminuindo os riscos de desenvolvimento de doenças cardiovasculares

### 3.1.2 Amido resistente

De acordo com a taxa de digestão, os amidos são classificados como amido rapidamente digestível (ARD), amido lentamente digestível (ALD) e amido resistente (AR). ARD é a fração de amido que causa um aumento no nível de glicose no sangue imediatamente após a ingestão; ALD é a fração de amido que é digerida completamente no intestino delgado a uma taxa menor em comparação com ARD. Amido resistente (AR) é definido como uma porção de amido que não é digerido pelas amilases no intestino delgado e passa para o cólon para ser fermentado parcial ou totalmente pela microbiota (ENGLYST; CUMMINGS, 1985).

O AR faz parte da fibra dietética que possui muitas propriedades nutricionais, como a redução das respostas à glicose e insulina, a redução de calorias nos alimentos, o aumento do volume fecal e a redução do tempo de trânsito intestinal, promovendo o crescimento de bactérias intestinais benéficas e a produção de ácidos graxos de cadeia curta (BROWN et al., 2000). Com o reconhecimento desses benefícios para a saúde, a introdução do AR em produtos alimentícios tem ganhado cada vez mais interesse nos últimos anos.

É classificado em cinco categorias, o AR tipo 1 é amido fisicamente inacessível pela amilase pancreática, está incorporado no material da parede celular ou na matriz proteica, diminuindo a digestão (exemplo: leguminosas). Em seguida, o AR tipo 2 é amido granular nativo, subdividido em tipo A (cereais), B (tubérculos) e C (leguminosas e sementes), sendo resistente à digestão enzimática. A forma AR tipo 3 representa o amido retrogradado, próprio de alimentos amiláceos cozidos e resfriados. Assim, a amilose cristalina permanece altamente resistente à hidrólise enzimática. A quarta forma, AR tipo 4 é amido quimicamente modificado, enquanto AR tipo 5 é a designação para o amido na forma de complexo amilose-lipídio (BIRT et al., 2013).

**Tabela 1 – Tipos de amidos resistentes (AR).**

<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplo</b>
AR tipo 1	Amido fisicamente inacessível	Grãos grosseiramente moídos ou grãos inteiros
AR tipo 2	Amido granular com o polimorfo B ou C	Amido de milho rico em amilose, batata crua, amido de banana cru
AR tipo 3	Amido retrogradado	Alimentos amiláceos cozidos e resfriados
AR tipo 4	Amidos quimicamente modificados	Amido reticulado e amido octenil succinico
AR tipo 5	Complexo amilose-lipídio	Amido com alta amilose complexado com ácido esteárico

Fonte: Birt et al. (2013)

Os carboidratos são considerados como fontes primárias de energia. Tanto a fibra alimentar quanto as formas de amidos resistentes desempenham um papel positivo na redução dos fatores de risco para doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer (LOVEGROVE et al., 2017).

Várias vantagens de usar o AR como ingrediente comercial em aplicações de uma variedade de alimentos são apresentadas nos seguintes aspectos: o fato de serem derivados de fontes botânicas naturais, o desempenho de excelentes propriedades funcionais, incluindo a baixa capacidade de retenção de água, cor branca, sabor brando e tamanho de partícula pequena – baixa interferência na textura, ambos fazem do AR um ingrediente com potencial promissor a ser incorporado em uma série de produtos alimentícios com melhor aceitabilidade e maior palatabilidade do que aquelas preparadas com fibras tradicionais (MA; BOYE, 2018).

### **3.2 Modificação do amido por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU)**

As propriedades físicas e químicas dos amidos nativos normalmente não estão adequadas para alguns tipos de processamento. A intenção de modificar o amido é alcançar propriedades funcionais não encontradas na forma nativa e ampliar o uso em indústrias de alimentos, papel e têxtil. Os amidos são frequentemente modificados por processos físicos, químicos e enzimáticos para promover propriedades funcionais específicas. A modificação física do amido por umidade, calor, cisalhamento ou radiação vem conquistando uma aceitação mais ampla, porque não deixa resíduos de reagentes químicos no amido modificado (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

O tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) é uma modificação física que altera as propriedades físico-químicas do amido sem destruir sua estrutura granular (JACOBS; DELCOUR, 1998; ADEBOWALE et al., 2005; HORMDOK; NOOMHORM, 2007; MAACHE-REZZOUG et al., 2008). Este processo exige que a taxa de amido/umidade, a temperatura e o tempo de aquecimento sejam controlados (CHUNG; LIU; HOOVER, 2009). O TTBU é realizado com um conteúdo de umidade restrito de 10 a 30%, e temperaturas mais altas que a temperatura de gelatinização, entre 90 a 120 °C (MAACHE-REZZOUG et al., 2008).

Os amidos tratados com TTBU têm aplicações importantes na indústria de alimentos, principalmente devido à sua melhor estabilidade térmica e à menor extensão da retrogradação (ADEBOWALE et al., 2005). A diminuição do inchaço granular e da lixiviação de amilose, o aumento da estabilidade ao calor e ao cisalhamento resultantes da TTBU também são propriedades desejáveis (HORMDOK; NOOMHORM, 2007). Além disso, este tratamento tem sido utilizado para melhorar os níveis de amido resistente, mantendo a estrutura dos grânulos (BRUMOVSKY; THOMPSON, 2001). Essas propriedades tornam os amidos modificados com tratamento hidrotérmico adequados para utilização na indústria de alimentos.

Hormdok e Noomhorm (2007) observaram redução no intumescimento do amido de arroz com TTBU. Essa redução no poder de intumescimento também foi atribuída ao aumento da cristalinidade, redução da solubilidade, aumento da interação entre moléculas de amilose e amilopectina, a formação de complexos amilose-lipídios (WADUGE et al., 2006) e mudanças nos arranjos das regiões cristalinas do amido (HOOVER; VASANTHAN, 1994).

A solubilidade do amido ocorre devido a lixiviação da amilose, que se dissocia e se difunde dos grânulos durante o intumescimento. Essa lixiviação representa uma transição da ordem para a desordem nos grânulos de amido que ocorre quando o amido é aquecido com água (TESTER; MORRISON, 1990). Hormdok e Noomhorm (2007) não observaram diferença significativa na solubilidade do arroz tratado hidrotérmicamente e do amido de arroz nativo, observaram também um aumento na dureza do gel de amido de arroz. Khunae, Tran e Sirivongpaisal (2007) relataram que o TTBU não alterou o tamanho ou a forma dos grânulos de amido de arroz.

No estudo de Chang et al. (2014) com amido de milho e ácido láurico mostrou-se que o TTBU retardou a gelatinização. Neste estudo o teor de umidade ideal para a

formação do complexo amilose-lipídio foi de 40% e a adição do ácido graxo antes do aquecimento favoreceu a formação de amido de digestão lenta.

Em um estudo sobre propriedades físico-químicas e digestibilidade *in vitro* de arroz após parboilização associada com TTBU, Cheng, Chen e Yeh (2019) mostraram que esses dois tratamentos induziram a formação do complexo amilose-lipídio, aumentando a concentração de amido de digestão lenta e do amido resistente.

### 3.3 Complexo amido–lipídio

A formação de complexos amido-lipídios ocorre naturalmente nos alimentos e pode se dar a partir do aquecimento e resfriamento – gelatinização – no processamento de alimentos (CHAO et al., 2018). Vários fatores podem afetar nessa complexação, como a razão amilose/amilopectina do amido usado, o grau de polimerização da amilose, tipo e comprimento da cadeia do lipídio, grau de insaturação e estrutura química do lipídio influenciam a formação de complexos de inclusão (WANG et al., 2017; ZHENG et al., 2018). Os lipídios mais facilmente encontrados inseridos nas hélices da amilose são os ácidos graxos insaturados, monoglicerídios e lisofosfolípidios (KARKALAS et al., 1995). Cada ácido graxo apresenta uma faixa de concentração ideal para formarem complexos com amido, que varia de acordo com as propriedades de cada lipídios. Acima de uma certa concentração, há uma tendência maior de os lipídios se auto associarem, em vez de formarem complexos com amilose (ELIASSON; WAHLGREN, 2004; ARIJAJE; WANG, 2016). Tang e Copeland (2007) analisaram a complexação entre vários ácidos graxos com amido de trigo, observou-se que em uma amostra de 2,5 g de amido a quantidade de lipídio para a formação máxima do complexo amido-lipídio foi de > 60 mg de ácido caprílico, > 27 mg de ácido láurico, 18 a 27 mg de ácido mirístico, 14 a 23 mg de ácido palmítico, 9 a 14 mg de ácido esteárico, 14 a 18 mg de ácido oleico e 18 a 23 mg de ácido linoleico.

O complexo amido-lipídio é formado principalmente entre amilose e lipídios. O complexo amilose-lipídio é resistente à hidrólise enzimática devido à sua conformação helicoidal e estrutura cristalina, resultante da interação hidrofóbica entre amilose e ácidos graxos. Apenas uma pequena porção de amilopectina pode formar um

complexo com lipídios, devido ao seu impedimento estérico e ao seu comprimento curto da cadeia ramificada (CHANG et al., 2014).

A temperatura possui um papel muito importante na complexação, com o aumento do calor a mobilidade das cadeias de amido aumentam também, facilitando um maior contato entre o amido e o lipídio (WANG et al., 2020). As condições de temperatura e tempo controladas podem formar dois tipos de complexos diferentes. O complexo amido-lipídio tipo I é formado com baixa temperatura ( $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) após nucleação rápida e temperatura de dissociação inferior a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , possui uma estrutura parcialmente ordenada e nenhuma região cristalina distinta. O tipo II tem uma temperatura de dissociação mais alta ( $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), é formado a uma temperatura alta de complexação ( $> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por meio de nucleação lenta, com estrutura semicristalina distinta (GARCIA et al., 2016).

O pH do meio também influencia muito para ocorrer a formação dos complexos, que são mais facilmente formados como precipitados insolúveis em meio aquoso a pH neutro (WANG et al., 2020). Se o amido é aquecido com excesso de água, os grânulos de amido absorvem a água e incham, são transformados em pasta em um processo conhecido como gelatinização (WANG; COPELAND, 2013). Os complexos amido-lipídio formam um filme insolúvel na superfície dos grânulos de amido, que retarda a absorção de água nos grânulos de amido e aumenta a temperatura de gelatinização (OBIRO et al., 2012; PUTSEYS et al., 2010).

A adição de lipídio para a formação do complexo pode retardar a retrogradação do amido, uma explicação para esse fenômeno é a diminuição da solubilidade quando o complexo é formado, conseqüentemente diminuindo a lixiviação da amilose durante o aquecimento, reduzindo a retrogradação (BECKER et al., 2001).

O uso da farinha de arroz e diferentes fontes de ácido graxo (ácido palmítico, mirístico e esteárico) na formação do complexo amilose-lipídio também foi estudado anteriormente (KAUR; SINGH, 2000). De acordo com suas descobertas, o ácido mirístico tinha a maior capacidade de formar o complexo, enquanto o ácido esteárico tinha o menor. Foi relatado que o aumento do nível de ácido graxo usado e cozimento, também aumentou a extensão do complexo amilose-lipídio (KAUR; SINGH, 2000).

Os complexos formados com maior grau de polimerização da amilose ou com amido com maior teor de amilose, apresentam maior estabilidade (GELDERS et al., 2005; ZHANG et al., 2012). A resistência à digestibilidade enzimática aumenta à medida que a quantidade de lipídios adicionados aumenta (KAWAI et al., 2012;



AHMADI-ABHARI, et al. 2013). No entanto, não está claro se os complexos amido-lipídio afetam apenas a digestibilidade das cadeias de amilose complexadas, conforme sugerido por Ahmadi-Abhari et al. (2013), ou a taxa geral de digestão do amido.

Segundo Kugimiya et al. (1980), a formação do complexo ocorre imediatamente após a gelatinização, em um processo exotérmico. Antes da gelatinização o amido possui capacidade limitada de ligação aos lipídios. À medida que o amido é disperso, a amilose fica disponível para complexação. A amilose atua tanto como um inibidor do intumescimento, principalmente na presença de lipídios. Isso pode formar complexos insolúveis com parte da amilose durante o intumescimento e a gelatinização (CHEN et al., 2015).

A formação de complexos amido-lipídio afeta a propriedade de pasta, estrutura do gel, retrogradação e digestibilidade do amido. A formação de complexos, durante o processamento, pode alterar significativamente as funcionalidades do amido de maneira a influenciar a qualidade e as propriedades nutricionais dos produtos. O complexo amilose-lipídio possui potencial muito interessante para uso em pães, substituição parcial de gorduras em preparações, estabilizantes alimentares, controle da glicemia pós-prandial e da resposta insulínica (HASJIM et al., 2010; PANYOO; EMMAMBUX, 2017).

Em um estudo com amido de lentilha marrom e óleo de girassol hidrogenado, a formação de AR5 foi promissora para aplicações em produtos alimentícios, aumentando o teor de amido resistente nas formulações. Particularmente, esses complexos podem ser usados como alternativas nas formulações alimentares especialmente para consumidores que exigem respostas mais baixas de insulina (OKUMUS et al., 2018).

Na Figura 2 é apresentada uma representação esquemática de um complexo de amido com lipídio.

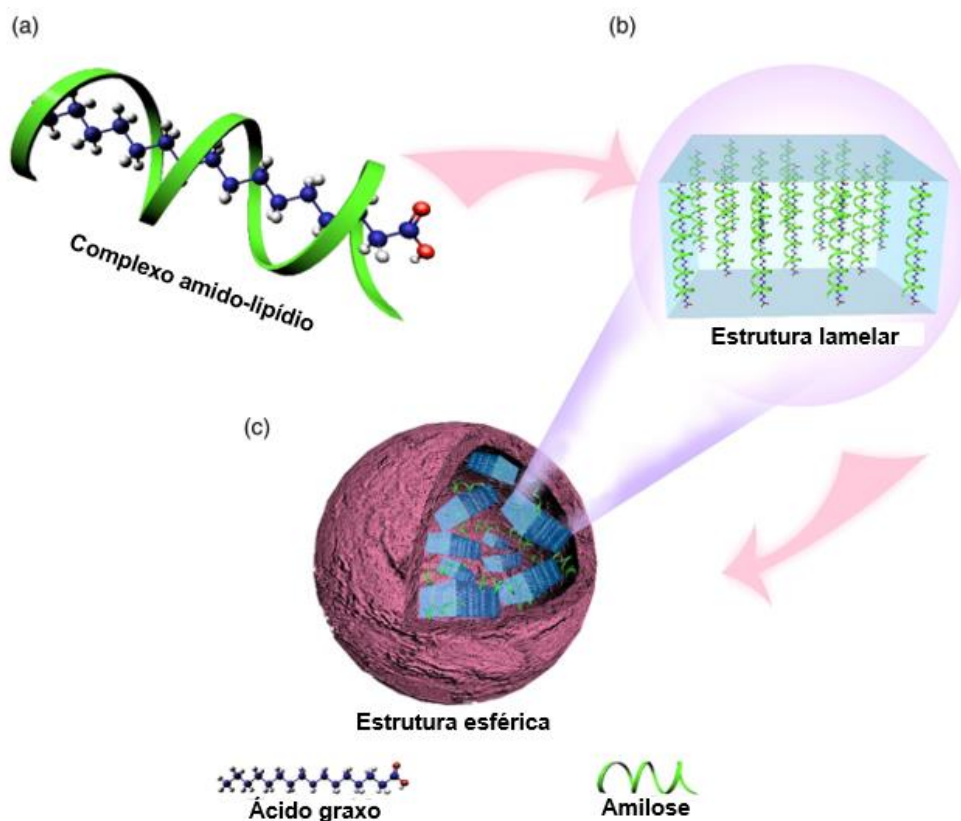


Figura 2 – Diferentes perspectivas do complexo amido-lipídio em dimensão molecular à micro dimensional: nível molecular (a), nível nano (b) e nível micro (c). Fonte: adaptado de Wang et al. (2020).

Foi revelado que a ingestão de pão com AR5 com ácido palmítico resultou em respostas pós-prandial substancialmente com valores séricos menores de glicose e insulina em indivíduos humanos em comparação com a ingestão de pão de controle feito com farinha de trigo. O consumo de AR5 indica a redução da resposta glicêmica pós-prandial, e relata-se ter potencial para intervenção de síndromes metabólicas como diabetes tipo 2, obesidade, hipertensão e doenças cardíacas (HASJIM et al., 2010).

### 3.4 Abacate

Em 2018, no Brasil, a produção agrícola destinou apenas 14.356 hectares para a produção de abacate, tendo produzido mais de 235 mil toneladas dessa fruta (IBGE, 2019), com rendimento médio de 16,45 kg por hectare, totalizando um rendimento de 318 mil reais. As principais regiões que produzem o abacate atualmente são o Estado de São Paulo, acompanhado por Minas Gerais e Paraná. O abacate é o 24º produto

mais comercializado na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP). As principais variedades comercializadas pela CEAGESP são a Breda, Fortuna, Fucks, Fuerte, Geada, Hass, Margarida e Quintal (CEAGESP, 2019), entretanto existem outras variedades como Bacon, Gwen, Ettinger, Pinkerton, Reed.

A Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS) registrou que no ano de 2019 a exportação de abacate teve um crescimento considerável no volume exportado, totalizando mais de 10 mil toneladas (ABRAFRUTAS, 2020). Entretanto, a maior parte da produção do abacate é comercializada internamente no país. Constitui-se numa fruta versátil que pode ser utilizada *in natura* ou para extração de óleo, largamente empregado na indústria farmacêutica e cosmética (DUARTE et al., 2016a).

O abacate é conhecido por seu alto valor nutricional e benefícios para a saúde, que são essencialmente devido à fonte de lipídios e fitoquímicos (SOUZA et al., 2017). A polpa de abacate contém maiores quantidades de fibras insolúveis e solúveis (70 e 30%, respectivamente) e proteínas do que muitas outras frutas (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015). A composição nutricional da polpa de abacate tem um teor de umidade variando de 67 a 78%, teor lipídico variando de 12 a 24%, teor de carboidratos variando de 0,8 a 4,8%, teor de proteína variando de 1,0 a 3,0%, teor de cinzas variando de 0,8 a 1,5%, teor de fibras variando de 1,4 a 3,0%, e energia entre 140 e 228 kcal por abacate (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015; DUARTE et al., 2016a). A composição do abacate ou qualquer outra fruta depende da variedade, grau de amadurecimento, clima, composição do solo e fertilizantes (RAMADAN, 2019).

As cascas e polpas de muitas frutas, incluindo o abacate, contêm uma grande quantidade de antioxidantes que são responsáveis pelo sistema de defesa vegetal, contra diferentes tipos de estresse, como temperatura e luz. Melgar et al. (2018) analisaram os subprodutos do abacate e na casca apresentou os melhores resultados, compostos fenólicos (227,9 mg/g de extrato para teor fenólico total), atividade antioxidante ( $CE_{50}$  variando de 11,7 a 152  $\mu\text{g/mL}$ ), e um melhor desempenho geral nos ensaios antibacterianos.

Vários estudos *in vitro* e *in vivo* demonstraram os benefícios para a saúde de uma dieta balanceada com a ingestão de abacate, principalmente na redução do colesterol e na prevenção de doenças cardiovasculares e cânceres (BOUIC, 2002; KRINSKY; JOHNSON, 2005; DUARTE et al., 2016b).

### 3.4.1 Óleo de abacate

O óleo de abacate possui uma composição química muito semelhante ao azeite de oliva quando comparados os dois perfis de ácidos graxos, mas apresenta níveis mais altos de vitamina E,  $\beta$ -sitosterol, carotenoides, clorofila e outros componentes da fração insaponificável com atividade biológica (FORERO-DORIA et al., 2017).

A composição e a qualidade do óleo de abacate dependem da origem, condições climáticas, variedade e métodos de extração. Ainda não há parâmetros definidos internacionalmente para o óleo de abacate, os valores mais usados são os recomendados para o azeite de oliva (KRUMREICH et al., 2018). O padrão de qualidade do azeite está disponível no *Codex Alimentarius* (2015) e no *International Olive Council* (COI).

O óleo de abacate caracteriza-se como um óleo principalmente monoinsaturado, com uma proporção adequada de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), semelhante ao azeite de oliva. Além disso, contém outros compostos bioativos, presentes na fração insaponificável, como tocoferóis, polifenóis e uma proporção notável de fitoesteróis, carotenoides, álcoois alifáticos, álcoois terpênicos, tocoferóis e esqualeno (DOS SANTOS et al., 2014; FLORES et al., 2019; RAMADAN, 2019). Também foi demonstrado que este óleo tem bom desempenho em altas temperaturas, a sua estabilidade térmica é próxima a 176 °C (FORERO-DORIA et al., 2017).

Em comparação com o azeite de oliva, o óleo de abacate possui maior proporção de ácidos graxos saturados (16,4%), com predominância de ácido palmítico (15,7%), menor proporção de ácidos graxos monoinsaturados (67,8%), com predominância de ácido oleico 60,3% e uma proporção maior de ácidos graxos poli-insaturados (15,2%), sendo o mais importante o ácido linoleico em 13,7%. E, o óleo de abacate tem uma razão PUFA/ácidos graxos saturados e  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 mais alta que o azeite (FLORES et al., 2019). A alta concentração de componentes na fração insaponificável (principalmente de fitoesteróis e policosanóis), é associada a redução do colesterol e das lipoproteínas de baixa densidade (LDL-C) no sangue (PLAZA et al., 2009).

Além disso, devido à alta concentração de ácido oleico presente no óleo de abacate, há uma maior incorporação de ácidos graxos poli-insaturados  $\omega$ -3 nas membranas celulares, o que diminui a possibilidade de oxidação do LDL-C,

produzindo efeitos benéficos à saúde, como a redução de doenças cardiovasculares (ORTIZ-AVILA et al., 2015).

Testes revelaram que uma dieta rica em abacate causa um declínio no colesterol sérico total de 16% em indivíduos saudáveis. Em indivíduos hipercolesterolêmicos, foi observada uma diminuição no colesterol sérico de 17%, colesterol LDL de 22% e triacilgliceróis de 22%, enquanto o colesterol HDL aumentou 11% (COWAN; WOLSTENHOLME, 2015).

Os compostos bioativos presentes no abacate foram relatados inibindo a peroxidação lipídica, com ação antiproliferativa, antilipidêmica entre outros. Os mecanismos de ação para esses efeitos estão relacionados ao seu efeito antioxidante, e também podem modular a expressão gênica, regular a atividade proteica, inibir a atividade enzimática, regular o ciclo celular, regular o perfil lipídico sérico, induzir à saciedade, entre outros. Algumas aplicações práticas dos compostos bioativos extraídos do abacate e seus subprodutos, como preservação de alimentos, espessamento, melhoria da qualidade de produtos cárneos, como matéria-prima para filmes termoplásticos e diversos outros, têm sido propostas e parcialmente desenvolvidas (SALAZAR-LÓPEZ et al., 2020).

O consumo de abacate exerce um efeito benéfico na prevenção de doenças cardiovasculares, que podem ser atribuídos ao seu teor de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), especialmente ácido graxo oleico (SILVA CALDAS et al., 2017). Em estudo com ratos Wistar, Del Toro-Equihua et al. (2016) observaram que a adição de 5 a 30% de óleo de abacate reduziu o ganho de peso corporal, induzido por uma dieta rica em sacarose, e que a tolerância à glicose e a resistência à insulina também podem ser reduzidas, neste caso pela adição à dieta de 5 a 20% de óleo de abacate.

Todas essas características indicam que o óleo de abacate possui propriedades nutricionais muito interessantes, motivando pesquisas para diversificar suas aplicações tecnológicas e ampliando o interesse em sua exploração comercial (FLORES et al., 2019).

## **4 Materiais e Métodos**

### **4.1 Materiais**

Para a realização do presente estudo serão utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) pertencente a cultivar BRS Pampeira, cedidos gentilmente pela Embrapa Clima Temperado - Estação Experimental Terras Baixas, localizada no município de Capão do Leão, RS. O arroz em casca será da safra 2017/18, armazenado a 16 °C em sacaria de polipropileno com teor de umidade de 13%. As amostras de óleo de abacate, da variedade Breda, extraídos por centrifugação da polpa, foram doadas por um produtor de São Sebastião do Paraíso/MG. Os reagentes utilizados para as análises serão de grau de pureza analítica.

### **4.2 Métodos**

#### **4.2.1 Extração do amido de arroz**

A extração de amido será realizada com adaptações segundo o método descrito por Wang; Wang (2004), com algumas modificações. A farinha de arroz será adicionada de solução de NaOH 0,18% na proporção de 1:2 (m/v) e deixada em repouso durante 18 horas sob refrigeração (4 °C ± 2). Após, a dispersão será homogeneizada utilizando liquidificador (Modelo Phillips Walita®) durante 2 minutos. O material resultante será passado por peneira de 75 µm e centrifugado (K14-4000, Kasvi®, Brasil) a 1200xg durante 5 minutos à temperatura ambiente (25 °C ± 2). O sobrenadante será descartado e o precipitado será ressuspenso em solução de NaOH 0,18%, sendo centrifugado novamente, em operação realizada por duas vezes. O amido extraído será disperso com água destilada e neutralizado com HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até pH 6,5, sendo na sequência centrifugado. O material sedimentado será ressuspenso em água destilada e centrifugado, em operação repetida por duas vezes. O amido resultante será seco em estufa com circulação de ar até umidade de 10%.

#### 4.2.2 Rendimento de extração do amido de arroz

O rendimento da extração de amido será calculado com base na quantidade inicial de farinha de arroz e na quantidade de amido extraído Horndok & Noomhorm (2007), de acordo com a Equação 1:

$$\text{Rendimento \%} = \frac{\text{amido extraído (g)} \times 100}{\text{farinha de arroz (g)}} \quad (1)$$

#### 4.2.3 Delineamento experimental

Na Tabela 1 está apresentado o delineamento experimental para a modificação de amido por TTBU. O delineamento é composto por 10 tratamentos, proveniente de três tempos de modificação e três teores de umidade, mais o amido nativo.

**Tabela 1** – Delineamento experimental para a modificação de amido por tratamento térmico de baixa umidade.

Tratamento	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Tempo (min.)	Teor de umidade (%)	
1		Nativo	Cristalinidade relativa
2	3	25	Morfologia
3	6	30	Propriedades térmicas
4	9	35	Propriedades viscoamilográficas
5			Poder de inchamento e solubilidade
6			Capacidade de absorção de água
7			Capacidade de absorção de óleo
8			Transmitância de UV
9			Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido
10			Índice glicêmico estimado

Na Tabela 2 está apresentado o delineamento experimental utilizado para a elaboração dos complexos de inclusão de amido e óleo de abacate. O delineamento consta quatro tratamentos, de três concentrações de óleo de abacate, mais o amido nativo que será utilizado como comparativo.

**Tabela 2** – Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos complexos de inclusão de amido e óleo de abacate.

<b>Tratamento</b>	<b>Variável independente</b>	<b>Variáveis dependentes</b>
	Teor de óleo de abacate (%)	
1	Nativo	Cristalinidade relativa
2	0	Morfologia
3	2	Espectroscopia de infravermelho
4	4	Propriedades térmicas
5	8	Propriedades viscoamilográficas
		Poder de inchamento e solubilidade
		Capacidade de absorção de água
		Capacidade de absorção de óleo
		Transmitância no UV
		Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido
		Índice glicêmico estimado
		Compostos fenólicos
		Capacidade antioxidante – ABTS

Na Tabela 3 está apresentado o delineamento experimental utilizado para a elaboração dos bolos com a adição de amido modificado por TTBU e complexos de inclusão utilizando óleo de abacate. O delineamento consta de três tratamentos, provenientes das melhores condições obtidas na modificação do amido com TTBU (Tabela 4) e das melhores condições de tratamento obtidas na elaboração do complexo de inclusão (Tabela 5). Além disso, será utilizado o amido de arroz nativo como comparativo.

**Tabela 3** – Delineamento experimental utilizado para a elaboração dos bolos com a adição de amido modificado por TTBU e complexos de inclusão utilizando óleo de abacate.

<b>Tratamento</b>	<b>Variável independente</b>	<b>Variáveis dependentes</b>
1	Nativo	Volume específico
2	Melhor condição de modificação por TTBU	Propriedades internas
		Textura
3	Melhor condição de formação de complexo de inclusão	Cor da crosta e do miolo
		Teste de aceitabilidade e preferência sensorial



#### 4.2.4 Caracterização do amido nativo

No amido nativo serão executadas todas as análises citadas para o amido modificado por TTBU e serão realizadas as determinações de umidade, lipídios, proteínas, cinzas, fibras e carboidratos, segundo os procedimentos descritos pela AOAC (2005), além do teor de amilose.

##### 4.2.4.1 Composição centesimal

O teor de umidade será determinado pelo método nº 44-15A, da AACC (1995), utilizando estufa a 105 °C por 24 horas até peso constante, os resultados serão expressos em g.100 g<sup>-1</sup>. O teor de lipídios será determinado pelo método nº 30-20, da AACC (1995), em extrator Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente, os resultados serão expressos em porcentagem. O teor de nitrogênio total será determinado pelo método de Kjeldahl nº 46-13, da AACC (1995), sendo o teor de proteína bruta obtido pela multiplicação pelo fator 5,95. O teor de cinzas será determinado pelo método nº 08-01, da AACC (1995), através da queima da amostra em mufla a 600 °C até peso constante, sendo os resultados expressos em porcentagem. A determinação de fibra alimentar total será realizada de acordo com método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e os resultados serão expressos em porcentagem. As análises serão realizadas em triplicatas e os valores expressos como valor médio das determinações. O conteúdo total de carboidratos será determinado através do cálculo de diferença entre as análises anteriores, conforme a Equação 2:

$$100 - [\textit{umidade \%} + \textit{proteína \%} + \textit{gordura \%} + \textit{fibras \%} + \textit{cinzas \%}] \quad (2)$$

##### 4.2.4.2 Teor de amilose

O teor de amilose será determinado por método colorimétrico com iodo, conforme método de McGrance; Cornell; Rix (1998). Aproximadamente 20 mg de amido desengordurado, juntamente com 8 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) a 90%,

serão homogeneizados durante 20 minutos em agitador magnético e, posteriormente, aquecido em banho-maria a 85 °C por 15 minutos. Após arrefecimento, o conteúdo será transferido para balão volumétrico de 25 mL. Uma alíquota de 1 mL da solução será adicionada de 5 mL de solução de I<sub>2</sub>/KI (0,0025 mol.L<sup>-1</sup> de I<sub>2</sub> e 0,0065 mol.L<sup>-1</sup> de KI) e o volume aferido para 50 mL. A solução resultante será homogeneizada e mantida em repouso por 15 minutos, posteriormente será realizada a leitura em espectrofotômetro UV/VIS *Jenway 6705* a 600 nm. Para a curva de calibração serão utilizados 20 mg de amilose de batata pura (padrão comercial), submetida ao mesmo processo descrito, sendo retiradas alíquotas de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL para a determinação da absorvância. Os resultados serão expressos em % de amilose.

#### **4.2.5 Modificação do amido de arroz por TTBU**

A modificação do amido por TTBU será realizada segundo o método descrito por Horndok & Noomhorm (2007) com modificações. O amido de arroz será condicionado a 25%, 30% e 35% de umidade para posterior tratamento térmico. Será adicionada a quantidade de água necessária para atingir a umidade desejada, procedida a homogeneização por 5 minutos. Após, a amostra permanecerá em repouso a 4 °C por 24 horas. O amido será acondicionado em frascos de vidro e aquecido a 120 °C no micro-ondas (*Discover Proteomics, CEM Corporation, EUA*) por 3, 6 e 9 minutos. As amostras tratadas serão secas em estufa a 40 °C e então moídas.

#### **4.2.5 Determinações efetuadas no amido nativo e amido modificado por TTBU**

##### **4.2.5.1 Cristalinidade relativa**

A determinação da cristalinidade relativa (CR), será realizada pela técnica de difração de raios-X. Os padrões de difração de raios-X serão obtidos com um difractômetro XRD-6000 (Shimadzu®, Brasil). A CR dos grânulos de amido será quantitativamente estimada de acordo com método proposto por Rabek (1980), a partir da Equação 3:

$$CR(\%) = \frac{Ac \times 100}{Ac + Aa} \quad (3)$$

Em que:

CR: cristalinidade relativa;

Ac: área da região cristalina;

Aa: área da região amorfa.

#### 4.2.5.2 Morfologia dos grânulos

A morfologia dos grânulos de amido será verificada pelo microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu®, SSX-550). As amostras de amido serão inicialmente homogeneizadas em acetona para se obter uma suspensão 1% (m/v), sendo mantidas em banho ultrassônico durante 15 minutos. Uma pequena quantidade de cada amostra será espalhada diretamente sobre a porta amostra (*stub*), que será seco em estufa a 32 °C durante 1 hora. Subsequentemente, todas as amostras serão metalizadas com ouro até que toda a superfície esteja revestida e, examinadas por MEV sob uma voltagem de aceleração de 15 kV e uma magnitude de 5000 vezes.

#### 4.2.5.3 Propriedades térmicas (DSC)

As propriedades térmicas serão analisadas utilizando-se um calorímetro exploratório diferencial (DSC) (DSC-60, *Differential Scanning Calorimeter*, Shimadzu®, Japão). Serão pesados aproximadamente 2,5 mg de amido em células herméticas de alumínio e adicionado água destilada na proporção de 1:3, (m/m). Após, as células serão seladas e deixadas em repouso à temperatura ambiente por 24 hora para entumescimento dos grânulos de amido. Em seguida, a análise será realizada em uma faixa de temperatura de 30 °C – 150 °C com taxa de aquecimento de 10 °C.min., sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL.min. Serão determinadas a temperatura inicial “*onset*” (T<sub>po</sub>), temperatura de pico (T<sub>p</sub>), variação da temperatura (ΔT) e variação de entalpia (ΔH) dos amidos e do óleo de abacate.

#### 4.2.5.4 Análise termogravimétrica (TGA)

A estabilidade térmica do amido será analisada por análise termogravimétrica (TGA) (DTG model 2010, TA Instruments®, New Castle, USA). Os testes serão realizados numa faixa de 25 a 600 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> sob atmosfera de nitrogênio (10 mL.min<sup>-1</sup>).

#### 4.2.5.5 Propriedades viscoamilográficas (RVA)

As propriedades viscoamilográficas dos amidos serão avaliadas por RVA - *Rapid Visco Analyser* (modelo RVA-4, Newport Scientific®, Austrália), por meio do perfil *Standard Analysis 1*, utilizando 3,0 g de amostra corrigida para 14% de umidade. As amostras serão aquecidas a 50 °C em 1 minuto e, posteriormente, a 95 °C em 3,5 minutos, sendo mantidas a 95 °C durante 2,5 minutos. A seguir, serão resfriadas para 50 °C em 3,8 minutos e mantidas a 50 °C por 2 minutos. A velocidade de rotação será mantida em 960 rpm durante 10 segundos e então mantida a 160 rpm durante o restante do processo. Serão avaliadas a temperatura de início de formação de pasta, a viscosidade máxima, a viscosidade mínima, a quebra da viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação.

#### 4.2.5.6 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos serão determinados na temperatura de 90 °C, conforme método descrito por Leach et al. (1959). A determinação envolve a suspensão em tubos de centrífuga de 1 g de amido em 50 mL de água aquecida. Após 30 minutos de aquecimento em banho-maria, os tubos serão resfriados à temperatura ambiente e centrifugados (K14-4000, Kasvi, Brasil) a 1000 g por 20 minutos. O sobrenadante será coletado e seco em estufa (105 °C) até peso constante para a quantificação da fração solúvel. Os tubos, previamente tarados, contendo os grânulos de amido intumescidos, serão pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade será calculada pela relação da massa solúvel e a massa

inicial de amido, expressa em porcentagem, enquanto o poder de inchamento será obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de amido, sendo descontada a quantidade de amido solúvel.

#### 4.2.5.7 Capacidade de absorção de água

Em tubos Falcon de 15 mL será pesado 0,2 g de amostra, adicionados 5 mL de água destilada e realizada a homogeneização em vortex durante 1 minuto. A mistura ficará em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e na sequência será centrifugada por 15 minutos à 1200xg. O sobrenadante será retirado e pesado o conjunto tubo de Falcon e amostra.

A capacidade de absorção de água (CAA) será calculada através da Equação 4:

$$CAA (\%) = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra seca (g)}} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.2.5.8 Capacidade de absorção de óleo

Serão usados tubos Falcon de 15 mL em que se pesará 0,2 g de amostra finamente moída. Serão adicionados 3 g de óleo de abacate e se procederá a homogeneização em vortex durante 1 minuto. A mistura permanecerá em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e após será centrifugada (K14-4000, Kasvi, Brasil) por 20 minutos à 1200 g. O sedimento deverá decantar e ser drenado por 20 minutos em um ângulo de 45°. O sedimento no tubo da centrífuga, após separação do sobrenadante, deve ser pesado em balança analítica.

A capacidade de absorção de óleo (CAO) será calculada através da Equação 5:

$$CAO (\%) = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra seca (g)}} \times 100 \quad (5)$$

#### 4.2.5.9 Transmittância no UV-Vis

A opacidade dos géis de amido será medida conforme método proposto por Craig et al. (1989). Suspensões de amido a 1% (p/v) serão aquecidas em banho-maria a 90 °C por 1 hora com agitação constante. A suspensão será arrefecida durante 1 hora a 30 °C. As amostras serão armazenadas durante 7 dias a 4 °C e a transmittância será determinada diariamente medindo a absorvância a 640 nm, utilizando espectrofotômetro (Jenway 6705 UV/VIS), utilizando água destilada como branco.

#### 4.2.5.10 Digestibilidade *in vitro*

A digestão *in vitro* será simulada de acordo com método proposto por Dartois et al. (2010), utilizando modelo simulado de digestão de duas fases, em condições gástricas e do intestino delgado. Serão adicionados 170 g de gel de amido de arroz (4 g de amido para cada 100 mL de água) a um reator de vidro encamisado (500 mL de capacidade), com agitação mecânica de 300 rpm. O reator encamisado será ligado a um banho de circulação de água para manter a temperatura a 37 °C ± 1. Os géis de amidos de arroz serão digeridos por 30 minutos em fluido gástrico simulado (SGF), contendo pepsina, pH 1,2. Para realizar o segundo passo de digestão, o fluido intestinal simulado (SIF), contendo pancreatina, amiloglicosidase e invertase, será adicionado à mistura de reação, para simular a digestão no intestino delgado, sendo mantido durante 90 minutos em pH 6,8.

Alíquotas de 0,5 mL serão retiradas nos tempos 0, 15 e 30 minutos de digestão durante a fase gástrica e a 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60 e 90 minutos de digestão durante a fase intestinal, estas serão misturadas com etanol absoluto (3 mL) para paralisar a reação. As amostras serão incubadas com uma solução de amiloglicosidase/invertase, como descrito por Goñi; Garcia-Alonso; Saura-Calixto (1997), Dartois *et al.* (2010) e Bordoloi; Kaur; Singh (2012), antes de analisar o teor de glicose, utilizando o ensaio *D-glucose assay* (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Ireland). Os resultados serão expressos como percentagem de hidrólise do amido calculado por meio da Equação 6:

$$SH (\%) = \frac{Sh}{Si} = 0,9 \times \frac{Gp}{Si} \quad (6)$$

Em que:

SH (%): percentual de hidrólise do amido (total);

Sh: quantidade de amido hidrolisado (g);

Si: quantidade inicial de amido (g);

GP: quantidade de glicose produzida (g).

Será utilizado um fator de conversão (a partir do amido em glicose) de 0,9 o qual é calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular de glicose ( $162/180 = 0,9$ ) (GOÑI; GARCIA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997; DARTOIS *et al.*, 2010; BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012).

#### 4.2.5.11 Índice glicêmico estimado (IGe)

O índice glicêmico estimado será calculado de acordo com método proposto por Goñi *et al.* (1997), utilizando a cinética da hidrólise do amido, a curva de liberação da glicose obtida durante a análise de digestibilidade *in vitro*, e o índice de hidrólise, com as seguintes Equações (7, 8, 9, 10):

Cinética da hidrólise do amido:

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (7)$$

Em que:

C: concentração de amido hidrolisado no momento t;

$C_{\infty}$ : concentração de amido hidrolisado a 180 min., reconhecida como concentração de equilíbrio;

k: constante da reação,  $\text{min}^{-1}$ .

Curva de liberação da glicose (CLG):

$$CLG = C_{\infty}(t_f - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right) [1 - e^{-k(t_f - t_0)}] \quad (8)$$

Em que:

$t_f$ : tempo final da hidrólise;

$t_0$ : tempo inicial.

Índice de hidrólise (IH):

$$IH = \left( \frac{CLG_{simples}}{CLG_{p\tilde{a}o\ branco}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

Índice glicêmico estimado (IGe):

$$IGe = 39,71 + (0,549 IH) \quad (10)$$

#### 4.2.5.12 Perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho das amostras de amidos serão obtidos em espectrofotômetro com transformada de Fourier (IR Prestige-21; Shimadzu) na região de 4000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ . Serão preparadas pastilhas a partir da mistura das amostras com KBr em uma proporção de 1:100 (amostra:KBr). Serão registradas 100 leituras a uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Os gráficos serão preparados no programa *Origin Pro* 2018.

#### 4.2.5.13 Compostos fenólicos

Para determinação de compostos fenólicos serão pesados 5 g de amostra. A seguir, serão adicionados 50 mL de solução metanólica (70% metanol/30% água). A suspensão ficará 3 horas sob agitação a temperatura ambiente, e após será submetido a filtração em papel qualitativo.

A determinação dos compostos fenólicos totais seguirá o método proposto por Singleton et al. (1999) com algumas modificações. Alíquotas de 1 mL do extrato hidroalcolólico (70% metanol/30% água) serão adicionadas de 1 mL de solução Folin-Ciocalteu e, posteriormente, 8 mL de água destilada. Após 3 minutos de reação, 1 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1  $\text{mol.L}^{-1}$  será adicionado e a mistura incubada a 37 °C por 30 minutos. A absorvância da solução resultante será medida em espectrofotômetro a 750 nm



(Espectrofotômetro UV/VIS Jenway 6705). A quantificação será realizada utilizando a curva de calibração realizada com o ácido gálico, sendo os resultados expressos em mg EAG.100 g<sup>-1</sup> de amido.

#### 4.2.5.14 Atividade antioxidante por ABTS

Esta determinação será realizada segundo metodologia descrita por Re et al. (1999), para isso 0,0225 g de amostra será dissolvido em 10 mL de éter de petróleo. Desta mistura, será retirada uma alíquota de 1 mL e adicionados 3 mL de solução de ABTS, sendo homogeneizada vigorosamente em *vortex*. Após 6 minutos, na ausência de luz, serão realizadas as leituras em espectrofotômetro UV/Vis (Jenway 6705 UV/VIS), no comprimento de onda de 734 nm. Os resultados serão expressos em % de inibição, segundo a Equação 11:

$$\% \text{ de inibição} = \frac{\text{Abs.branco} - \text{Abs.amostra}}{\text{Abs.branco} \times 100} \quad (11)$$

Em que:

Abs: absorvância no UV/Vis

### 4.3 Desenvolvimento do produto alimentício

Serão elaborados bolos com o amido nativo, com o amido modificado por TTBU e com o complexo de inclusão de amido e óleo de abacate. Os amidos modificados serão escolhidos a partir das melhores características apontadas pelas análises.

Será utilizada uma formulação padrão para o preparo de bolo sem glúten, sendo os ingredientes: amido (55%), açúcar (32%), ovos (8%), goma xantana (2%), raspas de casca de limão (2%) e fermento químico em pó (1%). Os ingredientes serão batidos, colocados em uma forma untada e levados ao forno (200 °C/25 minutos) para assar.

Os bolos serão avaliados por determinações físicas (alveolação, textura, cor e volume específico) e sensoriais (textura, sabor, cor e preferência).

### 4.3.1 Análises físicas

#### 4.3.1.1 Alveolação

Características dos alvéolos serão medidas em imagem digitalizada em escâner, medindo a média dos alvéolos presentes em 1 cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.1.2 Textura

A textura do miolo será determinada através do analisador TA.XT plus utilizando método padrão da AACC (74-09), com um probe cilíndrico de 36 mm de diâmetro. Serão calculados a firmeza (N), adesividade (N s), elasticidade, coesividade, mastigabilidade (N) e resistência pelo gráfico TPA. Para a análise serão utilizadas três fatias centrais de 25 mm de espessura.

#### 4.3.1.3 Volume específico

O volume específico do produto final será determinado segundo método de deslocamento de sementes de painço (HSIEH et. al., 1991), expresso em cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>, sendo calculado de acordo com a Equação 12:

$$VE(cm^3/g) = \frac{V}{PP} \quad (12)$$

Em que:

VE: Volume específico, dado em cm<sup>3</sup>.g;

V: Volume obtido através de deslocamento de painço, medido em proveta, dado em mL e convertido para cm<sup>3</sup>;

PP: peso posterior ao forneamento.

#### 4.3.1.4 Cor

Para determinação de cor será utilizado um colorímetro MINOLTA CR 400, através do sistema de leitura CIELAB (*Comission Internatinal de E'clairage*), representado pelos seguintes parâmetros: coordenada  $L^*$  expressa o grau de luminosidade da cor medida ( $L^* = 100 =$  branco;  $L^* = 0 =$  preto), a coordenada  $a^*$  expressa o grau de variação entre o vermelho (+60) e o verde (-60) e a coordenada  $b^*$  expressa o grau de variação entre o azul (-60) e o amarelo (+60). Os valores  $a^*$  e  $b^*$  serão utilizados para calcular o Croma pela Equação 13:

$$C^* = [(a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}}] \quad (13)$$

#### 4.3.1.5 Análises sensoriais

A avaliação sensorial será conduzida no Laboratório de Análise Sensorial do CCQFA/UFPel, com a participação de 70 julgadores não treinados, de ambos os sexos, pertencentes à comunidade acadêmica da UFPel. Serão julgados os atributos cor, sabor e textura por meio de uma escala hedônica de 9 pontos, em que o valor 1 corresponderá a descrição “desgostei extremamente” e o valor 9 a “gostei extremamente” (GULARTE, 2009).

Cada julgador receberá uma ficha de avaliação e o termo de consentimento livre e esclarecido, juntamente das amostras apresentadas em recipientes descartáveis, de cor branca, codificados com três dígitos aleatórios.

Será solicitado também aos julgadores que expressassem sua preferência pelas amostras, ordenando-as da mais preferida (1) a menos preferida (3).

O índice de aceitabilidade (IA) será calculado através da Equação 14:

$$IA (\%) = \frac{A \times 100}{B} \quad (14)$$

Em que:

A: nota média obtida para o produto;

B: nota máxima dada ao produto.

Os resultados serão expressos em porcentagem de aceitação.

#### **4.4 Análise estatística**

Os resultados serão expressos em médias e desvio padrão, sendo a comparação entre as amostras realizada por meio de análise de variância, complementada por teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, com auxílio do programa *Statistica 7.1*.

## **5 Resultados e impactos esperados**

Espera-se que os resultados deste projeto possam gerar informações sobre os processos de modificação do amido de arroz, que resultem em propriedades especiais do produto, como a redução do índice glicêmico e a formação de amido resistente. Espera-se também que o tratamento térmico de baixa umidade e a formação de complexo de inclusão com óleo de abacate possam auxiliar nas propriedades nutricionais e tecnológicas do amido. Por fim, que as modificações favoreçam o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, com características relevantes para a saúde humana, incluindo aqueles isentos de glúten.

Também devem ser somados aos impactos científicos deste projeto:

- o desenvolvimento de uma dissertação;
- a atuação de dois bolsistas de iniciação científica nos temas do projeto;
- diversas comunicações em congressos nacionais e internacionais;
- pelo menos 2 artigos publicados em periódicos indexados da área;
- a extensão do tema para desenvolvimento de outros trabalhos.

## 6 Cronograma do projeto

As atividades previstas devem ser desenvolvidas ao longo de 24 meses, sendo desenvolvidas segundo o cronograma abaixo:

**Tabela 2** – Cronograma das atividades para o período de 24 meses.

Atividades	2019		2020					2021
	2ºS	J/F	M/A	M/J	J/A	S/O	N/D	1ºS
Revisão de literatura	X	X	X	X	X	X	X	X
Teste de metodologias		X	X	X				
Preparo das amostras			X	X				
Análises				X	X	X		
Preparo do bolo					X			
Análises do bolo					X	X		
Análise estatística dos resultados						X	X	X
Divulgação dos resultados							X	X
Redação da dissertação					X	X	X	X

## 7 Orçamento do projeto

Os materiais a serem utilizados para a execução do projeto estão listados e precificados na Tabela 7, valores respectivos ao ano de 2019 e 2020.

**Tabela 3** – Orçamento do projeto.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Carbonato de sódio	500 g	13,20
Ácido gálico	100 g	49,80
Éter de petróleo	3 L	122,10
ABTS	2 g	1.284,00
Reagente de Folin-Ciocalteu	500 mL	764,00
Amilose	250 mg	520,00
Pepsina	25 g	443,00
Pancreatina	25 g	344,00
Invertase	250 mg	401,00
Amiloglicosidase	50 mL	830,00
Dimetil sulfóxido (DMSO)	1 L	114,79
Iodo	100 g	180,00
Brometo de potássio	100 g	74,77
Ácido clorídrico	2 L	159,98
Ácido sulfúrico	2 L	186,00
Tampões de pH 4 e 7	2 Fr	84,00
Hexano	1L	45,00
Amido P.A.	500 g	16,00
Hidróxido de sódio	3 kg	63,00
Ácido clorídrico	2 L	56,50
Ácido sulfúrico	2 L	186,00
Sulfato de potássio	500 g	48,94
Sulfato de sódio	500 g	66,48
Ácido bórico	500 g	25,00
Sulfato de cobre pentahidratado	500 g	45,90
Vermelho de metila	50 g	80,08
Verde de bromocresol	25 g	307,94

Iodeto de potássio	100 g	169,00
Metanol	1 L	13,50
Ovos	3 Dz	17,00
Açúcar	3	10,00
Limão	1 kg	5,00
Goma Xantana	100 g	10,49
Fermento químico	200 g	8,00
Propriedades térmicas (DSC e TG)	18 amostras	540,00
FTIR	4 amostras	120,00
Difração de raios-X	14 amostras	300,00
Total do projeto		7.703,70



## **8 Outros projetos e financiamentos**

O projeto deverá contar com apoio do PROAP 2020, com recursos próprios, especialmente para aquisição dos materiais para a elaboração dos bolos.

## Referências bibliográficas do projeto

AACC, American Association Of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 9<sup>a</sup> ed. St Paul, MN, 1995.

AACC, American Association Of Cereal Chemists. Approved methods. 10<sup>a</sup> ed. Saint Paul, 2000. 1 CD-ROM.

ABRAFRUTAS, 2020. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2020/01/28/8825/>> Acesso em: 23 mar. 2020.

ADEBOWALE, K. O.; AFOLABI, T. A.; OLU-OWOLABI, B. I. Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 974–983, 2005.

AHMADI-ABHARI, S.; WOORTMAN, A. J. J.; OUDHUIS, A.; HAMER, R. J.; LOOS, K. The influence of amylose-LPC complex formation on the susceptibility of wheat starch to amylase. **Carbohydrate Polymers**, v. 97, n. 2, p. 436–440, 2013.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. Maryland: Gaithersburg, 18<sup>a</sup> ed., 2005.

ARIJAJE, E. O.; WANG, Y. J. Effects of enzymatic modifications and botanical source on starch-stearic acid complex formation. **Starch**, v. 68, n. 7-8, p. 700–708, 2016.

BAO, J.; BERGMAN, C. J. The functionality of rice starch. In.: ELIASSON, A.-C. Starch in food Structure, function and applications. **CRC Press**, p. 599, 2004.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Relevance of amylose-lipid complexes to the behaviour of thermally processed starches. **Starch**, v.53, n.3-4, p.121–130, 2001.

BHUYAN, D. J.; ALSHERBINY, M. A.; PERERA, S.; LOW, M.; BASU, A.; DEVI, O. A.; BAROOAH, M. S.; LI, C. G.; PAPOUTSIS, K. The odyssey of bioactive compounds in Avocado (*Persea Americana*) and their health benefits. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 1–53, 2019.

BIRT, D. F.; BOYLSTON, T.; HENDRICH, S.; JANE, J.-I.; HOLLIS, J.; LI, L.; MCCLELLAND, J.; MOORE, S.; PHILLIPS, G. J.; ROWLING, M.; SCHALINSKE, K.; SCOTT, M. P.; WHITLEY, E. M. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 6, p. 587–601, 2013.

BORDOLOI, A.; KAUR, L.; SINGH, J. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. **Food Chemistry**, v.133, n.4, p.1092–1100, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRUMOVSKY, J. O.; THOMPSON, D. B. Production of boiling-stable granular resistant starch by partial acid hydrolysis and hydrothermal treatments of high amylose maize starch. **Cereal Chemistry**, v. 78, p. 680–689, 2001.

CEAGESP, 2019. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/abacate-breda/>> Acesso em: 23 mar. 2020.

CEAGESP, 2019b. Disponível em: <[http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/?s=abacate&ps\\_pt=produtos&ps\\_tax=categoria-produtos](http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/?s=abacate&ps_pt=produtos&ps_tax=categoria-produtos)> Acesso em: 23 mar. 2020.

CHANG, F.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q.; JANE, J.-I. Effects of heat treatment and moisture contents on interactions between lauric acid and starch granules. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 31, p. 7862–7868, 2014.

CHAO, C.; CAI, J.; YU, J.; COPELAND, L.; WANG, S.; WANG, S. Toward a better understanding of starch–monoglyceride–protein interactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 50, p. 13253–13259, 2018.

CHAVES, M. A.; MENDONÇA, C. R. B.; BORGES, C. D.; PORCU, O. M. Elaboração de biscoito integral utilizando óleo e farinha da polpa de abacate. **Boletim do CEPPA**, v. 31, n. 2, p. 215-226, 2013.

CHEN, X.; HE, X.; FU, X.; ZHANG, B.; HUANG, Q. Complexation of rice starch/flour and maize oil through heat moisture treatment: Structural, in vitro digestion and physicochemical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 557–564, 2017.

CHEN, X.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q. *In vitro* digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 63, p. 109–115, 2015.

CHENG, K. C.; CHEN, S. H.; YEH, A. I. Physicochemical properties and in vitro digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 98–104, 2019.

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, p. 436–447, 2009.

CODEX ALIMENTARIUS. **International Food Standards**. Standard for olive oils and olive pomace oils (Codex Stan 33-1981), 2015.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

CONAB. A cultura do arroz. Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 1, 2015.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de Fennema. 4ª ed. Porto Alegre - RS: **Artmed**, 2010.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, n. 3, p. 149–160, 2010.

DING, H.; CHIN, Y. W.; KINGHORN, A. D.; D'AMBROSIO, S. M. Chemopreventive characteristics of avocado fruit. **Seminars in Cancer. Biology**, v. 17, p. 386-394, 2007.

DUARTE, P. F.; CHAVES, M. A.; BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B. Avocado: characteristics, health benefits and uses. **Ciência Rural**, v.46, n.4, p. 747-754, 2016.

ELIASSON, A. C.; WAHLGREN, M. Starch-lipid interactions and their relevance in food products. In A.-C. Eliasson (Ed.), **Starch in food: Structure, function and applications**. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 441–460, 2004.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 778–787, 1985.

ENGLYST, K. N.; VINOY, S.; ENGLYST, H. N.; LANG, V. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. **British Journal of Nutrition**, v. 89, n. 3, p. 329–339, 2003.

FLORES, M.; SARAIVA, C.; VERGARA, C. E.; AVILA, F.; VALDÉS, H.; ORTIZ-VIEDMA, J. Avocado oil: Characteristics, properties, and applications. **Molecules** MDPI AG, 2019.

FORERO-DORIA, O.; GARCÍA, M. F.; VERGARA, C. E.; GUZMAN, L. Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 130, n. 2, p. 959–966, 2017.

FRESCO, L. Rice is life. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 4, p. 249–253, 2005.

GAMBOCORTA, G.; FACCIA, M.; PREVITALI, M. A.; PATI, S.; LA NOTTE, E.; BAIANO, A. Effects of olive maturation and stoning on quality indices and antioxidant content of extra virgin oils (cv. *Coratina*) during storage. **Journal of food science**, v. 75, n. 3, p. 229-235, 2010.

GARCIA, M. C.; PEREIRA-DA-SILVA, M. A.; TABOGA, S.; FRANCO, C. M. L. Structural characterization of complexes prepared with glycerol monoestearate and maize starches with different amylose contents. **Carbohydrate Polymers**, v. 148, p. 371-379, 2016.

GELDERS, G. G.; GOESAERT, H.; DELCOUR, J. A. Potato phosphorylase catalyzed synthesis of amylose–lipid complexes. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 5, p. 2622–2629, 2005.

GODDARD, M. S.; YOUNG, G.; MARCUS, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 388-392, 1984.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n. 3, p. 427-437, 1997.

GOYON, A.; MESTRES, C. Le riz: bénéfices et risques pour la santé. **Cahiers de Nutrition et de Dietetique**, v. 52, n. 4, p. 202-209, 2017.

HOOVER, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 835-847, 2010.

HOOVER, R.; VASANTHAN, T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. **Journal of Food Biochemistry**, v. 17, p. 303-325, 1994.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 10, p. 1723-1731, 2007.

HSIEH, F.; HUFF, H. E.; LUE, E. Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. London, v. 24, n. 6, p. 495-500, 1991.

IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457#resultado>> Acesso em: 20 mar. 2020.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 2895-2905, 1998.

JENKINS, D. J.; KENDAL, C. W.; AUGUSTIN, S.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS, A. L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 76, n. 1, p. 266-273, 2002.

JULIANO, B. O. Rice in human nutrition. Roma: International Rice Research Institute, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1993.

KARKALAS, J.; MA, S.; MORRISON, W. R.; PETHRICK, R. A. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids. **Carbohydrate Research**, v. 268, n. 2, p. 233-247, 1995.

KAUR, K.; SINGH, N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. **Food Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 511-517, 2000.

KAWAI, K.; TAKATO, S.; SASAKI, T.; KAJIWARA, K. Complex formation, thermal properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch–fatty acid mixtures. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1, p. 228–234, 2012.

KHUNAE, P.; TRAN, T.; SIRIVONGPAISAL, P. Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. **Starch**, v. 59, p. 593–599, 2007.

KIM, H. I.; KIM, H. R.; CHOI, S. J.; PARK, C-S.; MOON, T. W. Preparation and characterization of the inclusion complexes between amylosucrase-treated waxy starch and palmitic acid. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 323–329, 2017.

KRUMREICH, F. D.; BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B.; JANSEN-ALVES, C.; ZAMBIAZI, R. C. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. **Food Chemistry**, v. 257, p. 376-381, 2018.

KUGIMIYA, B. M.; DONOVAN, J. W.; WONG, R. Y. Phase transitions of amylase lipid complexes in starches: a calorimetric study. **Starch**, v. 32, p. 265, 1980.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959.

LIMBERGER, V. M.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D.; BRUM, F. B.; EMANUELLI, T.; DA SILVA, L. P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na indústria de alimentos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2590–2594, 2009.

MAACHE-REZZOUG, Z.; ZARGUILI, I.; LOISEL, C.; QUEVEAU, D.; BULÉON, A. Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 802–812, 2008.

MCGRANE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A simple and rapide colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch**, v. 50, n. 158-163, 1998.

MILLER, J. B.; PANG, E.; BRAMALL, L. Rice: a high or low glycemic index food? **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 56, n. 6, p. 1034-1036, 1992.

MONTEDORO, G. F.; SERVILI, M.; BALDIOLI, M.; MINIATI, E. Simple and hydrolyzable phenolic compounds in virgin olive oil: 1. Their extraction, separation, and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 1571-1578, 1992.

MUTHAYYA, S.; SUGIMOTO, J. D.; MONTGOMERY, S. K.; MABERLY, G. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1324, n. 1, p. 7–14, 2014.

OBIRO, W. C.; RAY, S. S.; EMMAMBUX, M. N. V-amylose structural characteristics, methods of preparation, significance, and potential applications. **Food Reviews International**, v. 28, n. 4, p. 412–438, 2012.

ORTIZ-AVILA, O.; GALLEGOS-CORONA, M. A.; SÁNCHEZ-BRIONES, L. A.; CALDERÓN-CORTÉS, E.; MONTOYA-PÉREZ, R.; RODRIGUEZ-OROZCO, A. R.; CAMPOS-GARCÍA, J.; SAAVEDRA-MOLINA, A.; MEJÍA-ZEPEDA, R.; CORTÉS-ROJO, C. Protective effects of dietary avocado oil on impaired electron transport chain function and exacerbated oxidative stress in liver mitochondria from diabetic rats. **Journal of Bioenergetics and Biomembranes**, v. 47, n. 4, p. 337–353, 2015.

PEREIRA, J. A. Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, p. 226, 2002.

PLAZA, L.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; PASCUAL-TERESA, S. DE; ANCOS, B. DE; CANO, M. P. Fatty acids, sterols, and antioxidant activity in minimally processed avocados during refrigerated storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 8, p. 3204–3209, 2009.

PUTSEYS, J. A.; LAMBERTS, L.; DELCOUR, J. A. Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 3, p. 238–247, 2010.

QIAN, H.; ZHANG, H. Rice flour and related products. In: Handbook of Food Powders: Processes and Properties. **Elsevier Inc.**, p. 553–575, 2013.

RABEK, J. F. Applications of wide-angle X-ray diffraction (WAXD) to the study of the structure of polymers. In: **Experimental Methods in Polymer Chemistry**, Chichester: Wiley-Interscience. 1<sup>o</sup> ed., p. 505-508, 1980.

RAMADAN, M. F. Fruit Oils: Chemistry and Functionality. Cham, Switzerland: **Springer International Publishing**, 2019.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

SANTOS, M. A. Z.; ALICIEO, T. V. R.; PEREIRA, C. M. P.; RAMOS, G. R.; MENDONÇA, C. R. B. Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: Influence of the drying processes and extraction methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 9, p. 19–27, 2014.

SILVA, G. DE O.; TAKIZAWAI, F. F.; PEDROSOI, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 188–197, 2006.

SILVA, T. N.; DA COSTA, A. R.; GARCIA-ROJAS, E. E. Textural behavior of gels formed by rice starch and whey protein isolate: Concentration and crosshead velocities. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 713–723, 2017.

SINGH, N.; KAUR, L.; SANDHU, K. S.; KAUR, J.; NISHINARI, K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532–542, 2006.

TAN, C. X.; CHONG, G. H.; HAMZAH, H.; GHAZALI, H. M. Characterization of Virgin Avocado Oil Obtained via Advanced Green Techniques. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 120, n. 10, 2018.

TEKLEHAIMANOT, W. H.; DUODU, K. G.; EMMAMBUX, M. N. Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise-type emulsions. **Starch**, v. 65, n. 9-10, p. 773–781, 2013.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 551–557, 1990.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: A focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245–266, 2004.

VELANGI, A.; FERNANDES, G.; WOLEVER, T. M. Evaluation of a glucose meter for determining the glycemic responses of foods. **Clinical Chimica Acta**, Amsterdam, v. 356, n. 1-2, p. 191-198, 2005.

VERMA, D. K.; SRIVASTAV, P. P. Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. **Trends in Food Science and Technology Elsevier Ltd**, 2020.

VITURAWONG, Y.; ACHAYUTHAKAN, P.; SUPHANTHARIKA, M. Gelatinization and rheological properties of rice starch/xanthan mixtures: Effects of molecular weight of xanthan and different salts. **Food Chemistry**, v. 111, n. 1, p. 106–114, 2008.

WADUGE, R. N.; HOOVER, R.; VASANTHAN, T.; GAO, J.; LI, J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. **Food Research International**, v. 39, p. 59–77, 2006.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. DE. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1184–1192, 2008.

WANG, L.; WANG, Y. Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 291–296, 2004.

WANG, H.; LIU, Y.; CHEN, L.; LI, X.; WANG, J.; XIE, F. Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. **Food Chemistry**, v. 242, p. 323–329, 2018.

WANG, SHUJUN; CHAO, C.; CAI, J.; NIU, B.; COPELAND, L.; WANG, SHUO. Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2020.



WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: A review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564–1580, 2013.

WANG, S.; ZHENG, M.; YU, J.; WANG, S.; COPELAND, L. Insights into the formation and structures of starch-protein-lipid complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 9, p. 1960–1966, 2017.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; GUL, K., WANI, I. A. Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties - A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 11, n. 5, p. 417–436, 2012.

ZAMBLIAZI, R. C. **Análise físico-química de alimentos**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 95 p., 2010.

ZAVAREZE, E. D. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317–328, 2011.

ZAVAREZE, E. D. R.; STORCK, C. R.; CASTRO, L. A. S.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A. R. G. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 358–365, 2010.

ZENECON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008.

ZHANG, B.; HUANG, Q.; LUO, F.; FU, X. Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 174–181, 2012.

ZHAO, Y.; AI, Y.; LI, L.; JANE, J.-L.; HENDRICH, S.; BIRT, D. F. Inhibition of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon by a stearic acid complexed high-amylose cornstarch using different cooking methods and assessing potential gene targets. **Journal of Functional Foods**, v. 6, p. 499–512, 2014.

ZHAO, Y.; HASJIM, J.; LI, L.; JANE, J.-L.; HENDRICH, S.; BIRT, D. F. Inhibition of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon by a cooked stearic acid complexed high-amylose cornstarch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 17, p. 9700–9708, 2011.

ZHENG, M.; CHAO, C.; YU, J.; COPELAND, L.; WANG, S.; WANG, S. Effects of chain length and degree of unsaturation of fatty acids on structure and *in vitro* digestibility of starch-protein-fatty acid complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 8, p. 1872–1880, 2018.

ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 12, p. 2691–2705, 2017.

## **5 Relatório de trabalho de campo**

Como o ingresso no PPGNA ocorreu no segundo semestre de 2019, o primeiro semestre no Mestrado foi dedicado à realização de disciplinas e redação do projeto. Em dezembro de 2019 foram iniciadas as atividades no laboratório, porém em março de 2020 iniciou-se a quarentena no Brasil em decorrência da COVID-19 e, conseqüentemente, houve a paralisação da pesquisa. Houve um atraso inevitável na realização do projeto, que exigiu algumas adaptações e modificações.

### **Amostra**

Em fevereiro e março de 2020 fez-se a extração do amido de arroz, que ficou armazenado em freezer a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No retorno às atividades foram observadas manchas de mofo no amido, provavelmente em decorrência de falta de energia que levou ao descongelamento, impossibilitando o aproveitamento e requerendo o descarte. Houve a necessidade de obter outro arroz e iniciar novamente a extração do amido. Desta vez, obteve-se uma farinha de arroz cedida gentilmente pela Cerealle localizada no município de Pelotas/RS. A farinha de arroz possuía uma mistura de variedades diferentes de arroz não identificadas. No dia 07 de junho de 2021, iniciou-se novamente a extração do amido da farinha de arroz.

### **Modificações**

Iniciou-se pela modificação por TTBU via micro-ondas. Após a realização de um tratamento o equipamento utilizado estragou, requerendo adaptações, então, foi decidido fazer o mesmo tratamento em autoclave e comparar ambos os processos. Por meio de testes preliminares ficou determinado tratamento com 30% de umidade, com concentrações de óleo de abacate com 2, 4 e 8% via micro-ondas, e as mesmas condições de umidade e concentrações de óleo no processo realizado na autoclave. No micro-ondas utilizou-se a temperatura de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 3 minutos, e na autoclave temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. A metodologia de modificação do amido no micro-ondas sofreu algumas alterações para se adaptar a amostra, visto que o método

seguia a modificação via autoclave. Com os testes determinou-se a temperatura ideal de 50 °C, em que não ocorria a queima da amostra.

### **Análises**

Devido à prorrogação do mestrado e as limitações de trabalho, algumas análises foram canceladas, restando as mais essenciais para a execução do projeto. O desenvolvimento do produto alimentício também não foi executado, justamente pelo prazo reduzido e riscos impostos para execução das análises sensoriais neste período.

## **6 Artigo**

**Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas**

**Esse artigo será submetido à Revista *Carbohydrate Polymers***

**Título: Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas**

**Title: Modification of rice starch by heat-moisture treatment added with avocado oil: autoclave *versus* microwave methods**

**Autores:**

Sabrina Feksa Frasson<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos – Universidade Federal de Pelotas. E-mail: sfrasson@gmail.com +5553999476367

Rosana Colussi<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professora Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: rosana\_colussi@yahoo.com.br

Caroline Dellinghausen Borges<sup>b</sup>

Professora Doutora em Biotecnologia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: caroldellin@hotmail.com

Carla Rosane Barboza Mendonça<sup>b</sup>

Professora Doutora em Química, Centro de Ciências, Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: carlaufpel@hotmail.com

**Autor correspondente: Sabrina Feksa Frasson**

**Endereço eletrônico: sfrasson@gmail.com**

**Telefone: +5553999476367**

## **Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave *versus* micro-ondas**

Sabrina Feksa Frasson<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos – Universidade Federal de Pelotas. E-mail: [sfrasson@gmail.com](mailto:sfrasson@gmail.com) +5553999476367

Rosana Colussi<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professora Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [rosana\\_colussi@yahoo.com.br](mailto:rosana_colussi@yahoo.com.br)

Caroline Dellinghausen Borges<sup>b</sup>

Professora Doutora em Biotecnologia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [caroldellin@hotmail.com](mailto:caroldellin@hotmail.com)

Carla Rosane Barboza Mendonça<sup>b</sup>

Professora Doutora em Química, Centro de Ciências, Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos – Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [carlaufpel@hotmail.com](mailto:carlaufpel@hotmail.com)

### Destaques

- O TTBU reduziu a viscosidade e retrogradação dos amidos modificados;
- Houve formação de pico característico do padrão tipo V;
- O TTBU no amido adicionado de OA reduziu a digestibilidade *in vitro* e o IGe;
- O processo via micro-ondas é eficaz na modificação física do amido de arroz.

### Resumo

Objetivou-se realizar modificações física e química do amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) em autoclave e micro-ondas com adição de óleo de abacate (OA), bem como avaliar os efeitos produzidos por meio das análises de difração de raios-X, calorimetria exploratória diferencial, espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier, propriedades viscoamilográficas, digestibilidade *in vitro* e índice glicêmico estimado. O amido de arroz foi adicionado a 30% (p/p) de umidade e 2, 4, e 8% de OA, respectivamente. Na autoclave o TTBU foi conduzido a 110 °C por 1 hora e no micro-ondas a 50 °C por 3 minutos. A viscosidade de pasta e a retrogradação do amido reduziram conforme o teor de OA aumentou, por outro lado, a cristalinidade relativa e a entalpia de gelatinização dos amidos modificados foram reduzidas. A amostra contendo 8% de OA apresentou menor digestibilidade *in vitro* ( $p < 0,05$ ), e conseqüente redução do índice glicêmico estimado ( $p > 0,05$ ). Ambos os processos de TTBU, em autoclave e micro-ondas, produziram

alteração nas características do amido de arroz. O processo em micro-ondas se mostrou rápido, seguro e de boa eficiência energética, possibilitando empregar menor temperatura para modificação, fato que pode contribuir para preservar as características do OA. As modificações produzidas no amido podem ser úteis para ampliar sua aplicabilidade, em especial para aumentar a funcionalidade nutricional de produtos alimentícios.

Palavras-chave: complexo amilose-lipídio; propriedades térmicas; digestibilidade; índice glicêmico estimado; FTIR; alimento funcional.

## 1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal produzido e consumido mundialmente em forma integral ou beneficiado (Oliveira et al., 2020). O grão de arroz é composto por aproximadamente 90% de amido (Silva et al., 2017). O amido de arroz possui características únicas, que o tornam um dos amidos mais interessantes na indústria de alimentos, pois é hipoalergênico, não contém glúten, apresenta coloração branca e textura suave quando está na forma de gel. No entanto, os géis compostos apenas por amido apresentam elevada sinérese e retrogradação, quando submetidos a cozimento, tensão de cisalhamento e resfriamento, o que pode levar a formação de géis com dureza aumentada e características indesejáveis (Fonseca et al., 2021).

A modificação do amido é empregada para superar limitações e melhorar as características funcionais e nutricionais, ampliando as possibilidades de aplicação na indústria de alimentos. A modificação do amido pode se dar por meio de processos físicos, químicos, enzimáticos e genéticos (Zia-ud-Din et al., 2017).

Nos últimos anos, há uma demanda crescente por ingredientes alimentares modificados sem a adição de constituintes químicos, principalmente por preferência dos consumidores em produtos "naturais e saudáveis" (Han et al., 2021). A modificação física é de grande interesse porque não utiliza produtos químicos e não deixa resíduos no alimento, além de não agredir o meio ambiente, pela toxicidade de efluentes industriais. A modificação física denominada tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) ocorre quando o amido é submetido a temperaturas acima da temperatura de gelatinização com umidade insuficiente para completa gelatinização dos grânulos, preservando a estrutura granular. O TTBU retarda a gelatinização, reduz o poder de inchamento e a solubilidade do amido e o lixiviamento da amilose, aumenta

a estabilidade ao aquecimento e diminui a taxa de digestão enzimática. Essas alterações resultam em amidos com propriedades desejáveis para o processamento de vários tipos de produtos alimentícios na indústria (Wang et al., 2020).

A autoclave é o equipamento mais comumente utilizado para realizar o TTBU. O tratamento do amido em autoclave promove a hidratação da zona amorfa dos grânulos sob pressão (Zheng et al., 2020). As condições usadas para o TTBU em autoclave são alta temperatura, variando de 84 a 140 °C, baixo teor de umidade (10 a 35%), e tempo de exposição variando de 1 a 16 horas (Zavareze & Dias, 2011; Fonseca et al., 2021).

A modificação física de amido por micro-ondas vem ganhando grande atenção, pois provoca o aquecimento rápido e uniforme de todo o material, o que é mais eficiente e rápido (Das & Sit, 2021). O calor fornecido pode resultar em mudanças significativas na funcionalidade do amido, mesmo em um tempo muito curto (<1 minuto) (Oyeyinka et al., 2021). O equipamento de micro-ondas, de uso laboratorial e farmacêutico, possibilita o controle de temperatura e pressão, menor tempo de cozimento, eficiência energética, manuseio seguro e fácil operação (Han et al., 2021).

Outra possibilidade que tem produzido resultados interessantes na modificação do amido por TTBU, especialmente com relação à digestão *in vitro*, é a formação do complexo de inclusão entre amilose e lipídio (Chen et al., 2017). Alguns pontos positivos que se destacam na formação desses complexos de inclusão é a redução da digestibilidade, melhora na qualidade e no valor nutricional dos alimentos à base de amido, e a potencial aplicação como substituto da gordura no desenvolvimento de alimentos com baixas calorias (Kim et al., 2017; Wang et al., 2020).

O óleo de abacate tem despertado um crescente interesse na indústria alimentícia e cosmética, principalmente pelo conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados, que está associado a benefícios ao sistema cardiovascular e efeitos anti-inflamatórios. Assim, a utilização desse óleo para produção de complexos com o amido via TTBU pode ser uma alternativa interessante, resultando em melhores características do amido e enriquecimento nutricional do produto.

Cada vez mais os consumidores e a indústria de alimentos têm interesse em consumir e desenvolver produtos mais saudáveis. Neste contexto, a redução do índice glicêmico (IG) dos alimentos pode ser uma estratégia oportuna, pois está associada a menor resposta insulínica e, conseqüentemente, à prevenção do desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (Lambadiari et al., 2020).



O IG é uma escala de zero a 100 usada para classificar os alimentos de acordo com seu efeito da digestão de carboidratos na glicemia sérica (Xu & Shivappa, 2021). De acordo com o sistema aplicado internacionalmente, os alimentos são classificados conforme a velocidade em que são digeridos, absorvidos e metabolizados pelo organismo, em IG baixo ( $IG \leq 55$ ), médio ( $IG 56-69$ ) e alto ( $IG \geq 70$ ). Todos os tratamentos deste estudo apresentaram IGe superiores a 70, entretanto, quando comparados ao amido nativo a redução foi significativa ( $p < 0,05$ ).

Considera-se que os amidos modificados abrem o leque de possibilidades e aplicabilidades na elaboração de produtos alimentícios e ainda promovem benefícios à saúde. O objetivo deste estudo foi modificar amido de arroz pelo emprego de TTBU com diferentes concentrações de óleo de abacate para formação de complexos de inclusão, através de processo por autoclave e por micro-ondas, e avaliar comparativamente os parâmetros físico-químicos e nutricionais dos amidos modificados.

## **2 Materiais e métodos**

### **2.1 Amostra**

Para a realização do presente estudo foi utilizada farinha de arroz, cedida gentilmente pela Empresa Cerealle, localizada no município de Pelotas/RS. A farinha de arroz possuía uma mistura de variedades diferentes de arroz não identificadas. O óleo de abacate, da variedade Breda, extraído por centrifugação da polpa, foi doado por um produtor de São Sebastião do Paraíso/MG. Os reagentes utilizados para as análises foram de grau de pureza analítica.

### **2.2 Métodos**

#### **2.2.1 Extração do amido de arroz**

A extração de amido foi realizada segundo o método descrito por Wang & Wang (2004), com algumas modificações. A farinha de arroz foi adicionada de solução de NaOH 0,18% na proporção de 1:2 (m/v) e deixada em repouso durante 18 horas sob refrigeração ( $4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2$ ). Após, a dispersão foi homogeneizada utilizando liquidificador (Modelo Phillips Walita<sup>®</sup>, Brasil) durante 2 minutos. O material resultante foi passado por peneira de 75  $\mu\text{m}$  e centrifugado (K14-4000, Kasvi<sup>®</sup>, Brasil) a 1200 g durante 5 minutos à temperatura ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2$ ). O sobrenadante foi descartado e o precipitado ressuspenso em solução de NaOH 0,18%, sendo centrifugado novamente,

em operação realizada por duas vezes. O amido extraído foi disperso com água destilada e neutralizado com HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até pH 6,5, sendo na sequência centrifugado. O material sedimentado foi ressuspensão em água destilada e centrifugado, em operação repetida por duas vezes. O amido resultante foi seco em estufa com circulação de ar a 40 °C até atingir umidade de 10% ± 0,5.

### 2.2.2 Rendimento de extração do amido de arroz

O rendimento da extração de amido foi calculado com base na quantidade inicial de farinha de arroz e na quantidade de amido extraído, conforme Horndok & Noomhorm (2007):

$$\text{Rendimento \%} = \frac{\text{amido extraído (g)} \times 100}{\text{farinha de arroz (g)}} \quad (1)$$

### 2.2.3 Caracterização do amido nativo

No amido nativo foram executadas análises de composição centesimal e teor de amilose, conforme descrito a seguir.

#### 2.2.3.1 Composição centesimal

O teor de umidade foi determinado pelo método nº 44-15A, da AACC (1995). O teor de lipídios foi determinado pelo método nº 30-20, da AACC (1995). O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl nº 46-13, da AACC (1995). O teor de cinzas foi determinado pelo método nº 08-01, da AACC (1995). A determinação de fibra total foi realizada de acordo com método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). As análises foram realizadas em triplicatas e os valores expressos pela média das determinações. O conteúdo total de carboidratos foi determinado através do cálculo de diferença entre as análises anteriores, conforme a Equação 2:

$$100 - [\text{umidade \%} + \text{proteína \%} + \text{gordura \%} + \text{fibras \%} + \text{cinzas \%}] \quad (2)$$

#### 2.2.3.2 Teor de amilose

O teor de amilose foi determinado por método colorimétrico com iodo, conforme método de Mcgrance et al. (1998). A leitura da absorbância em espectrofotômetro (Jenway UV/VIS 6705, Reino Unido), a 600 nm. Para a realização da curva de calibração foram utilizados 20 mg de amilose de batata pura, submetida ao mesmo

processo do amido, sendo retiradas alíquotas de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL para a determinação da absorbância.

#### 2.2.4 Modificação do amido de arroz por TTBU

A modificação do amido por TTBU foi realizada segundo o método descrito por Horndok & Noomhorm (2007) com modificações. Os amidos modificados foram designados pela letra inicial do processo: A – autoclave e M – micro-ondas, seguidas do percentual de óleo de abacate adicionado: 0%, 2%, 4% e 8%.

No amido de arroz foi adicionada a quantidade de água destilada necessária para atingir 30% (p/p) de umidade, o primeiro tratamento teve adição apenas de água, a partir do segundo tratamento foi adicionada a quantidade de óleo de abacate para cada concentração desejada (2, 4 e 8% p/p, respectivamente), procedida a homogeneização por 5 minutos em uma batedeira planetária (Arno<sup>®</sup>, Brasil). Após, a amostra permaneceu em repouso na geladeira a 4 °C por 24 horas para uniformização da umidade.

Para modificação na autoclave (Autoclave vertical 503, ELETROlab<sup>®</sup>, Brasil) foi realizado conforme método descrito por Horndok & Noomhorm (2007), os amidos foram acondicionados em frascos de vidros transparente de 500 mL vedados, aquecidos a 110 °C por 1 hora. Após esse tempo foram retirados da autoclave e deixados em caixa de isopor tampada para resfriamento lento por 24 horas.

Para a modificação em micro-ondas o amido foi acondicionado em tubos de vidros específicos do equipamento e aquecido a 50 °C no micro-ondas (*Discover Proteomics*, CEM Corporation<sup>®</sup>, EUA), por 3 minutos, 150 W, 100 mPa.

Todas as amostras modificadas foram secas em estufa de circulação de ar a 40 °C por 24 horas, moídas com auxílio de gral e pistilo, acondicionadas em embalagem plástica com fechamento *ziplock* e identificadas.

#### 2.2.5 Determinações efetuadas no amido nativo e no amido modificado por TTBU

##### 2.2.5.1 Propriedades viscoamilográficas

As propriedades viscoamilográficas dos amidos foram avaliadas por RVA - *Rapid Visco Analyser* (RVA-4, Newport Scientific<sup>®</sup>, Austrália), por meio do perfil *Standard Analysis 1*, utilizando 3,0 g de amostra corrigida para 14% de umidade. Foram avaliadas a temperatura de início de formação de pasta, a viscosidade máxima,

a viscosidade mínima, a quebra da viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação.

#### 2.2.5.2 Calorimetria exploratória diferencial

As propriedades térmicas foram analisadas utilizando-se um calorímetro exploratória diferencial (DSC) (DSC-60, *Differential Scanning Calorimeter*, Shimadzu®, Japão). Foram pesados 2,5 mg de amido em células herméticas de alumínio e misturados com água destilada 1:3, (m/m), as quais foram seladas e deixadas em repouso a temperatura ambiente por 24 horas. As análises foram realizadas sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL/min, temperatura inicial de 30 °C, taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> até alcançar temperatura final de 150 °C. Uma célula hermética vazia foi usada como referência. Foi determinada a temperatura inicial “onset” (T<sub>p0</sub>), temperatura de pico (T<sub>p</sub>), variação da temperatura (ΔT) e variação de entalpia (ΔH) dos amidos e do óleo de abacate.

#### 2.2.5.3 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier

Os espectros de infravermelho das amostras de amidos foram obtidos em espectrofotômetro com transformada de Fourier (FTIR) (IRAffinity-1; Shimadzu®, Brasil) na região de 4000 – 400 cm<sup>-1</sup>. Foram preparadas pastilhas a partir da mistura das amostras com KBr em uma proporção de 1:100 (amostra:KBr). Foram registradas 100 leituras a uma resolução de 4 cm<sup>-1</sup>.

#### 2.2.5.4 Difração de raios-X

A determinação da cristalinidade relativa (CR) foi realizada pela técnica de difração de raio-X e calculada a partir da razão da área de pico total para a área de difração total. Os padrões de difração de raios-X foram obtidos com um difractômetro de raios-X (XRD-6000, Shimadzu®, Brasil). A CR dos grânulos de amido foi quantitativamente estimada de acordo com método proposto por Rabek (1980), a partir da Equação 3.

$$CR(\%) = \frac{Ac \times 100}{Ac + Aa} \quad (3)$$

Em que:

CR: cristalinidade relativa;

Ac: área da região cristalina;

Aa: área da região amorfa.

#### 2.2.5.5 Digestibilidade *in vitro*

A digestão *in vitro* foi simulada de acordo com método proposto por Dartois et al. (2010), utilizando modelo simulado de digestão de duas fases, em condições gástricas e do intestino delgado. Foram adicionados 80 g de gel de amido de arroz (4 g de amido para cada 100 mL de água) a um reator de vidro encamisado (500 mL de capacidade), com agitação mecânica de 300 rpm. O reator encamisado foi ligado a um banho de circulação de água para manter a temperatura a  $37\text{ °C} \pm 1$ . Os géis de amidos de arroz foram digeridos por 30 minutos em fluido gástrico simulado, contendo 240 mg de pepsina, pH 1,2. Para realização do segundo passo de digestão, o fluido intestinal simulado, contendo 200 mg de pancreatina, 3 mL de amiloglicosidase e 15 mg de invertase, foi adicionado à mistura de reação, para simular a digestão no intestino delgado, sendo mantido durante 120 minutos em pH 6,8.

Alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 15 e 30 minutos de digestão durante a fase gástrica e a 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120 minutos de digestão durante fase intestinal, estas foram misturadas com etanol absoluto (3 mL) para paralisar a reação. As amostras foram incubadas com 1 mL da solução de amiloglicosidase/invertase como descrito por Goñi et al. (1997), Bordoloi et al. (2012) e Dartois et al. (2010) antes de analisar o teor de glicose, utilizando o ensaio *D-glucose assay* (D-glucose, GOPOD Format, Assay Kit, K-GLUC 12/2021, Megazyme International Ireland Ltd., Ireland). Os resultados foram expressos como percentagem de hidrólise do amido calculado por meio da Equação 4:

$$SH(\%) = \frac{Sh}{Si} = 0,9 \times \frac{GP}{Si} \quad (4)$$

Em que:

SH (%): percentual de hidrólise do amido (total);

Sh: quantidade de amido hidrolisado (g);

Si: quantidade inicial de amido (g);

GP: quantidade de glicose produzida (g).

Foi utilizado o fator de conversão (a partir do amido em glicose) de 0,9, o qual foi calculado a partir da razão do peso molecular do monômero de amido pelo peso molecular de glicose ( $162/180 = 0,9$ ) (Goñi et al., 1997; Dartois et al., 2010; Bordoloi; Kaur; Singh, 2012).

#### 2.2.5.6 Índice glicêmico estimado

O índice glicêmico estimado (IGe) foi calculado de acordo com método proposto por Goñi et al. (1997), utilizando a cinética da hidrólise do amido, a curva de liberação da glicose obtida durante a análise de digestibilidade *in vitro*, e o índice de hidrólise, com as seguintes Equações (5, 6, 7, 8):

Cinética da hidrólise do amido:

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

Em que:

C: concentração de amido hidrolisado no momento t;

$C_{\infty}$ : concentração de amido hidrolisado a 180 minutos, reconhecida como concentração de equilíbrio;

k: constante da reação,  $\text{min.}^{-1}$ .

Curva de liberação da glicose (CLG):

$$CLG = C_{\infty}(t_f - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right) [1 - e^{-k(t_f - t_0)}] \quad (6)$$

Em que:

$t_f$ : tempo final da hidrólise;

$t_0$ : tempo inicial.

Índice de hidrólise (IH):

$$IH = \left(\frac{CLG_{\text{simples}}}{CLG_{\text{pão branco}}}\right) \times 100\% \quad (7)$$

Índice glicêmico estimado (IGe):

$$IGe = 39,71 + (0,549 IH) \quad (8)$$

### 2.2.6 Análise estatística

Os resultados foram expressos em médias e desvio padrão, sendo a comparação entre as amostras realizada por meio de análise de variância, complementada por teste de Tukey e Student (Teste t), ao nível de 5% de significância, com auxílio do programa *Statistica 7.1*.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Rendimento de extração e caracterização do amido nativo

O rendimento de amido extraído da farinha de arroz foi de 60,35%. Na Tabela 1 está apresentado o teor de amilose e composição centesimal do amido de arroz nativo.

**Tabela 1.** Teor de amilose e composição centesimal do amido nativo.

Amostra	Amilose (%)	Proteínas (% b.s.)	Lipídios (% b.s.)	Fibras (% b.s.)	Cinzas (% b.s.)	Carboidrato (% b.s.)
Amido nativo	24,55 ± 1,48	1,20 ± 0,04	0,18 ± 0,05	nd	0,01 ± 0,01	98,56

b.s. = base seca; nd = não detectado.

O teor de amilose permite classificar o amido em ceroso (0-5%), muito baixo (5-12%), baixo (12-20%), intermediário (21-25%) e alto (> 25%) (Juliano, 1992). Neste estudo foram obtidos 24,55% de amilose, sendo considerado um amido de teor intermediário/alto.

O amido deve possuir baixos teores de proteínas, lipídios e cinzas. Os resultados confirmam a eficiência no método alcalino para extração do amido. O teor residual de proteínas obtido neste estudo foi superior ao relatado por Singh & Sogi (2018), que encontraram 0,48% de proteínas, utilizando método de extração alcalina, no entanto, este valor ainda pode ser considerado baixo. Para ampliar a eficiência da remoção de proteínas, pode-se repetir a etapa de lavagem, no momento da extração.

### 3.2 Propriedades viscoamilográficas

As propriedades de pasta do amido de arroz nativo e modificado por TTBU, via micro-ondas e autoclave, estão apresentadas na Figura 1 (material suplementar) e na Tabela 2. A adição e o aumento do teor de óleo de abacate ocasionaram a redução significativa ( $p < 0,05$ ) do pico de viscosidade das amostras de amido, independente da via de modificação. Esses resultados demonstram que o óleo pode limitar a hidratação

do grânulo de amido e o inchaço durante a gelatinização, sendo o tratamento com 8% o que mostrou este efeito de forma mais significativa ( $p < 0,05$ ), tanto para autoclave quanto para o micro-ondas.

A temperatura de pasta corresponde ao ponto em que se inicia a formação de curva no gráfico, devido ao início da gelatinização dos grânulos de amido (Balet et al., 2019). O tratamento A8% apresentou maior temperatura de pasta com 91,43 °C ( $p < 0,05$ ), em seguida A2% e A4% com 88,05 e 88,85 °C, respectivamente, não diferindo estatisticamente. O Nativo, M0%, M2% e M4% apresentaram as menores temperaturas de pasta.

De acordo com estudos anteriores (Chen et al., 2018; Li et al., 2020), a formação do complexo amido-lipídio é indicada pelo aumento da viscosidade final e a ocorrência de pico de viscosidade durante o resfriamento. O que não ocorreu neste estudo. O amido A0% apresentou o maior pico de viscosidade, em seguida o Nativo e após o M0%, sendo que os dois últimos diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) no tempo de pico entre o amido nativo e os amidos modificados, este parâmetro mostra o momento em que se atinge a viscosidade máxima. A resistência do inchamento do amido que passou pelo TTBU é devido ao rearranjo das forças internas que reduzem o inchamento e estabilizam os grânulos de amido à fragmentação mecânica. A diminuição no pico de viscosidade pode ser atribuída ao aumento das forças de ligação molecular nas cadeias de amido (Arns et al., 2015).

Nos demais parâmetros avaliados, como a quebra de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação, foi possível observar que conforme o aumento do teor de óleo na amostra, houve a redução dos valores para cada um dos parâmetros. Essas alterações de redução na viscosidade das amostras com TTBU indicam estabilidade de pasta, e as mudanças que ocorrem durante o resfriamento (retrogradação) estão relacionadas à consistência do gel (Li et al., 2021).

A viscosidade final diminuiu conforme o teor de óleo foi aumentando. O tratamento A8% apresentou a menor viscosidade final ( $p < 0,05$ ), seguido de A4% e M8% ( $p > 0,05$ ). A menor retrogradação foi também observada em A8% ( $p < 0,05$ ), seguida de A4%, M2%, M4% e M8%, sem diferenças estatisticamente significativas entre A4% e M2%, assim como entre M4% e M8%.



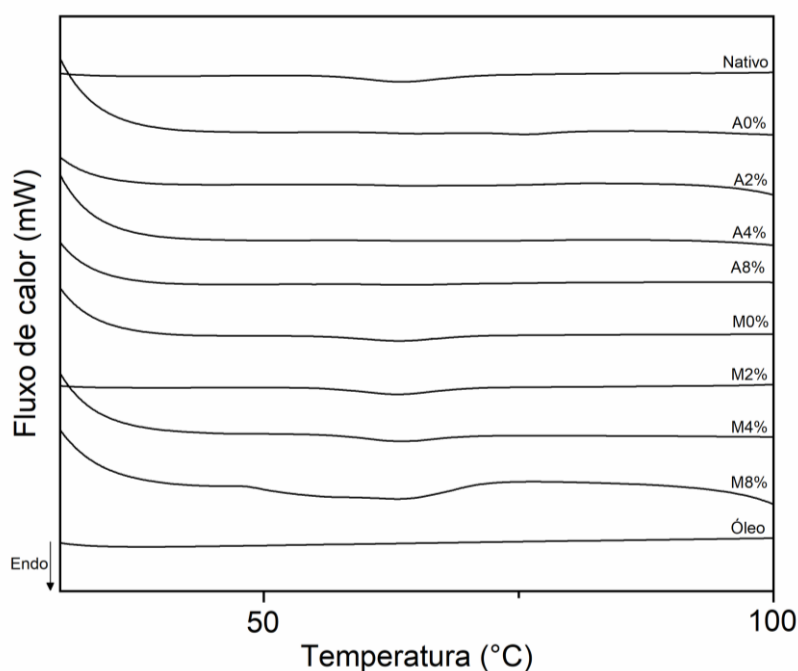
**Tabela 2.** Propriedade de pasta de amido de arroz nativo, amido de arroz modificado com TTBU em autoclave (A) e em micro-ondas (M) com diferentes teores de óleo de abacate.

Amostra	Temperatura de pasta (°C)	Pico de viscosidade (RVU)	Tempo de pico (min.)	Quebra (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Tendência à retrogradação (RVU)
Nativo	71,50±0,64e	223,13±2,30 b	6,87±0,09 a	19,88±4,66 cd	278,84±5,78 a	75,59±3,42 ab
A0%	79,50±0,57d*	251,92±5,18 a*	7,00±0,00 a	39,54±3,48 a*	293,63±8,42 a*	83,42±6,48 a
A2%	88,05±0,00 b*	185,75±0,59 e*	7,00±0,00 a	30,79±2,06 ab	198,38±2,30 d*	58,38±0,42 cd
A4%	88,85±0,07 b*	152,92±0,94 f*	7,00±0,00 a	22,63±1,24 bc	164,75±1,77 e*	48,58±0,71 d*
A8%	91,43±0,25 a*	81,38±1,24 g*	7,00±0,00 a	12,13±0,18 d*	90,79±1,82 f*	32,38±0,42 e*
M0%	69,48±0,04 e*	210,46±3,24 c*	7,00±0,00 a	27,42±1,06 bc*	249,59±4,12 b	66,80±1,94 bc
M2%	70,30±1,27 e*	198,46±4,07 d*	7,00±0,00 a	22,63±2,18 bc	230,54±5,01 c*	54,96±3,01 d
M4%	71,48±0,53 e*	183,88±1,59 e*	6,97±0,05 a	19,46±1,12 cd	216,13±0,64 c*	52,00±0,47 d*
M8%	82,68±0,60 c*	152,63±1,70 f*	7,00±0,00 a	20,34±0,83 cd*	178,29±0,76 e*	47,67±0,12 d*

RVU = unidade viscoamilográficas; A0% = amido modificado na autoclave sem adição de óleo de abacate; A2% = amido modificado na autoclave contendo 2% de óleo de abacate; A4% = amido modificado na autoclave contendo 4% de óleo de abacate; A8% = amido modificado na autoclave contendo 8% de óleo de abacate; M0% = amido modificado no micro-ondas sem adição de óleo de abacate; M2% = amido modificado no micro-ondas contendo 2% de óleo de abacate; M4% = amido modificado no micro-ondas contendo 4% de óleo de abacate; M8% = amido modificado no micro-ondas contendo 8% de óleo de abacate. Valores acompanhados por letra diferente na mesma coluna para cada propriedade diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Valores acompanhados por \* na mesma linha, comparado com amostras de mesma concentração, diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste t.

### 3.3 Calorimetria exploratória diferencial

As propriedades térmicas dos amidos de arroz modificados por TTBU foram avaliadas utilizando calorimetria exploratória diferencial, cujos termogramas são apresentados na Figura 2 e na Tabela 3. Todas as amostras de amido apresentaram efeitos endotérmicos, no óleo não foi observado efeito térmico até 150 °C indicando que ocorreria após essa temperatura.



**Figura 2.** Termogramas do amido nativo, amidos modificados via autoclave e micro-ondas, e do óleo de abacate.

O M0% apresentou uma menor temperatura de gelatinização ( $T_p$ ) em relação ao A0%, assim como a variação da temperatura, ocorrendo em  $\Delta T = 4,99\text{ }^\circ\text{C}$  para o A0%, enquanto para o M0% foi requerida uma variação maior ( $\Delta T = 12,95\text{ }^\circ\text{C}$ ) para completar a gelatinização. A gelatinização do amido depende do grau de cristalinidade da amilopectina, do comprimento das cadeias de amilopectina, do tamanho do grânulo de amido e do teor de amilose (Biduski et al., 2018). Além disso, a energia para que ocorra o intumescimento das partículas pela absorção de água foi menor para o A0% ( $\Delta H = 3,79\text{ J.g}^{-1}$ ) do que para o M0% ( $\Delta H = 6,45\text{ J.g}^{-1}$ ), isto sugere que o amido A0% é constituído por uma fração maior de amilose que o M0%, e sabe-se que a amilose reduz a mobilidade molecular do amido.

As amostras modificadas no micro-ondas com adição de óleo (M2%, M4%, M8%) apresentaram menor  $T_p$  em relação as amostras da autoclave com os teores de óleo equivalentes (A2%, A4%, A8%). Na variação da temperatura, A2% e A4% tiveram valores semelhantes ( $\Delta T = 20,33$  e  $20,05\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente), já A8% teve menor valor ( $12,73\text{ }^\circ\text{C}$ ). M2% e M4% mostraram variação da temperatura semelhantes ( $13,38$  e  $12,15\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente), porém mais baixas se comparadas com A2% e A4%. A variação da temperatura para M8% foi a maior ( $22,52\text{ }^\circ\text{C}$ ). O M8% teve a maior energia ( $\Delta H = 30,65\text{ J.g}^{-1}$ ), esse valor sugere que o óleo estava em excesso na

amostra e essa energia elevada é referente ao óleo e não ao amido. As amostras M2% e M4% (8,83 e 6,81 J.g<sup>-1</sup>, respectivamente) tiveram maior energia que A2% e A4% (3,17 e 1,00 J.g<sup>-1</sup>, respectivamente), indicando que os amidos modificados com micro-ondas apresentam maior estabilidade que os modificados em autoclave.

He et al. (2020) estudaram amido de arroz modificado por TTBU com adição de ácido oleico e observaram redução na  $T_{p0}$ ,  $T_p$ ,  $\Delta T$  e  $\Delta H$ . Provavelmente, devido à presença do ácido oleico, que pode ter reorganizado a estrutura do amido de forma mais ordenada e compacta.

**Tabela 3.** Propriedades térmicas de amido de arroz nativo e modificado com TTBU via autoclave e micro-ondas, contendo diferentes teores de óleo de abacate.

Amostra	Óleo de abacate (%)	$T_{p0}$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta H$ (J.g <sup>-1</sup> )
Nativo	-	56,89 de	63,53 e	7,00 h	8,29 c
	0	75,21 b	75,56 a	4,99 i	3,79 f
Autoclave	2	58,89 c	64,83 c	20,33 b	3,17 g
	4	58,90 c	69,51 b	20,05 c	1,00 i
	8	59,01 c	64,03 d	12,73 f	1,87 h
	0	57,13 de	63,30 f	12,95 e	6,45 e
Micro-ondas	2	56,37 e	63,15 g	13,38 d	8,83 b
	4	57,37 d	63,53 e	12,15 g	6,81 d
	8	48,38 f	63,14 g	22,52 a	30,65 a
	Óleo	100	> 150 a		

$T_{p0}$  = temperatura inicial;  $T_p$  = temperatura de pico;  $\Delta T$  = variação de temperatura;  $\Delta H$  = variação de entalpia.

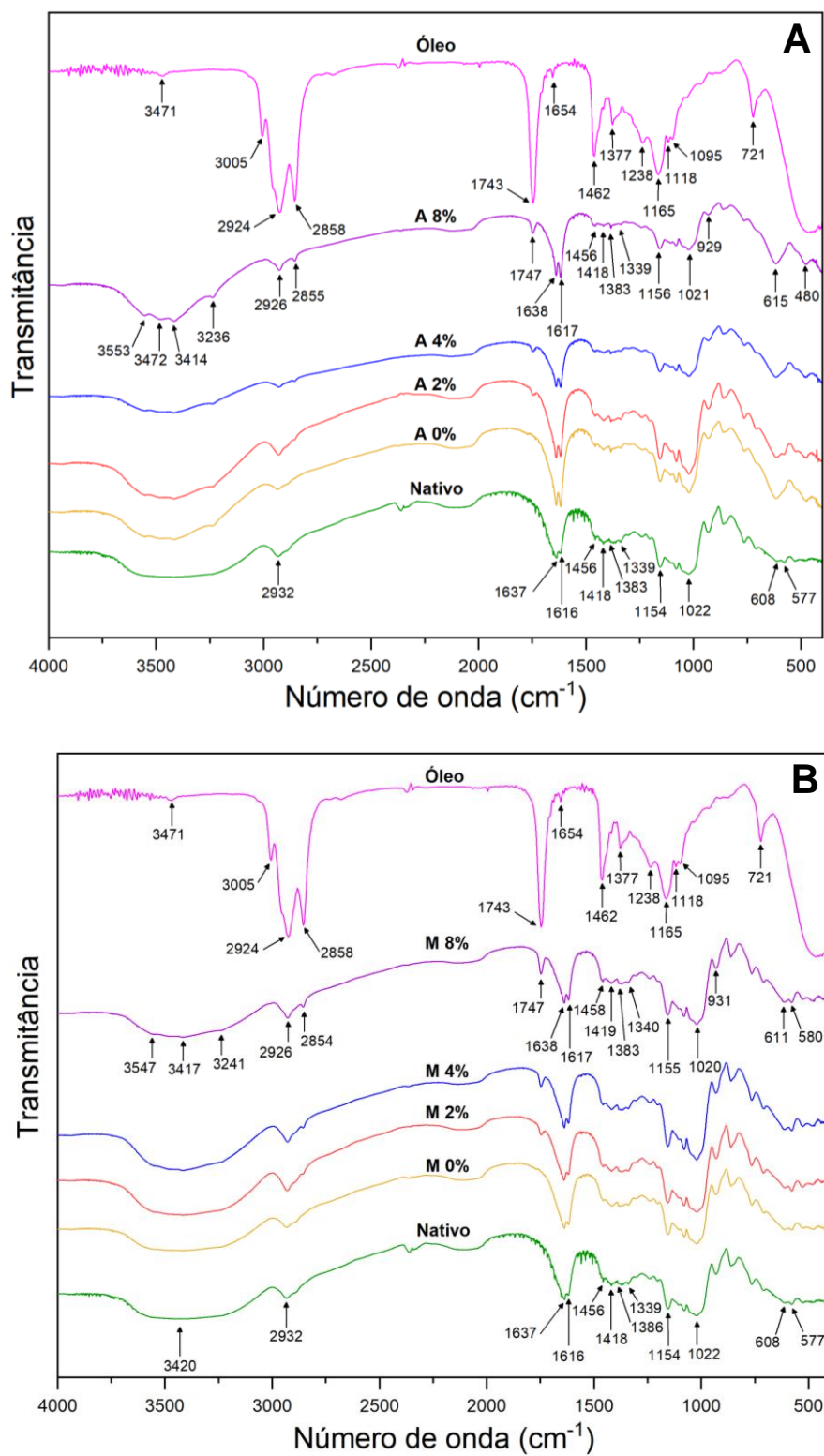
### 3.4 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier

A presença de bandas da análise de espectroscopia no infravermelho pode indicar deformações das cadeias também chamadas de deformação angular ( $\delta$ ), que podem ser simétricas ( $\delta_s$ ) ou assimétricas ( $\delta_a$ ) ou ao estiramento das funções, também chamadas de deformações axiais ( $\nu$ ) simétricas ( $\nu_s$ ) ou assimétricas ( $\nu_a$ ). A Figura 3 apresenta o espectro dos amidos Nativo, modificados e do óleo de abacate. No espectro do óleo de abacate foram observadas bandas características de lipídio saturado e insaturado, com banda em 3471 cm<sup>-1</sup> harmônica ( $\nu_{C=O}$ ), banda em 3005 cm<sup>-1</sup> ( $\nu_{O-H}$ ) característica de ácidos não associados, 2924 e 2858 cm<sup>-1</sup> ( $\nu_s C-H$ ;  $\nu_a C-H$ ) das cadeias cíclicas e alifáticas. Em 1743 cm<sup>-1</sup> ( $\nu_{C=O}$ ) de carboxilas e carbonilas. Em 1654 cm<sup>-1</sup> ( $\nu_{C=C}$ ) de cadeias. Na banda de 1462 cm<sup>-1</sup> ( $\delta_s CH_2$ ), 1377 cm<sup>-1</sup> ( $\delta_s =CH$ ;

( $\delta_s\text{C-H}$ ). Bandas em  $1238\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}=\text{C-O-C}$ ;  $\delta\text{C-O-H}$  no plano),  $1165\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C-O}$ ) de álcool,  $1118\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}\text{C-O-C}$ ) e  $1095\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C-O}$ ). Por fim, a última banda em  $722\text{ cm}^{-1}$  ( $\gamma\text{C-H}$ ) de hidrogênios presentes na cadeia. Resultados similares encontrados por (Aktar & Adal, 2019) em estudo com óleo de abacate. Os amidos nativo e modificado com 0% de óleo, não apresentaram diferença nos número de onda das bandas, sendo observada banda larga em  $3420\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{OH}$ ) que é atribuída as hidroxilas intra e intermoleculares entre as cadeias de amilose,  $2932\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_s\text{C-H}$ ;  $\nu_a\text{C-H}$ ) da cadeia cíclica (Gani et al., 2017). Bandas em  $1637\text{ cm}^{-1}$  e  $1616\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{O-H}$ ) referentes à ligação de hidrogênio na região amorfa dos grânulos. Bandas em  $1456\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta_s\text{CH}_2$ ) da amilopectina e,  $1383 - 1339\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{C-O-H}$ ) fora do plano,  $1154 - 1022\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}\text{C-O-C}$ ) da ligação glicosídica alfa 1,4. Ainda foram observadas bandas de cadeia em  $\sim 1000 - 900\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C-O}$ ;  $\nu\text{-O-C-C}$ ) e, por fim, banda em  $\sim 600 - 500\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{CH}_2$ ) da cadeia. Os espectros encontrados neste estudo para o amido nativo foram semelhantes aos encontrados por Kowsik & Mazumder (2018) para amido nativo de arroz.

Nos amidos modificados com presença do óleo (2%, 4% e 8%) observou-se as mesmas bandas características do amido 0%, no entanto, o surgimento da banda, antes observada apenas no óleo ( $1743\text{ cm}^{-1}$ ) e seu deslocamento de  $\Delta\nu = 4\text{ cm}^{-1}$ , em conjunto com os deslocamentos de  $\Delta\nu = 16\text{ cm}^{-1}$  e  $\Delta\nu = 6\text{ cm}^{-1}$  das bandas referentes às vibrações da amilose ( $\delta\text{O-H}$ ) e amilopectina ( $\delta_s\text{CH}_2$ ), sugerem que houve uma interação entre os grupamentos, ora da amilose ora da amilopectina, com grupamentos hidroxilas presentes em compostos que compõem o óleo de abacate. No estudo de Desai et al. (2020) também foi identificado banda na região de  $1744\text{ cm}^{-1}$  após a modificação de amido de trigo com três tipos de óleos diferentes, sugerindo a mesma interação que foi observada neste estudo. Por fim, a região de *fingerprint* ( $700 < \text{cm}^{-1} < 1100$ ) foi semelhante tanto para a autoclave quanto para o micro-ondas, portanto, não havendo diferença entre elas.

As bandas  $2926$  e  $2855\text{ cm}^{-1}$ , tanto na amostra A8% quanto na M8%, ficaram mais definidas e semelhantes às observadas no óleo de abacate, na mesma região, indicando interação entre o óleo de abacate com o amido.



**Figura 3.** Espectros de FTIR do óleo de abacate, amido nativo e amido modificado com TTBU em autoclave (A) e micro-ondas (B), contendo diferentes teores de óleo de abacate.

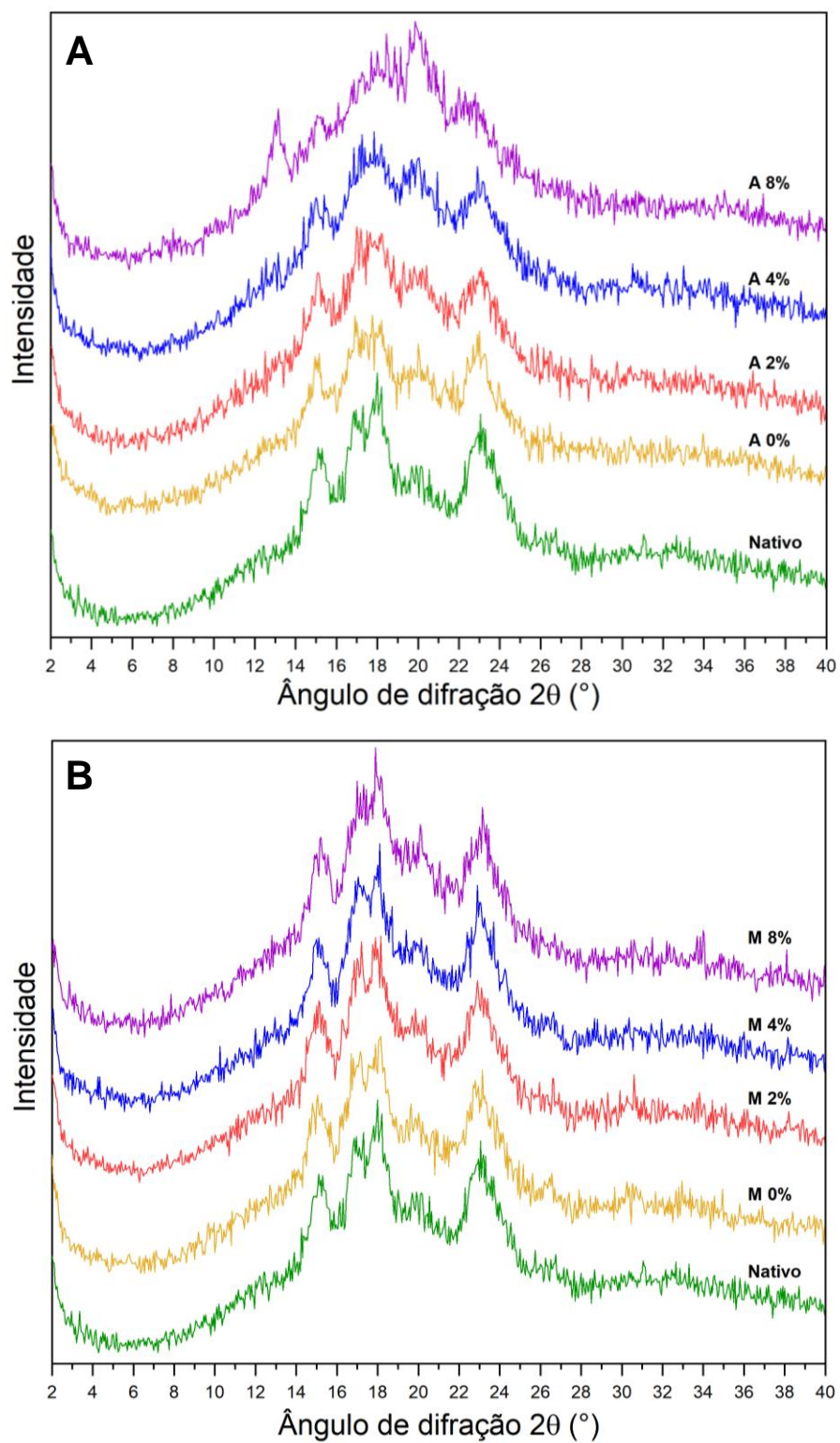
### 3.5 Difração de raios-X

Os resultados de difração de raios-X e cristalinidade relativa (CR) são mostrados na Figura 4. O amido de arroz nativo mostrou padrões de difração típico de cereais com a estrutura cristalina do tipo A, que é definido pelos picos em ângulo  $2\theta = 15^\circ; 17^\circ; 17,8^\circ; 19^\circ$  e  $23^\circ$  (Fonseca et al., 2021).

Após o TTBU, os amidos continuaram com o mesmo padrão cristalino, mas tornaram-se menos intensos nas amostras contendo óleo de abacate, especialmente em A8% e M8%, indicando perda da cristalinidade. A diminuição da CR indica que os efeitos hidrotérmicos durante o TTBU podem ter promovido a ruptura das ligações de hidrogênio intra e intermoleculares nos grânulos de amido, resultando em alteração na conformação do amido e redução na regularidade do empacotamento molecular (Wang et al., 2018; Yang et al., 2019).

O amido de arroz nativo apresentou uma CR de 22,2%. Os tratamentos A0% e A2% mostraram valores superiores ao nativo (22,7% e 22,8%, respectivamente). Para A4% e A8% os valores encontrados foram muito próximos aos tratamentos A0% e A2% (22,7% e 22,6%, respectivamente). Já para M0% obteve-se 23,0% para CR, portanto, elevação no valor em relação as amostras tratadas na autoclave. Nos demais tratamentos no micro-ondas, não se observou uma clara tendência da CR com o aumento do teor de óleo, obtendo-se 21,7% para M2%, 23,3% para M4% e 17,2% para M8%.

Conforme aumentou o teor de óleo, um pico em  $20^\circ$  foi ficando mais intenso, tanto no tratamento em autoclave quanto no micro-ondas, indicando que os amidos formaram complexos de inclusão tipo V com lipídios. Esse pico em  $20^\circ$  também foi observado no estudo de Yang et al. (2019) que analisaram amido de arroz com teores de amilose diferentes modificados por TTBU. No A8% houve a formação de um pico em  $13^\circ$ , característico do padrão tipo V e atribuído à formação de complexos entre amilose-lipídio, corroborando com estudo de Chen et al. (2018). Li et al. (2020) estudaram a complexação entre amilose-lipídio com quatro tipos de ácidos graxos diferentes e detectaram picos do tipo V em  $13^\circ$  e  $20^\circ$ .



**Figura 4.** Difratogramas de raios-X do amido nativo e dos amidos modificado com TTBU em autoclave (A) e em micro-ondas (B), contendo diferentes teores de óleo de abacate.

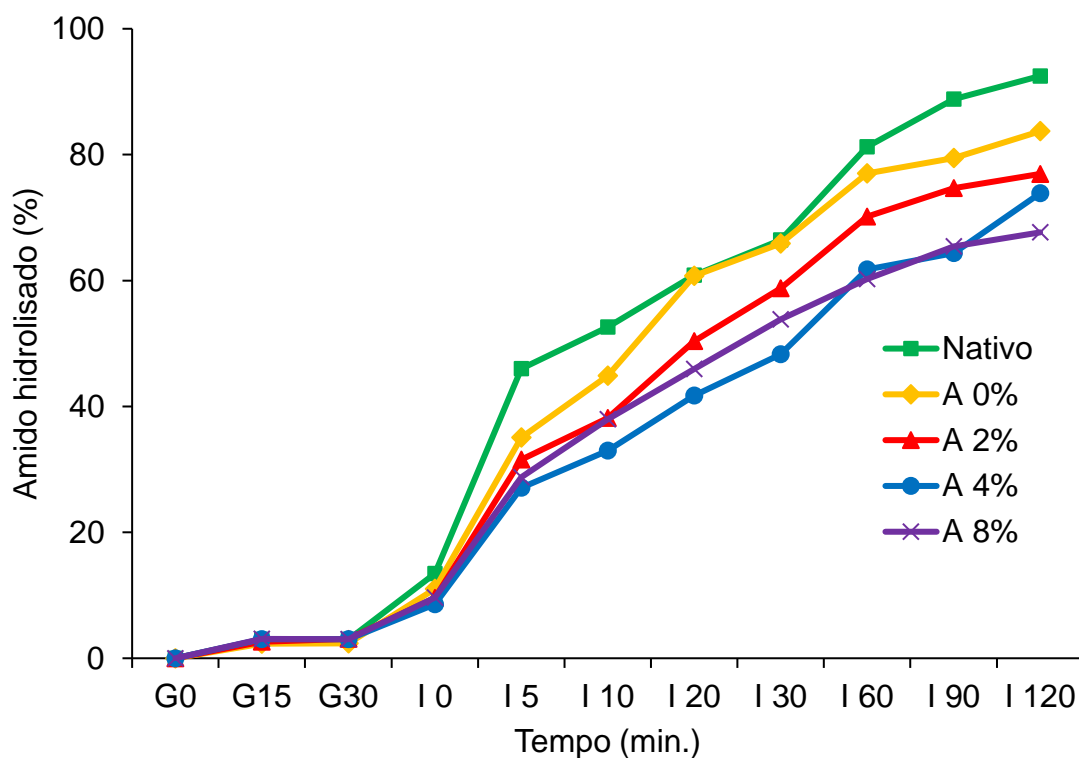
### 3.6 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade é dividida em duas fases: primeiramente a fase gástrica (G) que dura 30 minutos, e após a fase intestinal (I) com duração de 180 minutos. Na Figura 5 e Tabela 4 está apresentado o percentual de hidrólise dos amidos modificados com três teores diferentes de óleo de abacate, comparativamente ao amido de arroz nativo. O amido não foi digerido, independente da via de modificação, durante os 30 primeiros minutos de digestão gástrica, devido à ausência de enzimas que o hidrolisasse. Quando adicionado o suco intestinal ao sistema (I0), imediatamente, obteve-se 13,46% de amido hidrolisado para o Nativo, 11,00% para A0%, 9,57% para A2%, 8,57% para A4%, 9,63% para A8%, 8,78% para M0%, 10,72% para M2%, 11,33% para M4% e 13,45% para M8%, nenhuma amostra diferiu estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

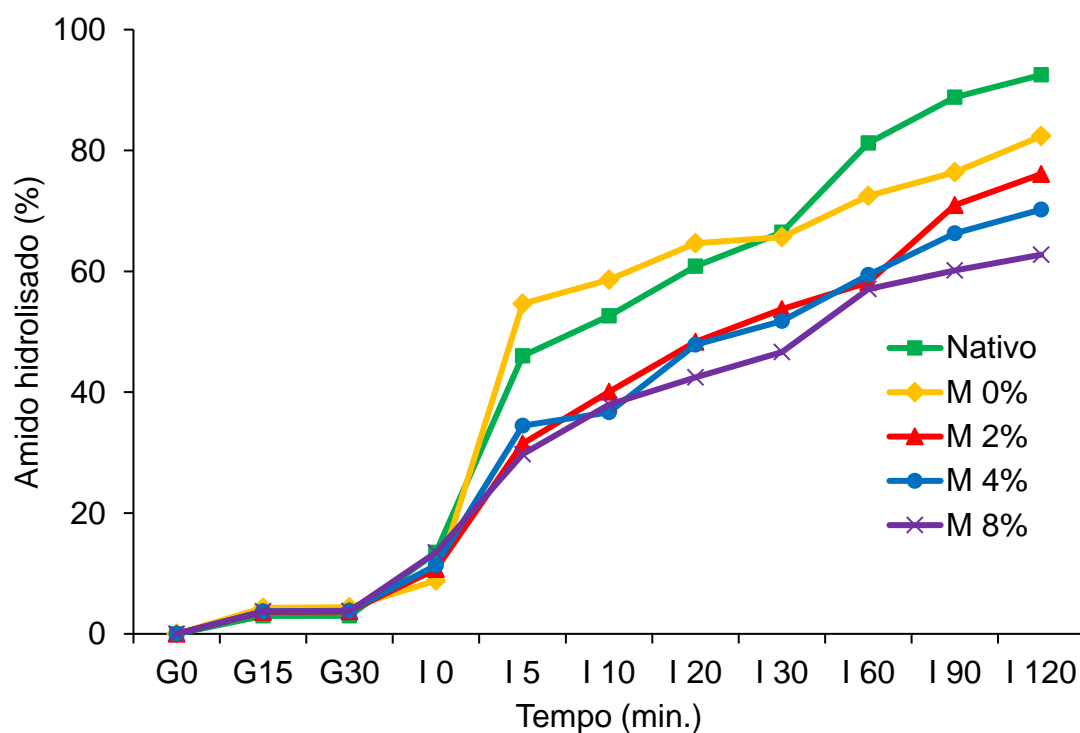
Nos 5 minutos da digestão intestinal (I5) observou-se que o amido Nativo, e o amido dos tratamentos A0% e M0% produziram os maiores percentuais de hidrólise, não diferindo significativamente entre si. Com o aumento do tempo de digestão nas condições intestinais, pode-se observar que o Nativo foi hidrolisado mais rapidamente, enquanto nas amostras modificadas o processo foi mais lento. No tempo final sob condições intestinais simuladas (I120), o amido Nativo mostrou maior percentual de hidrólise, 92,49% ( $p < 0,05$ ), já o tratamento M8% foi o que resultou em menor hidrólise no tempo final, 62,75% ( $p < 0,05$ ), as demais amostras dos outros tratamentos mostraram resultados semelhantes, não diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ).

A amostra do tratamento M8% apresentou redução de aproximadamente 29,74% na hidrólise final, quando comparado com o amido Nativo. Essa baixa liberação de glicose sugere que o processo de modificação por TTBU com a presença de OA promove a formação de AR e ALD. He et al. (2020), após a adição dos ácidos oleico e linoleico ao amido de arroz também observaram redução na digestibilidade.





**Figura 5a.** Digestibilidade de amido de arroz nativo e modificado com TTBU via autoclave, contendo diferentes teores de óleo de abacate.



**Figura 5b.** Digestibilidade de amido de arroz nativo e modificado com TTBU via micro-ondas, contendo diferentes teores de óleo de abacate. G = tempo sob condições gástricas simuladas; I = tempo sob condições intestinais simuladas.

**Tabela 4.** Amido hidrolisado em função do tempo (%), sob condições de digestão gástrica e intestinal *in vitro*.

Amostra	G0	G15	G30	I0	I5	I10	I20	I30	I60	I120	I180
Nativo	0,00±0,0 0 a	2,98±0,59 bc	2,99±0,62 ab	13,46±4,8 8 a	45,97±2,82 ab	52,60±4,78 ab	60,84±1,99 a	66,45±2,95 a	81,24±2,83 a	88,82±0,36 a	92,49±1,85 a
A0%	0,00±0,0 0 a	2,32±0,39 c	2,38±0,38 b	11,00±0,2 8 a	35,09±5,85 bc	44,86±5,51 abc	60,76±0,20 a	65,88±0,60 a	77,03±0,21 ab	79,46±0,34 b	83,72±0,09 b
A2%	0,00±0,0 0 a	2,61±0,02 c	3,09±0,77 ab	9,57±0,75 a	31,57±5,01 c	38,18±10,37 bc	50,37±3,49 b	58,77±0,71 ab	70,18±0,30 c	74,68±0,28 bc	76,94±0,94 c
A4%	0,00±0,0 0 a	3,03±0,03 bc	3,01±0,03 ab	8,57±0,89 a	27,09±2,32 c	32,97±2,75 c	41,72±3,21 b	48,3±0,20 c	61,78±0,29 d	64,37±0,06 ef	73,87±1,20 cd
A8%	0,00±0,0 0 a	3,06±0,01 bc	3,04±0,07 ab	9,63±0,82 a	28,75±1,67 c	37,98±2,64 bc	45,94±2,52 b	53,83±2,00 bc	60,24±0,75 d	65,44±0,77 ef	67,65±1,69 e
M0%	0,00±0,0 0 a	4,31±0,12 a	4,38±0,06 a	8,78±0,19 a	54,64±4,30 a	58,61±1,43 a	64,62±0,03 a	65,62±2,90 a	72,49±0,55 bc	76,43±0,03 b	82,37±0,70 b
M2%	0,00±0,0 0 a	3,62±0,05 ab	3,69±0,04 ab	10,72±0,4 8 a	31,48±2,72 c	40,06±1,53 bc	48,33±0,57 b	53,71±4,27 bc	58,18±2,08 d	70,95±2,37 cd	76,09±0,02 c
M4%	0,00±0,0 0 a	3,74±0,10 ab	3,8±0,02 ab	11,33±0,3 3 a	34,43±1,72 bc	36,65±2,57 bc	47,83±3,20 b	51,77±1,17 bc	59,39±0,81 d	66,31±1,54 de	70,22±0,88 de
M8%	0,00±0,0 0 a	3,72±0,11 ab	3,76±0,18 ab	13,45±0,1 8 a	29,71±1,17 c	37,93±0,84 bc	42,46±0,67 b	46,64±0,98 c	57,04±2,45 d	60,14±2,73 f	62,75±0,83 f

G0 = fase gástrica no tempo 0 minutos; G15 = fase gástrica no tempo 15 minutos; G30 = fase gástrica no tempo 30 minutos; I0 = fase intestinal no tempo 0 minutos; I5 = fase intestinal no tempo 5 minutos; I10 = fase intestinal no tempo 10 minutos; I20 = fase intestinal no tempo 20 minutos; I30 = fase intestinal no tempo 30 minutos; I60 = fase intestinal no tempo 60 minutos; I120 = fase intestinal no tempo 120 minutos; I180 = fase intestinal no tempo 180 minutos. Valores acompanhados por letra diferente na mesma coluna para cada propriedade diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

### 3.7 Índice glicêmico estimado

De acordo com a Tabela 4, pode-se observar que a modificação do amido por TTBU em autoclave e micro-ondas com adição de OA influenciou significativamente nos resultados do índice glicêmico estimado. O teor de amido hidrolisado em 180 minutos foi de 92,49% para o Nativo, diminuindo gradativamente com o aumento do conteúdo de óleo nas amostras, sendo de 67,65% para A8% e de 62,75% para M8%, estes resultados indicam uma significativa redução da digestibilidade dos amidos modificados com TTBU com maiores teores de óleo.

Os valores das constantes cinéticas (k) refletem na taxa de hidrólise do amido. Os valores de k mostraram-se inversamente proporcionais ao índice glicêmico estimado (IGe). À medida que a concentração de OA foi aumentando os valores de IGe foram reduzindo gradativamente, e os valores de k mostraram o comportamento oposto, com valores significativamente maiores para as amostras tratadas no micro-ondas (M8%, M4 e M0). O índice de hidrólise (IH) seguiu o mesmo padrão de k, reduzindo nos dois tratamentos com 8% de OA, A8% com 63,35 e M8% com 60,62.

Os amidos Nativo e M0% mostraram os maiores IGe, 84,50 e 82,78 respectivamente. Foi possível observar a redução do IGe no tratamento por micro-ondas, com o aumento do conteúdo de AO. Já no processo por autoclave, a redução foi significativa apenas para o tratamento A8%.

**Tabela 4.** Concentração de amido hidrolisado ( $C^\infty$ ), constante da reação (k), índice de hidrólise (IH) e índice glicêmico estimado (IGe) do amido nativo e amido modificado por TTBU com óleo de abacate via autoclave (A) e micro-ondas (M), contendo diferentes teores de óleo de abacate.

Amostra	$C^\infty$ (%) <sup>1</sup>	k (min <sup>-1</sup> )	IH	IGe
Nativo	92,494 ± 1,85 a	0,032 ± 0,01 de	81,578 ± 1,63 a	84,496 ± 0,89 a
A0%	83,719 ± 0,09 b	0,027 ± 0,00 e	71,428 ± 0,08 b	78,925 ± 0,04 b
A2%	76,938 ± 0,94 c	0,033 ± 0,00 de	68,573 ± 0,84 bc	77,356 ± 0,46 bc
A4%	73,868 ± 1,20 cd	0,040 ± 0,00 cd	68,067 ± 1,11 bc	77,079 ± 0,61 bc
A8%	67,654 ± 1,69 e	0,044 ± 0,00 bc	63,351 ± 1,71 de	74,490 ± 0,00 de
M0%	82,365 ± 0,70 b	0,051 ± 0,00 ab	78,460 ± 0,66 a	82,784 ± 0,37 a
M2%	76,093 ± 0,02 c	0,047 ± 0,00 bc	71,597 ± 0,02 b	79,038 ± 0,01 b
M4%	70,224 ± 0,88 de	0,052 ± 0,00 ab	67,035 ± 0,84 cd	76,512 ± 0,46 cd
M8%	62,749 ± 0,83 f	0,058 ± 0,00 a	60,618 ± 0,80 e	72,989 ± 0,44 e

<sup>1</sup>em 180 min; A0% = amido modificado na autoclave sem adição de óleo de abacate; A2% = amido modificado na autoclave contendo 2% de óleo de abacate; A4% = amido modificado na autoclave contendo 4% de óleo de abacate; A8% = amido modificado na autoclave contendo 8% de óleo de abacate; M0% = amido modificado no micro-ondas sem adição de óleo de abacate; M2% = amido modificado no micro-ondas contendo 2% de óleo de abacate; M4% = amido modificado no micro-ondas contendo 4% de óleo de abacate; M8% = amido modificado no micro-ondas contendo 8% de óleo de

abacate. Valores acompanhados por letra diferente na mesma coluna para cada propriedade diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ).

O amido modificado neste estudo continuou com o IGe alto, porém apresentou redução estatisticamente significativa. Provavelmente, a adição do óleo de abacate no TTBU do amido de arroz, restringiu o inchaço do grânulo e, conseqüentemente, diminuiu a digestibilidade e o IGe. Farooq et al. (2018) também identificaram redução na digestibilidade e IG de quatro amidos de arroz com teores de amilose diferentes, homogêneos com 10% de óleo de palma e posteriormente gelatinizados.

#### 4 Conclusão

A aplicação do tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) via autoclave e micro-ondas em amido de arroz adicionado de óleo de abacate promove modificações nas propriedades de pasta, propriedades térmicas, cristalinidade relativa, FTIR, digestibilidade *in vitro* e no índice glicêmico estimado.

Mesmo não havendo confirmação da formação do complexo de inclusão entre o amido e o óleo de abacate, pode-se verificar as diferenças nos processos de modificação do amido por autoclave e micro-ondas. O amido modificado via micro-ondas com 8% de OA apresentou menor digestibilidade *in vitro*. Ainda que os valores de IGe obtidos tenham enquadrado as amostras como de alto índice glicêmico, houve uma redução significativa deste parâmetro em todos os tratamentos, comparativamente ao amido nativo, alcançando 30% de redução na amostra M8%. Assim, a modificação física e química executada permitiu a produção de amido com características diferenciadas, que após cozimento proporciona tanto uma menor digestibilidade *in vitro*, quanto uma menor taxa de liberação de glicose ao longo da digestão, podendo ser uma técnica de processamento de alimentos para consumidores que necessitam de uma menor e mais lenta digestão do amido.

O uso de micro-ondas para modificação física de amido é interessante por ser muito rápido, seguro, com possibilidade de realizar modificações em temperaturas reduzidas, com menor gasto energético e evitando a degradação do óleo, que geralmente acontece em temperaturas altas. A desvantagem seria o custo inicial de implantação, tendo em vista que o equipamento tem valor elevado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Cerealle pela doação da farinha de arroz, ao Sr. José Carlos Gonçalves pela doação dos óleos de abacate, ao Prof. Dr. Wladimir Hernandez Flores pelo auxílio na análise de difração de raios-X, a Dr.<sup>a</sup> Helen Cristina dos Santos Hackbart pelo auxílio na análise de DSC.

## Referências bibliográficas

- AACC, American Association Of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 9<sup>a</sup> ed. St Paul, MN, 1995.
- Aktar, T., & Adal, E. (2019). Determining the Arrhenius kinetics of avocado oil: Oxidative stability under rancimat test conditions. *Foods*, 8(7), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods8070236>
- Arns, B., Bartz, J., Radunz, M., Evangelho, J. A. do, Pinto, V. Z., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2015). Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 708–713. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.059>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: a review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Bhuyan, D. J., Alsherbiny, M. A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O. A., Barooah, M. S., Li, C. G., & Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in Avocado (*Persea Americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8(10), 1–53. <https://doi.org/10.3390/antiox8100426>
- Biduski, B., Silva, W. M. F. da, Colussi, R., Halal, S. L. de M. El, Lim, L., Dias, Á. R. G., & Zavareze, E. D. R. (2018). Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 443–449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.144>
- Bordoloi, A., Kaur, L., & Singh, J. (2012). Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. *Food Chemistry*, 133(4), 1092–1100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.044>
- Chen, B., Guo, Z., Zeng, S., Tian, Y., Miao, S., & Zheng, B. (2018). Paste structure and rheological properties of lotus seed starch–glycerin monostearate complexes formed by high-pressure homogenization. *Food Research International*, 103(15), 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.069>
- Chen, X., He, X., Fu, X., Zhang, B., & Huang, Q. (2017). Complexation of rice starch/flour and maize oil through heat moisture treatment: Structural, in vitro digestion and physicochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.105>
- Dartois, A., Singh, J., Kaur, L., & Singh, H. (2010). Influence of guar gum on the in

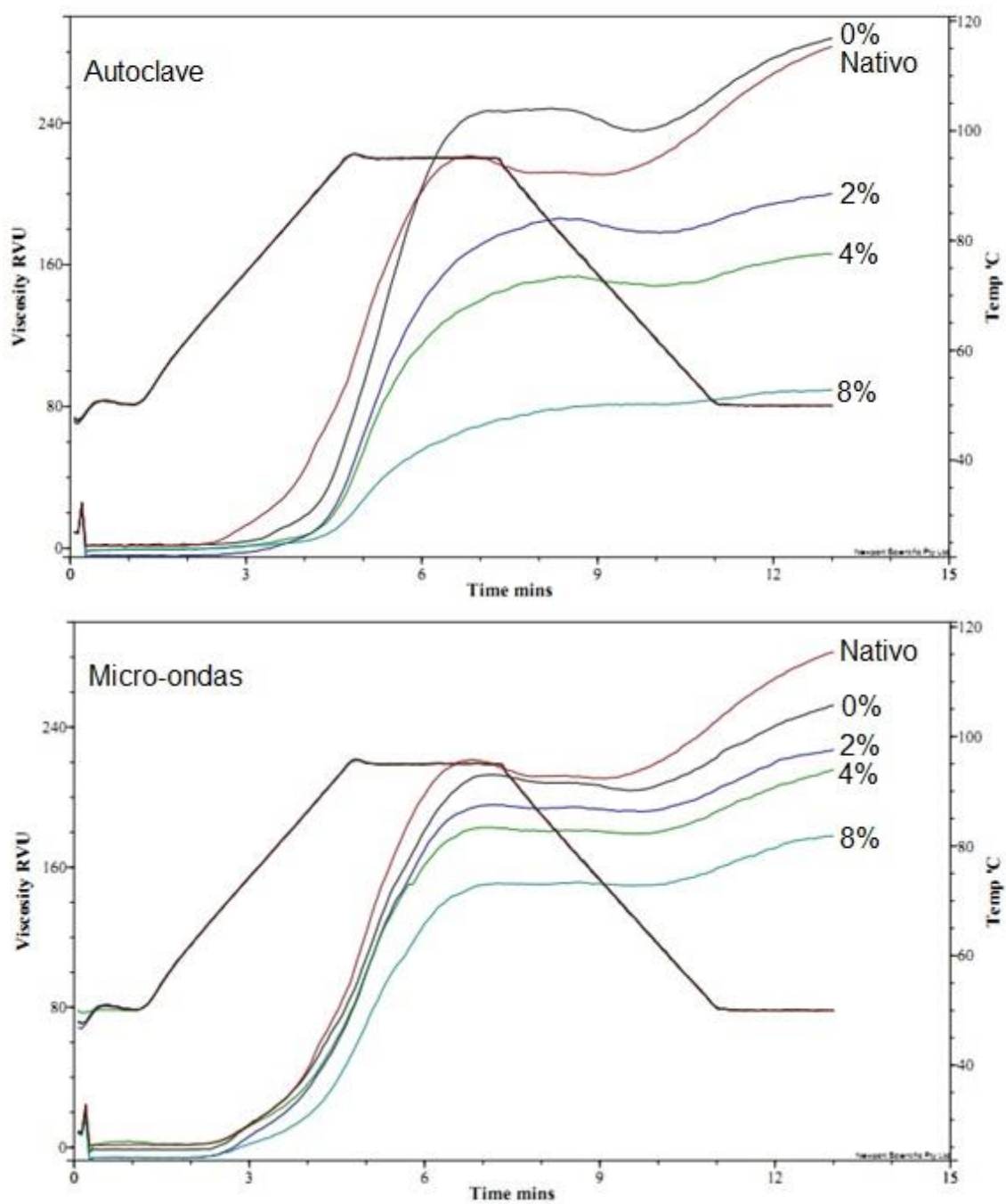
- vitro starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. *Food Biophysics*, 5(3), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-9155-2>
- Das, A., & Sit, N. (2021). Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization. *Starch/Staerke*, 73(5–6), 1–8. <https://doi.org/10.1002/star.202000227>
- Desai, A. S., Brennan, M. A., Zeng, X. A., & Brennan, C. S. (2020). Complex formation, in vitro digestion, structural, and physicochemical properties of fish oil and wheat starch blend. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14859>
- Farooq, A. M., Dhital, S., Li, C., Zhang, B., & Huang, Q. (2018). Effects of palm oil on structural and in vitro digestion properties of cooked rice starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1080–1085. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.089>
- Fonseca, L. M., Halal, S. L. M. El, Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274(September), 118665. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>
- Gani, A., Ashwar, B. A., Akhter, G., Shah, A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2017). Physico-chemical, structural, pasting and thermal properties of starches of fourteen Himalayan rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 1101–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.100>
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427–437.
- Han, Z., Li, Y., Luo, D., Zhao, Q., Cheng, J., & Wang, J. (2021). Structural variations of rice starch affected by constant power microwave treatment. *Food Chemistry*, 359, 129887. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129887>
- He, H., Zheng, B., Wang, H., Li, X., & Chen, L. (2020). Insights into the multi-scale structure and in vitro digestibility changes of rice starch-oleic acid/linoleic acid complex induced by heat-moisture treatment. *Food Research International*, 137, 109612. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109612>
- Hoover, R. (2010). The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 835–847. <https://doi.org/10.1080/10408390903001735>
- Horndok, R., & Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT - Food Science and Technology*, 40(10), 1723–1731. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.12.017>
- Juliano, B. O. (1992). Rice starch properties and grain quality. *Journal of the Japanese Society of Starch Science*, 39(1), 11–21.
- Kim, H. I., Kim, H. R., Choi, S. J., Park, C. S., & Moon, T. W. (2017). Preparation and characterization of the inclusion complexes between amylosucrase-treated waxy starch and palmitic acid. *Food Science and Biotechnology*, 26(2), 323–329. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0044-z>

- Kowsik, P. V., & Mazumder, N. (2018). Structural and chemical characterization of rice and potato starch granules using microscopy and spectroscopy. *Microscopy Research and Technique*, *81*(12), 1–8. <https://doi.org/10.1002/jemt.23160>
- Lambadiari, V., Korakas, E., & Tsimihodimos, V. (2020). The impact of dietary glycemic index and glycemic load on postprandial lipid kinetics, dyslipidemia and cardiovascular risk. *Nutrients*, *12*(8), 1–21. <https://doi.org/10.3390/nu12082204>
- Li, L., Liu, Z., Zhang, W., Xue, B., & Luo, Z. (2021). Production and applications of amylose-lipid complexes as resistant starch: recent approaches. *Starch*, *73*, 2000249. <https://doi.org/10.1002/star.202000249>
- Li, X., Luo, S., Hou, Y., Liu, Y., Hu, X., & Liu, C. (2020). Effect of triglyceride on complexation between starch and fatty acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, *155*, 1069–1074. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.072>
- Mcgrance, S. J., Cornell, H. J., & Rix, C. J. (1998). A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. *Starch/Stärke*, *50*(4), 158–163.
- Oliveira, A. C. de, Pegoraro, C., & Viana, V. E. (2020). The future of rice demand: quality beyond productivity. In A. C. de Oliveira, C. Pegoraro, & V. E. Viana (Eds.), *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity* (1st ed.). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_1)
- Oyeyinka, S. A., Akintayo, O. A., Adebo, O. A., Kayitesi, E., & Njobeh, P. B. (2021). A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, *176*, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.066>
- Silva, T. N., da Costa, A. R., & Garcia-Rojas, E. E. (2017). Textural behavior of gels formed by rice starch and whey protein isolate: Concentration and crosshead velocities. *Ciencia e Agrotecnologia*, *41*(6), 713–723. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416012317>
- Singh, T. P., & Sogi, D. S. (2018). Comparison of physico-chemical properties of starch isolated from bran and endosperm of rice (*Oryza sativa* L.). *Starch*, *1700242*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/star.201700242>
- Wang, H., Liu, Y., Chen, L., Li, X., Wang, J., & Xie, F. (2018). Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. *Food Chemistry*, *242*, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.014>
- Wang, L., & Wang, Y. (2004). Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. *Journal of Cereal Science*, *39*(2), 291–296. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.11.002>
- Wang, S., Chao, C., Cai, J., Niu, B., Copeland, L., & Wang, S. (2020). Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12550>
- Xu, X., & Shivappa, N. (2021). Dietary glycemic index, glycemic load and risk of

- bladder cancer: a prospective study. *European Journal of Nutrition*, 60(2), 1041–1048. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02313-1>
- Yang, X., Chi, C., Liu, X., Zhang, Y., Zhang, H., & Wang, H. (2019). Understanding the structural and digestion changes of starch in heat-moisture treated polished rice grains with varying amylose content. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 785–792. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.051>
- Zavareze, E. D. R., & Dias, A. R. G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 317–328. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.064>
- Zenebon, O., Pascuet, N. S., & Tiglea, P. (2008). Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos. In I. A. Lutz (Ed.), *Instituto Adolfo Lutz, Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos* (4<sup>a</sup>). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zheng, M. zhu, Xiao, Y., Yang, S., Liu, H. min, Liu, M. hong, Yaqoob, S., Xu, X. ying, & Liu, J. sheng. (2020). Effects of heat–moisture, autoclaving, and microwave treatments on physicochemical properties of proso millet starch. *Food Science and Nutrition*, 8(2), 735–743. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1295>
- Zia-ud-Din, Xiong, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691–2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>



## Material suplementar



**Figura 1.** Viscoamilografia de amidos de arroz nativo e modificados com TTBU em autoclave e micro-ondas, contendo diferentes teores de óleo de abacate.

## 7 Considerações finais

A aplicação do tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) via autoclave e micro-ondas em amido de arroz adicionado de óleo de abacate promove modificações nas propriedades de pasta, propriedades térmicas, propriedades estruturais, digestibilidade *in vitro* e no índice glicêmico estimado.

Mesmo não havendo confirmação da formação do complexo de inclusão entre o amido e o óleo de abacate, pode-se verificar diferenças nos processos de modificação por autoclave e micro-ondas. A viscosidade final e a retrogradação diminuiu gradativamente conforme a concentração de OA aumentou. Nas propriedades térmicas seguiu o mesmo padrão, conforme a concentração de óleo aumentou, a temperatura de gelatinização aumentou. Na análise de FTIR os amidos com OA apresentaram interação com o lipídio. A difração de raios-X mostrou que amido nativo possui padrão tipo A, e os modificados com OA apresentaram picos do padrão tipo V. O amido modificado via micro-ondas com 8% de OA apresentou menor digestibilidade *in vitro*. Todos os tratamentos deste estudo apresentaram IGe superiores a 70, entretanto quando comparado ao amido nativo a redução foi significativa ( $p < 0,05$ ). Estas modificações física e química permitem a produção de amido com características diferenciadas, que após cozimento proporciona uma menor digestibilidade *in vitro*, assim como menor taxa de liberação de glicose ao longo da digestão, podendo ser uma técnica de processamento de alimentos para consumidores que necessitam de uma menor e mais lenta digestão do amido.

O uso de micro-ondas para modificação física de amido é interessante por ser muito rápido, seguro, com possibilidade de realizar modificações em temperaturas reduzidas, com menor gasto energético e evitar a degradação do óleo, que geralmente acontece em temperaturas altas. A desvantagem é ser um equipamento de custo elevado para a indústria.

## 8 Referências bibliográficas

AACC, American Association Of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 9<sup>a</sup> ed. St Paul, MN, 1995.

AACC, American Association Of Cereal Chemists. Approved methods. 10<sup>a</sup> ed. Saint Paul, 2000. 1 CD-ROM.

ABRAFRUTAS, 2020. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2020/01/28/8825/>> Acesso em: 23 mar. 2020.

ADEBOWALE, K. O.; AFOLABI, T. A.; OLU-OWOLABI, B. I. Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 974–983, 2005.

AHMADI-ABHARI, S.; WOORTMAN, A. J. J.; OUDHUIS, A.; HAMER, R. J.; LOOS, K. The influence of amylose-LPC complex formation on the susceptibility of wheat starch to amylase. **Carbohydrate Polymers**, v. 97, n. 2, p. 436–440, 2013.

AKTAR, T.; ADAL, E. Determining the Arrhenius kinetics of avocado oil: Oxidative stability under rancimat test conditions. **Foods**, v. 8, n. 7, p. 1–13, 2019.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. Maryland: Gaithersburg, 18<sup>a</sup> ed., 2005.

ARIJAJE, E. O.; WANG, Y. J. Effects of enzymatic modifications and botanical source on starch-stearic acid complex formation. **Starch**, v. 68, n. 7-8, p. 700–708, 2016.

BALET, S.; GUELPA, A.; FOX, G.; MANLEY, M. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: a review. **Food Analytical Methods**, v. 12, n. 10, p. 2344–2360, 2019.

BAO, J.; BERGMAN, C. J. The functionality of rice starch. In.: ELIASSON, A.-C. Starch in food Structure, function and applications. **CRC Press**, p. 599, 2004.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Relevance of amyloselipid complexes to the behaviour of thermally processed starches. **Starch**, v. 53, n. 3-4, p.121–130, 2001.

BHUYAN, D. J.; ALSHERBINY, M. A.; PERERA, S.; LOW, M.; BASU, A.; DEVI, O. A.; BAROOAH, M. S.; LI, C. G.; PAPOUTSIS, K. The odyssey of bioactive compounds in Avocado (*Persea Americana*) and their health benefits. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 1–53, 2019.

BIRT, D. F.; BOYLSTON, T.; HENDRICH, S.; JANE, J.-I.; HOLLIS, J.; LI, L.; MCCLELLAND, J.; MOORE, S.; PHILLIPS, G. J.; ROWLING, M.; SCHALINSKE, K.; SCOTT, M. P.; WHITLEY, E. M. Resistant starch: promise for improving human health. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 6, p. 587–601, 2013.

BORDOLOI, A.; KAUR, L.; SINGH, J. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. **Food Chemistry**, v.133, n.4, p.1092–1100, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRUMOVSKY, J. O.; THOMPSON, D. B. Production of boiling-stable granular resistant starch by partial acid hydrolysis and hydrothermal treatments of highamylose maize starch. **Cereal Chemistry**, v. 78, p. 680–689, 2001.

CEAGESP, 2019. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/abacate-breda/>> Acesso em: 23 mar. 2020.

CHANG, F.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q.; JANE, J-I. Effects of heat treatment and moisture contents on interactions between lauric acid and starch granules. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 31, p. 7862–7868, 2014.

CHAO, C.; CAI, J.; YU, J.; COPELAND, L.; WANG, S.; WANG, S. Toward a better understanding of starch–monoglyceride–protein interactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 50, p. 13253–13259, 2018.

CHAVES, M. A.; MENDONÇA, C. R. B.; BORGES, C. D; PORCU, O. M. Elaboração de biscoito integral utilizando óleo e farinha da polpa de abacate. **Boletim do CEPPA**, v. 31, n. 2, p. 215-226, 2013.

CHEN, B.; GUO, Z.; ZENG, S.; TIAN, Y.; MIAO, S.; ZHENG, B. Paste structure and rheological properties of lotus seed starch–glycerin monostearate complexes formed by high-pressure homogenization. **Food Research International**, v. 103, n. 15, p. 380–389, 2018.

CHEN, X.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q. *In vitro* digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 63, p. 109–115, 2015.

CHEN, X.; HE, X.; FU, X.; ZHANG, B.; HUANG, Q. Complexation of rice starch/flour and maize oil through heat moisture treatment: Structural, *in vitro* digestion and physicochemical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 557–564, 2017.

CHENG, K. C.; CHEN, S. H.; YEH, A. I. Physicochemical properties and *in vitro* digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 98–104, 2019.

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, p. 436–447, 2009.

CODEx ALIMENTARIUS. **International Food Standards**. Standard for olive oils and olive pomace oils (Codex Stan 33-1981), 2015.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

CONAB. A cultura do arroz. Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 1, 2015.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de Fennema. 4ª ed. Porto Alegre - RS: **Artmed**, 2010.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the *in vitro* starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, n. 3, p. 149–160, 2010.

DAS, A.; SIT, N. Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization. **Starch/Staerke**, v. 73, n. 5–6, p. 1–8, 2021.

DESAI, A. S.; BRENNAN, M. A.; ZENG, X. A.; BRENNAN, C. S. Complex formation, *in vitro* digestion, structural, and physicochemical properties of fish oil and wheat starch blend. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 11, p. 1–11, 2020.

DING, H.; CHIN, Y. W.; KINGHORN, A. D.; D'AMBROSIO, S. M. Chemopreventive characteristics of avocado fruit. **Seminars in Cancer Biology**, v. 17, p. 386-394, 2007.

DUARTE, P. F.; CHAVES, M. A.; BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B. Avocado: characteristics, health benefits and uses. **Ciência Rural**, v. 46, n. 4, p. 747-754, 2016.

ELIASSON, A. C.; WAHLGREN, M. Starch-lipid interactions and their relevance in food products. **Starch in food: Structure, function and applications**. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 441–460, 2004.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 778–787, 1985.

ENGLYST, K. N.; VINOY, S.; ENGLYST, H. N.; LANG, V. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. **British Journal of Nutrition**, v. 89, n. 3, p. 329–339, 2003.

FAROOQ, A. M.; DHITAL, S.; LI, C.; ZHANG, B.; HUANG, Q. Effects of palm oil on structural and *in vitro* digestion properties of cooked rice starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1080–1085, 2018.

FLORES, M.; SARAVIA, C.; VERGARA, C. E.; AVILA, F.; VALDÉS, H.; ORTIZ-VIEDMA, J. Avocado oil: Characteristics, properties, and applications. **Molecules** MDPI AG, 2019.

FONSECA, L. M.; HALAL, S. L. M. EL; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. DA R. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 274, p. 118665, 2021.

FORERO-DORIA, O.; GARCÍA, M. F.; VERGARA, C. E.; GUZMAN, L. Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 130, n. 2, p. 959–966, 2017.

FRESCO, L. Rice is life. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 4, p. 249–253, 2005.

GARCIA, M. C.; PEREIRA-DA-SILVA, M. A.; TABOGA, S.; FRANCO, C. M. L. Structural characterization of complexes prepared with glycerol monoestearate and maize starches with different amylose contents. **Carbohydrate Polymers**, v. 148, p. 371-379, 2016.

GAMBOCORTA, G.; FACCIA, M.; PREVITALI, M. A.; PATI, S.; LA NOTTE, E.; BAIANO, A. Effects of olive maturation and stoning on quality indices and antioxidant content of extra virgin oils (cv. *Coratina*) during storage. **Journal of food science**, v. 75, n. 3, p. 229-235, 2010.

GANI, A.; ASHWAR, B. A.; AKHTER, G.; SHAH, A.; WANI, I. A.; MASOODI, F. A. Physico-chemical, structural, pasting and thermal properties of starches of fourteen Himalayan rice cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 95, p. 1101–1107, 2017.

GELDERS, G. G.; GOESAERT, H.; DELCOUR, J. A. Potato phosphorylase catalyzed synthesis of amylose–lipid complexes. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 5, p. 2622–2629, 2005.

GODDARD, M. S.; YOUNG, G.; MARCUS, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 388-392, 1984.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n. 3, p. 427–437, 1997.

GOYON, A.; MESTRES, C. Le riz: bénéfices et risques pour la santé. **Cahiers de Nutrition et de Dietetique**, v. 52, n. 4, p. 202–209, 1 set. 2017.

HAN, Z.; LI, Y.; LUO, D.; ZHAO, Q.; CHENG, J.; WANG, J. Structural variations of rice starch affected by constant power microwave treatment. **Food Chemistry**, v. 359, p. 129887, 2021.

HE, H.; ZHENG, B.; WANG, H.; LI, X.; CHEN, L. Insights into the multi-scale structure and *in vitro* digestibility changes of rice starch-oleic acid/linoleic acid complex induced by heat-moisture treatment. **Food Research International**, v. 137, p. 109612, 2020.

HOOVER, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 835–847, 2010.

HOOVER, R.; VASANTHAN, T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. **Journal of Food Biochemistry**, v. 17, p. 303–325, 1994.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 10, p. 1723–1731, 2007.

HSIEH, F.; HUFF, H. E.; LUE, E. Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**. London, v. 24, n. 6, p. 495-500, 1991.

IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457#resultado>> Acesso em: 20 mar. 2020.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 2895–2905, 1998.

JENKINS, D. J.; KENDAL, C. W.; AUGUSTIN, S.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS, A. L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 76, n. 1, p. 266-273, 2002.

JULIANO, B. O. Rice in human nutrition. Roma: International Rice Research Institute, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1993.

KARKALAS, J.; MA, S.; MORRISON, W. R.; PETHRICK, R. A. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids. **Carbohydrate Research**, v. 268, n. 2, p. 233–247, 1995.

KAUR, K.; SINGH, N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. **Food Chemistry**, v. 71, n. 4, p. 511-517, 2000.

KAWAI, K.; TAKATO, S.; SASAKI, T.; KAJIWARA, K. Complex formation, thermal properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch–fatty acid mixtures. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1, p. 228–234, 2012.

KHUNAE, P.; TRAN, T.; SIRIVONGPAISAL, P. Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. **Starch**, v. 59, p. 593–599, 2007.

KIM, H. I.; KIM, H. R.; CHOI, S. J.; PARK, C-S.; MOON, T. W. Preparation and characterization of the inclusion complexes between amylosucrase-treated waxy starch and palmitic acid. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 323–329, 2017.

KOWSIK, P. V.; MAZUMDER, N. Structural and chemical characterization of rice and potato starch granules using microscopy and spectroscopy. **Microscopy Research and Technique**, v. 81, n. 12, p. 1–8, 2018.

KRUMREICH, F. D.; BORGES, C. D.; MENDONÇA, C. R. B.; JANSEN-ALVES, C.; ZAMBIAZI, R. C. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. **Food Chemistry**, v. 257, p. 376-381, 2018.

KUGIMIYA, B. M.; DONOVAN, J. W.; WONG, R. Y. Phase transitions of amylase lipid complexes in starches: a calorimetric study. **Starch**, v. 32, p. 265, 1980.

LAMBADIARI, V.; KORAKAS, E.; TSIMIHODIMOS, V. The impact of dietary glycemic index and glycemic load on postprandial lipid kinetics, dyslipidemia and cardiovascular risk. **Nutrients**, v. 12, n. 8, p. 1–21, 2020.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959.

LI, L.; LIU, Z.; ZHANG, W.; XUE, B.; LUO, Z. Production and applications of amylose-lipid complexes as resistant starch: recent approaches. **Starch**, v. 73, p. 2000249, 2021.

LI, X., LUO, S., HOU, Y., LIU, Y., HU, X., & LIU, C. Effect of triglyceride on complexation between starch and fatty acid. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 155, p. 1069–1074, 2020.

LIMBERGER, V. M.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D.; BRUM, F. B.; EMANUELLI, T.; DA SILVA, L. P. Produção de salgadinho extrusado de quirera de arroz para uso na indústria de alimentos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2590–2594, 2009.

MAACHE-REZZOUG, Z.; ZARGUILI, I.; LOISEL, C.; QUEVEAU, D.; BULÉON, A. Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC hydrothermal treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 802–812, 2008.

MCGRANE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A simple and rapide colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch**, v. 50, n. 158-163, 1998.

MILLER, J. B.; PANG, E.; BRAMALL, L. Rice: a high or low glycemic index food? **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 56, n. 6, p. 1034-1036, 1992.

MONTEDORO, G. F.; SERVILI, M.; BALDIOLI, M.; MINIATI, E. Simple and hydrolyzable phenolic compounds in virgin olive oil: 1. Their extraction, separation, and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 1571-1578, 1992.



MUTHAYYA, S.; SUGIMOTO, J. D.; MONTGOMERY, S. K.; MABERLY, G. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1324, n. 1, p. 7–14, 2014.

OBIRO, W. C.; RAY, S. S.; EMMAMBUX, M. N. V-amylose structural characteristics, methods of preparation, significance, and potential applications. **Food Reviews International**, v. 28, n. 4, p. 412–438, 2012.

OLIVEIRA, A. C. DE; PEGORARO, C.; VIANA, V. E. **The future of rice demand: quality beyond productivity**. The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity (1st ed.). Springer Nature Switzerland, 2020.

ORTIZ-AVILA, O.; GALLEGOS-CORONA, M. A.; SÁNCHEZ-BRIONES, L. A.; CALDERÓN-CORTÉS, E.; MONTOYA-PÉREZ, R.; RODRIGUEZ-OROZCO, A. R.; CAMPOS-GARCÍA, J.; SAAVEDRA-MOLINA, A.; MEJÍA-ZEPEDA, R.; CORTÉS-ROJO, C. Protective effects of dietary avocado oil on impaired electron transport chain function and exacerbated oxidative stress in liver mitochondria from diabetic rats. **Journal of Bioenergetics and Biomembranes**, v. 47, n. 4, p. 337–353, 2015.

OYEYINKA, S. A.; AKINTAYO, O. A.; ADEBO, O. A., KAYITESI, E.; NJOBEH, P. B. A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 176, p. 87–95, 2021.

PEREIRA, J. A. Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, p. 226, 2002.

PLAZA, L.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; PASCUAL-TERESA, S. DE; ANCOS, B. DE; CANO, M. P. Fatty acids, sterols, and antioxidant activity in minimally processed avocados during refrigerated storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 8, p. 3204–3209, 2009.

PUTSEYS, J. A.; LAMBERTS, L.; DELCOUR, J. A. Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 3, p. 238–247, 2010.

QIAN, H.; ZHANG, H. **Rice flour and related products**. In: Handbook of Food Powders: Processes and Properties. Elsevier Inc., p. 553–575, 2013.

RABEK, J. F. Applications of wide-angle X-ray diffraction (WAXD) to the study of the structure of polymers. In: **Experimental Methods in Polymer Chemistry**, Chichester: Wiley-Interscience. 1<sup>o</sup> ed., p. 505-508, 1980.

RAMADAN, M. F. **Fruit Oils: Chemistry and Functionality**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

SANTOS, M. A. Z.; ALICIEO, T. V. R.; PEREIRA, C. M. P.; RAMOS, G. R.; MENDONÇA, C. R. B. Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: Influence of the drying processes and extraction methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 9, p. 19–27, 2014.

SILVA, G. DE O.; TAKIZAWAI, F. F.; PEDROSOI, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 188–197, 2006.

SILVA, T. N.; DA COSTA, A. R.; GARCIA-ROJAS, E. E. Textural behavior of gels formed by rice starch and whey protein isolate: Concentration and crosshead velocities. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 713–723, 2017.

SINGH, N.; KAUR, L.; SANDHU, K. S.; KAUR, J.; NISHINARI, K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532–542, 2006.

SINGH, T. P.; SOGI, D. S. Comparison of physico-chemical properties of starch isolated from bran and endosperm of rice (*Oryza sativa* L.). **Starch**, v. 1700242, p. 1–8, 2018.

TAN, C. X.; CHONG, G. H.; HAMZAH, H.; GHAZALI, H. M. Characterization of Virgin Avocado Oil Obtained via Advanced Green Techniques. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 120, n. 10, 2018.

TEKLEHAIMANOT, W. H.; DUODU, K. G.; EMMAMBUX, M. N. Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise-type emulsions. **Starch**, v. 65, n. 9-10, p. 773–781, 2013.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 551–557, 1990.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: A focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245–266, 2004.

VELANGI, A.; FERNANDES, G.; WOLEVER, T. M. Evaluation of a glucose meter for determining the glycemic responses of foods. **Clinical Chimica Acta**, Amsterdam, v. 356, n. 1-2, p. 191-198, 2005.

VERMA, D. K.; SRIVASTAV, P. P. Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. **Trends in Food Science and Technology Elsevier Ltd**, 2020.

VITURAWONG, Y.; ACHAYUTHAKAN, P.; SUPHANTHARIKA, M. Gelatinization and rheological properties of rice starch/xanthan mixtures: Effects of molecular weight of xanthan and different salts. **Food Chemistry**, v. 111, n. 1, p. 106–114, 2008.

WADUGE, R. N.; HOOVER, R.; VASANTHAN, T.; GAO, J.; LI, J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. **Food Research International**, v. 39, p. 59–77, 2006.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. DE. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1184–1192, 2008.

WANG, H.; LIU, Y.; CHEN, L.; LI, X.; WANG, J.; XIE, F. Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. **Food Chemistry**, v. 242, p. 323–329, 2018.

WANG, L.; WANG, Y. Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 291–296, 2004.

WANG, S.; CHAO, C.; CAI, J.; NIU, B.; COPELAND, L.; WANG, S. Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2020.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: A review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564–1580, 2013.

WANG, S.; ZHENG, M.; YU, J.; WANG, S.; COPELAND, L. Insights into the formation and structures of starch-protein-lipid complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 9, p. 1960–1966, 2017.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; GUL, K., WANI, I. A. Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 5, p. 417–436, 2012.

XIE, X.; QI, L.; XU, C.; SHEN, Y.; WANG, H.; ZHANG, H. Understanding how the cooking methods affected structures and digestibility of native and heat-moisture treated rice starches. **Journal of Cereal Science**, v. 95, p. 103085, 2020.

XU, X.; SHIVAPPA, N. Dietary glycemic index, glycemic load and risk of bladder cancer: a prospective study. **European Journal of Nutrition**, v. 60, n. 2, p. 1041–1048, 2021.

YANG, X.; CHI, C.; LIU, X.; ZHANG, Y.; ZHANG, H.; WANG, H. Understanding the structural and digestion changes of starch in heat-moisture treated polished rice grains with varying amylose content. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 785–792, 2019.

ZAMBIAZI, R. C. **Análise físico-química de alimentos**. Pelotas: Editora Universitária da UFPel, 95 p., 2010.

ZAVAREZE, E. D. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317–328, 2011.

ZAVAREZE, E. D. R.; STORCK, C. R.; CASTRO, L. A. S.; SCHIRMER, M. A.; DIAS, A. R. G. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 358–365, 2010.

ZENECON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008.

ZHANG, B.; HUANG, Q.; LUO, F.; FU, X. Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 174–181, 2012.

ZHAO, Y.; AI, Y.; LI, L.; JANE, J.-L.; HENDRICH, S.; BIRT, D. F. Inhibition of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon by a stearic acid complexed high-amylose cornstarch using different cooking methods and assessing potential gene targets. **Journal of Functional Foods**, v. 6, p. 499–512, 2014.

ZHAO, Y.; HASJIM, J.; LI, L.; JANE, J.-L.; HENDRICH, S.; BIRT, D. F. Inhibition of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon by a cooked stearic acid complexed high-amylose cornstarch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 17, p. 9700–9708, 2011.

ZHENG, M. ZHU; XIAO, Y.; YANG, S.; LIU, H. M.; LIU, M. H.; YAQOUB, S.; XU, X. Y.; LIU, J. S. Effects of heat–moisture, autoclaving, and microwave treatments on physicochemical properties of proso millet starch. **Food Science and Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 735–743, 2020.

ZHENG, M.; CHAO, C.; YU, J.; COPELAND, L.; WANG, S.; WANG, S. Effects of chain length and degree of unsaturation of fatty acids on structure and *in vitro* digestibility of starch-protein-fatty acid complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 8, p. 1872–1880, 2018.

ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 12, p. 2691–2705, 2017.