

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

CRISTIANE PINHERO DE SOUSA

**AMIDO DE SEMENTES DE JACA ORGÂNICA (*Artocarpus heterophyllus* L.):
EXTRAÇÃO, TRATAMENTO POR ULTRASSOM, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA,
TÉRMICA E MORFOLÓGICA**

PONTA GROSSA

2023

CRISTIANE PINHERO DE SOUSA

**AMIDO DE SEMENTES DE JACA ORGÂNICA (*Artocarpus heterophyllus* L.):
EXTRAÇÃO, TRATAMENTO POR ULTRASSOM, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA,
TÉRMICA E MORFOLÓGICA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler

PONTA GROSSA

2023

S725 Sousa, Cristiane Pinheiro de
Amido de sementes de jaca orgânica (*Artocarpus heterophyllus L.*):
extração, tratamento por ultrassom, caracterização física, términca e
morfológica: / Cristiane Pinheiro de Sousa. Ponta Grossa, 2023.
66 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de
Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler.

1. Amido não convencional. 2. Modificação física. 3. Solubilidade.. I.
Schnitzler, Egon. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e
Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664.01

TERMO DE APROVAÇÃO

CRISTIANE PINHEIRO DE SOUSA

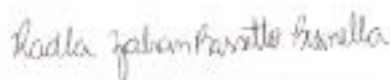
“Amido de sementes de jaca orgânica (*Artocarpus heterophyllus* L.): Extração, tratamento por ultrassom, caracterização física, térmica e morfológica”

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler



Prof. Dr. Egon Schnitzler - UEPG-PR - Presidente



Profª. Dra. Radla Zabian Bassetto Bisinella - UEPG-PR - Membro Titular



Profª. Dra. Cristina Soltovski de Oliveira - SENAC-PR - Membro Titular

Ponta Grossa, 28 de abril de 2023.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, que cuidou dos mínimos detalhes, me mostrando sempre o quanto sou forte e que os planos Dele são muito maiores do que os sonhos que eu planejei.

À minha mãe por todo apoio e incentivo, sempre buscando me ajudar e a realizar esse sonho de ser Mestre.

Ao meu orientador, Prof. Dr., Egon Schnitzler por toda paciência, compreensão, disponibilidade e apoio, que foi fundamental para a conclusão desse trabalho.

Aos meus familiares que sempre torceram, e em especial a minha avó Maria Rodrigues que mesmo sem entender sobre a minha pesquisa, me incentivava e se preocupava sobre a minha pesquisa.

À Jeanes Batista, pelo apoio e disponibilidade da matéria-prima utilizada nesse trabalho.

A Natália Miranda, amiga que a Universidade me presenteou durante essa jornada, por todo acolhimento, preocupação e sempre buscando a me ajudar de alguma forma, obrigada de coração, Nati!

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (Programa de Pós-graduação, Departamento de Engenharia de Alimentos) e ao laboratório LABMU pela infraestrutura na realização das análises do trabalho.

Aos coordenadores e professores do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos ensinamentos durante a minha formação.

Aos membros da banca, que contribuíram de forma fundamental para a melhoria desse trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho.

Muito obrigada!

*A verdadeira coragem é ir atrás de seu sonho
mesmo quando todos dizem que ele é impossível.
(Cora Coralina)*

RESUMO

O amido é considerado um componente essencial nas preparações dos alimentos, responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam na maior parte dos produtos industrializados. Entre as fontes de amidos pode-se destacar a jaca (*Artocarpus heterophyllus L.*). No entanto, a semente tem um considerado valor nutricional, que pode ser adicionado em formulações de amidos para preparações alimentícias. O objetivo desse estudo foi avaliar as propriedades morfológicas, térmicas e estruturais do amido da semente de jaca orgânica modificado fisicamente. O amido nativo foi dividido igualmente em 2 amostras: amostra A (semente com casca) e amostra B (semente sem casca) e submetido a modificações físicas pela técnica de ultrassom (amplitudes de 40 e 70 %). No RVA (Rapid Visco Analyser) foi analisado a viscosidade do amido de sementes de jaca e notou-se o US40% seria um produto menos viscoso comparado com os amidos de outras fontes. A morfologia dos grânulos foi observada por microscópio eletrônico de varredura (MEV-FEG), e encontrou-se o amido nativo e modificados sem a casca com os grânulos formas poligonais arredondadas e diâmetros irregulares e o com casca que os grânulos possuem também formas arredondadas e diâmetros irregulares. A Difração de Raios X analisou a cristalinidade dos amidos nativos e modificados e encontraram amidos semicristalinos. A colorimetria indicou a coloração avermelhada e amarelada para o amido com casca e o sem a casca com coloração mais clara. Na termogravimetria (TG/DTG), observou-se em relação à estabilidade que houve uma variação de ($T_i=136,55^{\circ}\text{C}$ a $151,25^{\circ}\text{C}$) e ($T_f=239,7$ a $249,09$) e o amido nativo com casca obteve a menor estabilidade ao compará-lo com outras amostras. Na Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), foi visto que na temperatura inicial as amostras com casca de amido nativo e modificados por US se mantiveram com temperaturas semelhantes, o que se difere das amostras analisadas sem casca onde o amido nativo ($79,16^{\circ}\text{C}$) obteve a maior temperatura. Considerando esses aspectos o amido de sementes de jaca seria um produto com viscosidade, podendo ser utilizado como produtos alimentícios principalmente como espessante.

Palavras-chave: Amido não convencional. Modificação física. Solubilidade.

ABSTRACT

Starch is considered an essential component in food preparation, responsible for the technological properties that characterize most industrialized products. Among the sources of starches, jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) can be highlighted. However, the seed has a considerable nutritional value, which can be added to starch formulations for food preparations. The aim of this study was to evaluate the morphological, thermal and structural properties of physically modified organic jackfruit seed starch. The native starch was equally divided into 2 samples: sample A (seed with husk) and sample B (seed without husk) and submitted to physical modifications by the ultrasound technique (amplitudes of 40 and 70%). In RVA (Rapid Visco Analyser) the viscosity of starch from jackfruit seeds was analyzed and it was noted that US40% would be a less viscous product compared to starches from other sources. The morphology of the granules was observed by scanning electron microscopy (SEM-FEG), and native and modified starches were found without the shell, with the granules having rounded polygonal shapes and irregular diameters, and with the shell, the granules also have rounded shapes and irregular diameters. X-Ray Diffraction analyzed the crystallinity of native and modified starches and found semicrystalline starches. The colorimetry indicated a reddish and yellowish color for the starch with the shell and the one without the shell with a lighter color. In thermogravimetry (TG/DTG), it was observed in relation to stability that there was a variation of ($T_i=136.55^{\circ}\text{C}$ to 151.25°C) and ($T_f=239.7$ to 249.09) and starch native with bark obtained the lowest stability when comparing it with other samples. In the Differential Scanning Calorimetry (DSC), it was seen that at the initial temperature the samples with native starch husk and those modified by US remained at similar temperatures, which differs from the analyzed samples without husk where the native starch (79.16°C) had the highest temperature. Considering these aspects, jackfruit seed starch would be a product with viscosity, which can be used in food products, mainly as a thickener.

Keywords: Unconventional starch. Physical modification. Solubility.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Parte externa e interna da jaca	15
FIGURA 2 - Polímeros do amido.....	18
FIGURA 3 - Processo de retrogradação do amido.....	20
FIGURA 4 - Semente de jaca.....	23
FIGURA 5 - Representação de uma curva RVA.....	29
FIGURA 6 - Representação de uma microimagem.....	31
FIGURA 7 - Fluxograma da extração do amido da semente de Jaca.....	35
FIGURA 8 – Amido nativo de semente de jaca decantado após centrifugação.....	36
FIGURA 9 - Fluxograma da Modificação do Amido por Ultrassom.....	37
FIGURA 10 - Análise viscoamilográfica RVA do amido da semente de jaca sem a casca.....	42
FIGURA 11 - Análise viscoamilográfica RVA do amido da semente de jaca com a casca	43
FIGURA 12 - Microimagens (3kx) do amido nativo e modificado sem a casca.....	45
FIGURA 13 - Microimagens (3kx) do amido nativo e modificado com a casca.....	45
FIGURA 14 - Difractometria de raios X do amido nativo e modificadas por US com e sem a casca da semente de jaca.....	47
FIGURA 15 - Curvas de TG/DTG obtidos dos amidos nativo e modificados por US.....	49
FIGURA 16 - Curvas DSC do amido da semente de jaca nativo e modificados por US.....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Valor nutricional das frutas comuns.....	16
TABELA 2: Composição da semente da jaca em cada 100 gramas.....	17
TABELA 3: Composição química do amido de diferentes variedades de jaca.....	22
TABELA 4: Dados de Análise viscoamilográfica RVA do amido da semente de jaca com e sem a casca.....	44
TABELA 5: Cristalinidade relativa e picos do amido nativo e modificados.....	47
TABELA 6: Parâmetros L*, a* e b* do amido da semente de jaca nativo e modificado, com casca e sem casca.....	49
TABELA 7: Valores TG/DTG obtidos dos amidos nativo e modificados por US.....	51
TABELA 8: Resultados do DSC do amido nativo e modificados por US.....	52

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Rendimento.....	36
EQUAÇÃO 2 - Cristalinidade relativa.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 A SEMENTE DE JACA.....	15
3.2 AMIDO.....	17
3.3 AMIDO DA JACA.....	21
3.3.1 Amido da semente de jaca.....	23
3.3.2 Amido modificado.....	24
3.4 MODIFICAÇÃO POR ULTRASSOM.....	26
3.5 MÉTODOS DE ANÁLISES.....	28
3.5.1 Propriedades de pasta (RVA).....	28
3.5.2 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV-FEG).....	30
3.5.3 Difração de Raios X (DRX).....	31
3.5.4 Colorimetria.....	32
3.5.5 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG).....	33
3.5.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 MATERIAIS	35
4.2 MÉTODOS	35
4.2.1 Extração do amido da semente de Jaca.....	35
4.2.2 Modificação por ultrassom.....	36
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO	37
4.3.1 Propriedades de pasta (RVA).....	38
4.3.2 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV-FEG).....	38
4.3.3 Difração de Raios X.....	38
4.3.4 Colorimetria.....	39
4.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS	39
4.4.1 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG).....	39
4.4.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	40
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	40

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 RENDIMENTO EXTRAÇÃO.....	41
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO	41
5.2.1 Propriedades de pasta (RVA).....	41
5.2.2 Microscopia Eletrônica de varredura (FEG).....	44
5.2.3 Difração de Raios X.....	47
5.2.4 Colorimetria.....	48
5.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS	49
5.3.1 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG)	49
5.3.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	52
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O amido é considerado um componente essencial nas preparações dos alimentos, responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam a maior parte dos produtos industrializados (SANTOS et al., 2013). É um dos mais importantes componentes encontrados na natureza e empregados na indústria de alimentos, devido a seu baixo custo e variedade de aplicações.

Dentre as fontes de amidos naturais pode-se destacar a jaca (*Artocarpus heterophyllus L.*), planta de origem asiática (Malásia e Índia) e comumente encontrada em regiões tropicais. A fruta é composta por: casca, bagos (polpa), mesocarpo, pedúnculo (eixo) e sementes. Suas características nutricionais mudam de acordo com as condições climáticas (SWAMI et al., 2012).

A polpa da jaca é rica em carboidratos, potássio, ferro, fibras, cálcio, fósforo, magnésio, carboidratos, vitaminas A e C e vitaminas do complexo B, podendo ser utilizada *in natura*, ou em produtos processados, como doce, suco e diversos outros (BALIGA et al., 2011; PRETTE, 2012). As sementes também são fontes de extração de amido (MADRUGA et al., 2014). Além de seu potencial industrial, podem ser ingeridas assadas ou após o cozimento ou convertidas em farinhas, as quais são matéria-prima para vários produtos de panificação (BASSO, 2017).

Apesar dos benefícios à saúde, a jaca ainda é pouco aproveitada pela indústria alimentícia. Fatores como a dificuldade de manejo da fruta, o pouco conhecimento, e a baixa aceitabilidade comestível, ainda resultam em altos índices de desperdício desta cultivar. Dessa maneira, uma melhor estratégia pós-colheita poderia se basear no desenvolvimento de novos produtos visando a redução do desperdício (RANASINGHE; MADUWANTHI; MARAPANA, 2019).

O aproveitamento dos subprodutos são estratégias para a redução dos desperdícios, portanto, observa-se que o grande cultivo de jaca no mundo e que o descarte das sementes representa uma elevada quantidade de amido desperdiçado. Com isso, existe a necessidade de estudos acerca das propriedades tecnológicas sobre o efeito do ultrassom na extração e modificação do amido da semente de jaca para a utilização na formulação de produtos alimentícios.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou analisar o amido modificado da semente de jaca orgânica através da extração, tratamento por ultrassom,

caracterização física, morfológica e térmica sugerindo possíveis aplicações na indústria alimentícia como espessantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades morfológicas, térmicas e estruturais do amido da semente de jaca orgânica modificado fisicamente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair o amido de forma aquosa das sementes de jaca orgânica (*Artocarpus heterophyllus L.*);
- Modificar o amido por ultrassom em meio aquoso;
- Analisar o comportamento de pasta dos amidos nativo e modificado por *Rapid Visco Analyser (RVA)*;
- Verificar as propriedades morfológicas, estruturais dos amidos da semente de jaca nativo e modificado por Microscopia Eletrônica de Varredura com emissão de campo (MEV- FEG), Difractometria de raios X e Colorimetria;
- Determinar as propriedades térmicas dos amidos por Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG/DTG) e Calorimetria exploratória diferencial (DSC).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A SEMENTE DE JACA

A jaca (*Artocarpus heterophyllus L.*) é uma fruta popularmente encontrada nas regiões tropicais e tem origem Asiática, possui duas variedades conhecidas no Brasil como 'jaca-dura', devido aos seus bagos de consistência um pouco endurecida e 'jaca-mole', que apresenta bagos mais macios (SOUZA et al., 2009).

A fruta (Figura 1) é constituída por uma parte externa, a casca, e quatro partes internas: o mesocarpo, o pedúnculo ou eixo, a polpa ou bagos, e as sementes. A parte mais consumida da jaca é sua polpa, e as demais partes, provenientes de sua casca e das sementes, geram um enorme volume de resíduos (SILVA et al., 2007).

FIGURA 1:Parte externa e interna da jaca.



Legenda: Parte externa da jaca (A); Parte interna da jaca (B); Polpa ou Bagoes (C); Semente da jaca (D)

Fonte: O autor (2022).

Em relação à disponibilidade de macronutrientes na jaca, a fruta destaca-se pelo alto teor de proteína. Apresenta 2,74 g de proteína em sua polpa, sendo a fruta com o mais alto teor proteico quando comparada às frutas comuns (TEWARI et al., 2021). Conforme descrito pelo mesmo autor, 100 g da fruta apresentam 78,56 g de água, 0,15 g de lipídeos, 14,01 g de carboidratos, 3,62 g de fibras, 6,74 mg de vitamina C e 72,17 kcal. Para fins de comparação relativa, o valor nutricional da jaca e de 21 outras frutas comuns está listado na Tabela 1.

TABELA 1: Valor nutricional das frutas comuns (em cada porção comestível de 100 gramas).

Nome da Fruta	Água	Proteína	Lipídeos	Carboidratos	Fibra	Energia	Vitamina C
	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(kcal)	(mg)
Jaca	78,56	2,74	0,15	14,01	3,62	72,17	6,73
Abacaxi	86,06	0,52	0,16	9,42	3,46	43,02	36,37
Ameixa	84,44	0,64	0,40	12,10	2,07	56,88	2,26
Banana	71,93	1,23	0,33	23,63	1,94	105,16	8,06
Carambola	91,18	0,79	0,39	4,51	2,81	26,29	33,55
Cereja	83,61	1,49	0,46	11,87	2,12	59,75	8,82
Goiaba	83,79	1,44	0,32	5,13	8,59	32,26	214
Kiwi	84,00	1,10	0,50	15,00	2,10	9,56	70,00
Laranja	89,61	0,72	0,13	7,92	1,29	37,28	42,72
Lichia	85,56	0,99	0,26	11,41	1,34	53,77	33,82
Lima	91,32	0,76	0,20	5,18	2,07	27,24	46,96
Limão	91,59	0,41	0,75	6,97	1,80	36,56	48,16
Maçã	82,79	0,27	0,60	13,99	2,07	64,29	4,24
Mamão	91,47	0,42	0,16	4,61	2,83	23,90	43,09
Manga	88,44	0,54	0,55	8,18	1,88	41,82	32,97
Melancia	94,57	0,60	0,16	3,86	0,70	20,31	11,45
Morango	92,03	0,97	0,56	3,40	2,50	24,61	50,20
Pera	86,49	0,36	0,27	8,09	4,48	37,52	3,31
Pinha	71,55	1,62	0,67	20,38	5,10	98,94	21,51
Romã	83,55	1,33	0,15	11,58	2,83	54,73	12,69
Tâmara	11,14	2,45	0,35	74,91	8,95	320,36	4,42
Uva roxa	75,30	1,41	0,46	20,48	1,64	94,40	27,32
Uva verde	85,55	0,62	0,26	11,81	1,28	53,53	16,47

Fonte: Adaptado de Tewari et al. (2021).

Sobre a composição centesimal da semente de jaca, Abedin et al. (2012) realizaram a comparação entre as sementes da jaca mole e jaca dura, conforme apresentado na Tabela 2. Os resultados para jaca mole indicaram: umidade (42,25%), proteína (14,81%), lipídeos (0%) e cinzas (2,12%). Por outro lado, para a jaca dura foram encontrados os seguintes valores: umidade (35,97%), proteína (13,12%), lipídeos (0%) e cinzas (4,07%).

TABELA 2: Composição da semente da jaca em cada 100 gramas.

Composição	Jaca Mole	Jaca Dura
Umidade (%)	42,25	35,97
Cinzas (%)	2,127	4,073
Lipídeos (%)	-	-
Proteínas (%)	14,813	13,125
Fibras (%)	3,83	2,6
Carboidratos (%)	-	-
Cálcio (mg)	0,11	0,02
Magnésio (mg)	168,7	150,7
Fósforo (mg)	170,7	139
Potássio (mg)	-	-
Sódio (mg)	-	-
Ferro (mg)	-	-
Cobre (mg)	1,467	3,167
Zinco (mg)	2,333	1,5

Fonte: Adaptado de Abedin et al. (2012).

A jaca pode conter de 100 a 500 sementes, que medem entre 2 a 4 cm de comprimento e representam 15% do peso da fruta (MADRIGAL-ALDANA et al., 2011; MADRUGA et al., 2014). Podem ser consumidas torradas ou cozidas no vapor e pode ser transformadas em farinha e agregada em preparações (ALDANA et al., 2011; MUKPRASIT; SAJJAANANTAKUL, 2004).

Geralmente as sementes são descartadas durante consumo da fruta, mesmo contendo elevada quantidade de amido, que é um dos componentes mais importantes, principalmente pela modificação física e química, que conferem alta tolerância contra os efeitos térmicos e mecânicos (MAHANTA; KALITA, 2015), sendo um atrativo para as indústrias de alimentícios

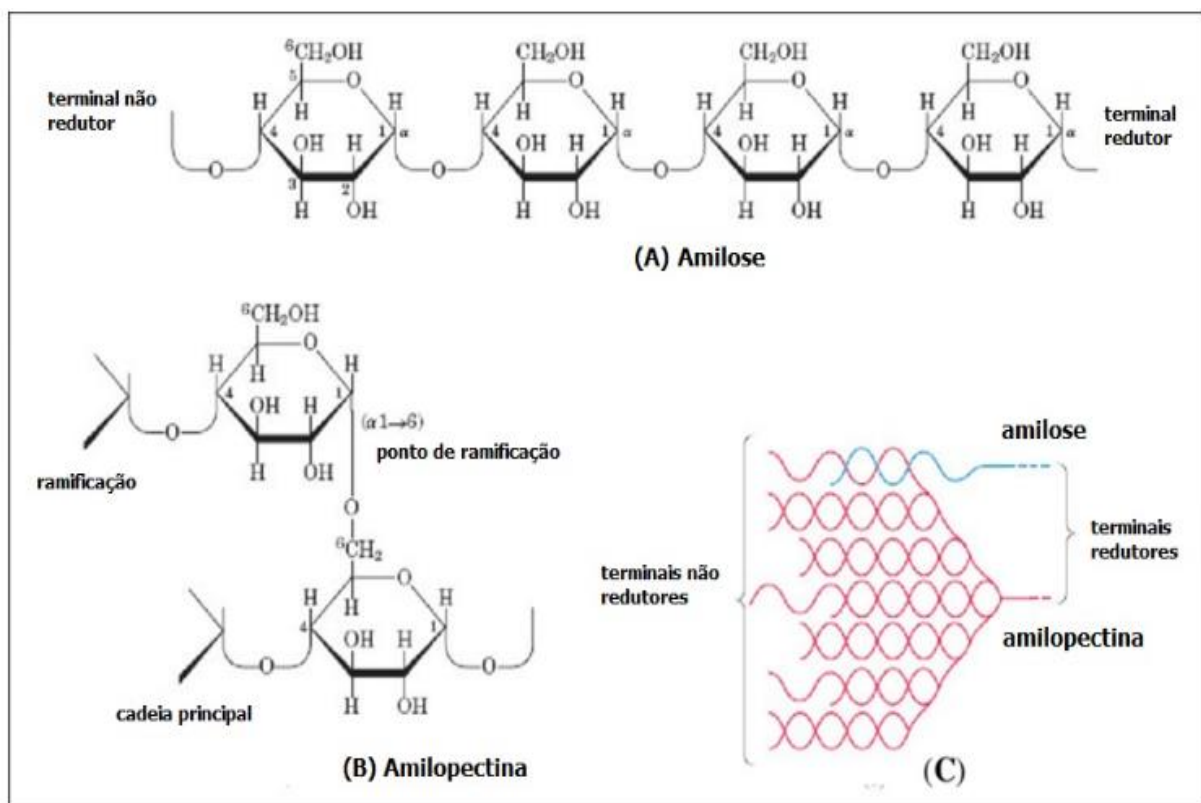
3.2 AMIDO

O amido $(C_6H_{10}O_5)_n$ possui grânulos que variam em diâmetro de 1 a 150 μm . Dentre os amidos comerciais, os de arroz são os menores (3-9 μm) e fécula de batata são os maiores (15–100 μm) (WURZBURG, 1973). Grânulos de amido intactos são insolúveis em água fria, mas absorvem água de forma reversível, com leve inchaço.

Molecularmente, o amido é um carboidrato (Figura 2), constituído de duas classes de polissacarídeos, amilose e amilopectina. A amilose é uma cadeia linear ramificada, formada por unidades α -D-glucopiranosil unidas por ligações α (1-4). A

amilopectina é uma cadeia ramificada, formada também por unidades α -D-glucopiranosil contendo ligações α (1-4) e pontos de ramificação na posição α (1-6) (WURZBURG et al., 1989). Variações de teor de amilose e amilopectina resultam na em diversos tipos de amido com distintas como o resistente, o modificado e o pré-gelificado e com propriedades físico-químicas e funcionais, o que pode interferir em sua utilização em produtos alimentícios ou em aplicações industriais (KOBAYESHI et al., 1986, YUAN et al., 1993).

FIGURA 2: Polímeros do amido.



Legenda: (A) um pequeno segmento da amilose, um polímero linear de moléculas de D-glicose; (B) Estrutura da amilopectina mostrando um ponto de ramificação; (C) Disposição das moléculas de amilose e amilopectina no grão de amido.

Fonte: Lehninger et al. (2002).

A síntese do amido ocorre nos cloroplastos das plantas, em um processo de etapas sucessivas: iniciação; alongamento; ramificação e terminação. A porção glicose da ADP-glicose é transportada para a não-redutora (carbono 4) da glicose terminal da cadeia de amido em formação, em uma reação catalisada pela enzima amido-sintase, que promove o alongamento da cadeia de amilose. Como consequência, é formada a molécula de amido, constituída por moléculas de glicose unidas por ligações do tipo α (1-4). Já para formação da amilopectina, é necessária a

ação da enzima ramificadora pela inserção de uma ligação α -1,4 em um carbono 6 de uma molécula de glicose, que dá origem às ramificações do tipo α (1-6) (WANG e WHITE, 1994).

O amido pode se originar diversas fontes vegetais com quantidades variáveis de amilose e amilopectina e são abundantes em raízes (LAJOLO e MENEZES, 2006). Segundo a RESOLUÇÃO-RDC Nº 711/2022, que dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães, o amido é definido como o produto amiláceo extraído de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas.

Para cumprir os requisitos específicos da ANVISA, os amidos, os farelos e as farinhas devem cumprir os seguintes limites máximos de umidade: 15%, no caso de amidos de cereais, farelos e farinhas; 21%, no caso de amido de batata; e 18%, no caso de amido de mandioca. A resolução também estabelece como requisito de rotulagem, que o produto possua em sua denominação de venda o nome “amido”, seguido do nome comum das espécies vegetais utilizadas.

Para a determinação da solubilidade é utilizado a temperatura como parâmetro importante no inchamento dos grânulos de amido. Quando a temperatura da água é elevada, as moléculas de amido vibram, rompendo as ligações intermoleculares e permitem a formação de ligações de hidrogênio com a água, que ao penetrar, a estrutura do grânulo se separam dos maiores segmentos de cadeias de amido, onde aumentam ao acaso a estrutura geral e diminuem o número de regiões cristalinas (MARCON, 2012).

O aquecimento contínuo resulta na perda da cristalinidade devido à presença de água abundante que ao entrar em contato com a água fria, os grânulos do amido incham com a absorção de água nas regiões amorfas, podendo ser reversível pelo processo de secagem, porém quando são aquecidos em água, eles incham em um fenômeno denominado gelatinização, ocorrendo a perda da estrutura dos grânulos com fusão dos cristais (PASCOL, 2014).

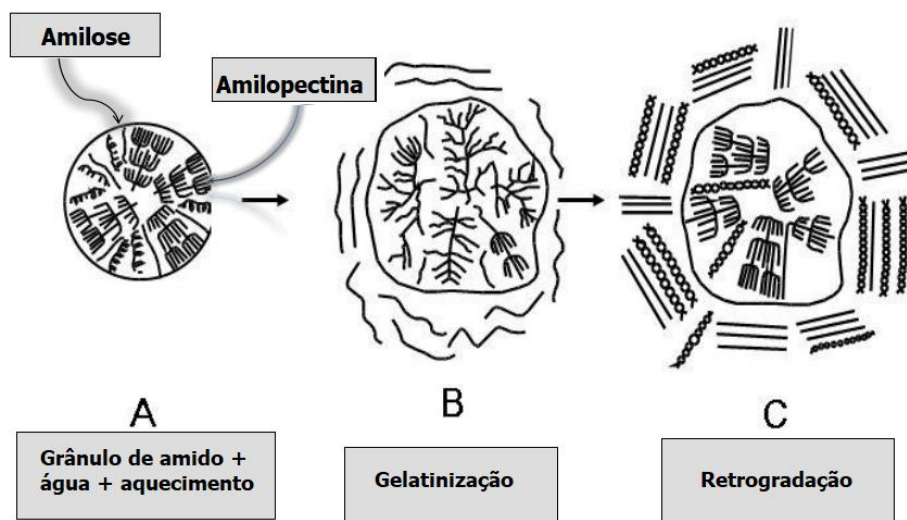
Os autores Singh et al. (2003), citam que quando as moléculas de amido são aquecidas em água, ocorre o rompimento da estrutura cristalina, e as moléculas de água formam ligações de hidrogênio entre a amilopectina e amilose expondo seus grupos hidroxila, o que causa a elevação do inchamento e da solubilidade do grânulo. Com a absorção contínua de água à temperatura ambiente, o diâmetro do grânulo pode aumentar de 9,1% a 22,7%, como é o caso do milho ceroso (BAUMANN et al.,

1988). Em água quente ocorre um inchaço ainda maior, de forma irreversível e dependente do tipo de amido (WHISTLER et al., 2000).

Existem produtos químicos como sulfato de sódio, sacarose e D-glicose que retardam o efeito da gelatinização e os compostos como nitrato de sódio, hidróxido de sódio e ureia reduzem a faixa de temperatura de gelatinização. A ruptura dos grânulos de amido, como quando são moídos, facilita o processo de gelatinização (WHISTLER et al., 2000).

A Figura 3, mostra o que ocorre quando o amido é aquecido com excesso de água; amido incha e perde a birrefringência, que é a sua estrutura radial (A). Conforme descrito por Del Carmen et al., (2012), com aumento de viscosidade, algumas das menores moléculas de amilose são solubilizadas e para se reassociarem em feixes compactos, que irão precipitar, caso a concentração de amido seja baixa, ou formarão um gel, caso a concentração seja alta, em um processo chamado de gelatinização (B). Depois do resfriamento, o amido gelatinizado começa a se reassociar em uma estrutura ordenada (ATWELL et al., 1988) e ocorre retrogradação (C). A retrogradação do amido ocorre após o tratamento térmico, quando macromoléculas de amido desorganizadas são mantidas em temperatura ambiente ou baixa temperatura (por exemplo, 4°C) sem desidratação prévia. Este fenômeno é caracterizado por recristalização de amilose e amilopectina em formas altamente resistentes às amilases (CHAMP et al., 1998).

FIGURA 3: Processo de retrogradação do amido



Fonte: Adaptado de Englyst et al. (1992).

3.3 AMIDO DA JACA

Os tipos de amido comercial mais comumente usados em várias indústrias, principalmente a alimentícia, são os derivados de trigo, milho, batata, arroz e mandioca (ROLLAND-SABATÉ et al., 2013). Porém, têm-se aumentado a demanda por outras fontes não tradicionais. Nesse contexto, o amido de jaca se destaca por possuir certas propriedades funcionais desejáveis e diferenciadas (alto teor de amilose, baixa temperatura de gelatinização, alto valor de entalpia de gelatinização e baixa digestibilidade), sugerindo o seu potencial como um recurso específico de amido (ZHANG et al., 2016; ZHANG et al., 2018).

Para extração do amido de jaca, os principais métodos utilizados são a moagem úmida, método alcalino, método enzimático e a extração com surfactante, que apresentam rendimentos de extração de 18,92%, 63,82-64,46%, 43,57-66,68% e 70,55%, respectivamente (HU et al., 2016). Dentre eles, o método alcalino se destaca por resultar em pureza superior a 99%, com rendimento de extração entre 18,92% a 22,86% (ZHANG et al., 2016). A extração enzimática resulta em um baixo conteúdo residual de proteínas e lipídios, e é considerado econômico e sustentável (ZHANG et al., 2020).

A extração pode afetar significativamente os componentes químicos do amido, como os teores de amilose, lipídios, proteínas e cinzas. Por exemplo, o amido extraído pela moagem úmida apresenta maior teor residual de proteínas e lipídios do que o amido extraído pelo método alcalino. A determinação do teor de amilose do amido de jaca é de importância fundamental para entendimento de suas propriedades funcionais (MADRUGA et al., 2014).

Os valores relatados na literatura (Tabela 3) para o conteúdo de amilose do amido de jaca de diferentes origens variam entre 22,10% a 38,34%. Existe uma grande diversidade no conteúdo de outros nutrientes. Por exemplo, as proteínas, lipídios e cinzas do amido de jaca de diferentes origens variam entre 0,09% - 3,68%, 0,02% - 0,99% e 0,03% - 0,99%, respectivamente. Essas variações no teor de amilose podem ser ocasionadas diferenças em cultivares de plantas, áreas geográficas onde foram plantadas, e método de processamento.

TABELA 3: Composição química do amido de diferentes variedades de jaca.

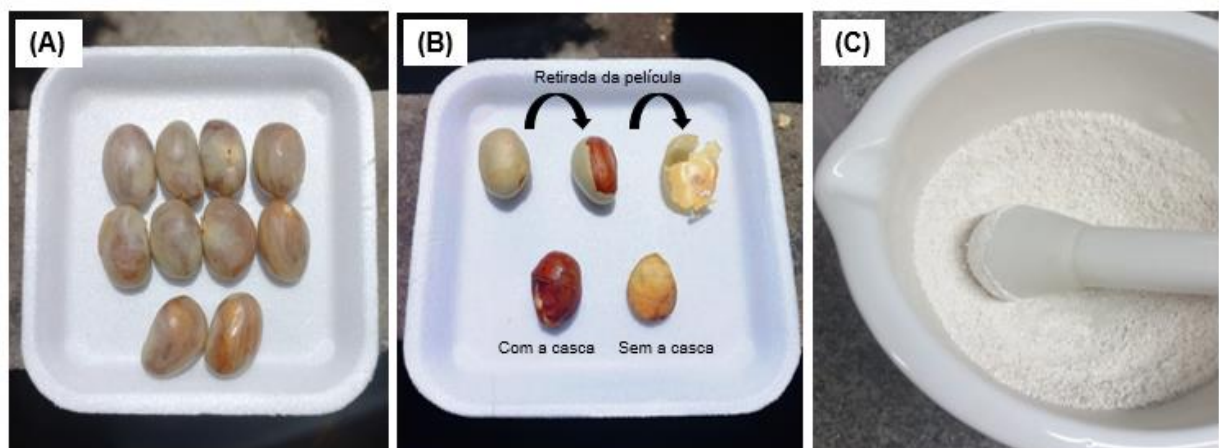
Origem	Método de extração	Conteúdo de amilose (%)	Proteína (%)	Lípido (%)	Cinzas (%)	Umidade	Variedade	Referência
China	moagem úmida	–	3,68	0,66	–	10,31	Malaysia 1 (M1)	Hu et al., (2016)
Tailândia	moagem úmida	32,05 ± 1,20	1,84	0,99	3,92	8,57	Thong Sud Jai	Tulyathan et al., (2002)
Brasil	moagem úmida	24,1 ± 0,1 – 29,1 ± 0,1	1,70–2,0	0,60–0,70	0,2	–	Dura e mole	Luciano et al., (2017)
Bangladesh	moagem úmida	26,57 ± 0,13 – 31,37 ± 0,9	3,41–3,67	0,03–0,04	0,03–0,04	9,56–10,44	Gala, Durasha, e Khaja	Noor et al., (2014)
China	alcalino	26,56 ± 0,32 – 38,34 ± 0,260,26	0,40–0,48	0,13–0,24	0,30–0,39	9,98–11,23	Malaysia 2 (M2), Malaysia 3 (M3), 4 (M4)	Zhang et al., (2018)
China	alcalino	26,41 ± 0,32 – 38,24 ± 0,41	0,41–0,44	0,12–0,18	0,29–0,34	10,31–11,68	Xiangyinsuo 11 (X11), e ZhenZhu (ZZ), M1, Malaysia 5 (M5), Malaysia 6 (M6), Malaysia 11 (M11), e Xinglongbendi (BD).	Zhang et al., (2016)
Tailândia	alcalino	32,14 ± 2,84	0,09	0,03	0,04	9,59	Sri Bun Jong	Rengsutthi & Charoenrein (2011)
Brasil	alcalino	26,1 ± 0,2 – 32,1 ± 0,0	0,5–0,9	0,1–0,3	0,1–0,2	–	Dura e mole	Luciano et al., (2017)
Bangladesh	alcalino	25,14 ± 0,9–25,49 ± 0,9	1,26–2,23	0,02–,03	0,03–0,04	8,39–8,58	Gala, Durasha, e Khaja	Noor et al., (2014)
Índia	alcalino	27,12	0,4	0,2	–	11,3	–	Dutta et al., (2011)
China	moagem úmida	–	0,98	0,29	0,13	5,25	M1	Chu et al., (2016)
Bangladesh	enzimático	22,10 ± 0,14–22,17 ± 0,9	1,09–1,28	0,02–0,03	0,45–0,59	11,57–12,20	Gala, Durasha, e Khaja	Noor et al., (2014)

Fonte: Zhang et al. (2020)

3.3.1 Amido da semente de Jaca

As sementes de jaca também são ricas em amido (60-80% com base na matéria seca) (ZHANG et al., 2020), e são usadas em pratos cozidos, enquanto sua farinha pode ser utilizada para cozimento (Figura 4). No entanto, a semente é descartada como subproduto no processo de produção da polpa da jaca, ocasionando não só o desperdício de recursos, mas também poluição ambiental (ZHANG et al., 2016). Tongdang (2008) cita que o amido da semente de jaca apresentou as maiores temperaturas iniciais e finais de gelatinização, quando comparado com o amido de outras sementes e feijões. Recentemente, tem havido crescente interesse de pesquisa em utilização do amido de jaca em alimentos e/ou áreas não-alimentícias.

FIGURA 4. Semente de jaca.



Legenda: Semente de jaca in natura (A); Semente de jaca com e sem a casca (B); Amido da semente de jaca (C).

Fonte: O autor (2022).

De acordo com um trabalho conduzido por pesquisadores brasileiros com o amido de sementes de jaca (MADRUGA et al., 2014), sementes de jaca do tipo macia e dura apresentaram teor de amido de 92,8% e 94,5%, respectivamente. Os grânulos de amido apresentaram forma redonda e em sino, com alguns cortes irregulares em sua superfície com padrão de cristalinidade tipo A, semelhante a amidos de cereais. O poder de inchaço e a solubilidade do amido da semente jaca se elevou com aumento da temperatura, apresentando pastas opacas. O amido das sementes de jaca macia apresentou temperatura inicial e final de gelatinização de 36°C e 56°C,

respectivamente; enquanto o amido de sementes de jaca dura apresentou temperatura inicial e final de gelatinização a 40°C e 61°C.

As sementes de jaca têm sido usadas na produção alimentos à base de amido. A farinha de semente de jaca substituiu parte da farinha e foi adicionada a certos alimentos como um produto de valor agregado. Dentre os alimentos que utilizam a farinha de semente de jaca estão produtos de panificação, por exemplo, misturas para bolos de chocolate, biscoitos e pães (WAGHMARE et al., 2019). Esses resultados mostram que os amidos das sementes das jacas brasileiras podem ser utilizados em produtos alimentícios.

3.3.2 Amido modificado

Dentre os polímeros de carboidratos, o amido tem recebido atenção crescente devido à sua utilidade como ingrediente em diferentes produtos alimentos. Ao conferir propriedade de textura, o amido é amplamente utilizado em alimentos e indústrias como espessante, estabilizador coloidal, agente gelificante, agente de volume e agente de retenção de água (SINGH; MCCARTHY, 2007).

Embora também usados em algumas indústrias, os amidos nativos têm sido amplamente utilizados na indústria de alimentos, apresentam algumas desvantagens, tais como insolubilidade em água fria, perda de viscosidade e poder de espessamento após o cozimento, baixa resistência ao cisalhamento, resistência térmica e alta tendência à retrogradação. Essas limitações as deficiências do amido têm sido superadas desde que os amidos modificados foram desenvolvidos na década de 1940, tornando-se uma parte vital da indústria alimentícia. O objetivo da modificação do amido é torná-lo adequado para utilização em muitos alimentos e aplicação industrial (KORMA et al., 2016).

A modificação do amido é geralmente conseguida através de processos de derivatização, como eterificação, esterificação e reticulação; decomposição (ácida ou hidrólise enzimática e oxidação do amido) ou física, por tratamento usando calor ou umidade, etc. A modificação química envolve a introdução de grupos funcionais na molécula de amido, resultando em alterações acentuadas de suas propriedades físico-químicas. Como resultado, essas modificações alteram profundamente esses processos de modificação dos amidos granulares nativos alteram profundamente sua gelatinização e comportamento de retrogradação, aumentando a consistência da

pastas, maciez e clareza, e conferindo estabilidade de congelamento-descongelamento e armazenamento a frio (SINGH e MCCARTHY, 2007, MACHADO et al., 2016).

Como resultado, obtém-se alteração das propriedades do amido, incluindo viscosidade da solução, comportamento de associação com outras moléculas, estabilidade de vida de prateleira nos produtos finais (SHERRY et al., 2005). Os efeitos das modificações químicas do amido em seu comportamento térmico, morfológico e pastoso podem ser quantificados por técnicas como Calorimetria exploratória de varredura (DSC), Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Viscoamilógrafia e reômetria dinâmico, respectivamente (SINGH e MCCARTHY, 2007). A taxa e eficiência da modificação química processo dependem do tipo de reagente, origem botânica do amido, tamanho e estrutura de seus grânulos (KORMA et al., 2016).

As modificações físicas do amido são aquelas que resultam na alteração da sua estrutura granular, ou conversão do amido solúvel a partir do amido nativo em água fria, resultando em seu estado mais amorfo (WU et al., 2010). No contexto da indústria de alimentos, conforme exposto por Park e Kim (2021), consumidores preocupados com a saúde tendem a evitar o uso de amido modificado quimicamente em seus produtos alimentícios devido à relutância em relação a aditivos alimentares ou processos químicos.

Tem-se então o conceito de amido *clean label*, que é aquele que não envolve modificações químicas em seu processo de fabricação. Ainda segundo os autores, embora o amido *clean label* constitua atualmente apenas 5% do mercado global de amido modificado, ele substituirá cada vez mais o amido modificado quimicamente, pois os pesquisadores estão continuamente avançando no campo com novas descobertas relacionadas a processos, novas enzimas e opções mais baratas. Além disso, as técnicas de modificação física são cada vez mais populares porque não têm efeitos tóxicos em comparação com os processos químicos (SCHAFRANSKI et al., 2014).

Existem diversas possibilidades de tipos de modificações físicas do amido e o Tratamento Ultrassônico se destaca por ser um tipo de tecnologia sustentável que pode modificar a composição, estrutura, propriedades e modificações de amidos de diversas origens botânicas, sendo um processo de emissão de ondas mecânicas com uma frequência acima o limite auditivo humano (>16 kHz) (ZHU, 2015).

Essas alterações, porém, variam conforme a fonte vegetal do amido, com medição do conteúdo específico de amilose e amilopectina, em relação aos parâmetros de tempo, temperatura, umidade e equipamento de secagem (SCHAFRANSKI et al., 2021).

3.4. MODIFICAÇÃO POR ULTRASSOM

A ultrasonicação mostrou efeitos benéficos no processamento e preservação de alimentos, incluindo maiores rendimentos de produtos, reduções do tempo de processamento, custos operacionais e de manutenção, melhoria nos atributos de qualidade, redução de patógenos (PATIST; BATES, 2008). Nos últimos anos, surgiu o interesse considerável no uso de ultrassom de potência e alta frequência para diversas pesquisas básicas de alimentos e aplicações comerciais (AWAD et al., 2012, KNORR et al., 2004, PATIST E BATES, 2008). Entre as várias aplicações em amidos, o principal é a ultrasonicação de amido. O trabalho pioneiro de SZENT-GYÖRGYI (1933) mostrou que o tratamento ultrassônico do amido causava a redução da viscosidade e cisão molecular das cadeias de amido.

As rachaduras e poros nos grânulos induzidos por ultrassom facilitam ainda mais as modificações químicas/físicas/enzimáticas do amido, aumentando a eficiência da reação. A ultrasonicação tem sido utilizada em diversas aplicações alimentares e não alimentares relacionadas ao amido e alcançou vários benefícios, incluindo tempo de processamento reduzido, maior rendimento e pureza do produto, respeito ao meio ambiente, consumo de energia reduzido e custo de produção (ZHU, 2015).

Fatores que afetam o efeito da ultrasonicação na morfologia dos grânulos de amido incluem o tipo e composição do amido (CHAN et al., 2010; LUO et al., 2008; SUJKA & JAMROZ, 2013), concentração de amido (GALLANT et al., 1972), o tipo de gás da atmosfera (DEGROIS et al., 1974; GALLANT et al., 1972), a temperatura do sistema (ZUO et al., 2009), os parâmetros de ultrassom, como a frequência (ZHENG et al., 2013), a quantidade de entrada de energia (JAMBRAK et al., 2010; ZUO et al., 2012) e a duração do tratamento (HUANG et al., 2007; ZUO et al., 2009).

A aplicação de ultrasonicação relacionada ao amido tem sido a facilitação da extração de amido de diversas fontes botânicas (arroz, sorgo, milho, cevada e trigo) (ZHU, 2015).

A ultrasonicação aumentou o teor de amilose dos amidos de milho, batata, feijão e sagu conforme medido pelo método baseado em espectrofotometria de ligação de iodo, sugerindo a cisão molecular de cadeias pelo ultrassom, contribuindo para o aumento de fragmentos lineares (CHAN et al., 2010). A técnica influencia a cristalinidade dos grânulos de amido em vários níveis, dependendo das condições experimentais e do tipo de amido usado (HUANG et al., 2007; LUO et al., 2008; ZHENG et al., 2013; ZHU et al., 2012). Além disso, a ultrasonicação também aumentou o poder de inchaço de amidos de várias fontes, incluindo milho com teores variados de amilose (LUO et al., 2008), batata, trigo, milho e arroz (SUJKA; JAMROZ, 2013) e milho (JAMBRAK et al., 2010).

Também foi relatado aumento da solubilidade em água de amidos de diversas origens botânicas (CHAN et al., 2010; HERCEG et al., 2010; JAMBRAK et al., 2010; LUO et al., 2008; SUJKA; JAMROZ, 2013; ZHENG et al., 2013). Isso pode ser atribuído aos danos físicos e químicos nos grânulos de amido, facilitando a penetração de água e a hidratação do amido. Relata-se também aumento da transparência da pasta/gel de amido de diversas fontes (feijão mungo, batata, batata doce e arroz) (CHUNG et al., 2002; SUJKA; JAMROZ, 2013).

No entanto, vários estudos empregando diferentes tipos de amidos (por exemplo, milho, batata-doce, arroz) mostraram que a ultrasonicação reduziu a viscosidade durante a pasta (HERCEG et al., 2010; HUANG et al., 2007; ISONO et al., 1994; LUO et al., 2008; ZHENG et al., 2013; ZUO et al., 2009)

Sabe-se que a retrogradação do amido ocorre quando a pasta de amido gelatinizado começa a esfriar. O gel (armazenado a 4°C por 24 h após a gelatinização) do amido ultrassônico apresentou maior dureza, adesividade e coesividade do que o controle (HERCEG et al., 2010).

A ultrasonicação também foi capaz de causar a redução do teor de proteína do feijão e amidos de milho, sugerindo a maior suscetibilidade enzimática de amido através de ultrasonicação (CHAN et al., 2010). As rachaduras e poros nos grânulos induzidos por ultrassom facilitam ainda mais as modificações químicas/físicas/enzimáticas do amido, aumentando a eficiência da reação. Sob certas condições, a ultrasonicação também reduziu o tempo de reação e aumentou o grau de substituição (por exemplo, acetilação, hidroxipropilação, octenil-succinilação e carboximetilação) de amidos de diversas fontes, incluindo milho (HUANG et al.,

2007; CHEN et al., 2014), batata (ČÍŽOVÁ et al., 2008), mandioca (GAO et al., 2011) e inhame (ZHANG et al., 2012).

Estudos que utilizaram o tratamento de ultrassom nas propriedades tecnofuncionais e na estrutura do isolado proteico da semente de jaca (RESENDIZ-VAZQUEZ et al., 2017) detectaram melhora na capacidade de retenção de óleo, na capacidade emulsificante, e aumento da capacidade de formação de espuma. Por outro lado, observou-se redução da capacidade de retenção de água, menor concentração de gelificação e estabilidade de formação de espuma.

Ainda de acordo com os resultados do mesmo estudo, a hidrofobicidade da superfície e a solubilidade da proteína das dispersões do amido foram aumentadas, o que aumentou a ruptura de interações hidrofóbicas internas de moléculas de proteína, facilitando a agregação das mesmas. Os autores sugerem que estas alterações nas propriedades tecnofuncionais e estruturais do amido de jaca poderiam ser de interesse da indústria de produtos alimentícios (RESENDIZ-VAZQUEZ et al., 2017).

3.5 MÉTODOS DE ANÁLISES

3.5.1 Propriedades de pasta (RVA)

Diferentes métodos instrumentais de análise podem ser empregados para estudar as propriedades da pasta de amido, sendo o método original o Consistômetro (MERRILL, 1925). Outros instrumentos incluem o Amylograph®, Falling Number® System e Ottawa Viscosímetro de Amido (BALET et al., 2019). No entanto, o Rapid Visco Analyzer (RVA), por ser mais sensível, repetível e versátil, tornou-se o instrumento de escolha nos últimos anos (DEFFENBAUGH e WALKER 1989; ZHANG e HAMAKER 2005). O RVA imita o processo de cozimento de um cereal quando uma suspensão de farinha-água é submetida a um ciclo de temperatura de aquecer-manter-resfriar-manter (CHEN et al., 2008).

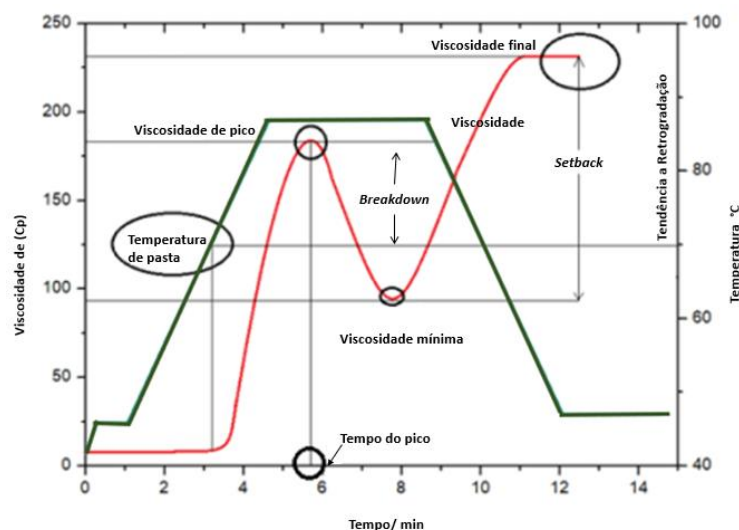
Durante a etapa de aquecimento, a temperatura de gelatinização do amido é atingida e, posteriormente, a viscosidade da pasta atinge um pico de viscosidade (Figura 5). Os grânulos hidratam e incham, causando a liberação de amilose e de pequenas moléculas de amilopectina (CHEN et al., 2008). Isto é seguido pelo estágio de retenção quente, com redução do valor de viscosidade. Esta redução repentina na viscosidade é associada com o inchaço e rigidez dos grânulos de amido, como um

resultado de variações nas frações de amilose, amilopectina, lipídios e proteínas conteúdo e/ou estrutura molecular (CHEN et al., 2008).

A viscosidade sobe novamente durante a fase de resfriamento, à medida que a amilose se agrega no processo de retrogradação, formando um gel contendo grânulos de amido gelatinizado (CHEN et al., 2008). As informações fornecidas pelos viscogramas (ou curvas) RVA são muito úteis para estudo das características genéticas de grãos de cereais (CHEN et al., 2008) e da microestrutura de pastas de amido para elaborar a relação entre composição química e propriedades de pasta (SINGH et al., 2003).

Por definição, o RVA é um viscosímetro de aquecimento e resfriamento que mede a viscosidade de uma amostra durante um determinado período de tempo, sob rotação (GAMEL et al., 2012). Durante um teste RVA, é observada a formação de um gel à medida que os grânulos de amido incham e se deslocam totalmente após a gelatinização (BATEY, 2007). O teste é dividido em 5 etapas: (1) adição de água à amostra de amido/farinha; (2) aquecimento; (3) manutenção de uma temperatura máxima; (4) resfriamento; e (5) um estágio final de espera. Conseqüentemente, o perfil RVA observado reflete as complexas interações do amido e água, afetados pela temperatura e tempo. Assim, O perfil RVA padrão compreende o seguinte: temperatura inicial fixada em 50 °C; tempo de espera de 1 min a 50 °C; aquecimento a 95 °C durante 3 min 42 s; manutenção a 95 °C por 2 min 30 s; resfriamento a 50°C durante 3 min 48 s; e por último, manutenção a 50 °C por 2 min (Figura 5).

FIGURA 5. Representação de uma curva RVA.



Fonte: O autor (2022).

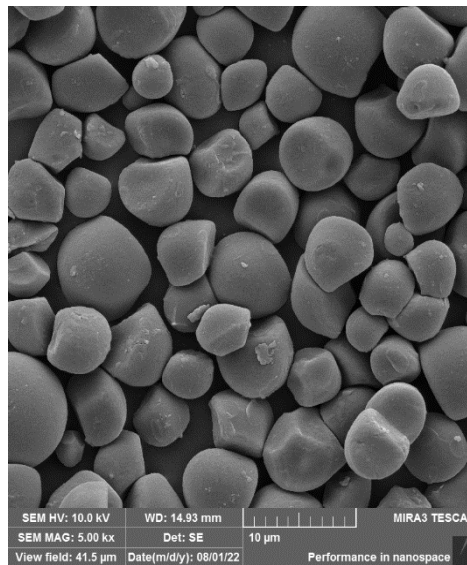
A curva verde representa o aquecimento e resfriamento do sistema em função do tempo de análise. A curva de coloração vermelha representa a viscosidade da amostra em função do tempo. Os parâmetros apresentados na Figura 5, segundo Oro et al., (2013), podem ser interpretados da seguinte maneira:

- Temperatura de pasta (°C): temperatura na qual a suspensão de amido e água forma uma pasta;
- Tempo de pico (min): tempo gasto para a suspensão atingir a maior viscosidade de pasta;
- Pico de viscosidade (cP): maior valor de viscosidade de pasta obtida;
- Viscosidade mínima – *trough viscosity* (cP): viscosidade mínima obtida após a pasta ser formada;
- Quebra de viscosidade – *breakdown viscosity* (cP): diferença entre os valores de viscosidade de pico e a viscosidade mínima obtidos;
- Viscosidade final (cP): segundo pico de viscosidade do gráfico, obtido após rampa de redução de temperatura, que indica tendência de retrogradação;
- Setback (cP): diferença entre valores de viscosidade final e mínima;
- Temperatura final (°C): temperatura em que se obtém o segundo pico de viscosidade.

3.5.2 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV-FEG)

O estudo morfológico dos grânulos de amido pode ser conduzido através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-FEG) (Figura 6) a qual oferece imagens detalhadas em escalas de cinza de materiais orgânicos e inorgânicos, em escala de nanômetro a micrômetro (μm). O microscópio usado trabalha com uma alta ampliação que chega a 300.000 e até 1.000.000 (em alguns modelos modernos), produção de imagens com muita precisão de uma ampla gama de materiais (MOHAMMED e ABDULLAH, 2018).

FIGURA 6. Representação de uma microimagem.



Fonte: O autor (2022).

Através da MEV-FEG, foi observado que a morfologia dos grânulos de amido de diferentes fontes de leguminosas tem variações consideráveis, com alguns apresentando dos grânulos lisa e sem áreas ásperas e orifícios, enquanto outros apresentando ranhuras ou entalhes e algumas fissuras internas (WANI et al., 2016).

3.5.3 Difração de Raios X (DRX)

Substâncias que formam cristais, como o amido, atuam como redes de difração tridimensionais quando irradiadas por comprimentos de onda de raios-X. Conforme revisado por Bunaciu et al., (2015), a Difração de Raios X (DRX) é uma técnica não destrutiva, de alta tecnologia, usada para analisar uma ampla gama de materiais, incluindo metais, minerais, polímeros, catalisadores, plásticos, produtos farmacêuticos, cerâmica, células solares e semicondutores. Atualmente, a DRX é uma técnica comum para o estudo de estruturas cristalinas e espaçamento atômico, e baseia-se na interferência construtiva de raios X monocromáticos, emitidos por tubo de raios catódicos, e uma amostra cristalina (BUNACIU et al., 2015).

Os primeiros estudos cristalográficos com DRX realizados com amostras de amido identificaram dois padrões distintos de difração, um para a A-amilose e o outro para B-amilose (HSIEN-CHIH e SARKO, 1977, 1978a, 1978b). Revisões posteriores que analisaram estudos de cristais de B-amilose confirmam a estrutura célula unitária hexagonal relatada por Hsien-Chih e Sarko, em que uma célula unitária é formada por

12 resíduos de glicose, arranjados em cadeias paralelas de duplas hélices, com 36 moléculas de água localizadas entre as hélices.

De forma mais análoga ao objeto de estudo desse presente trabalho, estudos de DRX com amostras de amido isoladas a partir de caroços de frutas (RODRIGUEZ-GARCIA et al., 2021) indicaram a existência de estruturas hexagonais tipo A ortorrômicas, correspondentes à A-amilose, e hexagonais tipo B, correspondentes à B-amilose. Também foi relatada a presença de moléculas de água desordenadas entre as hélices da A-amilose e da B-amilose, desempenhando um papel essencial na formação dessas estruturas cristalinas.

Atualmente, sabe-se que o amido pode ser classificado nas formas A, B e C. A forma A é a observada em amidos de cereais, como amido de milho e amido de trigo. A forma B amido está geralmente disponível em amido de tubérculos, como batata. Já o amido da forma C é uma mistura dos tipos A e B, como o amido de ervilha e vários amidos de várias espécies de feijão (MARCON et al., 2009).

3.5.4 Colorimetria

A colorimetria é a medida do comprimento de onda e da intensidade da radiação eletromagnética na região visível do espectro, utilizada para identificação e determinação de concentrações de substâncias que absorvem luz (MONOGAROVA et al., 2018). A técnica é fundamenta na Lei de Lambert-Beer, que relaciona a quantidade de luz absorvida e a distância que ela percorre através de um meio absorvente; possibilitando assim a determinação da concentração da substância absorvente, a partir da medida da luz absorvida (MONOGAROVA et al., 2018).

É bem conhecida a mudança de cor em soluções de amido misturadas com iodo. A técnica de colorimetria pode ser empregada para fins de quantificação da concentração de amido em amostras, usando um programa de computador que as intensidades de pixel vermelho, verde e azul (MATHEWS et al., 2004). Podem ser usadas então curvas padrões de química analítica quantitativa para medir a concentração de amido em uma solução desconhecida (MATHEWS et al., 2004).

3.5.5 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG)

A análise termogravimétrica (TG) é um método de análise de degradação térmica, no qual a variação de massa de uma amostra é mensurada ao longo do tempo, à medida que a temperatura muda. A técnica geralmente é combinada com outros métodos analíticos, como DSC. A TG é obtida por meio da primeira derivada em função do tempo possibilitando melhor visualização das perdas de massas das amostras e a termogravimetria derivada (DTG) é um conjunto matemático utilizado juntamente com TG, sobre a derivação da massa com o tempo (dm/dt) (IONASHIRO et al., 2012).

Os resultados finais de DTG são mostrados na forma de um gráfico, sendo a temperatura no eixo Y e a massa da matéria no eixo X. Porém, considerando-se que em muitos casos a perda de massa é muito sutil, torna-se difícil estimar o ponto em que há variação da massa. Uma solução é a utilização da curva de DTG (do inglês *Derivative Thermogravimetry*) ou seja, dM/dT por T (ZAINAL et al., 2020).

O método consiste em submeter as amostras a temperaturas crescentes a fim de detectar vários picos de perda de matéria, fornecendo a derivada primeira da curva termogravimétrica, em função do tempo ou da temperatura (ZAINAL et al., 2020). Dessa maneira, parte-se dos dados de perdas de massa observadas nas curvas do TG, substituindo-as por picos. Assim, pequenas variações imperceptíveis na curva de TG, passam a ser facilmente identificados plotando-se a DTG, tornando as variações de massa visualmente mais acessíveis (ZAINAL et al., 2020). A técnica pode ser usada para o estudo da decomposição térmica de substâncias orgânicas e inorgânicas de diversos tipos (DUGUY e ROVIRA, 2010).

A estabilidade térmica, resistência ao calor e decomposição do amido de jaca foi analisada por análises termogravimétricas. Amostras que degradam em temperaturas mais altas têm maior resistência térmica. Choy et al. (2016) determinaram a temperatura inicial de decomposição do amido de jaca, até a qual há uma pequena queda na massa total de cerca de 10% é devido à perda de água por evaporação nas amostras de amido. Os resultados dos autores apontam que o amido de arroz e jaca começam a se degradar a 272°C e 271°C, respectivamente.

Ainda tratando de soluções economicamente sustentáveis, sabe-se que o amido é um biopolímero favorável devido ao seu baixo custo, fácil acessibilidade, e presença de propriedades termoplásticas e biodegradáveis (ALMASI et al., 2010 e

González et al., 2016). Embora o amido da jaca seja por si só é insuficiente para a formação de filmes, ele pode ser incorporado a algum biopolímero para uso em materiais de embalagem (NAZRI et al., 2019). Trabalhos usando a técnica de DTG apontam que o amido de talos de jaca pode têm potencial para o desenvolvimento de materiais de embalagem de alimentos comestíveis, biodegradáveis e sustentáveis (NAZRI et al., 2019).

3.5.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Calorimetria é uma técnica baseada na medição da quantidade de calor liberado ou absorvido durante um processo químico, físico ou biológico, sendo crucial para estudos de termodinâmica (LEYVA-PORRAS et al., 2019). Assim é possível determinar parâmetros como o calor da reação (Δ_rH), que é a variação de entalpia associada ao processo de uma reação química. De acordo com as leis da termodinâmica, e explicado por Höhne et al., (2003), quando Δ_rH é um valor negativo, o processo é exotérmico (libera calor); quando Δ_rH é um valor positivo, o processo é endotérmico e requer absorção de calor.

A calorimetria deve ser feita em um sistema fechado, ou seja, deve haver isolamento térmico, para que nenhum calor seja perdido para o ambiente. Isso é obtido empregando-se um calorímetro, aparelho que isola a reação, garantindo melhor contenção do calor (LEYVA-PORRAS et al., 2019). Calorímetros podem ser do tipo isobáricos ou isovolumétricos, quando a medição de variação de calor é feita sobre pressão constante ou sobre volume constante, respectivamente. O resultado é o monitoramento da mudança de temperatura como resultado do processo químico que está sendo investigado (HÖHNE et al., 2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

As jacas orgânicas foram coletadas de um sítio localizado na cidade de Brejinho, no Estado do Rio Grande do Norte com Latitude: -6.19119, Longitude: -35.3578, onde foram retiradas cerca de 240g da semente de jaca do tipo dura para obtenção do amido.

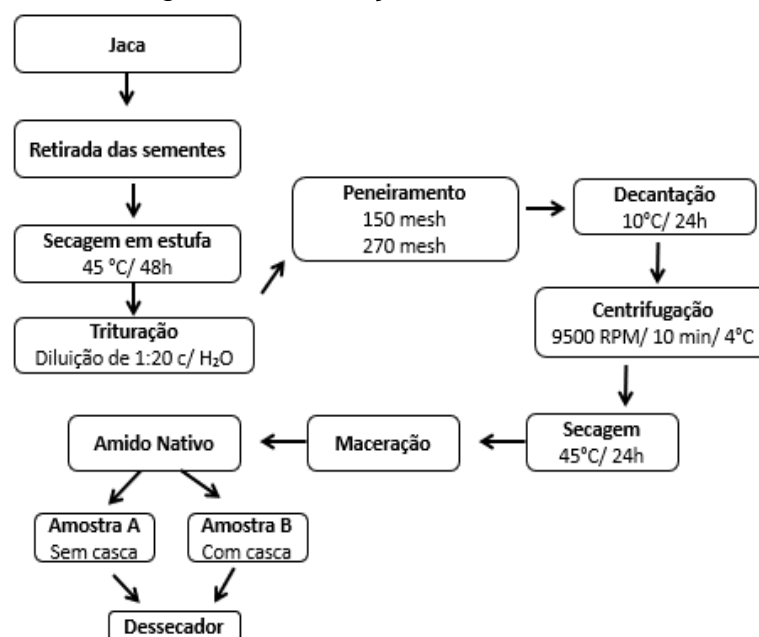
Os demais reagentes utilizados foram de grau analítico e disponibilizados pelo laboratório de Engenharia de Alimentos - Centro de Tecnologia em Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Extração do amido da semente de Jaca

A extração de amido da semente de jaca orgânica (Figura 7), foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Zhang et al., (2005), com adaptações.

FIGURA 7 – Fluxograma da extração do amido da semente de Jaca.



Fonte: O autor (2022).

As sementes foram divididas igualmente em 2 amostras: amostra A (semente com casca) e amostra B (semente sem casca) e colocadas em estufa por 48h em temperatura de 45°C. Em seguida, foram trituradas em liquidificador doméstico (PhilipsWalita, RI7625) por 2 minutos, utilizando a proporção semente: água destilada de 1:20, de forma a obter uma pasta. Na sequência, a amostra passou por um peneiramento em mesh de 150mm e 270mm, respectivamente. Logo após, foi realizado a decantação a 10°C por 24 h e posterior centrifugação (HIMAC, modelo CR-21GII) utilizando o rotor R14 A, a 9500 rpm por 10 minutos à 4°C. O amido nativo decantado após centrifugação (Figura 8) foi seco em estufa por 24h a temperatura de 45°C, logo após macerado e posteriormente armazenado no dessecador para a realização das análises.

FIGURA 8 – Amido nativo de semente de jaca decantado após centrifugação.



Fonte: O autor (2022).

O rendimento da extração foi determinado pela (Equação:1)

$$R\% = \frac{A}{M} = X 100 \quad (1)$$

Onde: R = Rendimento (%);

A = Massa de amido extraído com casca e sem casca (g);

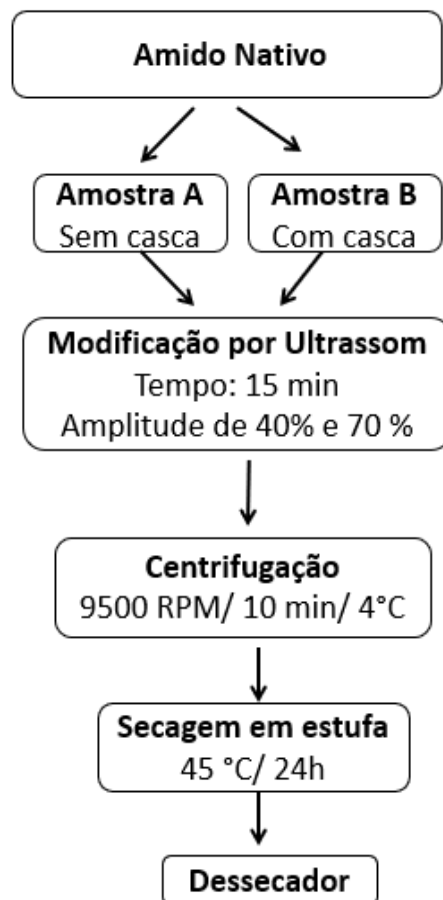
M = Massa da semente de jaca utilizada (g).

4.2.2 Modificação por ultrassom

O amido da semente de jaca extraído foi modificado por ultrassom (Figura 9) conforme citado no estudo de Yu et al. (2018), com algumas modificações.

As amostras foram submetidas ao tratamento ultrassônico (Vibra-Cell da marca SONICS, modelo USC 1400, frequência constante de 20 kHz, potência de saída do gerador de 750 W) com banho de gelo para manutenção da temperatura de 40°C. A sonda (25 mm) foi imersa na solução e foram realizados quatro ensaios à frequência de 20 kHz no tempo de 15 minutos, com amplitudes de 40% e 70%, estando a uma profundidade de 4 cm da superfície. Em seguida, as suspensões de amido foram centrifugadas a 9500 rpm por 10 minutos a temperatura de 4°C e secas em estufa de circulação de ar a 45°C por 24 horas. O amido obtido foi armazenado em dessecador para posterior análises.

FIGURA 9- Fluxograma da Modificação do Amido Nativo por Ultrassom



Fonte: O autor (2022).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO

4.3.1 Propriedades de pasta (RVA)

O perfil de pasta das amostras foi determinado por meio do viscosímetro, modelo Rapid ViscoAnalyser Série 4 (Newport Scientific, Austrália), conforme metodologia proposta por Ito et al., (2018). Foram preparadas suspensões com as amostras nativas e modificados com 8% (g.g^{-1}), em base seca, em água deionizada até obtenção de 28 g (massa final).

O sistema de aquecimento e arrefecimento controlado foi realizado, sob agitação constante, a partir de ciclos: aquecimento inicial até 50°C, mantendo-se nesta temperatura por 2 minutos, seguido por aquecimento de 50 a 95°C (6°C.min^{-1}), mantendo-se a 95°C por 5 minutos, seguido pelo resfriamento até a temperatura de 50°C (6°C.min^{-1}), mantendo-se a 50 °C por 2 minutos novamente.

4.3.2 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV-FEG)

As propriedades morfológicas das amostras de amido, tais como o diâmetro e o formato dos grânulos, foram obtidas por meio de microimagens geradas pelo microscópio MIRA 3 (Tescan, República Checa). As amostras foram dispostas em fitas de carbono e metalizadas com plasma de ouro, a fim de promover a condutividade dos elétrons. A análise foi feita utilizando-se uma voltagem de elétrons de 15 kV na pistola de emissão de campo, gerada por um filamento de lâmpada de tungstênio, de acordo com a metodologia de Bet et al., (2016).

4.3.3 Difração de Raios X

O padrão de difração do amido nativo e dos modificados foi obtido pelo difratômetro de raios X (Rigaku, Ultima 4 - Japão) com os seguintes parâmetros: radiação Cu K α ($\lambda = 1,544 \text{ \AA}$); variação angular de 5 a 50° min^{-1} (2θ) com velocidade de escaneamento de 2° min^{-1} (2θ), e um passo de 0,02° (2θ). A cristalinidade relativa foi obtida e calculada de acordo com a metodologia proposta por Kuk et al. (2017), usando o software Origin (Microcal Inc., Northampton, MA, versão 6.0) conforme a metodologia de Beninca et al. (2019).

Para o cálculo do grau de cristalinidade relativa das amostras foi utilizado o software conforme a metodologia de Colman et al., (2014) pela proporção entre a área superior e a difração total (Equação:2)

$$Xc\% = \frac{A_p}{A_p + A_b} \times 100 \quad (2)$$

Sendo: Xc = cristalinidade relativa (%);

A_b = área total integrada da curva;

A_p = integração da área dos picos.

4.3.4 Colorimetria

A coloração do amido nativo e modificados, foi analisada por um colorímetro (MiniScan EZ 4500L Reston, EUA) calibrado, com os eixos colorimétricos de L*, a* e b* e em triplicata, conforme a metodologia de Colman et al., (2014). O eixo L* (luminosidade) representa a coloração preta (0) à branca (100), a* do vermelho (+) ao verde (-), b* do amarelo (+) ao azul (-) e para os resultados (0) consiste no neutro.

4.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS

4.4.1 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG)

As curvas termogravimétricas do amido nativo e dos modificados foram obtidas pelo equipamento TGA-50 (Shimadzu), devidamente calibrado, com peso padrão e verificação com oxalato de cálcio mono-hidratado. Foram pesados 7 mg de cada amostra e as mesmas dispostas em cadinhos de α alumina abertos. As análises ocorreram nas seguintes condições: taxa de fluxo de ar de 150 mL min⁻¹; taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, de 30 a 650°C. As porcentagens referentes à perda de massa e as curvas TG/DTG foram obtidas pelo software de análise de dados TA-60 WS (JANAINA et al., 2013).

4.4.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

O processo de gelatinização das amostras, assim como as temperaturas e entalpias envolvidas no mesmo, foi determinado pelo sistema de análise térmica modelo DSC-Q200 (*TA-Instruments, EUA*) previamente calibrado de acordo com as especificações do fabricante e verificado com padrão de índio (99,99% e pureza) (JANAINA et al., 2013) nas seguintes condições: massa de amostra de 2,5 mg em base seca, (suspensão 1: 4 amido/água (p/v)), acondicionado em cadinhos de alumínio selados, vazão de ar de 50 mL.min⁻¹; taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹, de 30° a 100 °C.

O programa Universal Analysis foi utilizado para obtenção e interpretação dos resultados sobre a determinação das temperaturas e entalpias (KUBIAKI et al., 2018).

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As amostras foram analisadas em triplicata, e os dados obtidos submetidos à Análise de Variância (ANOVA) sobre a diferença entre as médias. Em seguida, feito a aplicação do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para a análise de diferença entre as amostras com nível de confiança de 95% e de confiança ($p < 0,05$). O software Action Stat versão 3.3 (Estatcamp, São Paulo, Brasil), foi utilizado para obtenção e interpretação dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO EXTRAÇÃO

A massa total de amido nativo extraído com casca (37g) e sem a casca (27g) totalizando (A = 64 g) e foi pesada logo após realizado a secagem em estufa (40°C / 24 h), com o total de matéria – prima utilizada (m = 240g).

Extração

$$R\% = \frac{A}{m} \times 100$$

$$R\% = \frac{64}{240} \times 100$$

$R\% = 26,67\%$

O rendimento total encontrado do amido da semente de jaca foi de 26,67%. Resultado superior ao amido de semente de manga Palmer (17%) e ao amido de semente de abacate (20,13%), similar à mandioca (25,5%) e inferior ao amido de semente de amaranto (40%,) (CHEL-GUERRERO et al., 2016.; Leonel et al., 1998, Bet et al., 2019).

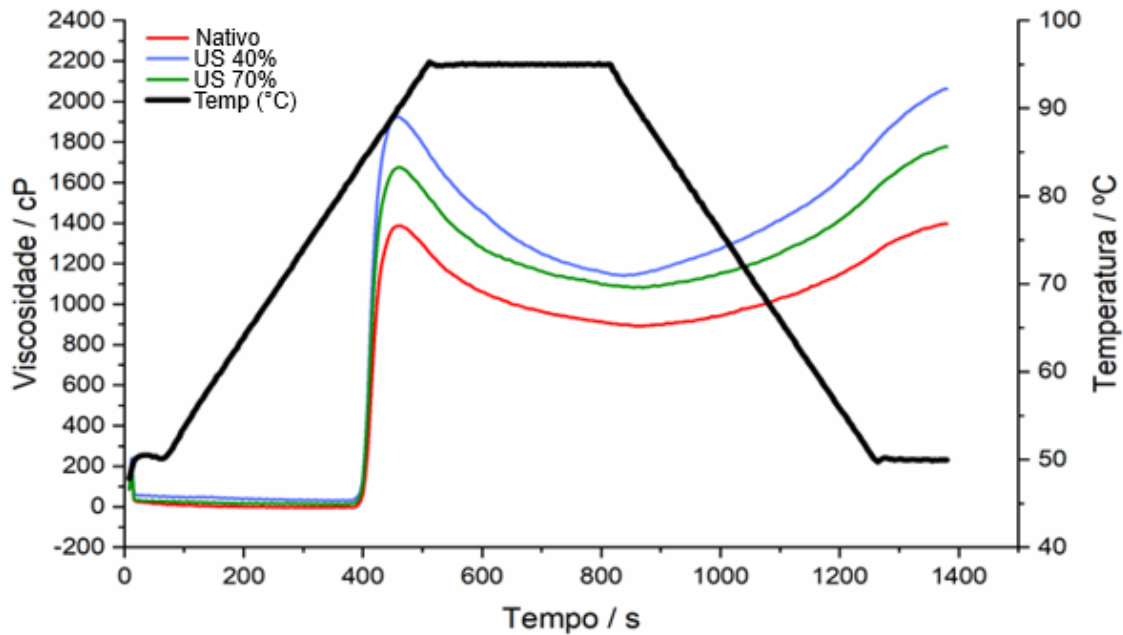
Os amidos encontrados são abundantes em sementes, tubérculos, frutos e raízes. (CAVALCANTI et al., 2011). Em relação ao rendimento, o que influencia nos resultados são os tipos de extração aplicados ao amido (JOHN et al., 1999; SIT et al., 2014).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO

5.2.1 Propriedades de pasta (RVA)

As Figuras 10 e 11 apresentam os perfis RVA do amido com a casca e sem a casca nativo e modificados por ultrassom respectivamente e a Tabela 4 demonstram os dados da análise sobre a temperatura da pasta, pico da viscosidade, *breakdown*, *setback* e viscosidade final.

FIGURA 10 - Perfis RVA do amido com a casca nativo e modificados por ultrassom.



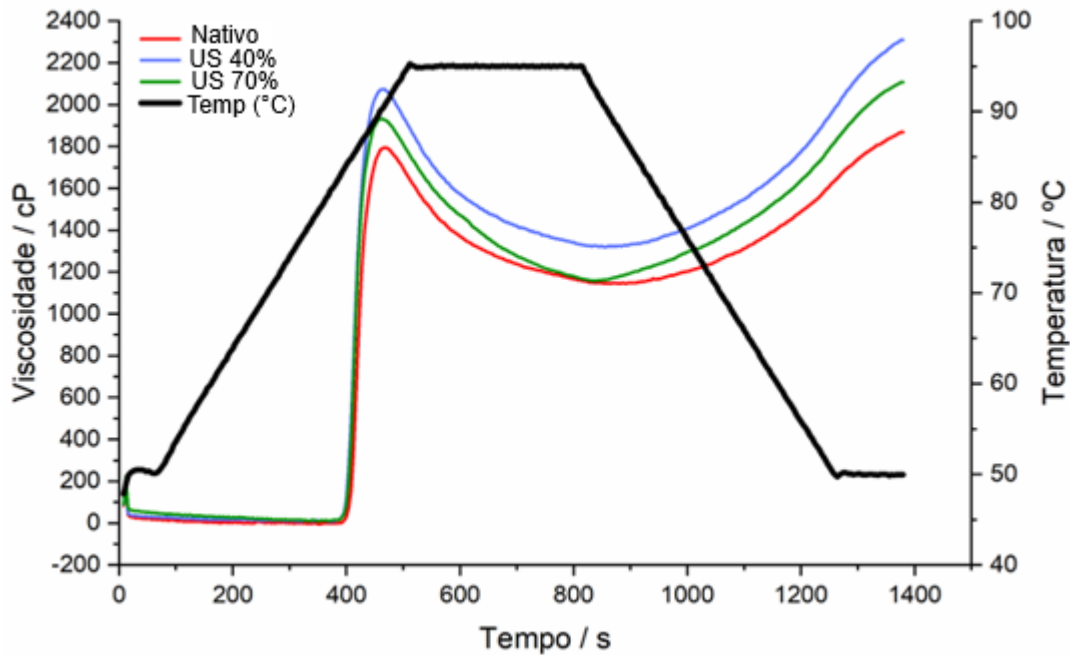
Fonte: O autor (2022).

Na temperatura de pasta ocorre o início do inchamento dos grânulos, ou seja, a formação curva de viscosidade (MADRUGA et al., 2014). Foram encontrados os valores do amido com a casca a temperatura de pasta de (83,6°C) nativo, (83,3°C) US40% e (83,3°C) US70%.

Para a temperatura de amido sem a casca o Nativo (83,3°C), US 40% e US 70% se mantiveram iguais (83,7°C). Madruga et al. (2014) encontrou em seus estudos a temperatura de pasta para a jaca dura de 81,6°C. Já nos estudos de Rengsutthi e Charoenrein (2011), citaram a temperatura de pasta para o amido de semente de jaca dura de 81,5°C, o que nos mostram valores um pouco inferiores aos encontrados nesse estudo.

Em comparação aos valores da temperatura de pasta entre os amidos com e sem cascas nesse estudo, não houve diferença estatística significativa entre as amostras, o que nos mostram que a casca não influenciou sobre resultados encontrados.

FIGURA 11 - Perfis RVA do amido sem a casca nativo e modificados por ultrassom



Fonte: O autor (2022).

O autor Zhu (2015) citou que a utilização do US pode ocasionar mudanças na estrutura dos grânulos, no entanto não foram encontradas diferenças nas amostras que não fizeram a extração US com frequências elevadas.

No Pico da viscosidade (Figura 10 e 11) foi visto que na amostra com a casca US40% obteve o maior pico, seguido do US70% e nativo. Na amostra sem a casca, o pico que teve a maior viscosidade também foi o US 40%, logo após o US70% e o amido nativo teve o menor pico.

O autor Yazid (2022) analisou os efeitos do tratamento com ultrassom sobre as propriedades físico-químicas do amido da semente de jaca. Os resultados sugeriram a possibilidade de se alcançar viscosidade da pasta de $22,93 \pm 13,66$ cp, usando-se 45% de concentração de amido e 5 min de tempo de sonicação. O tratamento também causou aumento da viscosidade da pasta de amido da semente de jaca em 58,14% em comparação com a pasta não tratada. Porém, observou-se uma redução dos teores de umidade e clareza da pasta em 17,15% e 37,5%, respectivamente, em relação ao amido da semente de jaca não tratado.

TABELA 4 – Dados de Análise viscoamilográfica RVA do amido da semente de jaca com e sem a casca.

	Tratamento	Temperatura de pasta/°C	Pico da Viscosidade /mPa s	Breakdown /mPa s	Setback /mPa s	Viscosidade Final
Amido com casca	Nativo	83,6±0,0 ^a	1792,3±1,5 ^c	651,0±1,7 ^d	724,7±2,6 ^d	1867,7±3,0 ^d
	US 40%	83,3±0,3 ^a	2070,3±1,5 ^a	750,3±1,5 ^c	985,7±2,0 ^a	2305,3±2,3 ^a
	US 70%	83,3±0,4 ^a	1931,0±1,2 ^b	772,7±1,5 ^b	948,7±2,0 ^b	2107,3±1,5 ^b
Amido sem casca	Nativo	83,3±0,2 ^a	1386,3±2,0 ^e	494,0±2,3 ^f	505,0±1,2 ^f	1396,0±2,1 ^f
	US 40%	83,7±0,7 ^a	1924,0±2,1 ^b	784,7±2,9 ^a	921,3±2,0 ^c	2062,7±2,3 ^c
	US 70%	83,7±0,2 ^a	1677,0±1,7 ^b	595,7±1,8 ^e	695,3±1,5 ^c	1777,3±1,5 ^e

Nota: Resultados expressos como média±desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras de mesmo grupo pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). *

A quebra de viscosidade (*breakdown*) teve uma elevação significativa na amostra com a casca US70%, comparado aos US40% e ao nativo, resultado que se difere da amostra sem a casca que teve o resultado maior na US40%, seguido de 70% e nativo.

Na retrogradação (*setback*), notou-se que as modificações das amostras de US40% com ou sem casca tiveram a maior tendência para retrogradar, seguido da US 70%, já o nativo sem casca apresentou crescimento menor na viscosidade de retrogradação. Para Atwell et al. (1988) a retrogradação é um processo relevante na escolha do produto, pois tem influência sobre a texturização dos amidos.

E na viscosidade final obtida após a redução da temperatura, as amostras US40% tiveram valores mais altos em relação aos US 70%, já o amido nativo com a casca teve o maior resultado, comparado ao amido nativo sem a casca. Resultado semelhante com o estudo de Madruga et al. (2014) onde foi visto que viscosidade final do amido da semente de jaca foi considerada relativamente baixa 3236 cP (variedade dura). Considerando esses aspectos, um produto feito com amido de sementes de jaca brasileira seria um produto menos viscoso do que um formulado com os amidos de outras fontes convencionais.

5.2.2 Microscopia Eletrônica de varredura (FEG)

As análises por microscopia eletrônica de varredura mostram o amido nativo e modificados com casca (Figura 12) e sem casca (Figura 13), respectivamente.

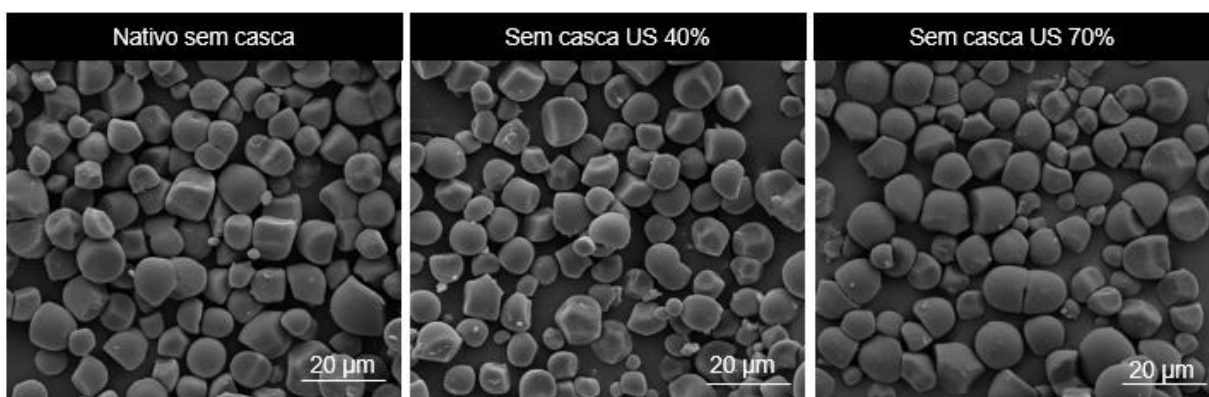
A Figura 12, mostra que todos os grânulos possuem formas poligonais arredondadas e diâmetros irregulares. As alterações nas características das

superfícies do amido ocorrem pelo processo de irradiação ultrassônicas que podem causar danificações como os poros, cavidades, fissuras e etc (SUJKA, 2017).

O tamanho médio encontrado dos grânulos analisados do amido foram o nativo de 6,5 μm , já o amido 40% modificado teve 5,7 μm e o amido 70% modificado 6,2 μm .

As diversas fontes botânicas dos amidos são o que podem definir os tamanhos dos grânulos e as formas mais comuns encontradas são ovais, alongado, poligonal e em forma de disco (Al; JANE, 2017).

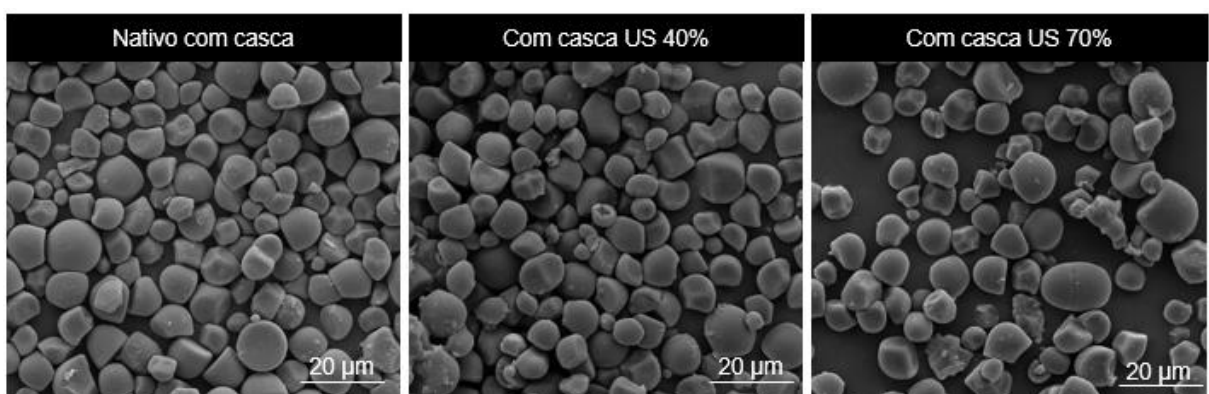
FIGURA 12 - Microimagens (3kx) do amido nativo e modificado US sem a casca.



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 13, nota-se que os grânulos possuem também formas arredondadas e diâmetros irregulares.

FIGURA 13 – Microimagens (3kx) do amido nativo e modificado US com a casca.



Fonte: O autor (2022).

Sobre o tamanho médio dos grânulos, o amido nativo teve tamanho de 4,9 μm , o amido 40% modificado 5,6 μm e o amido 70% modificado obteve resultados similares do amido sem a casca com 6,2 μm , que em comparação ao estudo de

Kittipongpatana e Kittipongpana (2011) onde utilizaram a técnica MEV-FEG para estudar a estrutura dos grânulos de amido de jaca nativos e modificados. Imagens do amido nativo mostram uma superfície lisa, arredondada e grânulos em forma de sino, com tamanho variando de 5 a 10 μm . Os resultados apontaram que não houve mudanças significativas entre as estruturas do amido nativo e o modificado.

Adicionalmente, Madruga et al. (2014) estudaram grânulos de amido de sementes de jaca brasileira, das variedades dura e macia, com um microscópio eletrônico digital, e concluíram que a estrutura é caracterizada por formato redondo e em forma de sino e alguns cortes irregulares em sua superfície, com padrão de cristalinidade tipo A, semelhante aos amidos de cereais. O tamanho médio dos grânulos de amido encontrado foi de 6–11 μm para a variedade macia e 6–13 μm para a variedade dura, e não houve diferenças entre o tamanho entre as sementes.

Outro estudo, conduzido por Chen (2016), comparou as estruturas dos grânulos de amido da semente de jaca, milho e mandioca, por imagens de MEV-FEG. Os resultados mostram que os grânulos de amido são menores e com maior teor de amilose, o que contribuiu para maior temperatura de gelatinização e menor viscosidade em comparação com as outras espécies. Segundo os autores, essa estrutura supramolecular de alta cristalinidade e lamelas semicristalinas ordenadas foram as principais razões para uma maior resistência à digestão enzimática do amido da semente de jaca, quando comparado ao amido do milho e da mandioca.

No estudo sobre a semente de jaca dos autores Bobbio et al. (1978), citaram o amido da semente com tamanho de 7 a 11 μm e em formato arredondado ou em forma de sino, o que mostra resultados similares aos encontrados nessa pesquisa.

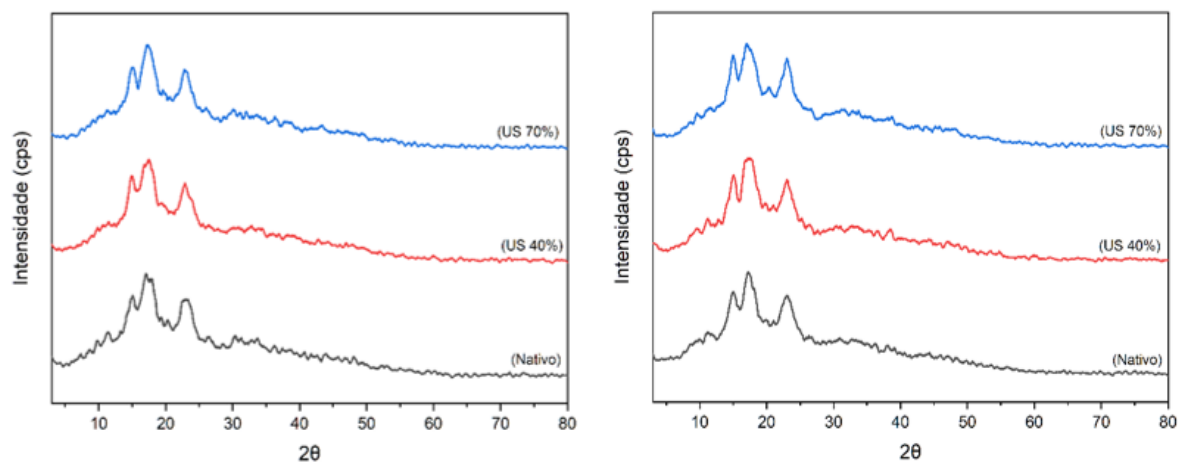
Outro aspecto importante visto durante as análises das microimagens, foi que ao comparar as modificações entre amido com cascas e sem casca não teve diferenças significativas. Percebe-se que a película da casca da semente de jaca não influenciou nos resultados das modificações por US.

E não foram encontrados estudos sobre o amido de semente de jaca pelo processo de ultrassom e principalmente sobre a utilização da casca nas pesquisas para que houvesse comparações de estudos.

5.2.3 Difração de Raios X

Os difratogramas de raios X dos amidos nativos e modificados são mostrados na Figura 14 apresentaram picos mais intensos a 15, 17 e 22 (2θ)^o, respectivamente para o nativo, US 40% e US 70% nas amostras com casca e sem casca.

FIGURA 14- Difratometria de raios X do amido nativo e modificados por US com e sem a casca da semente de jaca.



Fonte: O autor (2022).

Foi identificado um padrão de difração tipo A (Lorenz e Kulp, 1982) para o amido nativo com e sem a casca da semente de jaca, esses resultados corroboram com os estudos de Madruga et al. (2014) onde encontraram o padrão de difração de raios-x de sementes de jaca de origem brasileira no padrão de cristalinidade tipo A.

Os resultados sobre cristalinidade relativa e os picos dos amidos nativos e modificados por US são demonstrados na Tabela 5.

TABELA 5- Cristalinidade relativa e picos do amido nativo e modificados por US.

		Cristalinidade Relativa (%)	Picos (°)
Com casca	Nativo	39,40%±0,00 ^a	15, 17 e 22
	40%	41,98%±0,02 ^a	15, 17 e 22
	70%	40,87%±0,02 ^a	15, 17 e 22
Sem casca	Nativo	40,66%±0,02 ^a	15, 17 e 22
	40%	41,06%±0,02 ^a	15, 17 e 22
	70%	38,88%±0,02 ^a	15, 17 e 22

Nota: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras do mesmo grupo pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). *

O grau de cristalinidade relativa (RC) não apresentou resultados diferentes estatisticamente.

No estudo sobre o amido de arroz, os autores citam sobre concentração e o tempo que podem proporcionar grandes efeitos sobre a cristalinidade relativa após o tratamento com ultrassom (BISINELLA et.,2021), resultados que corroboram com o estudo de Mestre (1996) que encontrou resultados similares em outros tipos de amidos como de milho, arroz e mandioca com 40% de RC, sendo considerados semicristalinos.

O padrão de difração de raios X das nanopartículas de semente de jaca foi estudado por Theivasanthi e Alagar (2011). Os picos de difração são descritos pelos autores como sendo largos, indicando que tamanho do cristal é muito pequeno, sendo estimado em 12nm. Os resultados descrevem que o pó de semente de jaca contém partículas de amido tipo A, de natureza semicristalina, com alta área de superfície específica.

Os autores sugerem que a semente de jaca pó tem muito potencial para uso em alimentos, cosméticos, produtos farmacêuticos, papel, bio-nanotecnologia indústrias, principalmente como espessante e agente ligante.

5.2.4 Colorimetria

Os parâmetros colorimétricos de amidos nativos e modificados são demonstrados na Tabela 6. O eixo L* refere-se à luminosidade que ao analisar as amostras de amido nativo e modificados com casca não teve diferença significativamente e obtiveram resultados acima de 90, sendo ($p < 0,05$) de 90,74 a 90,42, o que indicam que possuem a coloração branca.

Nos parâmetros de a* e b* indicaram a coloração avermelhada e amarelada, tanto para o amido com casca ou sem a casca respectivamente. O que se difere entre ambos é que o amido com casca possui a coloração um pouco mais acentuada nos resultados de a* devido a película da casca.

TABELA 6- Parâmetros L*, a* e b* do amido da semente de jaca nativo e modificado, com casca e sem casca.

Grupo	Tratamento	L*	a*	b*
Com casca	Nativo	87,08±0,68 ^c	1,74±0,02 ^b	6,40±0,07 ^{ab}
	40%	86,65±0,25 ^c	2,00±0,04 ^a	6,80±0,06 ^a
	70%	88,35±0,23 ^{bc}	1,81±0,04 ^{ab}	5,83±0,12 ^b
Sem casca	Nativo	90,42±0,34 ^{ab}	0,99±0,03 ^c	5,95±0,10 ^b
	40%	90,45±0,58 ^{ab}	0,93±0,09 ^c	6,67±0,27 ^{ab}
	70%	90,74±0,55 ^a	0,89±0,02 ^c	5,85±0,29 ^b

Nota: Resultados expressos como média±desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre as amostras de mesmo grupo pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Santos (2011) relata que a cor está interligada a quantidade de taninos e compostos bioativos como os compostos fenólicos (MORAIS et al., 2020), no entanto, pode ter interferido nos resultados desses parâmetros analisados.

Bet (2021) analisou o amido nativo de amaranto US 40% e foi visto que teve o aumento da coloração branca, o que corrobora com os estudos de Sira et al. (2004) que explica sobre a coloração branca no qual reflete a qualidade e o nível de concentração de pureza do amido, o que nos mostra que as análises sem a cascas são mais aproximadas da coloração branca do amido puro ao compararmos com as análises com a casca.

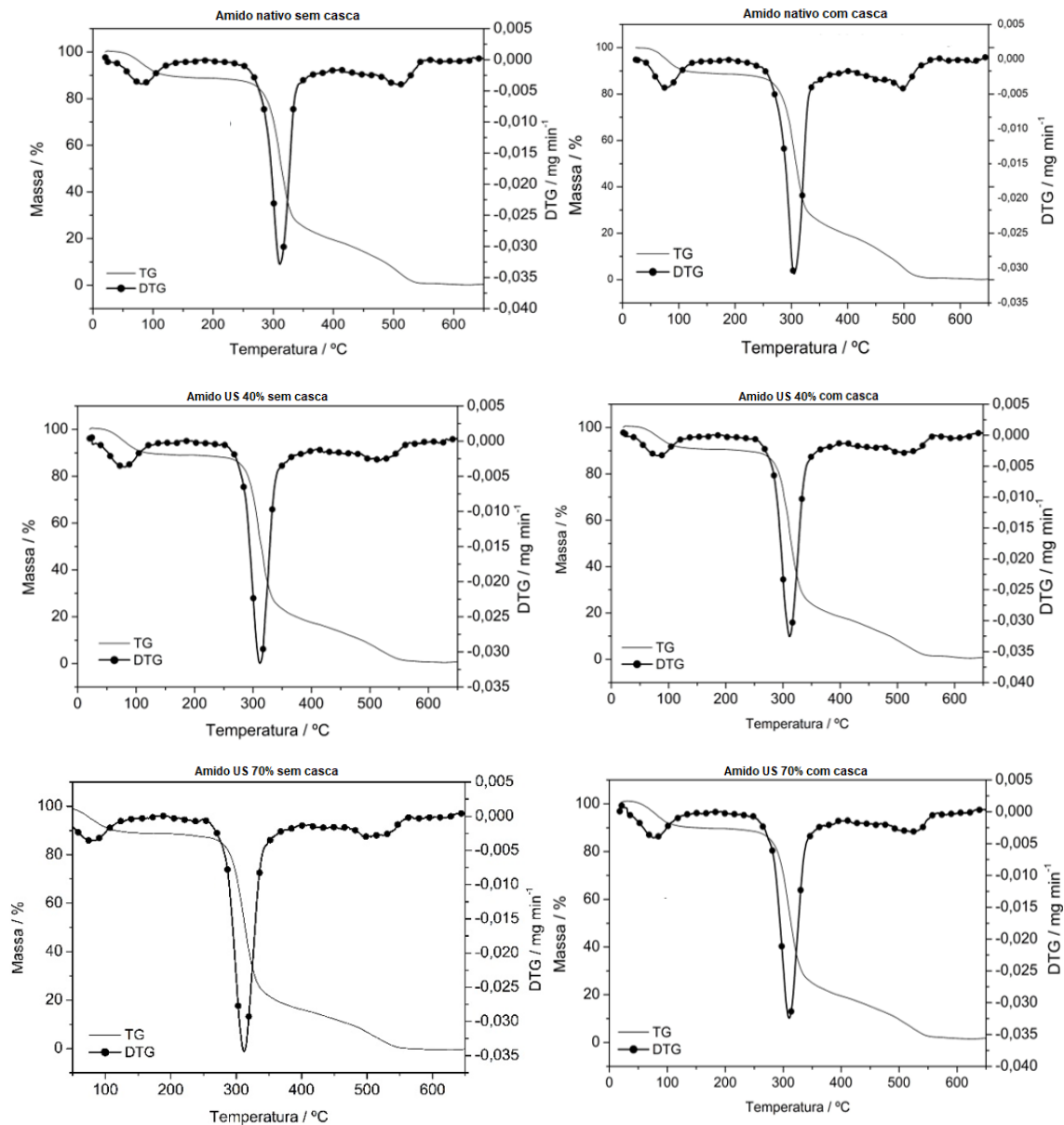
5.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS

5.3.1 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TG/DTG)

As curvas TG/DTG estão representadas na Figura 15 e os dados obtidos por TG/DTG na Tabela 7.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 07, considerando as amostras de amido nativos de semente de jaca com ou sem cascas, a amostra US 70% com a casca obteve a maior perda de massa (Δm , % 9,68) temperatura de pico (85,57°C) comparado as amostras sem casca, onde tiveram perda de massa semelhantes. Beninca et al. (2019) cita em seus estudos que a perda de massa ocorre pela desidratação.

FIGURA 15 – Curvas de TG/DTG obtidos dos amidos nativo e modificados por US.



Fonte: O autor (2022).

Na temperatura do pico, a amplitude US 70% com casca teve o menor resultado ($T_p=76,18^\circ\text{C}$) seguido do nativo ($T_p=76,27^\circ\text{C}$). A temperatura final na primeira etapa a perda de massa dos amidos de semente de jaca variou entre $136,6 - 149,9^\circ\text{C}$, e variou de $76,18^\circ\text{C}$ a $85,27^\circ\text{C}$.

Em relação à estabilidade, houve uma variação de ($T_i= 136,55^\circ\text{C}$ a $151,25^\circ\text{C}$) e ($T_f=239,7$ a $249,09$) e o amido nativo com casca obteve a menor faixa de estabilidade ao compará-lo com outras amostras.

Na segunda etapa de perda de massa é referente à decomposição, onde a US 40% com casca teve a maior temperatura ($T_p=311,34^\circ\text{C}$), o nativo com casca a menor temperatura ($T_p=304,71^\circ\text{C}$), e o amido nativo e modificados por US sem a casca, tiveram resultados de temperatura de pico similares.

Os autores Pineda-Gómez et al. (2014), descrevem em seus estudos que a temperatura da degradação do amido inicia-se entre 230 e 250°C e que valores acima provocam a perda de massa. O amido de semente de jaca teve uma temperatura de gelatinização estreita e exigiu menos energia para gelatinização. Além disso, amido nativo com casca obteve a menor estabilidade ao cozimento em comparação aos amidos modificados.

TABELA 7 – Valores TG/DTG obtidos dos amidos nativo e modificados por US.

Tratamento			Evento			
			1° etapa	Estabilidade	2° etapa	3° etapa
Nativo		Ti-Tf, °C	30-149,9	149,9-228,1	228,13-350,5	350,51-573,0
		Tp, °C	76,27	-	304,71	497
		Δm , %	10,90	-	63,64	24,62
		Cinzas%	0,84	-	-	-
Amido com casca	US 40%	Ti-Tf, °C	30-143,7	143,72-246,1	246,15-381,6	381,62-591,1
		Tp, °C	85,27	-	311,34	511,61
		Δm , %	9,68	-	71,31	18,81
		Cinzas%	0,20	-	-	-
US 70%	Ti-Tf, °C	30-151,3	151,25-239,7	239,72-372,4	372,42-588,1	
	Tp, °C	76,18	-	310,36	521,79	
	Δm , %	11,62	-	67,99	20,31	
	Cinzas%	0,08	-	-	-	
Nativo		Ti-Tf, °C	30-143,1	143,13-244,96	244,96-368,8	368,81-573,1
		Tp, °C	80,72	-	310,76	509,46
		Δm , %	10,96	-	66,99	22,02
		Cinzas%	0,03	-	-	-
Amido sem casca	US 40%	Ti-Tf, °C	30-136,6	136,55-248,8	248,8-379,4	379,4-577,3
		Tp, °C	81,33	-	311,84	516,86
		Δm , %	10,92	-	70,38	18,49
		Cinzas%	0,21	-	-	-
US 70%	Ti-Tf, °C	30-147,9	147,9-249,09	249,09-379,2	379,2-576,2	
	Tp, °C	76,93	-	311,77	495,71	
	Δm , %	11,08	-	70,64	18,05	
	Cinzas%	0,23	-	-	-	

Nota: * Δm , massa perdida (%); Ti, temperatura inicial; Tf, temperatura final; ΔT , diferença de temperatura ($^\circ\text{C}$); Tp, temperatura de pico ($^\circ\text{C}$).

Para a etapa 3, onde ocorre a oxidação (LACERDA et al., 2015), o amido com e sem a casca US40% apresentaram as maiores temperaturas iniciais ($T_i = 381,62^\circ\text{C}$

e $T_i = 379,4^\circ\text{C}$) respectivamente e os amidos nativos, obtiveram as temperaturas finais menores e semelhantes ($T_f = 573,0^\circ\text{C}$ e $T_f = 573,1$).

Sobre maior teor de cinzas encontrada foi na amostra nativa com casca (0,84%), o que se difere com a amostra sem a casca (0,03%). Da mesma forma, ocorreu no estudo de ZHU. (2015), onde cita que encontrou valores abaixo de 0,3% e os valores mais altos de cinzas estão relacionados ao fósforo.

5.3.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Os valores obtidos em T_o temperatura inicial, T_p pico de temperatura, T_c temperatura de conclusão, ΔH_{gel} entalpia de gelatinização durante o processo de gelatinização foram demonstrados na Tabela 8 as curvas representadas na Figura 16.

TABELA 8- Resultados do DSC do amido nativo e modificados por US.

	Tratamento	T_o ($^\circ\text{C}$)	T_p ($^\circ\text{C}$)	T_c ($^\circ\text{C}$)	ΔH_{gel} (J.g-1)
Amido com casca	Nativo	78,89±0,07 ^{ab}	81,91±0,02 ^b	85,25±0,38 ^{bc}	9,42±0,77 ^b
	US 40%	78,80±0,15 ^b	81,85±0,02 ^b	86,55±0,11 ^a	14,6±0,77 ^a
	US 70%	78,46±0,02 ^b	81,53±0,02 ^c	85,15±0,21 ^{cd}	8,95±0,26 ^{bc}
Amido sem casca	Nativo	79,16±0,02 ^a	82,06±0,01 ^a	85,84±0,24 ^b	7,74±0,28 ^c
	US 40%	78,32±0,14 ^c	81,06±0,05 ^d	84,57±0,19 ^{de}	9,61±0,18 ^b
	US 70%	78,00±0,16 ^d	80,88±0,05 ^e	84,43±0,13 ^e	7,84±0,32 ^c

Nota: (*) T_o temperatura inicial, T_p pico de temperatura, T_c temperatura de conclusão, ΔH_{gel} entalpia de gelatinização. Os valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

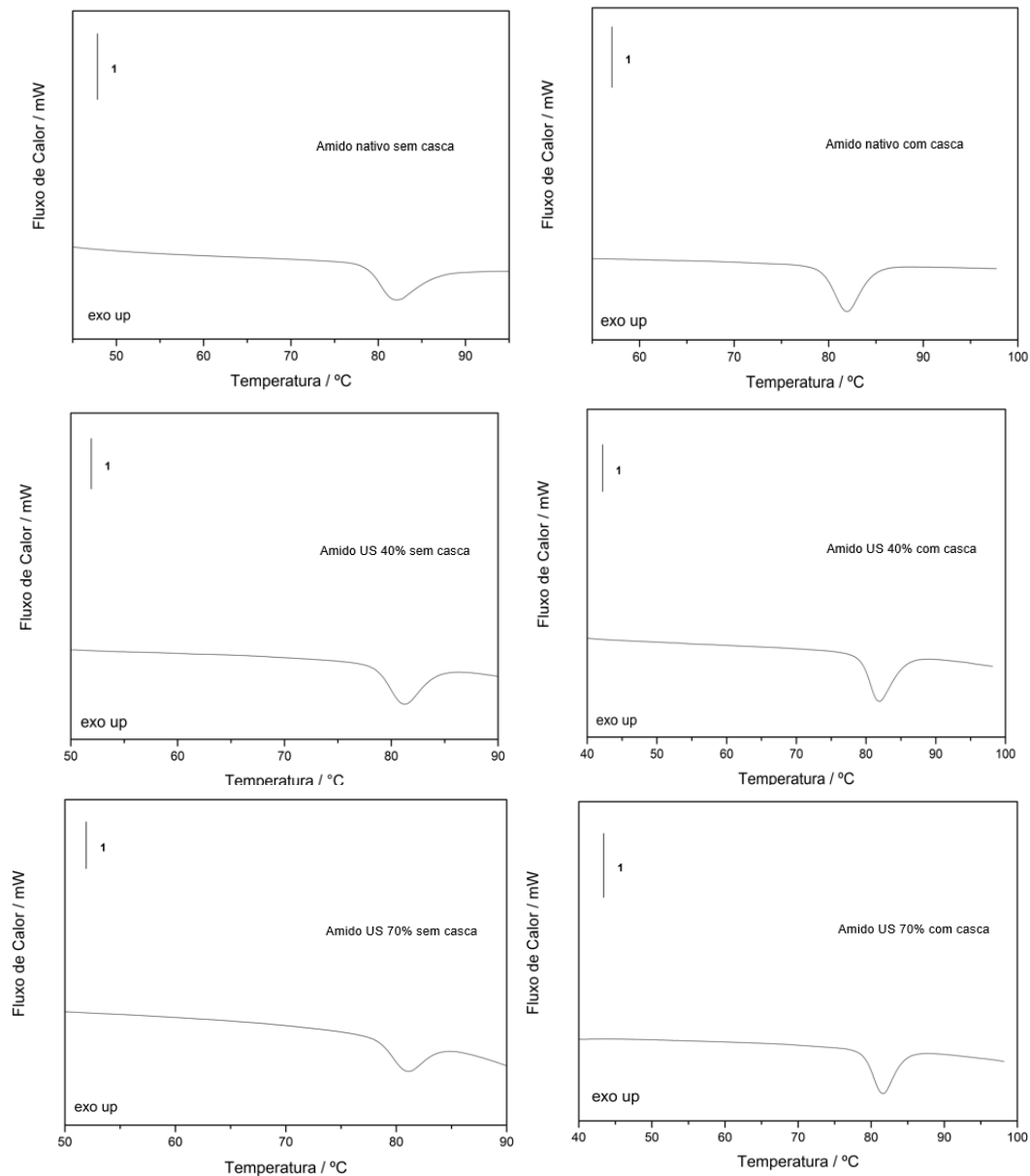
Na temperatura inicial (Tabela 8), as amostras com e sem casca de amido nativo e modificados por US se mantiveram com temperaturas semelhantes. Nas amostras com cascas também obtiveram a mesma temperatura, e sem a casca, o amido nativo mostrou o maior pico ($82,06^\circ\text{C}$) seguido da US 40% ($81,06^\circ\text{C}$) e US 70% ($80,88^\circ\text{C}$) respectivamente. A maior temperatura de conclusão foi encontrada no amido com casca modificado por US 40% ($86,55^\circ\text{C}$).

Os resultados maiores encontrados na entalpia de gelatinização foram nos amidos com casca modificado por US 40% ($\Delta H_{gel} = 14,06$ J/g) e sem a casca 40%

($\Delta H_{gel} = 9,61 \text{ J/g}$), já o amido nativo estudado sem a casca obteve o valor mais inferior ($\Delta H_{gel} = 7,74 \text{ J/g}$) entre todas as amostras analisadas. O estudo de Abegunde, et al. (2013) relata que temperatura inferiores podem tornar cristais mais homogêneos, em decorrência de degradação ao gelatinizar o amido, isso nos mostra que a amplitude influenciou sobre a estrutura dos grânulos de amido em comparação com amplitude maiores.

A ΔH_{gel} é considerada a energia necessária para o processo de gelatinização, fornecendo uma medida geral de cristalinidade, sendo um potente indicador de perda molecular no grânulo sobre a qualidade e quantidade do amido (SINGH et al., 2003).

FIGURA 16 – Curvas DSC do amido da semente de jaca nativo e modificados por US.



Fonte: O autor (2022).

Os autores Singh et al. (2003) explicam que o aumento da temperatura provoca ruptura de ligações intermoleculares (interações de hidrogênio) e assim, a abertura das cadeias, provocando inchaço. Dentro da faixa de temperatura de gelatinização, o grânulo de amido exibe um inchaço limitado, com solubilização parcial; porém, conforme a temperatura aumenta além dessa faixa, existe o aumento do poder de inchaço.

6 CONCLUSÃO

As sementes de jaca orgânica sofreram alterações significativas pelo método de ultrassom nas propriedades de amostras de amido com e sem casca.

A viscosidade da pasta, foi observada que na retrogradação (*setback*), as modificações das amostras de US40% com ou sem casca tiveram a maior tendência para retrogradar, já o nativo sem casca apresentou crescimento menor na viscosidade de retrogradação.

Na Microscopia Eletrônica de varredura os amidos sem casca e com casca possuem os grânulos de formas poligonais arredondadas e diâmetros irregulares e percebe-se que a película da casca da semente de jaca não influenciou nos resultados das modificações por US.

Na Difração de Raios X notou-se que os amidos são semicristalinos. A colorimetria indicou a coloração avermelhada e amarelada para ambas as análises, no entanto, para os amidos nativo e modificados sem a casca apresentaram coloração mais clara.

Nas propriedades térmicas, nas análises do TG/DTG na amostra US 40% com a casca obteve a maior perda de massa, na temperatura do pico, a amplitude US 70% com casca teve o menor resultado e o amido nativo com casca obteve menor estabilidade e exigiu menos energia para gelatinização.

O DSC mostrou que o pico de temperatura nas amostras o amido nativo sem a casca, mostrou o maior pico. Os resultados maiores encontrados na entalpia de gelatinização foram nos amidos com casca e sem a casca modificado por US 40%, sendo considerados endotérmicas.

Considerando esses aspectos, as cascas de semente da jaca não influenciam nos resultados dessa pesquisa, portanto podem ser elaborados produtos alimentícios com amido de sementes de jaca para a utilização como espessantes, por apresentarem consistência viscosa, além de serem baixo custo, proveniente de um subproduto que iria ser descartado e não possuir nenhum tipo de agrotóxico, pesticida ou produto químico sendo uma matéria-prima considerada totalmente orgânica.

REFERÊNCIAS

- ABEGUNDE, O. K.; UM, T.; CHEN, J.; DENG, F. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 2, p. 169-177, 2013.
- AGUNBIADE, S. O. E.; LONGE, O. G. Influence of starch pore characteristics on pasting behavior. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 35, p. 285–288, 2012.
- AI, Y.; JANE, J. L. Understanding Starch Structure and Functionality. [s.l.] **Elsevier Ltd**, 2017.
- ALMANZA-BENITEZ, S.; OSORIO-DÍAZ, P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, G.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J. J.; e BELLO-PEREZ, L. A. Addition of acid-treated unripe plantain flour modified the starch digestibility, indigestible carbohydrate content and antioxidant capacity of semolina spaghetti. **Food Science and Technology**, 2015.
- ALMASI, H.; GHANBARZADEH, B.; e ENTEZAMI, A. A. Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 46, p. 1-5, 2010.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Legislação em Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 263 de 22 de Setembro de 2005**.
- ANWAR, S. I. Determination of moisture content of bagasse of jaggery unit using microwave oven. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 5, n. 4, p. 472-478, 2010.
- ASP, N.G. Classification and methodology of food carbohydrates as related to nutritional effects. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 61 (Suppl):930S-7S, 1995.
- ATWELL, W.A.; HOOD, L.F.; LINEBACK, D.R.; VARRIANO-MARSTON, E.; ZOBEL, H.F. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. **Cereal Foods World**, v. 33, p. 306-311, 1988.
- AWAD, T. S.; MOHARRAM, H. A.; SHALTOU, O.E.; ASKER, D.; YOUSSEF, M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. **Food Research International**, v. 48, p. 410–427, 2012.
- BALET, S.; GUELPA, A.; FOX, G.; e MANLEY, M. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: A review. **Food Analytical Methods**, v. 2, p. 2344-2360, 2019.
- BALIGA, M. S.; SHIVASHANKARA, A. R.; HANIADKA, R.; DSOUZA, J.; BHAT, H. P. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (jackfruit): A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1800- 1811, 2011.

BAUMANN, G.; HARTENTHALER, D. K.; BRESLAUER, K. Center for Advanced Food Technology—**Physical Forces Research Accomplishments**, January Report, Rutgers University, New Brunswick, N.J, 1988.

BENINCA, C.; COLMAN, T.A.D.; LACERDA, L.G.; FILHO, M.A.S.C.; BANNACH, G.; SCHNITZLER, E. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. **Thermochemica Acta**, v.552, p.65-69, 2013.

BENINCA, C.; BARBOZA, R. A.; DE OLIVEIRA, C. S.; BET, C.D.; BISINELLA, R.Z.B.; SCHNITZLER, E. Corn and Pinhão Starches Modified with Sodium Tripolyphosphate: Thermal, Pasting, Structural and Morphological Properties. **Starch/Staerke**, v.71, p. 1–8, 2019.

BET, C. D. Extração de amido de *Amaranthus caudatus* orgânico por irradiação ultrassônica e incorporação de frutooligossacarídeos por ultrassom e liofilização. 2021. 256 f. Tese (Doutorado no Programa de pós-graduação em Ciência dos Alimentos), **Universidade Estadual de Ponta Grossa**, 2021.

BET, C. D.; DE OLIVEIRA, CRISTINA SOLTovski; COLMAN, TIAGO ANDRÉ DENCK; BISINELLA, R. Z. B.; BENINCA, C.; LACERDA, L. G; RAMOS, A. P.; SCHNITZLER, E. Aqueous extraction of organic amaranth starch and their by-products. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.138, p.2733–2749, 2019.

BET, C. D.; LAYSE, e; CORDOBA, P.; RIBEIRO, L. S.; SCHNITZLER, E. Common Vetch (*Vicia sativa*) as a New Starch Source: Its Thermal, Rheological and Structural Properties After Acid Hydrolysis. **Food Biophysics**, v. 11, p. 275–282, 2016.

BISINELLA, R. Z. B.; BENINCA, C.; BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; DEMIATE, I. M. SCHNITZLER, E. Thermal, structural and morphological characterisation of organic rice starch after physical treatment. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p.1-9, 2021.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 711, de 1° de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. 2022b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-711-de-1-de-julho-de-2022-413244942>. Acesso em: 01 abril 2023.

BUNACIU, A. A.; UDRIȘTIOIU, E. G.; e ABOUL-ENEIN, H. Y. X-ray diffraction: instrumentation and applications. **Critical reviews in analytical chemistry**, v. 45, p. 289-299, 2015.

CAVALCANTI, M.T; CAMPOS, S. V.; SILVA, T.; FLORÊNCIO, I.M.; FLORENTINO, E.R. Obtenção do amido do endocarpo da manga para diversificação produtiva na indústria de alimentos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 6, n. 5, pág. 80–83, 2011.

CHAMP, M. M. J.; MOLIS, C.; FLOURIE, B.; BORNET, F.; PELLIER, P.; COLONNA, P.; GALMICHE, J.; RAMBAUD, J. Small-intestinal digestion of partially resistant cornstarch in healthy subjects. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, p. 705-710, 1998.

CHAN, H. T.; BHAT, R.; e KARIM, A. A. Effects of sodium dodecyl sulphate and sonication treatment on physicochemical properties of starch. **Food Chemistry**, v. 120, p. 703–709, 2010.

CHEL-GUERRERO, L.; BARBOSA-MARTÍN, E.; MARTÍNEZ-ANTONIO, A.; GONZALEZ-MONDRAGÓN, E.; BETANCUR-ANCONA, D. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86. p. 302-308, 2016.

CHEN, M.H.; BERGMAN, C.J.; PINSON, R.M.F.; JELLSTROM, R.G. Waxy gene haplotypes: associations with pasting properties in an international rice germplasm collection. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p.781–788, 2008.

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; YANG, B.; PHANG, S. M.; e RAMANAN, R. N. Isolation, characterization and the potential use of starch from jackfruit seed wastes as a coagulant aid for treatment of turbid water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 2876-2889, 2017.

CHU, Z.; HU, M.; XU, F.; TAN, L.; ZHAO, J.; e ZHANG, Y. Optimization of enzymatic extraction technology condition of starch from jackfruit seed using response surface methodology. **Science and technology of food industry**, v. 37, p. 189–200, 2016.

CHUNG, K. M.; MOON, T. W.; KIM, H.; e CHUN, J. K. Physicochemical properties of sonicated mung bean, potato, and rice starches. **Cereal Chemistry**, v. 79, p. 631–633, 2002.

ČÍŽOVÁ, A.; SROKOVÁ, I.; SASINKOVÁ, V.; MALOVÍKOVÁ, A.; e EBRINGEROVÁ, A. Carboxymethyl starch octenylsuccinate: Microwave- and ultrasound-assisted synthesis and properties. **Starch/Stärke**, v. 60, p. 389–397, 2008.

COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, p. 2245-2252, 2014.

DEFFENBAUGH, L.; WALKER, C. Comparison of starch pasting properties in the Brabender Visco-Amylograph and the Rapid Visco-Analyzer. **Cereal Chemistry**, v. 66, p. 493–499, 1989.

DEGROIS, M.; GALLANT, D.; BALDO, P.; e GUILBOT, A. The effects of ultrasound on starch grains. **Ultrasonics**, v. 12, p.129-131, 1974.

DEL CARMEN ROBLES-RAMÍREZ, M.; FLORES-MORALES, A.; e MORA-ESCOBEDO, R. Corn tortillas: Physicochemical, structural and functional changes. Maize: Cultivation, Uses and Health Benefits; **Jimenez-Lopez**, JC, Ed, p. 89-111, 2012.

DUGUY, B.; e ROVIRA, P. Differential thermogravimetry and differential scanning calorimetry of soil organic matter in mineral horizons: Effect of wildfires and land use. **Organic Geochemistry**, v. 41, 742-752, 2010.

DUTTA, H.; PAUL, S. K.; KALITA, D.; e MAHANTA, C. L. Effect of acid concentration and treatment time on acid-alcohol modified jackfruit seed starch properties. **Food**

Chemistry, v. 128, n. 2, p. 284–291, 2011.

ENGLYST H.N.; KINGMAN S. M.; CUMMINGS J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46 p.S33-S50, 1992.

GALLANT, D.; DEGROIS, M.; STERLING, C.; e GUILBOT, A. Microscopic effects of ultrasound on the structure of potato starch preliminary study. **Starch/Stärke**, v. 24, p. 116–123, 1972.

GAME, L.T.H.; ABDEL-AAL, E.S.M.; WOOD, P.J.; AMES, N.P.; TOSH, S.M. Application of the Rapid Visco Analyzer (RVA) as an effective rheological tool for measurement of β -glucan viscosity. **Cereal Chemistry**, v. 89, p.52–58, 2012.

GAO, W.; LIN, X.; LIN, X.; DING, J.; HUANG, X.; e WU, H. Preparation of nano-sized flake carboxymethyl cassava starch under ultrasonic irradiation. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, p.1413–1418, 2011.

GONZÁLEZ, P.; MEDINA, C.; FAMÁ, L.; e GOYANES, S. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch – glycerol with citric acid as crosslinking agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 66–74, 2016.

GUPTA, D.; MANN, S.; SOOD, A.; GUPTA, R. K. Phytochemical, nutritional and antioxidant activity evaluation of seeds of jackfruit (*Artocarpous heterophyllus Lam.*) **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v.2, n.4, p.336- 345, 2011.

HELLMAN, N. N.; BOESCH, T. F.; and MELVIN, E. H. **Journal of the American Chemical Society**. v.74, p. 348, 1952.

HERCEG, I. L.; JAMBRAK, A. R.; ŠUBARIĆ, D.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S. R.; BADANJAK, M.; TRIPALO, B.; JEŽEK, D.; NOVOTNI, D.; e HERCEG, Z. Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. **Czech Journal of Food Science**, v.28, p. 83–93, 2010.

HÖHNE, G. W. H.; HEMMINGER, W.; e FLAMMERSHEIM, H. J. Differential scanning calorimetry, **Berlin: Springer**, v. 2, p. 9-30, 2003.

HSIEN-CHIH H.W.; SARKO, A. The crystal structure of A-starch: is it double helical? **Carbohydrates Research**, v. 54, p.C3-C6, 1977.

HSIEN-CHIH, H.W.; SARKO, A. B. The double-helical molecular structure of crystalline a-amylose. **Carbohydrates Research**, v. 61, p.27-40, 1978.

HU, M.; ZHANG, Y.; CHU, Z.; TAN, L.; ZHAO, J.; e FU, L. Effect of different extraction methods on the properties of jackfruit seeds starch. **Chinese Journal of Topical Crops**, v. 37, p. 1218–1223, 2016.

HUANG, Q.; LI, L.; e FU, X. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. **Starch/Stärke**, v.59, p. 371–378, 2007.

ISONO, Y.; KUMAGAI, T.; e WATANABE, T. Ultrasonic degradation of waxy rice starch. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.58, p. 1799–1802, 1994.

ITO, V. C.; BET, C. D.; WOJEICCHOWSKI, J. P.; DEMIATE, I. M.; SPOTO, M. H. F.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L. G. Effects of gamma radiation on the thermoanalytical, structural and pasting properties of black rice (*Oryza sativa L.*) flour. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.133, p.529-537, 2018.

JAMBRAK, A. R.; HERCEG, Z.; ŠUBARIĆ, D.; BABIĆ, J.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S. R.; BOSILJKOV, T.; ČVEK, D.; TRIPALO, B.; e GELO, J. Ultrasound effect on physical properties of cornstarch. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 91–100, 2010.

JANAINA, F.; GOMES DA COSTA, O.; LOPES LEIVAS, C.; et al. Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four germplasm collections. **Thermochimica Acta**, v. 565, p. 172–177, 2013.

JOHN, J. K.; RANI, V. S.; RAJA, K. C. M.; MOORTHY, S. N. Physicochemical and enzyme susceptibility characteristics of starch extracted from chemically pretreated *Xanthosoma sagittifolium* roots. **Starch/Stärke**, v. 51, p. 86-89, 1999.

KITTIPONGPATANA, O. S.; KITTIPONGPATANA, N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches. **LWT-Food Science and Technology**, v.44, p. 1766-1773, 2011.

KNORR, D.; ZENKER, M.; HEINZ, V.; LEE, D. U. Applications and potential of ultrasonics in food processing. **Trends in Food Science e Technology**, v. 15, p. 261–266, 2004.

KOBAYASHI, S.; SCHWARTZ, S. J.; LINEBACK, D.R. Comparison of the structures of amylopectins from different wheat varieties. **Cereal Chemistry**, v. 63, p.1-18, 1986.

KUBIAKI, F. T.; FIGUEROA A. M.; OLIVEIRA C. S.; DEMIATE I. M.; SCHNITZLER, E.; Lacerda L. G. Effect of acid–alcoholic treatment on the thermal, structural and pasting characteristics of European chestnut (*Castanea sativa*, Mill) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, p. 587–594, 2018.

KUK, R. S.; WAIGA, L. H.; OLIVEIRA, C. S.; BET, C. D.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and pasting properties of brazilian ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) starch. **Ukrainian Food Journal**, v.6, p.674-685, 2017.

LACERDA, L. G.; FILHO, M. A. S. C.; BAUAB, T.; DEMIATE, I. M.; COLMAN, T. A. D.; ANDRADE, M. M. P.; SCHNITZLER, E. The effects of heat-moisture treatment on avocado starch granules: Thermoanalytical and structural analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p. 387–393, 2015.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E.W. Carbohidratos em alimentos regionales Iberoamericanos. **São Paulo: Universidade de São Paulo**, v.1, p.648. 2006.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger princípios de bioquímica. 3. ed. São Paulo: **Sarvier**, 2002.

- LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; JAQUEY, S. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata-doce – um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n.3, p.343-345, 1998.
- LEYVA-PORRAS, C.; CRUZ-ALCANTAR, P.; ESPINOSA-SOLÍS, V.; MARTÍNEZ-GUERRA, E.; PIÑÓN-BALDERRAMA, C. I.; COMPEAN MARTÍNEZ, I.; SAAVEDRA-LEOS, M. Z. Application of differential scanning calorimetry (DSC) and modulated differential scanning calorimetry (MDSC) in food and drug industries. **Polymers**, v.12, p.1-5, 2019.
- LIGHT, J. M. Modified food starches: Why, where, and how. **Cereal Foods World**, p. 20. 1990.
- LUCIANO, C. G.; VALENCIA, G. A.; CAMPANELLA, O. H.; SOBRAL, P. J.D. A.; e MORAES, I. C. F. Influence of extraction method on the rheological properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed starch dispersions. **Food Biophysics**, v. 13, p. 155–162, 2018.
- LUO, Z.; FU, X.; HE, X.; LUO, F.; GAO, Q.; e YU, S. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. **Starch/Stärke**, v. 60, p. 646–653, 2008.
- MACHADO, L. C.; PELEGATI, V. B.; e OLIVEIRA, A. L. Study of simple microparticles formation of limonene in modified starch using PGSS – Particles from gas-saturated suspensions. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 107, p. 260-269, 2016.
- MADRIGAL-ALDANA, D. L.; TOVAR-GÓMEZ, B.; MATA-MONTES DE OCA, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.G.; GUTIERREZ-MERAZ, F.; BELLO-PÉREZ, L. A. Isolation and characterization of Mexican jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L) seeds starch in two mature stages. **Starch**, v.63, p.364–372, 2011.
- MADRUGA, M. S.; ALBUQUERQUE, F. S. M.; SILVA, I. R. A.; AMARAL, D. S.; MAGNANI, M.; NETO, V.Q. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. **Food Chemistry**, v.143, p. 440–445, 2014.
- MAGNANI, M.; QUEIROGA NETO, V. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch, **Food Chemistry**, v.143, p.440-445, 2014.
- MAHANTA, C. L.; KALITA, D. Processing and utilization of jackfruit seeds. Processing and impact on active components in food. **Academic Press**. p.395-400, 2015.
- MARCON, M. J. A. Proposta para o mecanismo de expansão do polvilho azedo com base nas características físico químicas. 2012. 187 f. Tese (Doutorado no Programa de pós-graduação em Ciência dos Alimentos, **Universidade Federal de Santa Catarina: Santa Catarina**), 2012.
- MARCON, M. J. A.; KURTZ, D. J.; RAGUZZONI, J. C.; DELGADILLO, I.; MARASCHIN, M.; SOLDI, V.; REGINATTO, V.; AMANTE, E. R. Expansion properties of sour cassava starch (Polvilho azedo): Variables related to its practical application in bakery. **Starch/Stärke**, v. 61, p. 716-726, 2009.

- MATHEWS, K. R.; LANDMARK, J. D.; e STICKLE, D. F. Quantitative assay for starch by colorimetry using a desktop scanner. **Journal of Chemical education**, v.81, p. 702, 2004.
- MERRILL, D.R. Control of consistency in manufacture of cup grease. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 17, p.1068–1071, 1925.
- MESTRE, C. LOS estados físicos del almidón. In: Conferencia internacional del almidón. **Quinto. Anais**, Quito, p.2, 1996.
- MOHAMMED, A.; e ABDULLAH, A. Scanning electron microscopy (SEM): A review. In Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, **Băile Govora, Romania**, v. 2018, p. 7-9, 2018.
- MONOGAROVA, O.V.; OSKOLOK, K.V. AND APYARI, V.V. Colorimetry in chemical analysis. **Journal of Analytical Chemistry**, 73, pp.1076-1084, 2018.
- MORAIS, R.A.; SANTOS, A. L.; SOUSA, H. M. S.; SOARES, C. M. S.; SILVA, D. L.; MARTINS, G. A. S. Determinação dos compostos fenólicos totais em cascas de frutas encontradas no cerrado brasileiro. Desafios - **Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v.7 (Especial), p.26–33, 2020.
- NAMAZI, H.; F. FATHI, AND A. Dadkhah, Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids for preparation of nanosized starch particles. **Scientia Iranica**, v. 18 (3): p. 439-445, 2011.
- NAZRI, M. S. M.; TAWAKKAL, I. S. M. A.; KHAIRUDDIN, N.; TALIB, R. A.; e OTHMAN, S. H. Characterization of jackfruit straw-based films: Effect of starch and plasticizer contents. **Pertanika Journal of Science and Technology**, v. 27, p. 1-14, 2019.
- NOOR, F.; RAHMAN, M. J.; MAHOMUD, M. S.; AKTER, M. S.; TALUKDER, M. A. I.; e AHMED, M. Physicochemical properties of flour and extraction of starch from jackfruit seed. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v.3, p. 34, 2014.
- ORO, T.; LIMBERGER, V. M.; MIRANDA, M. Z. D.; RICHARDS, N. S. P. D. S.; GUTKOSKI, L. C.; e FRANCISCO, A. D. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**, v. 43, p. 754-760, 2013.
- PARK, S.; KIM, Y. R. Clean label starch: production, physicochemical characteristics, and industrial applications. **Food science and biotechnology**, v.30, p.1-17, 2021.
- PASCOAL, A. M. Extração e caracterização do amido de Lobeira (*Solanum lycocarpum*). Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Biologia) - **Universidade Federal de Goiás, Goiânia**, p.26, 2014.
- PATIST, A.; BATES, D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. Innovative **Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p.147–154, 2008.
- PINEDA-GÓMEZ, P.; ANGEL-GIL, N. C.; VALENCIA-MUÑOZ, C.; ROSALES-RIVERA, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Thermal degradation of starch sources:

Green banana, potato, cassava, and corn—kinetic study by non-isothermal procedures. **Starch/Stärke**, v. 66, n. 7-8, p. 691-699, 2014.

PRETTE, A. P. Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de secagem convectiva. 2012. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, **Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB**, Brasil, 2012.

RANASINGHE, R. A. S. N.; MADUWANTHI, S. D. T.; MARAPANA, R. A. U. J. Nutritional and Health Benefits of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): A Review. **International Journal of Food Science**, v. 2019, p. 1–12, 2019.

RENGSUTTHI, K.; e CHAROENREIN, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. **Food Science and Technology**, v. 44, n.5, p. 1309–1313, 2011.

RESENDIZ-VAZQUEZ, J. A.; ULLOA, J. A.; URÍAS-SILVAS, J. E.; BAUTISTA-ROSALES, P. U.; RAMÍREZ-RAMÍREZ, J. C.; ROSAS-ULLOA, P.; e GONZÁLEZ-TORRES, L. J. U. S. Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.37, p. 436-444, 2017.

RODRIGUEZ-GARCIA, M. E.; HERNANDEZ-LANDAVERDE, M. A.; DELGADO, J. M.; RAMIREZ-GUTIERREZ, C. F.; RAMIREZ-CARDONA, M.; MILLAN-MALO, B. M.; e LONDOÑO-RESTREPO, S. M. Crystalline structures of the main components of starch. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, p. 107-111, 2011.

SANTOS, L. A. S.; LIMA, A. M. P.; PASSOS, I. V.; SANTOS, L. M. P.; SOARES, M. D.; SANTOS, S. M. C. Uso e percepções da alimentação alternativa no estado da Bahia: um estudo preliminar. **Revista de Nutrição**, v.14, p.35-40, 2001.

SANTOS, L.S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAM, R.C. I.; BONOMO, P.; LEITE, C. X. S.; S, D. O. Efeito dos métodos de extração na composição, rendimento e propriedades da pasta do amido obtido da semente de jaca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.3, p.255-261, 2013.

SANTOS, M. Análise cromática de vinhos tintos da variedade Cabernet Sauvignon do Rio Grande do Sul. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos), **Universidade Federal de Santa Maria**, 2011.

SCHAFRANSKI, K.; ITO, V. C.; LACERDA, L. G. Impacts and potential applications: A review of the modification of starches by heat-moisture treatment (HMT). **Food Hydrocolloids**, v. 117, 106690, 2021.

SHERRY, X.; XIE, Q. L.; e STEVE, W. Cui, Starch Modification and Applications. **Carbohydrates Polymers**, p. 50, 2005.

SILVA, J. H. V.; JORDÃO, F. J.; RIBEIRO, M. L. G.; SILVA, E. L. Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) na ração sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em codornas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p.523-530, 2007.

SINGH, J.; KAUR, L.; e MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. **Food Hydrocolloids**, 2007.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, S. B.; SINGH, G. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v 81, p. 219-231, 2003.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starch from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p.219–231, 2003b.

SIRA, E. E. P; AMAIZ, M. L. A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n.4, p. 515-519, 2004.

SOUZA, T.; SANT'ANNA, C. M. A.; BONOMO, R. C. F.; SOARES, R. D.; PINTO, E. G. e COTA, I. R. Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia* L.): aplicação de modelos matemáticos. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá-PR, v.31, n.2, p.225-230, 2009.

SUJKA, M. Ultrasonic modification of starch–Impact on granules porosity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 424-429, 2017.

SUJKA, M.; JAMROZ, J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. **Food Hydrocolloids**, v. 31, p. 413–419, 2013.

SWAMI, S. B. S.; THAKOR, N.J .; HALDANKAR, P.M.; KALSE, S.B. Jackfruit and Its Many Functional Components as Related to Human Health: A Review. **Comprehensive Reviews of Food Science and Food Safety**, v.11, p.565-576, 2012.

SZENT-GYÖRGYI, A. Chemical and biological effects of ultrasonic radiation. **Nature**, v. 278, 1933.

TEWARI, S.; AGARWAL, R.K.; KUMAR, R.S.; e NAKHALE, S. The Pharma Therapeutic Fruits: An Overview. **Journal of Pharmaceutical Research International**, v.33, p.132-142, 2021.

THEIVASANTHI, T. E.; ALAGAR, M. An insight analysis of nano sized powder of jackfruit seed. **arXiv preprint**, p. 1110-0346, 2011.

TONGDANG, T. Some properties of starch extracted from three Thai aromatic fruit seeds. **Starch Staerke**, v. 60, p. 199-207, 2008.

TULYATHAN, V.; TANANUWONG, K.; SONGJINDA, P.; e JAIBOON, N. Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. **American Journal of Neuroradiology**, v. 28, n. 4, p. 848–853, 2002.

VAZHACHARICKAL, P. J.; SAJESHKUMAR, N. K.; JIBY, J. M.; AJESH C.; KURIAKOSE, B. A.; RENJITH, J. M.; ALEN, N. A.; DEENAMOL, T.; RINY, S.T.; NIJAMOL, V.; SOPHYIAMOL, J.; Chemistry and medicinal properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*): A Review on current status of knowledge. **International Journal of Innovative Research and Review**, v.3, p.83-95, 2015.

WAGHMARE, R.; MEMON, N.; GAT, Y.; GANDHI, S.; KUMAR, V.; PANGHAL, A. Jackfruit seed: an accompaniment to functional foods. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.22, p. e2018207, 2019.

WANG, L.; e WHITE, P. Structure and properties of amylose, amylopectin. **Cereal Chemistry**, v. 71, p.263-268, 1994.

WANI, I. A.; SOGI, D.S.; HAMDANI, A.M.; GANI, A.; BHAT, N.A.; SHAH, A. Isolation, composition, and physicochemical properties of starch from legumes: A review. **Starch-Stärke**, v. 68, p.834-45, 2016.

WOOTTON, M.; e BAMUNUARACHCHI, A. Application of differential scanning calorimetry to starch gelatinization. I. Commercial native and modified starches. **Starch-Stärke**, v.31, p.201-204, 1979.

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 492-497, 2010.

WURZBURG, O.B.; in T. E. Furia, ed, Handbook of Food Additives. **The Chemical Rubber Co**, Boca Raton, Fla, v.1, 1973.

YAZID, N.S.M. Optimization and characterization of ultrasonically treated jackfruit seed starch (tese de doutorado), **Universiti Tun Hussein Onn Malaysia**, 2022.

YU, Y.; WANG, YAO.; WANG, Y.; LIN D.; LI. X.; LIU, J. Preparation and Properties of Granular Cold-Water-Soluble Maize Starch by Ultrasonic-Assisted Alcoholic-Alkaline Treatment. **Starch/Staerke**, v. 70, n. 11–12, p. 1–8, 2018.

YUAN, R.C.; THOMPSON, D.B.; BOYER, C.D. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. **Cereal Chemistry**, v.70, p.81-81, 1993.

ZAINAL, N.F.A.; SAITER, J.M.; HALIM, S.I.A.; LUCAS, R.; CHAN, C.H. Thermal analysis: basic concept of differential scanning calorimetry and thermogravimetry for beginners. **Chemistry Teacher International**, v.32, p.59-75, 2020.

ZHANG, G.; HAMAKER, B.R. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour pasting properties influenced by free fatty acids and protein. **Cereal Chemistry**, v. 82, p.534–540, 2005.

ZHANG, Y.; HU, M.; ZHU, K.; WU, G.; e TAN, L. Functional properties and utilization of *Artocarpus heterophyllus* Lam seed starch from new species in China. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1395–1405, 2018.

ZHANG, Y.; LI, B.; XU, F.; HE, S.; ZHANG, Y.; SUN, L.; e TAN, L. Jackfruit starch: Composition, structure, functional properties, modifications and applications. **Trends in Food Science e Technology**, v.107, p. 268-283, 2021.

ZHANG, Y.; ZHU, K.; HE, S.; TAN, L.; e KONG, X. Characterizations of high purity starches isolated from five different jackfruit cultivars. **Food Hydrocolloids**, v.52, p.

785–794, 2016.

ZHANG, Z.; NIUB, Y.; ECKHOFF, S.R.; FENGA, H. Sonication Enhanced Corn starch Separation. **Starch-Stärke**, v. 57, p. 240–245, 2005.

ZHENG, J.; LI, Q.; HU, A.; YANG, L.; LU, J.; ZHANG, X.; e LIN, Q. Dual-frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. **Starch/Stärke**, v.65, p. 621–627, 2013.

ZHU, F. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. **Trends in Food Science e Technology**, v. 43, n.1, p. 1–17, 2015.

ZHU, F. Isolation, Composition, Structure, Properties, Modifications, and Uses of Yam Starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 357-87, 2015.

ZOBEL, H.F. Starch crystal transformations and their industrial importance. **Starch-Stärke**, v. 40, p. 1-7, 1988.

ZUO, J. Y.; KNOERZER, K.; MAWSON, R.; KENTISH, S.; e ASHOKKUMAR, M. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.16, p. 462–468, 2009.

ZUO, Y. Y. J.; HÉBRAUD, P.; HEMAR, Y.; e ASHOKKUMAR, M. Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.19, p 421–426, 2012.