

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FARMACÊUTICAS – PPGCF

KARIN KRYSTINA MAXIMO DO NASCIMENTO

ABORDAGENS DE PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DE NANO-
AMIDOS E SUAS APLICAÇÕES EM EMULSÕES ALIMENTÍCIAS
PICKERING: UMA REVISÃO

Manaus

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FARMACÊUTICAS – PPGCF

KARIN KRYSTINA MAXIMO DO NASCIMENTO

ABORDAGENS DE PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DE NANO-
AMIDOS E SUAS APLICAÇÕES EM EMULSÕES ALIMENTÍCIAS
PICKERING: UMA REVISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Félix

Manaus

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

N244a Nascimento, Karin Krystina Maximo do
Abordagens de preparo e caracterização de nano-amidos e suas aplicações em emulsões alimentícias pickering: uma revisão / Karin Krystina Maximo do Nascimento . 2021
58 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Pedro Henrique Campelo Felix
Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Amidos. 2. Nano-amidos. 3. Emulsões alimentícias. 4.
Emulsões pickering. I. Felix, Pedro Henrique Campelo. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

“Abordagens de preparo e caracterização de nano-amidos e suas aplicações em emulsões alimentícias Pickering: uma revisão”

DISCENTE: KARIN KRISTINA MÁXIMO DO NASCIMENTO

PARECER:

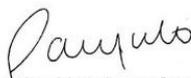
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas em sua forma final e definitiva pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas.

Manaus, AM, 29/03/2021.



Prof. Dr. Emerson Silva Lima
Coordenador do PPGCF

A mesma foi apresentada perante a banca composta pelos seguintes professores:

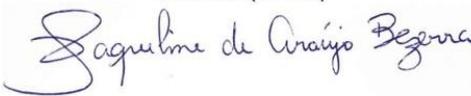


Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix
Orientador e Presidente da Banca (UFAM)



Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Professor Adjunto SIAPE 3030414
Faculdade de Ciências Farmacêuticas-FCF
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Membro (UFAM)



Profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra
Membro (UFAM)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a **Deus** primeiramente, pelo dom de viver e amar, por me dá forças para nunca desistir e me capacitar quando penso que não sou capaz.

Aos meus **Pais**, pelo incentivo e encorajamento, pelas palavras sábias que me fazem querer prosseguir neste caminho, pelos conselhos e por todo amor a mim dedicados, à minha família, muito obrigado.

Ao meu **Esposo**, por sempre me apoiar, incentivar e estar ao meu lado nos momentos bons e nos difíceis.

Ao meu filho **Bernardo**, por compreender minha ausência, pelo sorriso no rosto e abraço apertado que recebo quando volto para casa.

Ao meu orientador, **Profº Drº Pedro Henrique Campelo Felix**, pela confiança, ensinamentos e todos os conselhos valiosos dados a mim nesta jornada.

A **Universidade Federal do Amazonas**, e a todos seus servidores pela colaboração para que esse trabalho fosse concluído.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas - PPGCF**, pela oportunidade.

As minhas colegas de turma, **Izabella, Rosa, Bianca, Ruandra e Alexandra** por tornarem a jornada mais prazerosa, pela ajuda e pelas palavras de conforto em meio às adversidades encontradas no caminho.

RESUMO

O amido é um dos fundamentais compostos de reserva em plantas. Este biopolímero multifuncional de baixo custo tem sido largamente empregado na indústria de alimentos e em diversas utilizações industriais. De maneira geral, os amidos atuam como agentes adesivos, ligantes e formadores de filme, além de atuar como estabilizantes proporcionando cremosidade, auxiliando na retenção de umidade e melhorando a claridade de pasta, sabor, textura, vida de prateleira e valor nutricional de pães, bolos, cookies. O preparo e a aplicação de nanopartículas biodegradáveis têm despertado interesse na área de pesquisas e o amido, por ser um polímero natural biodegradável facilmente disponível na natureza é um excelente candidato para formação de nanopartículas. Diversos métodos são utilizados atualmente para modificação do amido nativo em nano-amidos a fim de melhorar suas propriedades tecnológicas e aplicabilidade na indústria de alimentos. Os nano-amidos são promissores estabilizantes de emulsões. Com a descoberta de Pickering observou-se a possibilidade do uso de partículas coloidais dispersas como estabilizantes de emulsões, conhecidas como “emulsões de Pickering”. Onde as partículas sólidas adsorvidas na interface óleo/água conferem estabilidade as emulsões de modo irreversível. O uso de nanopartículas de sílica, óxido de zinco, prata e outras partículas inorgânicas como estabilizantes na indústria alimentícia e farmacêutica tem uso limitado devido à preocupação com a biocompatibilidade e biodegradabilidade. Os desafios atuais são padronizar partículas naturais, como o amido, como biopolímeros na estabilização das emulsões na indústria alimentícia. Com isso, o principal objetivo deste trabalho é mostrar as abordagens de síntese e modificações dos nano-amidos e sua aplicação como estabilizadores em emulsões Pickering. Essa é uma proposta que se justifica pela necessidade de ampliar o conhecimento acerca do tema em questão, tendo como premissa os estudos já existentes, entrelaçando pensamentos e posturas de diferentes autores, cujos resultados foram compilados nas páginas deste material monográfico.

Palavras-chave: amido, nano-amidos, emulsões Pickering.

ABSTRACT

Starch is one of the fundamental reserve compounds in plants. This low cost multifunctional biopolymer has been widely used in the food industry and in several industrial uses. In general, starches act as adhesives, binders and film-forming agents, in addition to acting as stabilizers providing creaminess, aiding in moisture retention and improving the clarity of paste, flavor, texture, shelf life and nutritional value of breads, cakes, cookies. The preparation and application of biodegradable nanoparticles has aroused interest in the research area and starch, being a naturally biodegradable polymer readily available in nature, is an excellent candidate for the formation of nanoparticles. Several methods are currently used to modify native starch into nano-starches in order to improve their technological properties and applicability in the food industry. Nano-starches are promising emulsion stabilizers. With Pickering's discovery, the possibility of using dispersed colloidal particles as emulsion stabilizers, known as "Pickering emulsions", was observed. Where the solid particles adsorbed at the oil / water interface provide irreversible stability to the emulsions. The use of silica nanoparticles and other inorganic particles as stabilizers in the food and pharmaceutical industry has limited use due to concerns about biocompatibility and biodegradability. The current challenges are to standardize natural particles, such as starch, as biopolymers to stabilize emulsions in the food industry. Thus, the main objective of this work is to show the approaches to synthesis and modification of nano-starches and their application as stabilizers in Pickering emulsions. This is a proposal that is justified by the need to expand knowledge about the topic in question, based on existing studies, intertwining thoughts and attitudes of different authors, whose results were compiled on the pages of this monographic material.

Keywords: starch, nano-starches, Pickering emulsions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura molecular da amilose.	15
Figura 2- Estrutura molecular da amilopectina.	16
Figura 3- Estrutura interna do grânulo de amido.	19
Figura 4- Diferentes métodos de produção de nano-amidos.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teor de amilose e amilopectina em amidos naturais.....	16
Tabela 2- Forma do grânulo de amido de diversas fontes vegetais.....	17
Tabela 3- Composição nutricional de espécies de tuberosas.	20
Tabela 4- Teores de açúcar solúvel e amido no grão seco e teores de amido, proteína e água no amido isolado.	21
Tabela 5- Fontes de amidos não convencionais.....	21
Tabela 6- Aplicações alimentares de amidos.....	22
Tabela 7- Métodos de preparação de nano-amidos.....	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	14
3.1 Amido	14
3.1.1 Composição	14
3.1.2 Estrutura	17
3.3 Nano-amidos e sua aplicação na indústria de alimentos.....	23
3.4 Métodos de obtenção nano-amidos	25
3.4.1 Método convencional de produção de nano-amidos	29
3.4.2 Métodos não convencionais de produção de nano-amidos.....	31
3.5 Métodos de Caracterização de Nano-amidos	35
3.5.1 Determinação do Conteúdo de Amilose.....	36
3.5.2 Difração de Raios-X	36
3.5.3 Espalhamento de Luz (DSL).....	36
3.5.4 Potencial Zeta	36
3.5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	37
3.5.6 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	37
3.6 Emulsões	37
3.7 Emulsões alimentícias	38
3.8 Emulsões Pickering	39
3.9 Emulsões alimentícias do tipo Pickering.....	40
3.10 Aplicações de nano-amidos em emulsões alimentícias Pickering.....	40
4 METODOLOGIA.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
7 REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O amido que é um biopolímero multifuncional produzido naturalmente por diversas espécies de plantas como milho, batata, arroz e trigo, como fonte de armazenamento de energia em forma de grânulos e está prontamente disponível na natureza formando produtos finais de baixo custo, sendo largamente empregado na indústria alimentícia e não alimentícia (ALDÃO et al., 2018).

Age como estabilizante e propicia cremosidade, contribuindo na retenção de umidade e melhora da claridade de pasta, textura, sabor, vida de prateleira e valor nutricional de pães, cookies, bolos, além de atuar como agente adesivo, ligante e formador de filme (DAI; ZHANG; CHENG, 2019; FARRAG et al., 2018a; ZAMBRANO; CAMARGO, 1999). Além do mais, é um dos materiais mais empregados para encapsulação pela sua habilidade de se ligar a compostos de sabor e ser facilmente adaptado para a produção industrial de alimentos funcionais (AHMAD et al., 2020; SCIARINI et al., 2012).

No entanto, constantemente os amidos nativos ou naturais não são os mais apropriados para processamentos específicos, pois possuem baixa tolerância a uma ampla gama de condições de processamento, limitando suas aplicações na indústria de alimentos. Desta forma, as modificações são feitas para possibilitar produtos amiláceos com as propriedades essenciais para seu uso específico (REMANAN; ZHU, 2020).

As técnicas para modificar o amido nativo estão embasadas em modificações físicas, químicas e enzimáticas a fim de alterar propriedades como solubilidade, absorção, resistência das pastas de amido à quebra de viscosidade por ácidos, tendência de retrogradação, caráter iônico e hidrofílico (VELASCO et al., 2008; ZHU, 2017).

Estudos tem mostrado que uma variedade de nanopartículas comestíveis podem ser preparadas a partir de ingredientes à base de alimentos e o amido, por ser um polímero natural abundante e renovável é um excelente proponente para formação de nanopartículas (KUMARI; YADAV; YADAV, 2020; SONG; THIO; DENG, 2011).

Acompanhando as recentes evoluções em nanotecnologia, os materiais de nanopartículas de amido, assim como sua preparação e aplicação tem atraído considerável interesse de pesquisadores e da indústria, graças ao seu tamanho submicrônico, biodegradabilidade, biocompatibilidade, sustentabilidade e efeitos não nocivos na saúde e no meio ambiente (WANG et al., 2018).

Le Corre, Bras e Dufresne (2010) publicaram uma revisão acerca da preparação, caracterização e possíveis aplicações de nano-amidos, os quais têm muitos usos potenciais, podendo ser usados como aditivos alimentares, adesivos, estabilizantes em emulsões, biofilmes entre outros.

Esta revisão será útil para pesquisadores que desejam atualizar sua compreensão sobre nano-amidos no campo em expansão e inovador da nanotecnologia, mostrando seu uso como estabilizadores de emulsões alimentícias Pickering.

Conhecer a origem e aplicação dos nano-amidos como estabilizadores em emulsões Pickering é uma proposta que se justifica pela necessidade de ampliar o conhecimento acerca do tema em questão, tendo como premissa os estudos já existentes, entrelaçando pensamentos e posturas de diferentes autores, cujos resultados foram compilados nas páginas deste material monográfico.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Apresentar uma revisão bibliográfica sobre abordagens de síntese e caracterização para nano-amidos e sua aplicação em emulsões alimentícias Pickering.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar a aplicabilidade de nano-amidos na área de alimentos.
- Expor os métodos atuais de produção de nano-amidos.
- Descrever os modelos de caracterização para nano-amidos.
- Evidenciar a aplicação de nano-amidos como estabilizantes de emulsões Pickering.

3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

3.1 Amido

O amido é um dos polissacarídeos mais abundantes no mundo, é um polímero natural de glicose comumente encontrado em abundância na natureza devido aos seus resíduos formados durante a fotossíntese. Este biopolímero é encontrado em raízes, sementes, bulbos, tubérculos e em menor quantidade nas folhas e caules, sendo um dos fundamentais compostos de reserva em vegetais (WANG; ZHANG, 2021).

Ao longo do tempo tem sido utilizado não somente como reserva para a própria planta, mas também como uma das mais significativas fontes de energia para os níveis seguintes da cadeia alimentar nos biosistemas, sendo a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta (DAI; ZHANG; CHENG, 2019; ZEEMAN; SMITH; SMITH, 2004).

Em relação à nomenclatura, são utilizados os termos “amido” e “fécula”. Para a legislação Brasileira amido e fécula são sinônimos, em alguns países apenas é utilizado o termo amido e logo após a sua fonte botânica (CEREDA; VILPOUX, 2003; KIERULF et al., 2020).

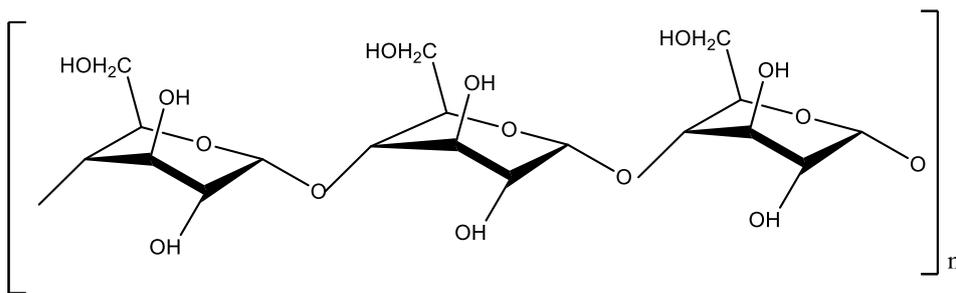
Devido a suas características físico-químicas e funcionais específicas, este glicídio tem grande relevância nos mais variados setores da indústria. Sendo aplicado em sua forma inalterada que se caracteriza pela insolubilidade em água fria, baixa estabilidade e tendência a retrogradação ou ainda passar por processamentos que darão início a amidos modificados. A modificação é importante para melhorar a funcionalidade e ampliar suas aplicações (OGUNSONA; OJOGBO; MEKONNEN, 2018; ROCHA, 2007).

3.1.1 Composição

O amido é formado de dois polímeros de glicose principais: a amilose, uma macromolécula de caráter linear, e a amilopectina, uma macromolécula com característica ramificada e de elevada massa molar (YE et al., 2017a).

A amilose é uma macromolécula constituída de geralmente 10 unidades de α -D-glicopirranose, ligadas por pontes glicosídicas α -(1 \rightarrow 4), que conferem à molécula uma estrutura na forma de hélice, possuindo um tamanho médio de aproximadamente 103 g.mol⁻¹ com conteúdo variando de 18% a 28% de acordo com a maturidade e origem das plantas e sua forma, linear com hélices interiores, lhe conferem características hidrofóbicas, que podem acomodar moléculas pequenas como ácidos graxos, álcoois e iodo (MA et al., 2019).

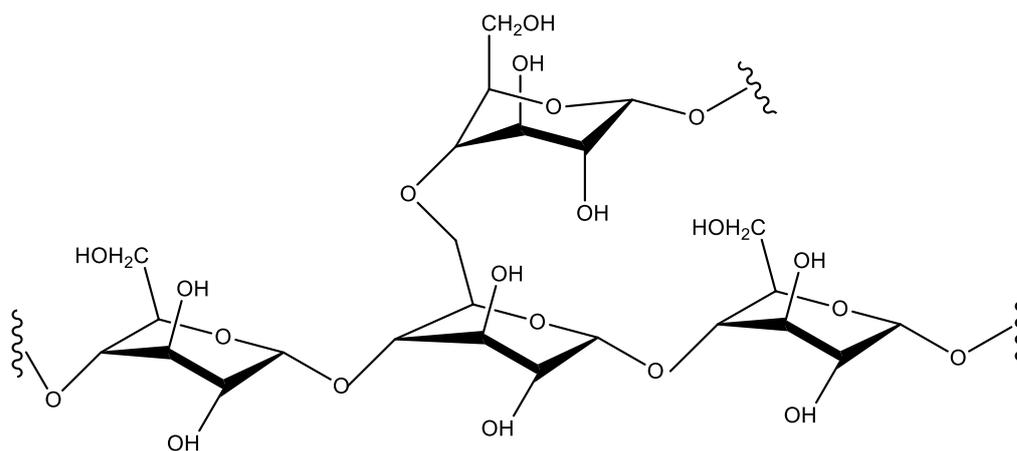
Figura 1- Estrutura molecular da amilose.



Fonte: Os autores (2021).

Já a amilopectina é menos hidrossolúvel que a amilose e compõe-se de aproximadamente 20 a 25 unidades de α -D-glicopirranose, ligados por pontes glicosídicas α -(1 \rightarrow 4), ocorrendo também ligações α -(1 \rightarrow 6). Esta constitui cerca de 80% dos polissacarídeos existentes no grão de amido, desempenhando desta forma um importante papel, uma vez que sozinha pode formar o grânulo de amido (GÉRARD et al., 2001; PÉREZ; BERTOFT, 2010).

Figura 2- Estrutura molecular da amilopectina.



Fonte: Os autores (2021).

O teor de amilose e a amilopectina encontrados nos grânulos de amidos podem variar de acordo com o tipo de planta, ou seja, de acordo com as proporções de amilose e amilopectina no amido, é possível se obter diferentes propriedades físicas, químicas e funcionais, direcionando sua aplicação em diversas áreas como mostra a tabela 01 (WANG; LI; ZHENG, 2021).

Tabela 1- Teor de amilose e amilopectina em amidos naturais.

Fonte Vegetal	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Mandioca	16 – 20	84 – 80
Milho	25	75
Arroz	15 – 25	85 – 75
Aveia	16 – 33	84 – 67
Trigo	20	80
Batata	23	77

Fonte: MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010.

Os grânulos do amido apresentam outros constituintes além da amilopectina e amilose. Estes são reunidos em três grupos: particulado, composto exclusivamente de pequenas partes de parede celular; componentes de superfície, que podem ser retirados no processo de extração e componentes interno (HAN et al., 2017; HOOVER R., 2001).

Entre os fundamentais componentes de superfície, destacam-se as proteínas, enzimas, aminoácidos, lipídeos e minerais tais como o sódio, potássio, magnésio e fósforo. Dentre os componentes internos há predominância de lipídeos, os quais exercem

um papel terminante nas propriedades do amido, pois formam complexos com a amilose (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; COPELAND et al., 2009).

3.1.2 Estrutura

Os grânulos de amido são estruturas semicristalinas, ou seja, eles contêm partes cristalinas e amorfas, cujo tamanho pode variar entre 1 e 100 μm dependendo da sua fonte botânica (BLAZEK; GILBERT, 2011). Apresentam anéis de crescimento semicristalinos que possuem uma espessura que pode variar entre 120 e 400 nm formando lamelas cristalinas e amorfas, que em conjunto possuem uma espessura de 9 a 10 nm (BERTOFT, 2017).

As lamelas cristalinas possuem espessura de 5 a 7 nm e constituem grupos arranjados em cadeias laterais de amilopectina de dupla hélice, que estão revezados por lamelas amorfas entre 3 e 4 nm de espessura que estão em regiões de ramificação da amilopectina (CASTRO et al., 2020; PÉREZ; BALDWIN; GALLANT, 2009).

O amido é sintetizado na forma de grânulos redondos rudes na organela celular chamada amiloplasto de uma variedade de plantas. A conformação e dimensão dos grânulos de amidos nativos variam de acordo com a fonte botânica (ROCHA; FRANCO; DEMIATE, 2008). Os formatos dos grânulos variam de esférico ao poliédrico, com modelos ovóides, redondos, globular, poligonais e de outras formas irregulares também existem (KUMARI; YADAV; YADAV, 2020; LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004).

Tabela 2- Forma do grânulo de amido de diversas fontes vegetais.

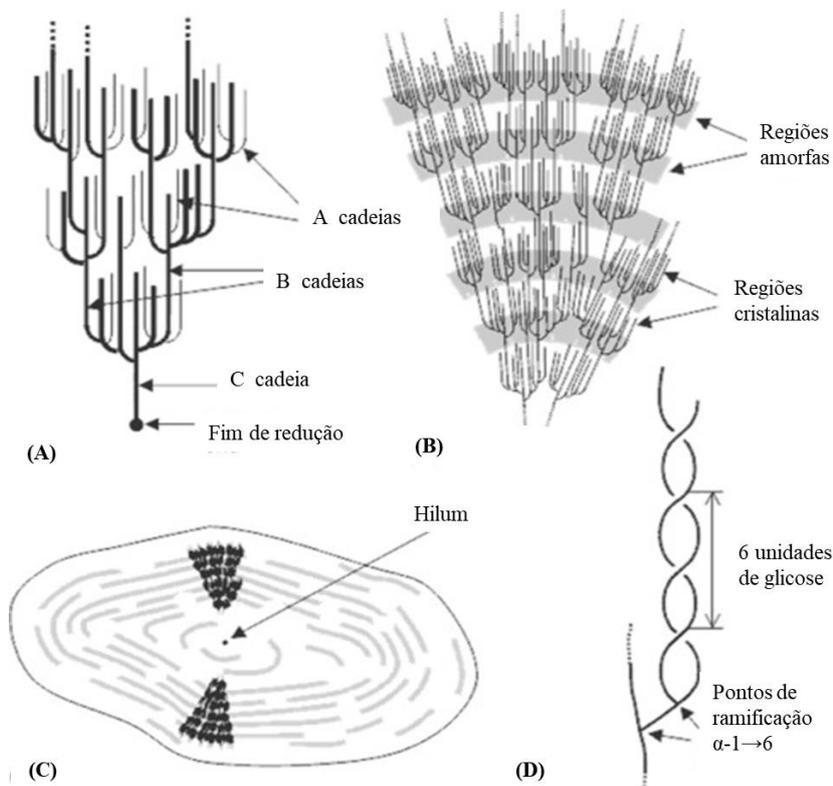
Fonte	Tipo de amido	Forma do grânulo	Tamanho (μm)
Milho	cereal	Redondo, poligonal	5-26
Trigo	cereal	Redondo	2-10 e 20-35
Arroz	cereal	Poligonal, angular	3-8
Mandioca	tubérculo	Redondo, Oval	5-30
Batata	cereal	Redondo, oval	15-100
Tapioca	-	Esférico/ lenticular	5-45
Ervilha	cereal	Oval, esférico, redondo	2-40

Grão de bico	cereal	Oval ou esférico	17-20 e 11-14
Lentilha	cereal	Oval, esférico, e elíptico	6-37 e 6-32
Açafrão	tubérculo	Poligonal e angular	5-70
Gengibre	tubérculo	Poligonal e angular	5-40
Batata doce	tubérculo	Oval, esférico, redondo	1-100
Trigo ceroso	cereal	Esférico e lenticular	>10
Feijão faba	cereal	Irregular e oval	20-45
Feijão de porco	cereal	Oval e redondo	12-30 e 12-34
Feijão pinto	cereal	Oval, redondo, irregular	10-42 e 6-32
Milho ceroso	cereal	Redondo e poliédrico	2-30

Fonte: Adaptado de KUMARI; YADAV; YADAV (2020).

Nas plantas superiores, o amido, compõe uma estrutura macroscópica onde camadas de amilose e amilopectinas são conservadas em torno de um ponto central chamado “*hilum*”. O núcleo denominado “*hilum*” da estrutura granular do amido, é visto como o ponto inicial de crescimento do grânulo como mostra a figura 3 (AMBIGAIPALAN et al., 2011).

Figura 3- Estrutura interna do grânulo de amido.



(A) Estrutura geral da amilopectina; (B) regiões amorfas e cristalinas da estrutura da amilopectina; (C) orientação das moléculas de amilopectina em uma seção transversal de um grânulo idealizado; (D) estrutura de dupla hélice que produz o extenso grau de cristalinidade no grânulo.

Fonte: Os autores (2021).

Devido a isto têm regiões alternadas de alto e baixo índice de refração, densidade, cristalinidade e resistência ao ácido e a enzimas (CEREDA et al., 2001; SANTOS; OLIVEIRA; JESUS, 2011). Os grânulos de amidos de tuberosas são geralmente volumosos e helicoidais com “hilum” excêntricos ou poliédricos (GUILBOT; MERCIER, 1985; VARATHARAJAN et al., 2011).

O tamanho e forma dos grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de usos potenciais. A determinação do tamanho de partículas e sua distribuição têm obtido crescente interesse das indústrias alimentícias, devido à influência sobre as propriedades de processamento de alimentos em pó (LEONEL; GARCIA; REIS, 2004; ZHU, 2017).

3.1.3 Fontes de amido

Existe uma grande diversidade de fontes de amidos que tem sido largamente vendidos, dentre eles, pode-se citar: milho, batata, arroz, trigo e mandioca. As fontes mais comuns são oriundas dos grãos de cereais que podem apresentar até 90% do seu peso seco composto por amido, seguido por tuberosas contendo de 65 a 85% e então as leguminosas com até 70%. Praticamente todos os tubérculos possuem alta quantidade de amido, cuja composição nutricional é mostrada na tabela 03 (FRANCO et al., 2001; SJÖÖ; NILSSON, 2018).

Tabela 3- Composição nutricional de espécies de tuberosas.

Tuberosas Feculentas (cozido)	Batata	Batata doce	Cará	Inhame	Mandioca	Mandioquinha
Energia (Kcal.100g-1)	52	77	78	100	125	80
Proteína (g.100g-1)	1,2	0,6	1,5	1,71	0,6	0,9
Lipídeos (g.100g-1)	-	0,1	0,1	0,12	0,3	0,2
Carboidrato (g.100g-1)	11,9	18,4	18,9	23,4	30,1	18,9
Fibras (g.100g-1)	1,3	2,2	2,6	1,8	1,6	1,8
Cálcio (mg.100g-1)	4	17	5	35	19	12
Ferro (mg.100g-1)	0,2	0,2	0,3	0,5	0,1	0,4
Magnésio (mg.100g-1)	5	11	15,0	21	27	8
Zinco (mg.100g-1)	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4
Á. ascórbico (mg.100g-1)	3,8	23,8	-	9,1	11,1	17,1

Fonte: BARROS et al. (2021).

A mandioca está dentre os amilóides mais abundantes, conferindo ao Brasil a segunda colocação de maior produtor mundial, da qual produção comercial permanece em ampla escala nos países tropicais e sub-tropicais, além de outros amilóides como inhame e taro, sendo o amido o componente predominante nestes cultivos (CEREDA et al., 2001; LEAL et al., 2019).

Recentemente, Guo et al. (2018) compararam as propriedades dos amidos de jaca, lichia, longon, nêspira e manga com objetivo de avaliar e fornecer informações sobre a viabilidade do uso desses grãos como fontes de amido. Os teores de açúcar e amido estão na tabela 04.

Tabela 4- Teores de açúcar solúvel e amido no grão seco e teores de amido, proteína e água no amido isolado.

	Grão seco		Amido isolado		
	Teor de açúcar solúvel (%)	Teor de amido (%)	Teor de amido (%)	Teor de proteína (%)	Teor de água (%)
Jaca	55.6±1.6a	6.1±0.2c	86.6±1.1a	0.081±0.001a	12.1±0.2b
Longan	59.4±1.8b	6.7±0.3c	84.4±1.0a	0.084±0.004a	10.8±0.2a
Nêspera	71.1±1.2d	1.3±0.1a	85.7±0.4a	0.119±0.009b	12.7±0.1b
Lichia	52.8±1.0a	19.0±0.9d	85.4±0.8a	0.081±0.009a	10.6±0.3a
Manga	64.4±0.9c	4.4±0.1b	84.7±0.4a	0.075±0.001a	10.8±0.2a

Os dados são médias ± desvios padrão, n = 3. Os valores na mesma coluna com letras diferentes são significativamente ($p < 0.05$).

Fonte: GUO et al. (2018).

Estudos recentes mostram uma variedade de novas fontes de amidos de fontes não convencionais, ou seja, amidos pouco ou ainda não comercializados. O uso desses amidos não convencionais pode representar uma alternativa de desenvolvimento local, garantindo uma fonte de renda e promovendo a sustentabilidade da região (BARROS et al., 2021).

O avanço das pesquisas com amidos não convencionais está vinculado à produção sustentável, ao uso de subprodutos, à sua disponibilidade regional, à importância cultural e social da fonte de amido, bem como às vantagens tecnológicas sobre os amidos comuns (TAGLIAPIETRA et al., 2021).

Tabela 5- Fontes de amidos não convencionais.

Fonte Vegetal	Referências
Ariá (<i>Goeppertia allouia</i> (Aubl.) Borchs. & S. Suárez)	BARROS et al., 2021.
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	MELO NETO et al., 2015.
Jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	PUNIA et al., 2020.
Feijão faba (<i>Vicia faba</i> L.)	LI et al., 2019.
Longan (<i>Dimocarpus longan</i>)	GUO et al., 2018.
Taioba (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)	CALLE et al., 2019
Bambu (<i>Bambusoideae</i>)	FELISBERTO et al., 2019.

Fonte: ZHU (2020).

3.2 Aplicações do amido na indústria de alimentos

O amido, por ser um biopolímero multifuncional de baixo custo e abundante na natureza, tem sido largamente utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica e têxtil (DAI; ZHANG; CHENG, 2019; SONG et al., 2009).

Na indústria alimentícia, os amidos e seus derivados são usados como ingredientes, elementos básicos ou aditivos de produtos, pensando na melhoria do processo de fabricação, apresentação ou ainda a conservação dos mesmos. Os produtos produzidos a partir dos processos de hidrólise, por exemplo, são utilizados na indústria de doces na fabricação de balas, chocolates, bolos, geleias e sobremesas devido suas propriedades higroscópicas, adoçantes e anti-cristalinizantes do açúcar (THYS et al., 2013).

O amido nativo e os amidos modificados possuem várias aplicações, incluindo a função de ligante, preenchedor, gelificante, vitrificante, estabilizante, texturizante e espessante (WANG; LI; ZHENG, 2021; WURZBURG, 1986).

Tabela 6- Aplicações alimentares de amidos.

Aplicações	Resultados	Referências
Emulsificante	Redução do problema de separação de emulsão e fornecimento de estabilidade.	CHEN et al., 2019.
Encapsulamento	Melhora da solubilidade, biodisponibilidade e liberação controlada.	REMANAN; ZHU, 2020.
Efeito de reforço em nanocompósitos	Melhora das propriedades mecânicas, de barreira e morfológicas de filmes de amido e materiais não amiláceos.	DAI et al., 2016.
Tratamento de água poluída	Amido de milho ceroso quimicamente modificados usados como absorventes para compostos orgânicos aromáticos que agem como poluentes.	ALILA et al., 2011.

Fonte: WANG; ZHANG, 2021.

De maneira geral, os amidos podem atuar como estabilizantes proporcionando cremosidade, melhorando a claridade de pasta, sabor, textura, vida de prateleira e valor nutricional de pães, bolos, cookies, entre outros (ÖZTÜRK; MUTLU, 2019;

ZAMBRANO; CAMARGO, 1999).

Por meio da substituição total ou parcial de um componente que seja menos energético, o conteúdo de gordura de um produto pode ser diminuído. Um modo clássico é utilizar agentes espessantes (PETRI, 1991). Carboidratos e produtos à base de carboidratos têm sido usados como substitutos totais ou parciais de 50% a 100% de óleos e gorduras em inúmeras variedades de alimentos por muitos anos (SINGH; SANDHU; KAUR, 2004).

Para uso como potencial substituto da gordura, especialmente são recomendados amidos com conteúdo médio de amilose de 20%, com baixos teores de lipídeos e proteínas aderidas à superfície, que formam pastas claras e que possuem sabor neutro (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016).

3.3 Nano-amidos e sua aplicação na indústria de alimentos

Os nano-amidos são muitas vezes denominados nanocristais, nanopartículas e ainda nanocolóides de amido. No entanto, torna-se quase impossível distinguir os termos "nanocristais de amido" e "nanopartículas de amido", já que ambos os termos têm sido utilizados para se referir a partes cristalinas de amido restante após a hidrólise ou outros tratamentos físicos em que os grânulos de amido são submetidos (SU et al., 2020).

Segundo Le Corre, Bras e Dufresne (2010), nanocristais de amido refere-se a parte cristalina do amido que foi obtido por meio da hidrólise das partes amorfas dos grânulos de amido. Enquanto que nanopartículas de amido, geralmente são definidas como pequenas partículas de amido obtidas por meio de processos físicos, que podem incluir matrizes amorfas, como por exemplo, microfluidiação, processos combinados, precipitação, entre outros. De modo que, os nanocristais, nanopartículas e nanocolóides possuem propriedades, cristalinidade e formas diferentes.

Desta forma, conclui-se que os nanocristais são originados a partir da hidrólise enzimática e ácida, as nanopartículas são produzidas por processo de regeneração e precipitação, enquanto os nanocolóides, que possuem nanopartículas sólidas dispersas em meio líquido, são produzidos por tratamento mecânico, como homogeneização em alta pressão e extrusão reativa (MAJZOBI; FARAHNAKY, 2021).

Aldão e colaboradores (2018) fez grânulos de amido alcançarem a escala nanométrica utilizando dois tipos de tratamentos químicos. Observou-se, por meio da microscopia óptica, que o mecanismo físico de nano-tamanho dos grânulos foi de descamação, ou seja, houve uma desintegração das camadas externas, deixando intactas as camadas internas. Desta forma, o autor concluiu que o amido nanométrico que foi produzido poderia substituir o amido micrométrico em suas utilidades industriais, pois o processo não comprometeu a estrutura interna no grânulo.

Numerosas propriedades de materiais são dependentes do tamanho e da estrutura interna de seus componentes. Os chamados nanomateriais, devido ao tamanho das suas partículas que estão na faixa de nanômetros (10^{-9} m), apresentam propriedades específicas e diferentes qualitativamente das demais partículas de maiores tamanhos. O amido, matéria prima abundante, é um bom substrato para a preparação de nanocristais (LE CORRE; ANGELLIER-COUSSY, 2014; MYERS et al., 2000).

As possibilidades de utilizações da nanotecnologia no setor de alimentos se tornaram mais perceptíveis nos últimos anos. Espera-se que as aplicabilidades da nanotecnologia trarão mudanças ao setor, abrangendo técnicas aperfeiçoadas de produção e processamento, melhoramento dos materiais que têm contato com os alimentos, modificações no sabor, textura e percepção, melhora da qualidade e frescor dos alimentos, baixando o teor de gorduras e aumento da absorção de nutrientes (GREINER, 2009; MISKEEN et al., 2021).

Pesquisas associadas à aplicação de nanotecnologia no setor de alimentos abrangem a melhoria do sabor, da cor, da textura dos produtos alimentícios, assim como a melhoria da absorção e biodisponibilidade de nutrientes e compostos bioativos, melhorando a qualidade, o tempo de prateleira e a segurança dos alimentos por conta do uso de novos componentes de embalagem com proteção mecânica, barreiras e nano-sensores para rastrear e monitorar condições do alimento durante transporte e armazenamento (CHAUDHRY; CASTLE, 2011; KHACHATRYAN; KHACHATRYAN, 2019).

Recentemente, a preparação e a aplicação de nanopartículas biodegradáveis têm despertado interesse na área de pesquisas e o amido, por ser um polímero natural biodegradável é um excelente proponente para formação de nanopartículas (PEI et al., 2019; SONG; THIO; DENG, 2011).

Le Corre, Bras e Dufresne (2010) publicaram uma revisão acerca da preparação, caracterização e possíveis aplicações de nano-amidos, os quais tem muitos usos potenciais, podendo ser usados como aditivos alimentares, adesivos, compostos biodegradáveis, entre outros.

Em comparação ao amido nativo, os nano-amidos possuem novas utilidades e funções em materiais de embalagem, compósitos de polímeros, encapsulamento de moléculas ativas, estabilizadores de emulsão e adsorventes (EL-SHEIKH, 2017).

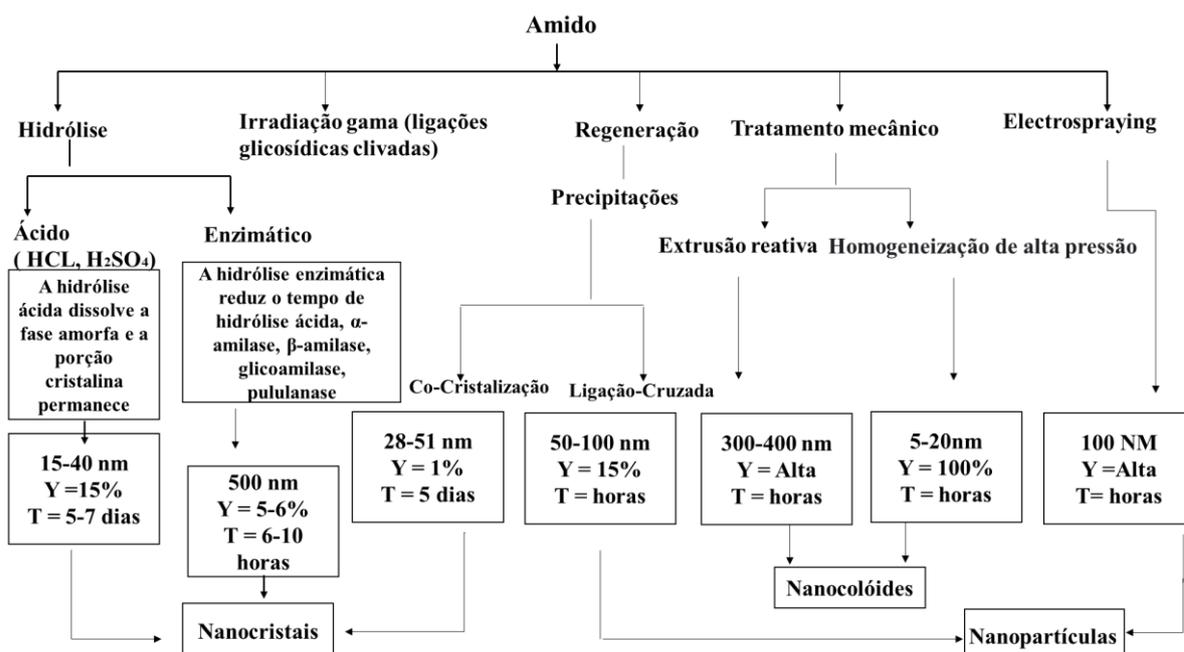
Na área de alimentos, os nano-amidos são também utilizados como estabilizantes de emulsões Pickering, intensificadores de filmes e veículos para embalagens e entrega de drogas (ROY et al., 2020).

São potenciais substitutos em filmes para as embalagens tradicionais de plástico usadas para alimentos devido ao seu baixo valor, biodegradabilidade e respeito a natureza (DULARIA et al., 2019). Além do que, a transparência, resistência as moléculas de O₂ e CO₂, comestibilidade e biocompatibilidade superior do filme à base de amido também o tornam uma escolha desejável para embalagem de alimentos (HASSAN et al., 2018).

3.4 Métodos de obtenção nano-amidos

Os principais métodos de obtenção de nano-amido são: Hidrólise ácida, hidrólise enzimática e os tratamentos físicos, como: Ultrassonicação, homogeneização a alta pressão, extrusão reativa e irradiação gama. Os produtos resultantes destes tratamentos descritos acima podem ser diferenciados em nanocristais, nanopartículas ou nanocolóides (SANA; BOODHOO; ZIVKOVIC, 2019).

Figura 4- Diferentes métodos de produção de nano-amidos.



Fonte: Adaptado de KUMARI; YADAV; YADAV (2020).

Dentre estes, a hidrólise ácida ainda é muito utilizada para a preparação de nanocristais de amido, por causa do simples método de produção e facilidade em controlar o processo (CEREDA, 2003; SANCHEZ DE LA CONCHA et al., 2018).

Todavia esse processo pode levar dias, o que se faz pensar em um método não convencional alternativo que seja mais rápido, que apresente um rendimento mais alto sem haver necessidade de um tratamento químico (BEL HAAJ et al., 2013; CARVALHO, 2020).

Tabela 7- Métodos de preparação de nano-amidos.

Tipo	Métodos	Fonte	Caracterização de partículas	Referências
SNC	Hidrólise ácida	Amido nativo de milho ceroso Amidos de milho ceroso e amaranto	SNC de Amaranto: <ul style="list-style-type: none"> SNC-3, SNC-5 e SNC-10 com diâmetro médio de aproximadamente 484, 374 e 376 nm, respectivamente Milho ceroso SNC_s: SNC-3, SNC-5 e SNC-10 com diâmetro médio de aproximadamente 577, 462 e 322 nm, respectivamente 	(SANCHEZ DE LA CONCHA et al., 2018)

Tipo	Métodos	Fonte	Caracterização de partículas	Referências
		Amido de milho ceroso	<p>SNC_{H2SO4} :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forma de plaquetas • Tamanho de partícula de 58 nm • potencial ζ de -32 mV <p>SNC_{HCl} :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forma de plaquetas • Tamanho de partícula de 51 nm • potencial ζ de -2mV 	(HAAJ et al., 2014)
	Método enzimático combinado com hidrólise ácida	Amido de batata ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Formas quadradas • Tamanho de partícula variando de 50 nm a 100 nm 	(HAO et al., 2018)
	Moagem de bolas combinada com hidrólise ácida	Amido de milho ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro médio de aproximadamente 31 nm • SNCs de borda redonda 	(DAI et al., 2018)
	Ultrassom combinado com hidrólise ácida	Amido de milho normal	<ul style="list-style-type: none"> • Nanocristais de borda redonda • Diâmetros menores que 50 nm 	(MOHAMMAD AMINI; RAZAVI, 2016)
		Amido de milho ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Formas globulares • Diâmetros variando de 50 a 90 nm 	(KIM et al., 2013)
	Irradiação gama	Amido de mandioca nativo e amido de milho ceroso	<p>CNP-γ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro médio de 31 ± 5 nm <p>WNP-γ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro médio de 41 ± 7 nm 	(LAMANNA et al., 2013)
	Tratamento de calor e umidade com hidrólise ácida	Amido de milho ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Eixo longo médio de $46,3 \pm 10,7$ nm • Dimensões de altura média de $9,8 \pm 2,3$ nm 	(DAI; ZHANG; CHENG, 2019)

Tipo	Métodos	Fonte	Caracterização de partículas	Referências
	Tratamento de calor e umidade com condições ligeiramente ácidas e homogeneização	Amido de milho normal	<ul style="list-style-type: none"> • Forma da partícula poligonal • Diâmetros de <50 nm 	(PARK et al., 2016)
SNP	Nanoprecipitação	Amidos de ervilha, milho e batata	<ul style="list-style-type: none"> • A concentração de amido, exceto para a amostra de ervilha-4 ↑, o tamanho e a polidispersidade ↑ 	(FARRAG et al., 2018a)
		Amido de milho ceroso	Quando a proporção do volume da solução de amido para o etanol absoluto = 10/40 mL / mL <ul style="list-style-type: none"> • Menor tamanho de partícula (20 e 100 nm) e forma esférica 	(QIU et al., 2016)
	Tratamento ultrassônico e precipitação	Amido de batata nativo	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetros menores de 75 nm • Mais uniforme 	(CHANG et al., 2017)
	Auto-montagem	Amido de milho ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas esféricas • Diâmetro de aproximadamente 30-40 nm • Grau de polimerização 12 e 30 	(LIU et al., 2016)
	Método de microemulsão	Amido granular tratado com ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas esféricas • Diâmetros de 60 nm 	(WANG et al., 2016)
		Amido solúvel em água	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição de tamanho estreito • Boa dispersibilidade • Forma esférica • O tamanho médio e a faixa de propagação da nanopartícula de amido: $172,2 \pm 1,3$ nm e $101,4 \pm 7,9$ nm, respectivamente. 	(SHI et al., 2011)

Tipo	Métodos	Fonte	Caracterização de partículas	Referências
	Enzimólise e recristalização	Amido de milho ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro de aproximadamente 60-120 nm 	(SUN et al., 2014)
		Amido de milheto proso	<ul style="list-style-type: none"> • Forma irregular • Diâmetros variando de 20 a 100 nm • Bem disperso sem agregação 	(SUN et al., 2014)
	Processo de plasma frio a vácuo combinado com tratamento de ultrassom	Amido de milho ceroso e amido de batata	<ul style="list-style-type: none"> • Boa uniformidade • Quase perfeito esférico e quadrado • Tamanho de partícula variando de 10-150 nm 	(CHANG et al., 2019)
	Método de ultrassom	Amido de milho, mandioca e inhame	<ul style="list-style-type: none"> • Nanopartículas esféricas • Os SNPs de milho, mandioca e inhame: 36-68 nm, 35-65 nm e 8-32 nm, respectivamente. 	(MINAKAWA; FARIA-TISCHER; MALI, 2019)

Fonte: Adaptado de WANG; LI; ZHENG (2021).

3.4.1 Método convencional de produção de nano-amidos

3.4.1.1 Hidrólise ácida

A hidrólise ácida tem sido usada a muito tempo e é amplamente utilizada para produção de nano-amidos devido ser um método simples e de baixo custo (QIU et al., 2020).

Na reação de hidrólise ácida, o ácido age primeiramente sobre a região amorfa do grânulo, que é mais susceptível à degradação, ocorrendo de forma mais rápida pela interação de variados fatores como teor de amilose, complexo amilose-lipídeo e a presença de porosidade na superfície dos grânulos. Em seguida, a região cristalina é atacada, com uma velocidade mais lenta por motivos de interações em fatores como conteúdo de amilopectina, extensão da distribuição das ligações α -(1-6) no polímero entre

as áreas amorfas e cristalinas e a intensidade de empacotamento das duplas hélices dentro da área cristalina (JAYAKODY; HOOVER, 2002; SANCHEZ DE LA CONCHA et al., 2018).

A hidrólise ácida ocorre de fora para dentro, ou seja, das camadas externas do grânulo de amido em direção às camadas internas. Neste processo as regiões cristalinas dos grânulos de amido são consideradas mais resistentes que as regiões amorfas, e, assim, pequenos cristais podem ser isolados a partir da hidrólise (KIM et al., 2013; XU et al., 2014)

Entretanto, tem como desvantagens perceptíveis sua pouca flexibilidade, alto consumo de energia, problemas de corrosão de equipamentos e necessidade de neutralização com subsequente retirada dos sais formados (KAUR et al., 2018; KIM; PARK; LIM, 2015).

Normalmente são utilizados como agentes de hidrólise o ácido clorídrico ou o ácido sulfúrico, todavia, estudos recentes usam outros ácidos como o oxálico, por exemplo, em temperaturas que variam de 25 °C a 55 °C (SADEGHI et al., 2017; SURMELY et al., 2003; ZHOU et al., 2020).

3.4.1.2 Hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática possui uma perspectiva muito promissora, pois apresenta possibilidades de quebra mais vantajosas do ponto de vista ambiental, visto que não se usa solventes ou reagentes químicos (ALMEIDA et al., 2019).

Amilases como α -amilase, β -amilase e outras enzimas como amiloglicosidase têm considerável relevância, sendo amplamente utilizadas no processo de hidrólise para indústria alimentícia, têxtil e farmacêutica, pois são preferíveis em etapas que envolvem sua difusão na superfície do grânulo de amido, possuindo maior adsorção para promover a catálise (LACERDA et al., 2018).

A degradação dos grânulos de amido inicia-se primeiramente pelo anel de crescimento amorfo e ocorre de duas maneiras: exo-corrosão, onde a enzima desgasta a superfície do grânulo criando buracos específicos; e endo-corrosão, processo pela qual a enzima cria uma abertura direcionada ao centro do grânulo, alterando sua estrutura de modo que leva à quebra (DAS; KAYASTHA, 2019).

A atuação das enzimas mostra alta especificidade, possibilitando o alcance de produtos de propriedades físico-químicas bem definidas além do que o processo ocorre em reações mais brandas. No entanto, a quebra do amido por meio de enzimas exige uma série de condições distintas e muito específicas, é mais onerosa ao considerar os custos de processo e energia (CHEN et al., 2019; EDUARDO, 2002).

A hidrólise enzimática também tem sido utilizada como técnica que possibilita a compreensão da estrutura física e química dos grânulos de amido e de seus componentes. A taxa de hidrólise dos grânulos de amido depende da origem botânica do sistema enzimático utilizado e do tamanho dos grânulos, entre outros fatores (SOARES et al., 2019).

Amidos que naturalmente apresentam superfície mais porosa, como os de milho, são degradados mais facilmente que aqueles cuja superfície é lisa, como o de mandioca, pois é necessário que haja rugosidades na superfície para que ocorra uma mudança para uma geometria esférica (LANGENAEKEN et al., 2019; SERRANO; FRANCO, 2005).

Contudo, apresentam como desvantagens o alto custo de produção, baixa estabilidade, resistência ao ataque enzimático que pode ser afetado por fatores como o estado policristalino, tempo de processamento para que ocorra a hidrólise e sua estrutura que influencia diretamente na chance da enzima em se ligar ao substrato (DAS et al., 2018).

3.4.2 Métodos não convencionais de produção de nano-amidos

3.4.2.1 Sonicação

O tratamento ultrassônico de alta intensidade é um método que se baseia na propagação de ondas acústicas com frequências acima de 20 kHz e sua energia gerada é transformada em uma forma quimicamente viável pelo efeito de cavitação (ZHAO et al., 2018).

A maioria das alterações físicas e químicas causadas pelo ultrassom é geralmente atribuída aos efeitos da cavitação. A cavitação acústica provoca rápida geração de bolhas no líquido que crescem durante os ciclos de compressão e rarefação das ondas sonoras e, em seguida, colapsam abruptamente (MALLAKPOUR; KHODADADZADEH, 2018).

O método puramente físico de ultrassom de alta intensidade é considerado como um tratamento não convencional de produção de nano-amidos, ecologicamente correto e eficaz, utilizado para viabilizar modificações físicas em biopolímeros (ALIYU; HEPHER, 2000; BAXTER; ZIVANOVIC; WEISS, 2005; CHEMAT et al., 2017), inativação de microrganismos (CAMERON; MCMASTER; BRITZ, 2008; RANA; PARMAR; SHWETA, 2017), e rompimento das membranas fosfolipídicas (ANDRADE et al., 2004; LIMA; ANDRADE, 2007).

Segundo Kentish e Feng (2014), na indústria alimentícia, as aplicações do ultrassom são para ser utilizados em emulsificação, homogeneização, cristalização, filtração, separação, alteração da viscosidade, inativação de enzimas e bactérias pelo rompimento da membrana celular.

Em estudo realizado por Alarcon-Rojo e colaboradores (2015), a exposição prévia de alimentos ao ultrassom antes de realizada a secagem tem se mostrado muito eficiente. Segundo estes autores, a aplicação de pulsos eletromecânicos antecipadamente à secagem de alimentos promove aumento na cinética de transporte de massa, possibilitando melhor efetividade no processo de secagem, especialmente ao tratar de sistemas sólido-líquido como a desidratação osmótica, por exemplo.

Se tratando das moléculas de amido, as massas molares dos seus compostos influenciam significativamente em muitas de suas propriedades, tais como absorção de água e solubilidade (HUANG et al., 2017).

A hidrólise acontece principalmente próximo ao meio da cadeia, não causando alterações da estrutura química (MADRAS; KUMAR; CHATTOPADHYAY, 2000; VERRUCK; PRUDENCIO, 2018).

Particularmente no amido, a sonicação tem sido usada para promover a desagregação das moléculas de amido retrogradadas (HUANG; LI; FU, 2007), a hidrólise de grânulos gelatinizados (CHUNG et al., 2002) e diminuição da viscosidade (IIDA et al., 2008).

Desta forma, o ultrassom surge como um método emergente de modificação de nano-amido ecologicamente correto com características de tempo de processamento rápidos e reações mais brandas com altos rendimentos (LIN et al., 2020b).

3.4.2.2 Plasma Frio

O plasma frio é considerado um novo método de modificação física para amidos que tem despertado grande interesse por não utilizar produtos químicos na modificação de biopolímeros (BANURA et al., 2018).

Conhecido como o quarto estado da matéria, pode ser definido como um gás ionizado, constituído por uma mistura de elétrons, átomos, moléculas altamente excitadas, íons positivos e negativos, radicais livres e partículas neutras (DONG et al., 2018).

O plasma frio à pressão atmosférica pode ser obtido expondo um gás/mistura de gases a um campo elétrico, que por sua vez agita as partículas carregadas, levando a colisões com as espécies pesadas (por exemplo, íons e neutros) (THIRUMDAS et al., 2017).

O tratamento com este método causa modificações nas características estruturais por mecanismos como: o aumento da energia superficial, incorporações de grupos funcionais, reticulação, alterações na natureza hidrofílicas e despolimerização que pode ocorrer nas cadeias laterais de amilopectina ou quebra das ligações glicosídicas que estão próximas as cadeias laterais (WONGSAGONSUP et al., 2014; ZHANG et al., 2014).

Esse método tem a vantagem de economizar tempo, não necessita de reagentes químicos, não é tóxico e é ecologicamente correto (ATTRI; ARORA; CHOI, 2017).

3.4.2.3 Moagem

A moagem de bolas é um método físico simples de modificação de nano-amidos que tem sido usado para produzir partículas em escala nanométrica (DAI et al., 2018).

A técnica se baseia em ações mecânicas por meio de esferas de aço giratórias em alta velocidade que geram modificações na estrutura e propriedades do amido através do impacto da moagem, força de cisalhamento, fricção, impacto e colisão, causando uma descamação da superfície para o interior das camadas do amido, ocasionando mudanças nas propriedades funcionais como cristalinidade diminuída, viscosidade reduzida, maior dispersão em água fria e uma diminuição de calor e temperatura necessários para o processo de gelatinização (PATEL; CHAKRABORTY; MURTHY, 2016; SOE et al., 2020).

Estudos anteriores mostraram que ao induzir a quebra do grânulo e amorfização foi confirmado que a técnica é capaz de alterar a morfologia, cristalinidade, peso molecular do grânulos de amido e razão amilose / amilopectina (LIU et al., 2020; LV et al., 2019).

O método tem como vantagens ter uma técnica simples de operação, ser econômico, amigo do meio ambiente e não ser necessário o uso de reagentes químicos (LU; XIAO; HUANG, 2018).

3.4.2.4 Nanoprecipitação

A nanoprecipitação é um método embasado na formação espontânea de nanopartículas quando uma solução de amido gelatinizado em uma determinada concentração é adicionada a um não solvente como etanol, metanol, n-propanol, isopropanol ou n-butanol entre outros, ou inversamente, deste modo, ocorre a formação de partículas de polímeros em nanoescala (HEDAYATI; NIAKOUSARI; MOHSENPOUR, 2020).

A precipitação pode ser atingida promovendo supersaturação, seguida por núcleos e crescimento de partículas, e partículas de amido coloidal de tamanho nanométrico são subsequentemente formadas. Quando a reação começa, o grau de supersaturação começa a aumentar rapidamente à medida que o não solvente é adicionado à solução de amido, e variações na tensão interfacial fornecem uma força motriz para a formação de nanocristais (CHANG et al., 2017).

Estudos anteriores mostraram que a concentração da solução de amido, a proporção do volume de solvente para não solvente e tipos de solvente e não solvente influenciaram o tamanho das nanopartículas precipitadas, ou seja, para sintetizar nanopartículas menores por meio da precipitação é necessária uma solução de amido altamente diluída e um volume maior de não-solventes devem ser usados porque a alta concentração de amido leva à formação de solução viscosa. A alta viscosidade da solução de amido dificulta a difusão da solução de amido em direção ao não solvente, o que resulta em partículas maiores (FARRAG et al., 2018b).

As principais vantagens desse método são que nenhum equipamento especializado é necessário, partículas mais homogêneas e os custos de energia são baixos, enquanto a

principal desvantagem é que o solvente pode ter que ser removido após a formação das nanopartículas (LEBOUILLE et al., 2014).

3.4.2.5 Extrusão Reativa

A extrusão reativa é um método mecânico usado para modificar as propriedades de biopolímeros existentes ou para produzir novos através da combinação de operações de transporte de massa e calor com reações químicas simultâneas ocorrendo dentro da extrusora forçando a quebra molecular, criando novas estruturas helicoidais (ESCOBAR-PUENTES et al., 2019; SIYAMAK; LAYCOCK; LUCKMAN, 2020).

Na técnica de extrusão, os grânulos de amido sob a influência de uma entrada de temperatura, forças de cisalhamento significativas e pressão que abre estruturas fechadas sofrem mudanças estruturais notáveis, incluindo sua fusão, gelatinização e fragmentação (GARCÍA-ARMENTA et al., 2021).

Em especial, extrusoras de dupla rosca é um ótimo equipamento de mistura e reação e podem ser usadas para produzir amido modificado com uma qualidade mais consistente em um processo contínuo (CAI et al., 2019).

Tem a vantagem de ser uma tecnologia versátil e eficiente em energia para rápida fabricação, produzindo grandes quantidades de material modificado em um curto espaço de tempo, gerando economia no processamento e possui uma aplicação industrial mais ampla por usar menos solventes e catalisadores, tornando-o um processo mais eficiente e ambientalmente correto (FONSECA-FLORIDO et al., 2019; GUTIÉRREZ; VALENCIA, 2021).

3.5 Métodos de Caracterização de Nano-amidos

Após a produção dos nano-amidos, as caracterizações químicas e físicas são necessárias para analisar sua aplicação, logo devem ser investigados quanto as caracterizações físicas, morfológicas e térmicas, através das análises de conteúdo de amilose, microscópio eletrônico de varredura (MEV), espectroscopia FTIR e tamanho de partícula. Como as propriedades dos nano-amidos podem sofrer alterações devido a temperatura ou mesmo a umidade relativa durante a realização dos ensaios de

caracterização, faz-se necessário seguir parâmetros para cada uma técnica, para que assim possa haver reprodutibilidade (QIU et al., 2020).

3.5.1 Determinação do Conteúdo de Amilose

A determinação do conteúdo de amilose é uma nova técnica de análise de fluxo contínuo. O teor de amilose é determinado por um sistema de injeção em fluxo automatizado (FIASStar 5000, FOSS, Ltd., Suécia). Esta metodologia consiste em usar um certo volume de solução de amostra e injetar em uma solução de reagente fluente e sem espaçamento de ar (ou água) contendo o fluxo de acordo com o método comparado e a curva de trabalho desenhada pela solução padrão medida a concentração de uma substância na amostra solução (XIAO et al., 2020).

3.5.2 Difração de Raios-X

DRX é um método baseado na interferência construtiva de raios X monocromáticos em uma amostra cristalina. Substâncias cristalinas contendo uma rede de átomos podem difratar os raios X incidentes e gerar um padrão de interferência. O padrão resultante pode ser analisado para obter informações sobre a estrutura atômica ou molecular desse material usado o equipamento PANalytical, modelo Empyrean (Siemens) com comprimento de onda Cu-K α ($\lambda = 1,544 \text{ \AA}$) e um ajuste de 40kV e 20 mA. A temperatura a 20°C, num intervalo de ângulo 2θ de 3-30° com um período de medição de 5s/2h (ALDERTON, 2021).

3.5.3 Espalhamento de Luz (DSL)

O espalhamento de luz dinâmico é uma técnica muito utilizada para avaliar o tamanho dos nano-amidos e sua distribuição por ser rápido e fácil. O equipamento utilizado é o Vasco 2 (Cordouan Technologies, França) e para a medição, um pequeno volume (1 mL) de uma suspensão diluída (0,01% v/v) é injetado na célula de medição. O tamanho das partículas é expresso como o diâmetro médio com base no número obtido pelo método de integração cumulativa (RAO et al., 2019; ROMDHANE et al., 2015).

3.5.4 Potencial Zeta

O potencial zeta dos nano-amidos é determinado medindo sua velocidade enquanto se movem em um campo eletroforético. Partículas e moléculas com potencial

zeta migrarão em direção a um eletrodo se um campo for aplicado. A velocidade com que se movem é proporcional à intensidade do campo e seu potencial zeta. O equipamento usado para medir o potencial zeta dos nano-amidos é o aparelho disponível comercialmente produzido pela Malvern Instruments limited UK (Zetasizer Nano ZS90), onde as suspensões são diluídas para 0,002% v/v (BEL HAAJ et al., 2016; IONOV; GONTAREK; BRYSEWSKA, 2020).

3.5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica que serve para analisar a microestrutura e morfologia da superfície dos nano-amidos utilizando um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície amostral, transmitindo o sinal do detector por linhas sucessivas a uma tela catódica, cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. O sinal de imagem resulta na interação do feixe incidente com a superfície da amostra, e a observação é permitida a partir do sinal recolhido pelo detector utilizando o microscópio JEON JSM-6060 (JEOL, Tóquio, Japão), o qual possui uma faixa de magnificação de 18 X A 300.000 X. As amostras em pó são colocadas sobre *stubs* com uma fita adesiva dupla-face e metalizadas com ouro. As imagens são obtidas utilizando-se uma voltagem de aceleração de 10KV (LUCHESE et al., 2018; SHARMA; BHARDWAJ, 2019).

3.5.6 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise da estrutura química é realizada através da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), onde os nano-amidos poderão ser analisados no modo de refletância total atenuada (ATR) usando um espectrômetro Bruker Tensor 27 FTIR (Bruker, Billerica, MA, EUA), sendo registrado de 500 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} (JOHNSON et al., 2020).

3.6 Emulsões

Emulsão é um sistema de pelo menos duas fases de líquidos imiscíveis ou parcialmente imiscíveis. As duas fases são genericamente chamadas óleo (O) e água (A). A fase interna ou dispersa está na forma de gotas, finamente divididas e a fase externa ou

contínua é a fase onde as gotas estão suspensas. A nomenclatura das emulsões inicia pela fase dispersa, seguida da fase contínua, podendo ser óleo/ água (O/A) e água/óleo (A/O) ou ainda emulsões múltiplas O/A/O ou A/O/A (BALAKRISHNA; WAZED; FARID, 2020; CALDERON et al., 2007).

As emulsões mesmo sendo estáveis por um período podem sofrer separação de fases, por apresentarem instabilidade termodinâmica. As forças atrativas de Van Der Waals e as interações repulsivas eletrostáticas, estéricas e camada de hidratação entre as gotículas também interferem na estabilidade das emulsões (BERTON-CARABIN; SAGIS; SCHROËN, 2018).

Essa instabilidade resulta em mecanismos físico-químicos, como sedimentação, flotação, floculação e coalescência. Ainda como processo de desestabilização das emulsões pode ocorrer o envelhecimento de Ostwald (TANG; QUINLAN; TAM, 2015).

A sedimentação ocorre quando as gotas possuem uma densidade maior do que a fase contínua e movem se para baixo. A flotação é o contrário, quando as gotas possuem densidade menor do que a fase contínua e movem se para cima. Já a floculação é quando duas ou mais gotas se aproximam para formar um agregado, mas as gotas mantêm sua integridade individual. Na coalescência as gotas se juntam e ocorre a perda da identidade de cada gota e ocorre a separação visual do óleo. A floculação antecede a coalescência (SUFU-MARAGHEH et al., 2019; MCCLEMENTS, 2007).

No envelhecimento de Ostwald, as gotas menores tendem a se dissolver durante o armazenamento e a se depositarem nas gotas maiores, esse mecanismo também é chamado de “desproporcionamento” (TADROS, 2009; YE et al., 2017b).

3.7 Emulsões alimentícias

As emulsões estão predominantemente presentes em produtos alimentícios, como exemplos destas emulsões comuns maionese, sorvete, molho para salada, etc (KIOKIAS; GORDON; OREOPOULOU, 2017). Em tais sistemas, ambas as fases líquidas (geralmente óleo e água) são separadas por uma região estreita, a interface óleo-água. Apesar de essa interface ser muito fina (na faixa dos nanômetros), ela representa uma grande área superficial e controla em grande parte a estabilidade físico-química das emulsões (BERTON-CARABIN; SAGIS; SCHROËN, 2018).

As emulsões são utilizadas nas indústrias alimentícias para fornecer propriedades físico-químicas específicas e atributos funcionais ao alimento. Atualmente, os consumidores desejam consumir produtos com ingredientes naturais, desta forma, a indústria busca formular emulsões para criar produtos "amigáveis aos rótulos"(BAI et al., 2017).

3.8 Emulsões Pickering

As emulsões podem ser estabilizadas pelos métodos tradicionais através da adição de surfactantes ou pelo uso de moléculas anfifílicas. Com a descoberta de Pickering observou a possibilidade do uso de partículas coloidais dispersas como estabilizantes de emulsões, conhecidas como “emulsões de Pickering” (PICKERING, 1907; NICOLAI; MURRAY, 2017).

O estudo aprofundado do mecanismo de estabilidade e as aplicações dessa técnica são recentes. Segundo Hu e colaboradores (2016), as partículas sólidas adsorvidas na interface óleo/água conferem estabilidade as emulsões de Pickering de modo irreversível.

Além da barreira física formada pelas partículas sólidas, existe a barreira energética (energia de desorção), além das interações entre as partículas e a fase líquida e as forças atrativas laterais entre as partículas. Essa interação é relacionada à equação $\Delta E = \pi r^2 \gamma (1 - |\cos \theta|)^2$, onde ΔE = energia necessária para remover uma partícula adsorvida, r = raio da partícula (m), γ = tensão interfacial entre as fases ($N \cdot m^{-1}$) (MA; DAI, 2011; SALARI et al., 2014).

Segundo estudos recentes, o ângulo de contato θ entre as partículas, o que caracteriza a molhabilidade, é essencial para obter se emulsões Pickering estáveis. Para se obter emulsões óleo/água (O/W), deve se usar partículas com θ menor de 90° , já nas emulsões água/óleo (W/O) o θ será maior que 90° (WU; MA, 2016; XIAO; LI; HUANG, 2016).

O uso de nanopartículas de sílica e outras partículas inorgânicas como estabilizantes na indústria alimentícia e farmacêutica tem uso limitado devido a preocupação com a biocompatibilidade e biodegradabilidade. Os desafios atuais são padronizar partículas naturais, como o amido, como biopolímeros na estabilização das emulsões na indústria alimentícia (XIAO; LI; HUANG, 2016).

3.9 Emulsões alimentícias do tipo Pickering

A preocupação do consumidor com a saúde humana e ambiental está incentivando os fabricantes de alimentos a usar ingredientes alimentares mais naturais e sustentáveis. Em particular, há interesse em substituir ingredientes sintéticos por naturais e substituir ingredientes de origem animal por ingredientes de origem vegetal (CHUNG et al., 2017; MCCLEMENTS; BAI; CHUNG, 2017).

A eficácia das partículas baseadas em biopolímeros como agentes estabilizadores de sistemas emulsionados e aerados é atribuível a um par de mecanismos contributivos - Estabilização de Pickering por partículas adsorvidas na interface óleo-água ou ar-água e estruturação em forma de gel de partículas entre gotículas ou bolhas (DICKINSON, 2017).

A emulsão de pickering estabilizada por partículas sólidas, oferece uma ampla gama de aplicações potenciais, porque geralmente fornece um sistema mais estável do que a emulsão estabilizada com surfactante. Entre vários estabilizadores sólidos, os nanossacarídeos podem abrir novas oportunidades para futuras emulsões alimentícias de Pickering devido a seus tamanhos exclusivos, anfifilicidade e outras propriedades favoráveis (por exemplo, estabilidade química, biodegradabilidade, biocompatibilidade e renovabilidade e naturalidade) (FUJISAWA; TOGAWA; KURODA, 2017).

3.10 Aplicações de nano-amidos em emulsões alimentícias Pickering

O uso dos nanocristais de amido aplicados em emulsões Pickering de qualidade alimentar tem trazido resultados satisfatórios. A partir de 2016, a literatura científica foi revisada sobre aspectos relevantes sobre o uso das emulsões Pickering em alimentos e bebidas (MURRAY, 2019).

Exemplo como no estudo de Ye e colaboradores (2017), onde as nanopartículas de amido foram adsorvidas na interface O/A da emulsão formando um filme barreira. Nesse estudo nanopartículas de amido solúvel modificado e insolúvel revelaram alta estabilidade de partículas para melhorar a qualidade das emulsões alimentares.

Outro trabalho recente caracterizou emulsões Pickering estabilizadas por nano-amidos, verificando a variedade do amido e o tamanho da partícula. As variedades

testadas foram nanopartículas de amido a partir de milho, tapioca, batata doce e amido de milho ceroso como estabilizadores, cujos resultados sugerem promissores emulsificantes aplicados à emulsões Pickering, com característica estável (GE et al., 2017).

Destaca-se também o estudo sobre as propriedades de digestão *in vitro* de emulsões Pickering estabilizadas por nanocristais de amido. Nesse estudo usou-se três óleos comestíveis típicos com diferentes comprimentos de cadeia de ácidos graxos. Tendo como resultado a taxa de digestão lipídica maior nos triacilgliceróis de cadeia curta e a porcentagem de nanocristais de amido digeridos maior nos de cadeia longa. Fornecendo assim informações relevantes sobre as propriedades físico químicas e digestivas das emulsões Pickering de grau alimentar (LIANG et al., 2016).

Os desafios continuam para encontrar partículas sem nenhuma modificação química aceitável, mas nano-amidos são promissores como emulsionantes de emulsões Pickering na indústria alimentícia (QIAN et al., 2020).

4 METODOLOGIA

O estudo na área de ciências biológicas trata a temática “Abordagens de preparação e caracterização de nano-amidos e suas aplicações em emulsões alimentícias Pickering” e se apoiou na intenção de apresentar uma revisão bibliográfica sobre nano-amidos a base de amidos nativos, abordando sua produção e caracterização, assim como sua utilização como estabilizadores em emulsões Pickering, e como a comunidade científica procura explorar seu uso.

De acordo com os fins do estudo, a pesquisa de natureza básica caracterizada pela “produção de novos conhecimentos, úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista” (SILVA, 2010) se classificou como Qualitativa. “A pesquisa Qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzida em números” (SILVA, 2010), neste caso, responder a uma inquietação acerca da produção de nano-amidos e suas utilizações na indústria de alimentos.

A pesquisa se deu em uma abordagem indutiva quando partiu de uma realidade específica para uma análise geral, recorrendo, por via da leitura, a diferentes autores/obras, como propunha a pesquisa bibliográfica. De forma que dentre os referenciais utilizados destacam-se as obras de Le Corre (2010 a 2014) e Kumari (2020), que tratam sobre nano-amidos com muita propriedade, desde a conceituação, produção, caracterização e aplicação.

Assim, os caminhos percorridos na construção deste material correspondem às técnicas relativas a pesquisa bibliográfica: seleção de artigos, livros e teses, conforme o elencado no referencial bibliográfico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de maneira geral foi satisfatório porque alcançou o objetivo proposto apresentando uma revisão bibliográfica sobre nano-amidos, abordando as técnicas mais atuais de produção e caracterização, mostrando como a comunidade científica vem explorando seu uso.

Os resultados do presente estudo sugeriram que o tratamento do amido nativo por diversos métodos como hidrólise ácida, enzimática, sonicação são tecnologias eficazes para se obter nano-amidos, ou seja, partículas de amido com tamanho nanométrico.

Como o amido é um material biocompatível e abundantemente disponível, as emulsões Pickering estabilizadas com essas partículas possuem alto potencial para amplas aplicações nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica.

Para pesquisas futuras, é importante aprimorar e explorar suficientemente as técnicas, principalmente as ecológicas e suas sinergias para biopolímeros em novas estratégias e aplicações, que compreendem:

- Melhorias no desempenho dos equipamentos. Uma boa compreensão dos mecanismos contribuirá para questões mais eficientes, sustentáveis e ambientais. O desempenho dos equipamentos no processo de modificação pode estar relacionado às características dos grânulos de amido nativo, como tamanho, arranjo cristalino, proporção de amilose e amilopectina e teor de proteína
- Combinações entre as tecnologias físicas e químicas de última geração. A combinação de diferentes métodos tem sido uma estratégia de sucesso para modificar as propriedades dos amidos nativos e, conseqüentemente, produzir nano-amidos para estabilizar emulsões Pickering. Esta estratégia permite obter amidos com aplicações mais específicas e promissoras devido à variação em sua estrutura, composição e propriedades do amido modificado.

Existe ainda um vasto campo a ser explorado no que diz respeito à aplicação e desenvolvimento de técnicas para a produção de nano-amidos afim de serem utilizados como estabilizadores em emulsões alimentícias Pickering ao invés de uso de surfactantes. Alguns fatores críticos a serem considerados são o consumo de energia, a complexidade do tempo de processo e a fonte do amido, entre outros.

Notavelmente, o desenvolvimento de novos processos é um grande desafio a ser superado por estudiosos e pela indústria de alimentos. Também é crucial para o estabelecimento de ingredientes alimentares seguros com impacto mínimo no meio ambiente e na saúde de seus consumidores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à sua biodegradabilidade e natureza amorfa e cristalina, o amido tem sido cada vez mais utilizado como uma boa alternativa para a preparação de nanopartículas.

Nesta revisão, é possível concluir que nano-amidos podem ser criados a partir do amido nativo de diversas espécies de plantas usando uma variedade de métodos de processamento diferentes.

Este estudo não só fornece técnicas para a preparação de nano-amidos com bom desempenho de produção e eficiência, mas também apoia a aplicação de nano-amidos na área de emulsificantes de alimentos. Esses nano-amidos têm grande potencial para estabilizar emulsões Pickering e seu uso está em crescente interesse na indústria de alimentos.

Existe ainda um vasto campo a ser explorado no que diz respeito à aplicação e desenvolvimento de métodos amigos do meio ambiente para a produção de nano-amidos para estabilizar emulsões Pickering, desta forma, mais pesquisas são necessárias para a padronização e desenvolvimento de métodos de produção eficientes aplicáveis em grande escala industrial.

7 REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. Production and characterization of starch nanoparticles by mild alkali hydrolysis and ultra-sonication process. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 3533, dez. 2020.
- ALARCON-ROJO, A. D. et al. Power ultrasound in meat processing. **Meat Science**, v. 107, p. 86–93, set. 2015.
- ALDÃO, D. C. et al. Starch nanoparticles – two ways of their preparation. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 36, n. No. 2, p. 133–138, 7 maio 2018.
- ALDERTON, D. X-Ray Diffraction (XRD). In: **Encyclopedia of Geology**. [s.l.] Elsevier, 2021. p. 520–531.
- ALILA, S. et al. Sorption potential of modified nanocrystals for the removal of aromatic organic pollutant from aqueous solution. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 2, p. 350–357, mar. 2011.
- ALIYU, M.; HEPHER, M. J. Effects of ultrasound energy on degradation of cellulose material. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 7, n. 4, p. 265–268, 2000.
- ALMEIDA, R. L. J. et al. Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 1210–1219, dez. 2019.
- AMBIGAIPALAN, P. et al. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2962–2974, nov. 2011.
- ANDRADE, C. T. et al. Purification and characterization of human hemoglobin: effect of the hemolysis conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 34, n. 4, p. 233–240, ago. 2004.
- ATTRI, P.; ARORA, B.; CHOI, E. H. Retraction: Utility of plasma: a new road from physics to chemistry. **RSC Advances**, v. 7, n. 26, p. 15735–15735, 2017.
- BAI, L. et al. Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: Gum arabic, beet pectin, and corn fiber gum. **Food Hydrocolloids**, v. 66, p. 144–153, maio 2017.
- BALAKRISHNA, A. K.; WAZED, M. A.; FARID, M. A Review on the Effect of High Pressure Processing (HPP) on Gelatinization and Infusion of Nutrients. **Molecules**, v. 25, n. 10, p. 2369, 20 maio 2020.
- BANURA, S. et al. Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma. **LWT**, v. 89, p. 719–724, mar. 2018.

BARROS, D. R. et al. Aumento da produtividade e da qualidade das raízes de ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.) cultivado em pneus. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2015.

BARROS, D. R. et al. Ariá (*Goepertia allouia*) Brazilian Amazon tuber as a non-conventional starch source for foods. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 168, p. 187–194, jan. 2021.

BAXTER, S.; ZIVANOVIC, S.; WEISS, J. Molecular weight and degree of acetylation of high-intensity ultrasonicated chitosan. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 5, p. 821–830, set. 2005.

BEL HAAJ, S. et al. Starch nanoparticles formation via high power ultrasonication. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1625–1632, fev. 2013.

BEL HAAJ, S. et al. Starch nanocrystals and starch nanoparticles from waxy maize as nanoreinforcement: A comparative study. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 310–317, jun. 2016.

BERTOFT, E. Understanding Starch Structure: Recent Progress. **Agronomy**, v. 7, n. 3, p. 56, 25 ago. 2017.

BERTON-CARABIN, C. C.; SAGIS, L.; SCHROËN, K. Formation, Structure, and Functionality of Interfacial Layers in Food Emulsions. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 9, n. 1, p. 551–587, 25 mar. 2018.

BLAZEK, J.; GILBERT, E. P. **Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: A review** **Carbohydrate Polymers**, 6 maio 2011.

CAI, C. et al. Structural changes of chemically modified rice starch by one-step reactive extrusion. **Food Chemistry**, v. 288, p. 354–360, ago. 2019.

CALLE, J. et al. Exploring the functionality of starches from corms and cormels of *Xanthosoma sagittifolium*. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 7, p. 2494–2501, 22 jul. 2019.

CAMERON, M.; MCMASTER, L. D.; BRITZ, T. J. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 960–964, set. 2008.

CALDERON, F., SCHMITT, V., BIBETTE, J. *Emulsion Science - Basic Principles* 2^a ed. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2007.

CARVALHO, Ana Paula Miléo Guerra. *Aplicação de plasma a frio atmosférico na modificação do amido de Ariá (*Goepertia allouia* Aubl.) Borchs.& S. Suárez): efeito da alta tensão*. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

CASTRO, L. M. G. et al. Impact of high pressure on starch properties: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 106, p. 105877, set. 2020.

CEREDA, M. P.; FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; et al. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Cargill. p 132-135, 2001.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Cargill. p. 500-530, 2003.

CHANG, R. et al. Green preparation and characterization of starch nanoparticles using a vacuum cold plasma process combined with ultrasonication treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 58, p. 104660, nov. 2019.

CHANG, Y. et al. High efficiency and low cost preparation of size controlled starch nanoparticles through ultrasonic treatment and precipitation. **Food Chemistry**, v. 227, p. 369–375, jul. 2017.

CHAUDHRY, Q.; CASTLE, L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 11, p. 595–603, nov. 2011.

CHEMAT, F. et al. **Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction** *Innovative Food Science and Emerging Technologies* Elsevier Ltd, , 1 jun. 2017.

CHEN, L. et al. A simple and green method for preparation of non-crystalline granular starch through controlled gelatinization. **Food Chemistry**, v. 274, p. 268–273, fev. 2019a.

CHEN, Y. et al. Preparation and emulsification properties of dialdehyde starch nanoparticles. **Food Chemistry**, v. 286, p. 467–474, jul. 2019b.

CHUNG, C. et al. Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: Utilization of quillaja saponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners. **Journal of Food Engineering**, v. 209, p. 1–11, set. 2017.

CHUNG, K. M. et al. Physicochemical Properties of Sonicated Mung Bean, Potato, and Rice Starches. **Cereal Chemistry Journal**, v. 79, n. 5, p. 631–633, set. 2002.

COPELAND, L. et al. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527–1534, ago. 2009.

DAI, L. et al. Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. **Food Chemistry**, v. 174, p. 82–88, maio 2016.

DAI, L. et al. Preparation and characterization of starch nanocrystals combining ball milling with acid hydrolysis. **Carbohydrate Polymers**, v. 180, p. 122–127, jan. 2018.

DAI, L.; ZHANG, J.; CHENG, F. Succeeded starch nanocrystals preparation combining heat-moisture treatment with acid hydrolysis. **Food Chemistry**, v. 278, p. 350–356, abr. 2019.

DAS, R. et al. Covalent immobilization of peanut β -amylase for producing industrial nano-biocatalysts: A comparative study of kinetics, stability and reusability of the

- immobilized enzyme. **Food Chemistry**, v. 245, p. 488–499, abr. 2018.
- DAS, R.; KAYASTHA, A. M. Enzymatic hydrolysis of native granular starches by a new β -amylase from peanut (*Arachis hypogaea*). **Food Chemistry**, v. 276, p. 583–590, mar. 2019.
- DICKINSON, E. Biopolymer-based particles as stabilizing agents for emulsions and foams. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 219–231, jul. 2017.
- DONG, S. et al. Surface modification via atmospheric cold plasma (ACP): Improved functional properties and characterization of zein film. **Industrial Crops and Products**, v. 115, p. 124–133, maio 2018.
- DULARIA, C. et al. Development of starch nanoparticles based composite films from non-conventional source - Water chestnut (*Trapa bispinosa*). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 136, p. 1161–1168, set. 2019.
- EDUARDO, M. P. **Hidrólise enzimática de mandioca e puba para obtenção de xarope de maltose**. 2002, 54p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba, 2002.
- EL-SHEIKH, M. A. New technique in starch nanoparticles synthesis. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 214–219, nov. 2017.
- ESCOBAR-PUENTES, A. A. et al. Preparation and Characterization of Succinylated Nanoparticles from High-Amylose Starch via the Extrusion Process Followed by Ultrasonic Energy. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 10, p. 1672–1682, 24 out. 2019.
- FARRAG, Y. et al. Preparation of donut-shaped starch microparticles by aqueous-alcoholic treatment. **Food Chemistry**, v. 246, p. 1–5, abr. 2018a.
- FARRAG, Y. et al. Preparation of starch nanoparticles loaded with quercetin using nanoprecipitation technique. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, p. 426–433, jul. 2018b.
- FELISBERTO, M. H. F. et al. Physicochemical and structural properties of starch from young bamboo culm of *Bambusa tuldoidea*. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 101–107, fev. 2019.
- FONSECA-FLORIDO, H. A. et al. Effects of multiphase transitions and reactive extrusion on in situ thermoplasticization/succination of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 225, p. 115250, dez. 2019.
- FRANCO, C. M. L. et al. **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas: Propriedades Gerais do Amido**. Campinas, Fundação Cargill, v.1. p. 224 ,2001.
- FUJISAWA, S.; TOGAWA, E.; KURODA, K. Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions and their applications. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 18, n. 1, p. 959–971, 31 dez. 2017.

- GARCÍA-ARMENTA, E. et al. Preparation of surfactant-free emulsions using amaranth starch modified by reactive extrusion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 608, p. 125550, jan. 2021.
- GE, S. et al. Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size. **Food Chemistry**, 2017.
- GÉRARD, C. et al. Amylose determination in genetically modified starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 44, n. 1, p. 19–27, jan. 2001.
- GUILBOT, A.; MERCIER, C. The polysaccharides. **Molecular biology**, v. 2, n. 1, p. 209-282, 1985.
- GREINER, R. Current and projected applications of nanotechnology in the food sector. **Nutrire**, v. 34, n. 1, p. 243–260, 2009.
- GUO, K. et al. Comparison of structural and functional properties of starches from five fruit kernels. **Food Chemistry**, v. 257, p. 75–82, ago. 2018.
- GUTIÉRREZ, T. J.; VALENCIA, G. A. Reactive extrusion-processed native and phosphorylated starch-based food packaging films governed by the hierarchical structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 172, p. 439–451, mar. 2021.
- HAAJ, S. B. et al. Starch Nanocrystal Stabilized Pickering Emulsion Polymerization for Nanocomposites with Improved Performance. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 6, n. 11, p. 8263–8273, 11 jun. 2014.
- HAN, W. et al. Understanding the fine structure of intermediate materials of maize starches. **Food Chemistry**, v. 233, p. 450–456, out. 2017.
- HAO, Y. et al. Preparation of starch nanocrystals through enzymatic pretreatment from waxy potato starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 184, p. 171–177, mar. 2018.
- HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, abr. 2018.
- HEDAYATI, S.; NIAKOUSARI, M.; MOHSENPOUR, Z. Production of tapioca starch nanoparticles by nanoprecipitation-sonication treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 143, p. 136–142, jan. 2020.
- HOOVER R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 2001, 2001.
- HU, Y.-Q. et al. Fabrication and characterization of novel Pickering emulsions and Pickering high internal emulsions stabilized by gliadin colloidal particles. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 300–310, dez. 2016.
- HUANG, G. et al. Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 144–149, jul. 2017.
- HUANG, Q.; LI, L.; FU, X. Ultrasound Effects on the Structure and Chemical Reactivity

of Cornstarch Granules. **Starch - Stärke**, v. 59, n. 8, p. 371–378, ago. 2007.

IIDA, Y. et al. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 2, p. 140–146, abr. 2008.

IONOV, M.; GONTAREK, W.; BRYSEWSKA, M. Zeta potential technique for analyzing semen quality. **MethodsX**, v. 7, p. 100895, 2020.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. The Effect Of Lintnerization On Cereal Starch Granules. **Food Research International**, v. 7, p. 665–680, 2002.

JOHNSON, J. et al. Potential for Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy toward predicting antioxidant and phenolic contents in powdered plant matrices. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 233, p. 118228, jun. 2020.

KAUR, J. et al. Cereal starch nanoparticles—A prospective food additive: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 7, p. 1097–1107, 3 maio 2018.

KENTISH, S.; FENG, H. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 263–284, 28 fev. 2014.

KHACHATRYAN, G.; KHACHATRYAN, K. Starch based nanocomposites as sensors for heavy metals – detection of Cu²⁺ and Pb²⁺ ions. **International Agrophysics**, v. 33, n. 1, p. 121–126, 14 fev. 2019.

KIERULF, A. et al. Protein content of amaranth and quinoa starch plays a key role in their ability as Pickering emulsifiers. **Food Chemistry**, v. 315, p. 126246, jun. 2020.

KIM, H.-Y. et al. Preparation of crystalline starch nanoparticles using cold acid hydrolysis and ultrasonication. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 295–301, out. 2013.

KIM, H.-Y.; PARK, S. S.; LIM, S.-T. Preparation, characterization and utilization of starch nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 126, p. 607–620, fev. 2015.

KIOKIAS, S.; GORDON, M. H.; OREOPOULOU, V. Effects of composition and processing variables on the oxidative stability of protein-based and oil-in-water food emulsions. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 3, p. 549–558, 11 fev. 2017.

KUMARI, S.; YADAV, B. S.; YADAV, R. B. Synthesis and modification approaches for starch nanoparticles for their emerging food industrial applications: A review. **Food Research International**, v. 128, p. 108765, fev. 2020.

LACERDA, L. D. et al. Effects of α -Amylase, Amyloglucosidase, and Their Mixture on Hierarchical Porosity of Rice Starch. **Starch - Stärke**, v. 70, n. 11–12, p. 1800008, nov. 2018.

LAMANNA, M. et al. Development and characterization of starch nanoparticles by gamma radiation: Potential application as starch matrix filler. **Carbohydrate Polymers**, v. 97, n. 1, p. 90–97, ago. 2013.

LANGENAEKEN, N. A. et al. Different gelatinization characteristics of small and large barley starch granules impact their enzymatic hydrolysis and sugar production during mashing. **Food Chemistry**, v. 295, p. 138–146, out. 2019.

LE CORRE, D.; ANGELLIER-COUSSY, H. Preparation and application of starch nanoparticles for nanocomposites: A review. **Reactive and Functional Polymers**, v. 85, p. 97–120, dez. 2014.

LE CORRE, D.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Starch Nanoparticles: A Review. **Biomacromolecules**, v. 11, n. 5, p. 1139–1153, 10 maio 2010.

LEAL, I. L. et al. Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 43, p. 48150, 15 nov. 2019.

LEBOUILLE, J. G. J. L. et al. Nanoprecipitation of polymers in a bad solvent. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 460, p. 225–235, out. 2014.

LEONEL, M.; GARCIA, A. C. D. B.; REIS, M. M. Caracterização físico-química e microscópica de amidos de batata-doce, biri, mandioca e taioba e propriedades de expansão após modificação fotoquímica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 129-137, jul-dez, 2004.

LI, C.; SUN, P.; YANG, C. Emulsion stabilized by starch nanocrystals. **Starch/Stärke**, v. 64, n. 6, p. 497–502, 2012.

LI, L. et al. Characteristics of pea, lentil and faba bean starches isolated from air-classified flours in comparison with commercial starches. **Food Chemistry**, v. 276, p. 599–607, mar. 2019.

LIANG, R. et al. Preparation of Pickering emulsions with short, medium and long chain triacylglycerols stabilized by starch nanocrystals and their: In vitro digestion properties. **RSC Advances**, 2016.

LIMA, M. C. P.; ANDRADE, C. T. Stroma-Free Hemoglobin from Bovine Blood. **Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology**, v. 35, n. 4, p. 431–447, 11 jan. 2007.

LIN, Q. et al. Fabrication of debranched starch nanoparticles via reverse emulsification for improvement of functional properties of corn starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 104, p. 105760, 1 jul. 2020a.

LIN, X. et al. Structural and physicochemical properties of lotus seed starch nanoparticles prepared using ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 68, p. 105199, nov. 2020b.

- LIU, C. et al. Preparation and characterization of starch nanoparticles via self-assembly at moderate temperature. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 84, p. 354–360, mar. 2016.
- LIU, L. et al. Ball milling pretreatment facilitating α -amylase hydrolysis for production of starch-based bio-latex with high performance. **Carbohydrate Polymers**, v. 242, p. 116384, ago. 2020.
- LU, X.; XIAO, J.; HUANG, Q. Pickering emulsions stabilized by media-milled starch particles. **Food Research International**, v. 105, p. 140–149, mar. 2018.
- LUCHESE, C. L. et al. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834–839, jan. 2018.
- LV, Y. et al. Physicochemical properties and digestibility of potato starch treated by ball milling with tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 207–213, maio 2019.
- MA, H.; DAI, L. L. Particle Self-Assembly in Ionic Liquid-in-Water Pickering Emulsions. **Langmuir**, v. 27, n. 2, p. 508–512, 18 jan. 2011.
- MA, Y.-S. et al. Evaluation studies on effects of pectin with different concentrations on the pasting, rheological and digestibility properties of corn starch. **Food Chemistry**, v. 274, p. 319–323, fev. 2019.
- MADRAS, G.; KUMAR, S.; CHATTOPADHYAY, S. Continuous distribution kinetics for ultrasonic degradation of polymers. **Polymer Degradation and Stability**, v. 69, n. 1, p. 73–78, jun. 2000.
- MAJZOBI, M.; FARAHNAKY, A. Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. **Food Hydrocolloids**, v. 111, p. 106393, fev. 2021.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137, 30 abr. 2010.
- MALLAKPOUR, S.; KHODADADZADEH, L. Ultrasonic-assisted fabrication of starch/MWCNT-glucose nanocomposites for drug delivery. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 40, p. 402–409, jan. 2018.
- MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 47–55, 1 abr. 2016.
- MCCLEMENTS, D. J.; BAI, L.; CHUNG, C. Recent Advances in the Utilization of Natural Emulsifiers to Form and Stabilize Emulsions. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 205–236, 28 fev. 2017.

MCCLEMENTS, D. Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.47, p.611–649, 2007.

MELO NETO, B. A. DE et al. Chemical composition and functional properties of starch extracted from the pejibaye fruit (*Bactris gaspaea* Kunt.). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 105, 6 jan. 2015.

MINAKAWA, A. F. K.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; MALI, S. Simple ultrasound method to obtain starch micro- and nanoparticles from cassava, corn and yam starches. **Food Chemistry**, v. 283, p. 11–18, jun. 2019.

MISKEEN, S. et al. Fabrication of citric acid-modified starch nanoparticles to improve their thermal stability and hydrophobicity. **Carbohydrate Polymers**, v. 253, p. 117242, fev. 2021.

MOHAMMAD AMINI, A.; RAZAVI, S. M. A. A fast and efficient approach to prepare starch nanocrystals from normal corn starch. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 132–138, jun. 2016.

MURRAY, B. S. **Pickering emulsions for food and drinks** *Current Opinion in Food Science*, 2019.

MYERS, A. M. et al. Recent Progress toward Understanding Biosynthesis of the Amylopectin Crystal. **Plant Physiology**, v. 122, n. 4, p. 989–998, 1 abr. 2000.

NICOLAI, T.; MURRAY, B. Particle stabilized water in water emulsions. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 157–163, jul. 2017.

OGUNSONA, E.; OJOGBO, E.; MEKONNEN, T. Advanced material applications of starch and its derivatives. **European Polymer Journal**, v. 108, p. 570–581, nov. 2018.

OYEYINKA, S. A.; OYEYINKA, A. T. A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 62–71, fev. 2018.

ÖZTÜRK, S.; MUTLU, S. Physicochemical Properties, Modifications, and Applications of Resistant Starches. In: **Starches for Food Application**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 297–332.

PARK, E. Y. et al. Production of starch nanoparticles using normal maize starch via heat-moisture treatment under mildly acidic conditions and homogenization. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 274–282, out. 2016.

PATEL, C. M.; CHAKRABORTY, M.; MURTHY, Z. V. P. Fast and scalable preparation of starch nanoparticles by stirred media milling. **Advanced Powder Technology**, v. 27, n. 4, p. 1287–1294, jul. 2016.

PEI, X. et al. Polymer Brush Graft-Modified Starch-Based Nanoparticles as Pickering Emulsifiers. **Langmuir**, v. 35, n. 22, p. 7222–7230, 4 jun. 2019.

PÉREZ, S.; BALDWIN, P. M.; GALLANT, D. J. **Starch Granules I**. Third Edit ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2009.

PETRI, M. Food processing and preservation. **Scandinavian Dairy Information**, v. 5, n. 26, 1991.

PICKERING, S. U. Emulsions. **Journal of the Chemical Society**, v. 91, p. 2001–2021, 1907.

PUNIA, S. et al. Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 154, p. 493–498, jul. 2020.

QIAN, X. et al. Viscoelasticity of olive oil/water Pickering emulsions stabilized with starch nanocrystals. **Carbohydrate Polymers**, v. 230, p. 115575, fev. 2020.

QIU, C. et al. Preparation and characterization of size-controlled starch nanoparticles based on short linear chains from debranched waxy corn starch. **LWT**, v. 74, p. 303–310, dez. 2016.

QIU, C. et al. Advances in research on preparation, characterization, interaction with proteins, digestion and delivery systems of starch-based nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 117–125, jun. 2020.

RANA, A.; PARMAR, S.; SHWETA, A. R. Ultrasonic processing and its use in food industry: A review. **International Journal of Chemical Studies IJCS**, v. 5, p. 1961–1968, 2017.

RAO, P. et al. Dynamic light scattering for food quality evaluation. In: **Evaluation Technologies for Food Quality**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 535–557.

REMANAN, M. K.; ZHU, F. Encapsulation of rutin using quinoa and maize starch nanoparticles. **Food Chemistry**, p. 128534, nov. 2020.

ROCHA, T. Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos. **Aleph**, 2007.

ROCHA, T. S.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Structural and physicochemical characteristics of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 620–628, 2008.

ROMDHANE, A. et al. Effect of pH and ionic strength on the electrical charge and particle size distribution of starch nanocrystal suspensions. **Starch - Stärke**, v. 67, n. 3–4, p. 319–327, mar. 2015.

ROY, K. et al. Development and characterization of nano starch-based composite films from mung bean (*Vigna radiata*). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 242–251, fev. 2020.

SADEGHI, R. et al. Effects of starch composition and type of non-solvent on the formation of starch nanoparticles and improvement of curcumin stability in aqueous

- media. **Journal of Cereal Science**, v. 76, p. 122–130, jul. 2017.
- SALARI, J. W. O. et al. Deformation of the Water/Oil Interface during the Adsorption of Sterically Stabilized Particles. **Langmuir**, v. 30, n. 25, p. 7327–7333, 18 jul. 2014.
- SANA, S.; BOODHOO, K.; ZIVKOVIC, V. Production of starch nanoparticles through solvent-antisolvent precipitation in a spinning disc reactor. **Green Processing and Synthesis**, v. 8, n. 1, p. 507–515, 28 jan. 2019.
- SANCHEZ DE LA CONCHA, B. B. et al. Acid hydrolysis of waxy starches with different granule size for nanocrystal production. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 193–200, jan. 2018.
- SANTOS, A. D. O.; OLIVEIRA, L. A. DE; JESUS, J. L. DE. Avaliação da composição do amido de acessos do banco ativo de germoplasma de mandioca. p. 2011, 2011.
- SCIARINI, L. S. et al. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 4, p. 590–597, ago. 2012.
- SHARMA, V.; BHARDWAJ, A. Scanning electron microscopy (SEM) in food quality evaluation. In: **Evaluation Technologies for Food Quality**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 743–761.
- SHI, A. et al. Preparation of starch-based nanoparticles through high-pressure homogenization and miniemulsion cross-linking: Influence of various process parameters on particle size and stability. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 4, p. 1604–1610, 1 fev. 2011.
- SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 4, p. 441–449, ago. 2004.
- SIYAMAK, S.; LAYCOCK, B.; LUCKMAN, P. Synthesis of starch graft-copolymers via reactive extrusion: Process development and structural analysis. **Carbohydrate Polymers**, v. 227, p. 115066, jan. 2020.
- SJÖÖ, M.; NILSSON, L. Starch in food: structure, function and applications. **Woodhead Publishing**, v. (2nd Editi, 2018.
- SOARES, A. DE S. et al. Ultrasound assisted enzymatic hydrolysis of sucrose catalyzed by invertase: Investigation on substrate, enzyme and kinetics parameters. **LWT**, v. 107, p. 164–170, jun. 2019.
- SOE, M. T. et al. Thai glutinous rice starch modified by ball milling and its application as a mucoadhesive polymer. **Carbohydrate Polymers**, v. 232, p. 115812, mar. 2020.
- SONG, D. et al. Surface modification of cellulose fibers by starch grafting with crosslinkers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 113, n. 5, p. 3019–3026, 5 set. 2009.

SONG, D.; THIO, Y. S.; DENG, Y. Starch nanoparticle formation via reactive extrusion and related mechanism study. **Carbohydrate Polymers**, v. 85, n. 1, p. 208–214, 22 abr. 2011.

SU, Q. et al. Functionalized nano-starch prepared by surface-initiated atom transfer radical polymerization and quaternization. **Carbohydrate Polymers**, v. 229, p. 115390, fev. 2020.

SUFI-MARAGHEH, P. et al. Pickering emulsion stabilized by amphiphilic pH-sensitive starch nanoparticles as therapeutic containers. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 181, p. 244–251, set. 2019.

SUN, Q. et al. Effect of retrogradation time on preparation and characterization of proso millet starch nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 133–138, out. 2014a.

SUN, Q. et al. Green preparation and characterisation of waxy maize starch nanoparticles through enzymolysis and recrystallisation. **Food Chemistry**, v. 162, p. 223–228, nov. 2014b.

TAGLIAPIETRA, B. L. et al. Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 93–102, jun. 2021.

TANG, J.; QUINLAN, P. J.; TAM, K. C. Stimuli-responsive Pickering emulsions: recent advances and potential applications. **Soft Matter**, v. 11, n. 18, p. 3512–3529, 2015.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. **Starch - Composition, fine structure and architecture** *Journal of Cereal Science* Academic Press, , 2004.

THIRUMDAS, R. et al. Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1723–1731, fev. 2017.

THYS, R. C. S. et al. The effect of acid hydrolysis on the technological functional properties of pinhão (*Araucaria brasiliensis*) starch. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, p. 89–94, fev. 2013.

VARATHARAJAN, V. et al. Impact of structural changes due to heat-moisture treatment at different temperatures on the susceptibility of normal and waxy potato starches towards hydrolysis by porcine pancreatic alpha amylase. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2594–2606, nov. 2011.

VELASCO, R. J. et al. Producción de Dextrinas a partir de Almidón Nativo de Yuca por Ruta Seca en una Agroindustria Rural. **Información tecnológica**, v. 19, n. 2, 2008.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S. **Ultrassom na indústria de alimentos: aplicações no processamento e conservação**. [s.l.] Antonella Carvalho de Oliveira, 2018.

WANG, H. et al. A Review on Patents of Starch Nanoparticles: Preparation, Applications, and Development. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 23–30, 23 jul. 2018.

WANG, Q.; LI, L.; ZHENG, X. Recent advances in heat-moisture modified cereal starch: Structure, functionality and its applications in starchy food systems. **Food Chemistry**, v. 344, p. 128700, maio 2021.

WANG, X. et al. Preparation of starch nanoparticles in water in oil microemulsion system and their drug delivery properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 192–200, mar. 2016.

WANG, Y.; ZHANG, G. The preparation of modified nano-starch and its application in food industry. **Food Research International**, v. 140, p. 110009, fev. 2021.

WONGSAGONSUP, R. et al. Modification of tapioca starch by non-chemical route using jet atmospheric argon plasma. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 790–798, fev. 2014.

WU, J.; MA, G.-H. Recent Studies of Pickering Emulsions: Particles Make the Difference. **Small**, v. 12, n. 34, p. 4633–4648, set. 2016.

WURZBURG, O. B. Properties and uses. **Modified starches**, 1986.

XIAO, H. et al. Preparation and characterization of broken-rice starch nanoparticles with different sizes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 160, p. 437–445, out. 2020.

XIAO, J.; LI, Y.; HUANG, Q. Recent advances on food-grade particles stabilized Pickering emulsions: Fabrication, characterization and research trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 55, p. 48–60, set. 2016.

XU, Y. et al. Morphological, Structural, and Thermal Properties of Starch Nanocrystals Affected by Different Botanic Origins. **Cereal Chemistry Journal**, v. 91, n. 4, p. 383–388, jul. 2014.

YE, F. et al. Structure and physicochemical properties for modified starch-based nanoparticle from different maize varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 37–44, jun. 2017a.

YE, F. et al. Elucidation of stabilizing oil-in-water Pickering emulsion with different modified maize starch-based nanoparticles. **Food Chemistry**, v. 229, p. 152–158, ago. 2017b.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C. Effect of acid concentration and cassava starch hydrolysis time on some characteristics of hydrolysed products. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 155–159, 1999.

ZEEMAN, S. C.; SMITH, S. M.; SMITH, A. M. The breakdown of starch in leaves. **New Phytologist**, v. 163, n. 2, p. 247–261, ago. 2004.

ZHANG, B. et al. Effect of oxygen glow plasma on supramolecular and molecular structures of starch and related mechanism. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 69–76, jun. 2014.

ZHAO, S. et al. Intensification of liquid-liquid two-phase mass transfer by oscillating bubbles in ultrasonic microreactor. **Chemical Engineering Science**, v. 186, p. 122–134, ago. 2018.

ZHOU, L. et al. Preparation and characterization of waxy maize starch nanocrystals with a high yield via dry-heated oxalic acid hydrolysis. **Food Chemistry**, v. 318, p. 126479, jul. 2020.

ZHU, F. Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. **Food Chemistry**, v. 229, p. 542–552, ago. 2017.

ZHU, F. Underutilized and unconventional starches: Why should we care? **Trends in Food Science & Technology**, v. 100, p. 363–373, jun. 2020.