

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Alexandre Izac Alves

**Produção e caracterização de nanopartículas à base de amido e extrato de
própolis**

Florianópolis

2022

Alexandre Izac Alves

Produção e caracterização de nanopartículas a base de amido e extrato de própolis.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Germán Ayala Valencia

Coorientadora: Me. Maria Jaízia dos Santos Alves

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Alves, Alexandre Izac

Produção e caracterização de nanopartículas a base de amido e extrato de própolis / Alexandre Izac Alves ; orientador, Germán Ayala Valencia , coorientador, Maria Jaízia dos Santos Alves , 2022.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Nanopartículas . 3. Própolis. 4. Amido. I. Valencia , Germán Ayala . II. Alves , Maria Jaízia dos Santos . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Alexandre Izac Alves

Produção e caracterização de nanopartículas a base de amido e extrato de própolis.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Alimentos

Local Florianópolis, 19 de dezembro de 2022.

Prof. Dr. Marco Di Luccio
Coordenador do Curso

Banca examinadora

Prof. Dr. Germán Ayala Valencia
Orientador
UFSC

Prof. Dr. Jessica de Matos
Fonseca
UFSC

MSc. Wilson Daniel Caicedo Chacon
UFSC

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, meu parceiro e meus amigos, por
todo apoio que tive ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer as pessoas mais próximas a mim, meus pais, por todo suporte que tive ao longo do desenvolvimento desse trabalho, assim como em todo percurso que corri até hoje, meu companheiro Alexandre que acompanhou de perto todas as dificuldades de tive ao longo dessa jornada e quem eu sempre pude contar com o apoio.

Aos meus amigos maravilhosos Jaina, Douglas, Maria Eduarda, Giancarlo, Mariana, Lara, pela companhia ao longo dos anos e pelos conselhos e carinho. Aos meus colegas de trabalho Rafael, Gustavo, Ana Carolina, Gabriel Borges, Julia, Natália e Paulo, pela paciência que tem comigo e pela ajuda e incentivo que tive em seguir esse novo caminho. Agradeço também a minha amiga Isis, colega de curso e trabalho, sem a pressão, coerção e ameaças dela, eu não teria terminado esse trabalho.

Por fim gostaria de agradecer meu orientador, professor Germán e coorientadora Jaízia, por toda ajuda e suporte que tive ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

A própolis possui diversas características que dificultam o seu consumo *in natura*, como baixa biodisponibilidade, hidrofobia, fotofobia, além de aroma e sabor forte. Assim, este trabalho, foi formulado e produzido extratos de própolis e nanopartículas biopoliméricas contendo compostos fenólicos da própolis com parede de amido de mandioca e batata, para utilização na indústria de alimentos. Os extratos da própolis foram obtidos a partir da moagem da própolis e extração com etanol 96%, passando por um processo de ultrassom e centrifugação, e as nanopartículas foram obtidas pelo método de nanoprecipitação antissolvente. O extrato obtido da própolis demonstrou valores altos de capacidade antioxidante: 763,36 mg EAG/g de CFT, 727,60 μmol TROLOX/g de própolis para o DPPH e 2512,33 μmol TROLOX/g de própolis de ABTS. Quanto às características das nanopartículas, estas apresentaram diâmetro de partícula entre 6,5 nm até 459 nm, com estabilidade moderada, atividade de água de 0,183, caracterizando-as com baixo teor umidade e menor tendência ao crescimento de microrganismos. a nanopartículas também apresentaram uma estrutura cristalina tipo V e foi relatado uma diminuição no conteúdo de água nas nanopartículas que continham própolis. Tendo em vista os resultados obtidos no trabalho, são necessários mais estudos para que a as nanopartículas produzidas possam ser utilizadas na indústria de alimentos.

Palavras-chave: Própolis; Nanopartículas; Amido.

ABSTRACT

Propolis has several characteristics that make its use in natura difficult, such as low bioavailability, hydrophobia, photophobia, in addition to a strong aroma and flavor, due to these characteristics, in this work, propolis extracts and biopolymeric nanoparticles containing phenolic compounds were formulated and produced of propolis with a cassava and potato starch wall, for use in the food industry. The propolis extracts were obtained from propolis milling and extraction with 96% ethanol, through an ultrasound and centrifugation process, and the nanoparticles were obtained by the antisolvent nanoprecipitation method. The extract obtained from propolis showed high values of antioxidant capacity: 763.36 mg EAG/g of CFT, 727.60 μmol TROLOX/g of propolis for DPPH and 2512.33 μmol TROLOX/g of propolis for ABTS. As for the characteristics of the nanoparticles, the size was between 6.5 nm to 459 nm, with moderate stability, water activity of 0.183, characterized as low humidity and not susceptible to the growth of microorganisms, and in relation to the structure, it presented a V-type crystalline structure and a decrease in the water content of nanoparticles containing propolis was reported. In view of these results, it is possible to say that the nanoparticles produced can be used in the food industry.

Keywords: Propolis; nanoparticles; Starch.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Própolis *in natura* 19
- Figura 2 – Distribuição do tamanho de partícula das nanopartículas branco de amido de batata (NPs-AB96%) e mandioca (NPs-AM96%) e nanopartículas de amido de batata (NPsAB-EP96%) e mandioca (NPsAM-EP96%) com extrato de própolis. 20
- Figura 3 – Espectros de FTIR de nanopartículas de amido de batata (NBAB), amido de mandioca (NBAM) e nanopartículas de amido baseadas em amido de batata (NPAB) e amido de mandioca (NPAM) com extrato de própolis. 22
- Figura 4 – Difractogramas de raios-X de nanopartículas de amido de batata (NBAB), amido de mandioca (NBAM) e nanopartículas de amido baseadas em amido de batata (NPAB) e amido de mandioca (NPAM) com extrato de própolis. 25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial zeta (PZ) e Atividade de água (aw) de nanopartículas de amido de batata (NBAB96%), amido de mandioca (NBAM96%) e nanopartículas de amido baseadas em amido de batata (NPAB96%) e amido de mandioca (NPAM96%) com extrato de própolis.....	27
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
CFT	Compostos fenólicos totais
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
FTIR	Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier
NPA	Nanopartículas de amido contendo compostos fenólicos da própolis
NBA	Nanopartículas de amido sem compostos fenólicos da própolis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.1	PRÓPOLIS	18
2.1.1	Composição da Própolis	19
2.1.2	Propriedades biológicas e antioxidantes da própolis	20
2.2	AMIDO	21
2.3	NANOPARTÍCULAS	21
2.3.1	Nanoprecipitação	22
2.3.2	Nanopartículas de amido	23
2.3.3	Nanopartículas biopoliméricas contendo compostos fenólicos da própolis	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	MATERIAL	26
3.2	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS	26
3.2.1	Obtenção dos extratos de própolis	26
3.2.2	Caracterização dos extratos de própolis	27
3.2.2.1	<i>Atividade antioxidante (DPPH)</i>	27
3.2.2.2	<i>Atividade antioxidante (ABTS)</i>	27
3.2.2.3	<i>Compostos fenólicos totais</i>	27
3.3	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE AMIDO/PRÓPOLIS	28
3.3.1	Produção de nanopartículas de amido/própolis	28
3.3.2	Caracterização das nanopartículas de amido/própolis	29
3.3.2.1	<i>Eficiência de encapsulamento superficial (EE) (%)</i>	29
3.3.2.2	<i>Distribuição de tamanho de partículas e Potencial Zeta</i>	29
3.3.2.3	<i>Atividade de água (aw)</i>	30
3.3.2.4	<i>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)</i>	30
3.3.2.5	<i>Difração de raios X (DRX)</i>	30

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS	32
4.2	PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE AMIDO/PRÓPOLIS	32
4.2.1	Tamanho de Partícula	33
4.2.2	Atividade de água (<i>a_w</i>)	35
4.2.3	Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier (FTIR)	35
4.2.4	Difração de raios X (DRX)	37
5	CONCLUSÃO	39
5.1	TRABALHOS FUTUROS	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A própolis é uma substância resinosa, produto do processamento de plantas, flores e seivas produzidas pelas abelhas, substância heterógena que pode conter ceras, óleos, ácidos graxos, além de minerais e compostos orgânicos. A própolis é utilizada desde os primórdios não só como fonte alimentar, mas também consumida por suas propriedades antissépticas, antioxidantes e anti-inflamatórias, sendo assim, muito utilizada na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia (ALMUHAYAWI, 2020).

Figura 1 - própolis verde em um coletor inteligente.



Fonte: BERRETTA (2017)

Geralmente, a própolis é consumida na forma de extrato, que pode ser obtido por uma variedade de métodos, sendo os mais comuns a maceração, extração soxhlet, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas e extração com CO₂ supercrítico, sendo etanol o solvente mais utilizado e, com o qual, se tem melhores resultados. A escolha do método de extração é importante, pois impacta principalmente na funcionalidade bioativa da própolis. Além do método, a composição inicial da própolis também vai afetar a qualidade bioativa do extrato. Diferentes regiões geográficas produzem diferentes composições de própolis (IRIGOITI et al., 2021).

Ainda que o processo de extração da própolis seja feito de maneira adequada, ainda tem outro fator importante a ser considerado quando utilizado o extrato de própolis para agregar funções bioativas aos produtos, os compostos bioativos da própolis são sensíveis à luz, hidrofóbicos e possuem baixa estabilidade térmica e oxidativa. Portanto, a utilização direta do extrato pode não ser tão efetiva. Para melhorar a sua aplicação pode ser utilizada a técnica de Nanoprecipitação para a formação de nanopartículas onde se espera uma maior estabilidade dos compostos ativos (PANT et al., 2022).

O encapsulamento é uma técnica, a qual se tem o aprisionamento das substâncias, mantendo essas substâncias desejadas dentro de uma matriz, que pode fornecer a preservação dos compostos bioativos, maior solubilidade e qualidade sensorial (MOHAMMADIAN et al., 2020). Essas matrizes ou paredes que encapsulam o extrato da própolis, podem ser produzidos a partir de diversas matrizes poliméricas, como o amido. Além do amido ser atóxico e biodegradável, possui alta disponibilidade, podendo ser extraído de uma variedade de vegetais, o tornando um produto de baixo custo e renovável (SAMSUDIN; HANI, 2017).

Atualmente, existe uma pequena quantidade de trabalhos publicados sobre o encapsulamento do extrato de própolis dentro de uma parede de amido. Este trabalho tem como objetivo estudar a extração dos compostos ativos da própolis, assim como a formulação e produção de nanopartículas biopoliméricas de amido de batata e mandioca, contendo compostos fenólicos da própolis. O trabalho tem como o objetivo de ter um produto que tenha as propriedades antioxidantes da própolis e as propriedades mecânicas das nanopartículas de amido, para a utilização nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e químicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Produzir e caracterizar nanopartículas a base de amido e própolis.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Produzir um extrato de própolis que mantenha a atividade dos seus compostos bioativos.

Caracterizar propriedades físico-químicas do extrato da própolis.

Produzir nanopartículas à base de amido de batata, mandioca e própolis.

Caracterizar propriedades físico-químicas das nanopartículas.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 PRÓPOLIS

A própolis é uma substância viscosa, encontrada em plantas, composta principalmente por resinas, bálsamos, ceras, óleos essenciais e aromáticos, ácidos graxos, pólen e outras substâncias orgânicas e minerais. A composição da própolis depende da planta de origem, podendo ser classificada em dois grandes grupos, a própolis de região temperada e de região tropical. Outro fator pode alterar as características da própolis é o solvente utilizado na extração, usualmente utilizado etanol, por ser atóxico e facilmente removido após o processo, mas podendo ser feito com água, metanol, clorofórmio entre outros. A própolis retirada da matriz vegetal passa por um processo de moedura e, em seguida, é dissolvida e filtrada, obtendo assim o extrato de própolis (IRIGOITI et al., 2021).

Na natureza, a própolis tem como função selar a colmeia, além de servir como isolante térmico. Ela ainda auxilia na contenção de entrada de microrganismos, como vírus, bactérias, fungos e protozoários (FARAG et al., 2021). A aplicação da própolis em alimentos se dá principalmente pela capacidade antioxidante e antimicrobiana, que pode ser empregada para substituir preservativos artificiais, Contudo, a sua utilização ainda apresenta desafios, fazendo-se necessários estudos adicionais para sua implementação, devido a sua baixa solubilidade em água, forte odor e sabor, que podem alterar as características sensoriais do produto, além de variações que podem ocorrer durante o processamento do alimento (POBIEGA; KRAŚNIEWSKA; GNIEWOSZ, 2019).

A extração tem um papel relevante para o aproveitamento da própolis, sendo que diferentes métodos de extração resultam em extratos de própolis com composições diferentes, afetando assim o potencial bioativo dela. Os métodos mais comuns para a extração da própolis são a maceração, extração soxhlet, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas e extração com CO₂ supercrítico. Segundo (BANKOVA et al., 2021), desses métodos o mais adequado, levando em conta o tempo de extração, rendimento e custo-benefício, é o método de extração assistida por ultrassom.

A extração assistida por ultrassom é considerada uma alternativa mais adequada, devido ao seu menor tempo de extração, combinado com menores quantidades de solvente e energia. O método se baseia em provocar cavitações acústicas na amostra, onde se terá maiores temperaturas e pressões nessas áreas, assim diminuindo o tamanho das partículas e conseqüentemente aumentando a transferência de massa. Além da escolha de um método adequado, outros parâmetros de extração também precisam ser avaliadas como, a concentração de solvente, temperatura e tempo de extração (YUSOFF et al., 2022).

Um estudo realizado por Oroian, Ursachi e Dranca (2020), avaliou a extração de própolis pelo método de extração assistida por ultrassom, com a variação dos fatores temperatura, tempo, concentração de etanol e frequência de ultrassom, avaliando parâmetros como total de compostos fenólicos, teor de bálsamo e total de flavonoides. Foi concluído que as variáveis que tem maior impacto são a concentração de etanol e frequência de ultrassom e que o método de extração assistida por ultrassom é adequado para a extração de compostos fenólicos da própolis.

O efeito da adição de própolis em coberturas foi observado por Mehdizadeh e Langroodi (2019), que realizaram um estudo utilizando quitosana como matriz e incorporando a própolis e óleo de *Zataria multiflora* em peito de frango. Foi concluído que a mistura entre quitosana e própolis reduziu a população de bactérias, a mistura com quitosana confere uma maior estabilidade ao extrato de própolis por um maior tempo, isso permite o extrato hidrolisar a camada peptidoglicano que envolve o citoplasma das bactérias, aumentando o efeito antibacteriano da cobertura de quitosana.

No estudo feito por Moreno et al. (2020), aplicando o extrato de própolis em filmes de gelatina para a aplicação em framboesas, foi relatado que essa adição além filmes mais elásticos, também ampliou as propriedades antifúngicas contra a maioria dos fungos patogênicos. No mesmo estudo foi feito o encapsulamento do extrato de própolis em capsulas de zeína, para aplicação nos mesmos filmes de gelatina e foi relatado uma melhor preservação em termos de deterioração fúngica.

2.1.1 Composição da Própolis

De acordo com a região onde foi produzida a própolis, é possível ter uma variedade de cores, podendo ir de um verde amarelado até própolis em tons de marrom. Possui um ponto de fusão entre 60 e 70°C, apesar de alguns tipos chegar até 100°C. Além da cor e ponto de fusão, suas propriedades biológicas também variam de acordo com a sua origem. A própolis é utilizada na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, devido suas propriedades antisséptica, antioxidantes, anti-inflamatória, entre outras. Pode ser encontrado comercialmente, na forma de pó, cápsulas, pastilhas entre outros (ANJUM et al., 2019).

A composição da própolis varia de acordo com sua origem. porém, sua composição é, em geral, composta por resina e balsamos (50-60%), ceras e ácidos graxos (30-40%), óleos essenciais (5-10%), além de aminoácidos, micronutrientes e vitaminas (5%). A própolis também possui compostos como polifenóis, terpenos, esteroides e açúcares, sendo que grande parte de suas atividades biológicas se dá pela presença de flavonoides, ácidos fenólicos e ésteres (KOCOT et al., 2018). A própolis ainda pode possuir mais de 300 componentes químicos, tornando um desafio a obtenção de um produto uniforme (FARAG et al., 2021). Sua concentração de compostos varia de acordo com a época de colheita, origem geográfica, da espécie de abelha que produziu as própolis e do método de extração utilizado. Esses fatores também afetam a coloração, aroma e textura e, portanto, as própolis variam muito no seu perfil químico (CHANG; LEONG; CHUA, 2021).

2.1.2 Propriedades biológicas e antioxidantes da própolis

O extrato de própolis pode apresentar diversas propriedades químicas e biológicas de interesse para a indústria alimentícia, farmacêutica e química, como atividade antioxidante, antiviral, anti-inflamatória, imunomoduladora, anticâncer, hepatoprotetora, antifúngico e antialérgico. A capacidade antioxidante do extrato de própolis se dá pela presença de flavonoides e polifenóis em sua composição, esses compostos têm a capacidade de neutralizar radicais livres evitando a oxidação lipídica e podendo assim estender a vida útil do produto (SALLEH et al., 2021).

A própolis possui também capacidade antimicrobiana, que atua contra uma variedade de microrganismos, como bactérias, fungos, vírus e parasitas, e é utilizada vastamente na indústria de alimentos, seu potencial de redução microbiana

se dá pela presença de flavonoides, ácidos fenólicos, aldeídos terpenos e cetonas (ALMUHAYAWI, 2020).

2.2 AMIDO

O amido é um carboidrato que pode ser obtido de cereais, frutas, tubérculos e raízes, e possui diversas utilidades na indústria de alimentos, como agentes espessantes, formadores de glicose ou frutose, substitutos de gordura e como componentes de embalagens. Pode apresentar ainda capacidade de formação de gel, agente estabilizante e retentor de umidade, além de ser um composto renovável e biodegradável (SCHMIELE; SAMPAIO; PEDROSA SILVA CLERICI, 2018).

Em matrizes vegetais o amido é formado nos cloroplastos e utilizado como fonte de energia, além de poder ser reservado nos amiloplastos. O amido é constituído, principalmente, por dois polímeros: amilose e amilopectina, podendo ainda apresentar constituintes menores como lipídios, proteínas e fosfatos, diferentes tipos de amidos podem ser obtidos dependendo da matriz, variando a proporção de amilose e amilopectina e a presença ou não de componentes menores (BELLO PEREZ; AGAMA-ACEVEDO, 2017).

Materiais à base de amido vêm sendo mais estudados para a aplicação em embalagens, porque apresentam diversas características desejadas para esse ramo da indústria, como a acessibilidade, preço, ser um material atóxico, biodegradável e a versatilidade do amido, ademais o amido não transmite nenhum gosto que pode impactar as propriedades do alimento o qual está em contato. Apesar dessas vantagens, ainda existem limitações para o uso do amido em embalagens, devido a sua estrutura química, que apresenta pobres propriedades mecânicas e baixa barreira a água, podendo absorver água quando exposto a altas umidades e assim também comprometendo a barreira a gases (SAMSUDIN; HANI, 2017).

2.3 NANOENCAPSULAÇÃO

O encapsulamento é uma técnica a qual se baseia no aprisionamento de substâncias, sendo que a substância de interesse bioativo fica presa dentro de uma matriz que é utilizada como parede, formando partículas de compostos bioativos revestidos por um certo material. Essa técnica possibilita a preservação

dos compostos bioativos, maior solubilidade, melhor qualidade sensorial, maior vida útil e melhor transporte (MOHAMMADIAN et al., 2020).

Técnicas de encapsulamento têm se mostrado métodos adequados para a modificação de compostos bioativos. Embora possam promover diversas funções, como agentes antioxidantes, antibacterianos e anti-inflamatórios, os compostos bioativos possuem limitações, podem apresentar baixa solubilidade, se tornar instáveis durante o processamento e possuir baixa biodisponibilidade. A amorfização durante o encapsulamento pode promover maior solubilidade do composto, também se tem uma maior proteção a fatores externos e ainda pode promover um sistema de liberação do composto de forma controlada e estendida. Para que esses compostos sejam mais bem aproveitados se torna necessário a utilização de técnicas que garantam a preservação de suas funções bioativas (MUDALIP et al., 2021).

Diversas técnicas têm sido utilizadas para o encapsulamento de compostos bioativos, tais como coacervação, Nanoprecipitação, *spray dryer*, liofilização, dentre outras. A escolha do método a ser utilizado, depende dos aspectos e características da matriz que será utilizada como carregador e as dos compostos que serão nanocapsulados (SMAOUI et al., 2021). Uma série de materiais podem ser utilizados como materiais de revestimento ou de parede, para encapsulação de compostos bioativos (nanocarregadores), tais como hidrocoloides, carboidratos, celulose, proteínas e lipídios (MARCILLO-PARRA et al., 2021).

2.3.1 Nanoprecipitação

O método de Nanoprecipitação descrito por Fessi et al. em 1989, é uma das técnicas utilizadas para a produção de nanopartículas. Nessa técnica se tem a formação de gotículas, devido a turbulência interfacial entre fases imiscíveis quando misturadas. Primeiramente, a solução de polímero (fase aquosa) é aquecida até a sua gelatinização. Em seguida, a solução é resfriada e o polímero é precipitado, com a adição gota-à-gota de uma solução orgânica, a qual induz a supersaturação e gera um gradiente de concentração do polímero entre diferentes fases (solvente e diluente), para que ocorra a precipitação do soluto (DONG et al., 2022). A força motriz é gerada devido ao desequilíbrio entre a solução orgânica e fase aquosa. A

agitação magnética junto com o excesso de água e hidrofobicidade do polímero, faz com que seja formado gotículas de polímero e assim é gerado as nanoesferas ou nanocápsulas com o composto ativo. O composto ativo fica disperso ao longo de toda matriz polimérica, enquanto nas nanocápsulas o composto fica retido no centro. É necessário também um método de secagem para remoção da água das nanopartículas, onde pode ser utilizado a liofilização ou ultracentrifugação (RIVAS et al., 2017).

O método de Nanoprecipitação é vantajoso pois gera nanopartículas mais homogêneas, pode ser utilizado solventes atóxicos como o etanol e cloreto de metileno, possui baixo custo, menor risco de contaminação da amostra e fácil reprodutividade (CAMPELO; SANT'ANA; CLERICI, 2020).

2.3.2 Nanopartículas de amido

Quando o amido é extraído da sua matriz, ele é denominado amido nativo e quando ele passa por processos físicos, químicos ou enzimáticos, passa a se chamar amido modificado, devido à mudança em suas propriedades. O amido nativo possui limitações para sua aplicação na indústria, pois é facilmente hidratado, o que pode causar o inchaço e a ruptura, causando perdas de viscosidade. O desenvolvimento de nanopartículas de amido é uma das soluções possíveis para aperfeiçoar as propriedades de amido para sua melhor utilização na indústria (CHAVAN *et al.*, 2021).

O método convencional para a produção de nanopartículas de amido é por hidrólise ácida, utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou clorídrico (HCl), a temperaturas de 25 a 55 °C. A concentração de ácido e amido, além da agitação e tempo de reação também devem ser levadas em consideração, tendo a reação como objetivo a redução da cadeia do amido até chegar em nanocristais de amido. Outros métodos para a formação de nanopartículas de amido incluem a desramificação enzimática, que utiliza enzimas para digerir as correntes do amido, extrusão, que se baseia na pressão mecânica e ultrasonicação, na qual uma cavitação ultrassônica é produzida gerando microbolhas, que, quando colapsadas, aumentam a pressão e temperatura do meio, causando assim a degradação das moléculas de amido. Os

métodos alternativos têm como objetivo reduzir o tempo de processamento e formação de sais (KUMARI; YADAV; YADAV, 2020).

A utilização de amido no estado de nanopartículas é interessante pois é uma forma de aperfeiçoar propriedades mecânicas em filmes e coberturas comestíveis, aumentando a barreira contra água, maior flexibilidade e resistência a impactos, além ser uma alternativa para a adição de compostos bioativos que incorporem propriedades antioxidantes ou antimicrobianas. A utilização de nanopartículas de amido na indústria de alimentos ainda está em estados iniciais, mas já se revela uma alternativa promissora (CAMPELO; SANT'ANA; CLERICI, 2020) .

Ainda hoje se tem poucos registros da utilização de nanopartículas à base de amido em coberturas comestíveis, um exemplo dessa utilização foi feito por Alizadeh, Yousefi e Ahari (2019), que além da nanopartícula de amido, utilizou também o extrato de limão a fim de estender a vida útil do filé de frango. Foi investigado por 14 dias os efeitos da cobertura e relatado um efeito positivo sobre a redução da contaminação microbiana, redução da deterioração oxidativa, além de redução na perda de umidade de frango.

2.3.3 Nanopartículas biopoliméricas contendo compostos fenólicos da própolis

A própolis é bastante conhecida pela sua composição, que apresenta diversos compostos fenólicos, gerando assim grande interesse por parte da indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos. No entanto, embora tenha diversos compostos ativos interessantes para o uso, a própolis apresenta diversas características naturais, as quais dificultam seu uso, como sua baixa biodisponibilidade, muitos compostos hidrofóbicos e fotofóbicos, além de possuir aroma e sabor característicos muito fortes, dificultando assim sua utilização na indústria alimentícia. Assim, estudos para a utilização da própolis encapsulada têm sido feitos e mostrado o encapsulamento como uma alternativa para a utilização da própolis, melhorando suas propriedades físico-químicas como a solubilidade em água, tempo de degradação, biodisponibilidade e até mesmo sua estabilidade térmica (TAVARES et al., 2022).

Na literatura é possível encontrar algumas pesquisas que utilizam de diferentes técnicas de encapsulamento e diferentes materiais de parede para estabilizar os componentes bioativos, focando principalmente no aspecto físico-químico do material utilizado como parede, no tamanho das nanopartículas formadas, o quanto o encapsulamento foi eficiente, potencial zeta e potencial antimicrobiológico (ALUDATT et al., 2022).

As Nanocápsulas tem a capacidade de reter compostos bioativos, como observado por Andrade et al. (2018), que utilizou o processo de spray drying para produzir nanopartículas de goma arábica com compostos fenólicos da própolis, utilizando diferentes tipos de própolis (marrom, verde e vermelho) e obteve uma eficiência de encapsulamento entre 70 e 79%, a qual mostrou boa retenção dos compostos presentes nas micropartículas de própolis, sendo que as micropartículas de própolis verde e vermelha apresentaram maiores teores de fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante.

Marquez et al. (2018) utilizou do método de *spray drying* para formular nanopartículas do extrato de própolis vermelha com revestimento de quitosana e aplicou em filés de peixe para avaliar o aumento de vida útil do produto. Foi verificado um aumento no tempo de vida útil em 8 dias para os filés cobertos pelas nanopartículas, por meio da redução da oxidação lipídica. além disso também apresentou boa aceitação sensorial (aparência, odor, sabor e textura).

A adição de própolis em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos possuem uma grande visibilidade no mercado, isso devido pelo conhecimento geral das propriedades que a própolis apresenta. Portanto, o desenvolvimento de novos produtos que tenham incorporados compostos bioativos presentes na própolis, a fim de produzir produtos mais saudáveis que apelem para um grupo de consumidores que presam por saudabilidade, é algo interessante e de destaque para as indústrias, que podem promover o seu produto com as propriedades presentes na própolis. Além de adicionar propriedades bioativas aos produtos, como visto nos trabalhos apresentados, a adição de nanopartículas de amido e própolis tem potencial para aumentar a vida útil de alimentos, devido sua composição fenólica e atividade antioxidante (IRIGOITI et al., 2021).

Portanto, este trabalho tem como objetivo sintetizar e caracterizar nanopartículas biopoliméricas à base de amido contendo compostos fenólicos da própolis encapsulados, por nanoprecipitação em antissolvente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

A própolis bruta foi fornecida pela empresa Breyer & Cia Ltda de União Vitória – PR. Esta própolis é proveniente do município de Formiga – MG e possui coloração Verde, coletada no primeiro trimestre do ano de 2016. A amostra foi acondicionada em embalagens plásticas e armazenada em freezer doméstico. Fécula de batata (Shambala indústria e comércio de produtos naturais LTDA. Gravatal-SC), fécula de mandioca (Biguá alimentos indústria e comércio LTDA. Pomerode-SC), álcool etílico absoluto, ácido clorídrico 37%, (Neon, Brasil), cloreto de potássio (Dinâmica, Brasil), Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich), carbonato de sódio (Dinâmica, Brasil), os radicais 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), e 2,2'- azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) (Sigma-Aldrich), padrões de quercetina da Sigma-Aldrich Chemical Co. (St Louis, MO, EUA). Todos os reagentes utilizados são de grau analítico.

3.2 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS

3.2.1 Obtenção dos extratos de própolis

Para obter os extratos da própolis, foi realizado a moagem da matéria prima em um moinho de facas (TECNAL, modelo TE 631/2, Piracicaba, SP, Brasil). a própolis moída foi adicionada, com uma proporção de 1:35 (massa/volume), de acordo com Cavalaro et al. (2019), em uma solução de etanol-água com concentração de 96% v/v e levada a um ultrassom de sonda (4 mm de diâmetro) (Eco-Sonics, modelo QR500, Indaiatuba, SP-BR) com temporizador digital, operado com potência de 500 W (100% de amplitude) e frequência de 20 kHz, por 24 horas. Ao fim desse processo, a solução de própolis foi vertida em tubos Falcon (15 mL) e centrifugada a 4000 rpm por 15 minutos. O extrato da própolis no sobrenadante foi filtrado em papel filtro (espec.), sendo, em seguida, armazenado à -24° C em frascos âmbar devidamente identificados. O processo foi realizado na ausência de luz e em temperatura ambiente (25°C).

3.2.2 Caracterização dos extratos de própolis

3.2.2.1 *Atividade antioxidante (DPPH)*

Um dos métodos utilizados para a determinação da capacidade antioxidante dos extratos obtidos da própolis foi a técnica de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), a qual consiste na capacidade que as amostras de extrato têm de sequestrar o radical estável DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila). A amostra de extrato de própolis (100 µL) foi misturada à solução de DPPH (2,9 mL), deixando reagir por 30 min. Após o tempo de reação, a mistura foi colocada no espectrofotômetro (QUIMIS, Q898U2M5, Diadema, São Paulo) ajustado para comprimento de onda de 517 nm e utilizando etanol puro como branco. A curva padrão de ácido gálico (0 - 750 µM/L), foi obtida repetindo esse procedimento, e os resultados obtidos em µmol ác. trolox/g de própolis. As análises do método de DPPH foram feitas em triplicata.

3.2.2.2 *Atividade antioxidante (ABTS)*

Outro método utilizado para avaliar a atividade antioxidante foi o método ABTS, que consiste na capacidade da amostra de sequestrar o radical ABTS (2,2-azinobis (3- etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). Para que o radical ABTS fosse produzido foi feita uma reação composta pela solução de ABTS (7 mM) e solução de persulfato de potássio (2,45 mM) por 16 h. A solução aquosa de ABTS+ é então diluída (Utilizando Etanol 96%) até uma absorbância de 0,7 (± 0,05) com 734 nm de comprimento de onda. Em seguida, 3000 µL da solução ABTS• + foram misturadas com as diluições (30 µL), homogeneizadas em vórtex por 6 min e absorbâncias lidas a 734 nm. O padrão de referência foi o Trolox e os valores foram calculados a partir de uma curva padrão (0 - 1500 µmol). Resultados foram obtidos em µmol ác. trolox/g de própolis. Análises foram feitas na ausência de luz e temperatura ambiente (25°C) e em triplicata, e utilizando solução de etanol puro como branco.

3.2.2.3 *Compostos fenólicos totais*

Para determinação dos compostos fenólicos totais, foi utilizado o método de Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), com o reagente Folin – Ciocalteu, com modificações. Foi adicionado em um tubo de vidro de 10mL, 7,9 mL de água destilada, 0,1 mL de ácido gálico (0-750 µg/mL) e 0,5 mL de reagente Folin, então agitado em vórtex e deixado em repouso por 3 min. Após o repouso é adicionado 1,5 mL de solução de carbonato de sódio 20 % (m/v). Os tubos foram agitados e e e mantidos a temperatura ambiente e ausência de luz por 2 h. A absorbância foi lida em um espectrofotômetro (QUIMIS, Q898U2M5, Diadema, São Paulo) com 760 nm como comprimento de onda. Foi utilizado água como branco. O valor de absorbância do branco foi subtraído para cada uma das amostras, assim foi feito a curva analítica do ácido gálico através da equação da reta obtida. Os resultados foram expressos em gálico (mg EAG/g de própolis).

3.3 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE AMIDO/PRÓPOLIS

3.3.1 Produção de nanopartículas de amido/própolis

As nanopartículas foram preparadas utilizando uma técnica de precipitação de acordo com Chacon et al. (2020), com modificações. foram utilizados dois tipos de amidos diferentes: o amido de batata e amido de mandioca. Grânulos de amido de batata e mandioca (5% m/m) foram dispersos, por 30 min a 25°C, em água destilada. As dispersões de amido são levadas ao aquecimento a 90°C, com agitação mecânica de 300 rpm, por 30 min para que aconteça a gelatinização. Após a gelatinização, as soluções foram resfriadas até atingir 30°C e foi então adicionado à solução de etanol acidificado (96% v/v), gota a gota, na proporção 1:1 (%v/v). A solução de etanol a 96% v/v foi obtida diluindo etanol absoluto em água, e acidificadas com uma mistura de ácido clorídrico (37%), com proporção de 97,3: 2,7 (%v/v). Durante 12h a pasta que foi obtida da mistura entre o amido gelatinizado e a solução ácida de etanol foi mantida em agitação magnética. Para que ocorresse a separação das nanopartículas do solvente, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 15 min, sendo que foram feitas quatro centrifugações, três vezes com uma solução de etanol em água (80% v/v) e uma vez com álcool etílico absoluto (99,6%). Após a centrifugação as nanopartículas foram levadas a uma estufa a 60°C por 10

min, para que ocorresse a evaporação do etanol. As nanopartículas foram armazenadas por 48 horas a -24°C, antes que fossem levadas para a liofilização (Liotop L 101). Por fim, as nanopartículas de amido de batata e mandioca foram maceradas e armazenadas em dessecadores com sílica gel a 25°C.

Para fazer as nanopartículas com o extrato de própolis, foi realizado o mesmo processo acima, porém substituído a solução etanólica por extratos de própolis com concentração de etanol de 96% v/v.

3.3.2 Caracterização das nanopartículas de amido/própolis

3.3.2.1 *Eficiência de encapsulamento superficial (EE) (%)*

Foi utilizado a equação (1), para fazer a determinação da eficiência de encapsulamento, seguindo o método de Quiroz et al. (2020).

$$EE(\%) = \frac{(PI-PL)}{PI} * 100 \quad (1)$$

Sendo que, PI, própolis inicial, é a quantidade de compostos fenólicos totais no extrato da própolis. PL, própolis livre, é a quantidade não encapsulada, determinada a partir da avaliação da quantidade de compostos fenólicos no sobrenadante das nanopartículas, após a primeira centrifugação com solução de etanol em água (80% v/v), a 4000 rpm por 15 min.

3.3.2.2 *Distribuição de tamanho de partículas e Potencial Zeta*

Foi utilizando o LUMiSizer (LUM GmbH, Alemanha) e um Zetasizer Nano ZS (Malvern, Inglaterra) para determinar o tamanho e carga superficial das nanopartículas, respectivamente.

As amostras contendo amido nativo (0,5% m/v) e nanopartículas de amido/própolis (0,03% m/v), foram sonicadas por 30 min a 40 KHz, após serem dispersas em água Mili-Q ultrapura, utilizando um banho sonificador (Ultracleaner 1650, Unique, Brasil).

A carga superficial de amidos nativos e nanopartículas de amido/própolis, foi estudada utilizando um Zetasizer Nano ZS (Malvern, Inglaterra). Foi diluído as amostras em água deionizada (0,03%, m/v), mantendo o pH igual a 6 e sonicadas por 30 min a 40 KHz.

3.3.2.3 *Atividade de água (a_w)*

Utilizando o hidrômetro digital (Aqualab Modelo - Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, Estados Unidos), foi possível determinar a atividade de água dos amidos e nanopartículas de amido/própolis, pelo ponto de orvalho a 25°C. Análises foram realizadas em duplicata.

3.3.2.4 *Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)*

A interação entre o amido de mandioca e o amido de batata com os extratos de própolis foi estudada pela análise de espectroscopia em infravermelho. As amostras foram embutidas em pastilhas de brometo de potássio (KBr), e analisadas utilizando uma faixa de espectro de infravermelho de 4000 a 400 cm^{-1} em um espectrofotômetro (modelo Agilent Technologies – Cary 660 FTIR) com resolução de 4cm^{-1} no , sendo realizadas 32 varreduras na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (EQA-UFSC), misturando as amostras com KBr.

3.3.2.5 *Difração de raios X (DRX)*

Para analisar a cristalinidade, foi utilizado o difrator de raios-X (DRX, Xpert, Panalytical, US) equipado com radiação de $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 0,15418 \text{ nm}$), feixe de 40 kV, e corrente de 15 mA, foi utilizado para analisar a cristalinidade das nanopartículas. Os difratogramas foram obtidos a 25°C, em uma faixa angular de 3° e 60° (2θ) e uma taxa de escaneamento de 0.05°/min. Para determinar a distância interplanar d (nm), foi utilizado a lei de Bragg (Equação 2):

$$N \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2)$$

Onde se tem o λ como o comprimento de onda (nm) e N , o número inteiro de ondas ($N = 1$, adimensional).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS

Para a caracterização do extrato de própolis foi realizado a determinação de compostos fenólicos totais (CFT), e para a atividade antioxidante foi realizado os testes de DPPH e ABTS. Os experimentos foram realizados para a extração feita com solução álcool/água 96% e banho ultrassônico (20 min).

Para o CFT foi encontrado um valor médio de 763,36 mg EAG/g de própolis, um dos fatores que afetam diretamente o valor de CFT é a concentração de etanol no processo de obtenção do extrato. Cavalaro, Fabricio e Vieira (2020) conseguiram um valor similar ao encontrado neste trabalho com uma concentração maior de etanol, 612.14 EAG/g de própolis, utilizando o método de extração assistida por ultrassom.

Atividade antioxidante, medida pelo método de DPPH, resultou em um valor médio de 727,60 $\mu\text{mol TROLOX/g}$ de própolis, resultado semelhante ao trabalho de Augusto-Obara et al. (2019), o qual obteve valores entre 682.8 e 781.2 $\mu\text{mol TROLOX/g}$ de própolis para o extrato de própolis pelo método de moagem superfina. o valor alto de DPPH encontrado no estudo foi atribuído ao tamanho da partícula obtido, uma vez que em partículas menores tem-se um maior contato entre soluto e solvente.

Por fim a atividade antioxidante pelo método de ABTS foi em média 2512,33 $\mu\text{mol TROLOX/g}$ de própolis, Cavalaro et al (2019) utilizando o método de Cavalaro conseguiu valores de 2210 até 3524 $\mu\text{mol TROLOX/g}$ de própolis, para a própolis verde, e observaram que o aumento de solvente afeta diretamente o valor do potencial antioxidante obtido no método ABTS.

4.2 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE AMIDO/PRÓPOLIS

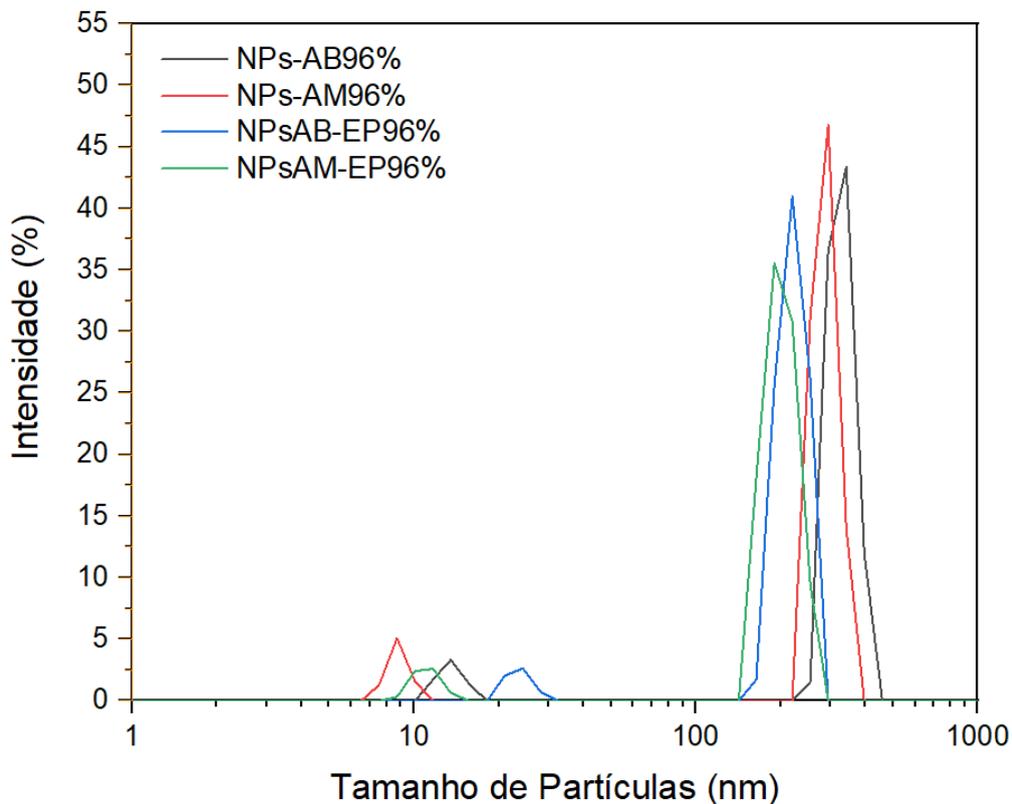
A seguir temos os resultados dos experimentos feitos para as nanopartículas de amido com e sem própolis. Além dos resultados mostrados abaixo, também foi possível calcular a eficiência de encapsulamento da própolis, as nanopartículas de mandioca tiveram um valor de 15,84% de eficiência enquanto as nanopartículas de

batata tiveram um valor de 15,62% de eficiência, esses valores são similares ao encontrado por Lima et al (2021), que também utilizaram o método de precipitação em antissolvente para sintetizar nanopartículas contendo Antocianinas do jambolão.

4.2.1 Tamanho de Partícula

Segunda a literatura (KUMARI; YADAV; YADAV, 2020), amidos modificados devem possuir diâmetros menores a 1000 nm para serem considerados como nanopartículas, nesse trabalho é possível observar a distribuição do tamanho de partícula pela Figura 2.

Figura 2 - Distribuição do tamanho de partícula das nanopartículas branco de amido de batata (NPs-AB96%) e mandioca (NPs-AM96%) e nanopartículas de amido de batata (NPsAB-EP96%) e mandioca (NPsAM-EP96%) com extrato de própolis.



Fonte: O Autor (2022).

As nanopartículas, tanto brancas como de própolis, apresentaram uma distribuição bimodal, com diâmetros que variam de 6,5 nm até 32,7 nm para a primeira distribuição e diâmetros de 142 nm até 459 nm para a sua segunda distribuição. Todas as nanopartículas obtidas tiveram seu diâmetro menor que 1000 nm, podendo assim de fato serem classificadas como nanopartículas de amido.

É possível observar também que as nanopartículas que contêm extrato de própolis (NPsAB-EP96% e NPsAM-EP96%) tiveram diâmetros menores que as nanopartículas sem o extrato, variando na primeira distribuição de 8,72 nm até 32,7 nm e na sua segunda distribuição de 142 nm até 295 nm. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Dong (2021), que obteve valores de tamanho de partícula entre 112 nm e 522 nm, para nanopartículas de amido de milho, obtidas através do método de nanoprecipitação em/por antissolvente, e menores que os resultados de Yan (2021), que obtiveram tamanhos entre 100 nm e 900 nm, utilizando amido de Junça (*Cyperus esculentus*) e as técnicas de desramificação e nanoprecipitação.

A estabilidade das nanopartículas também foi avaliada, sendo um parâmetro importante, pois a instabilidade pode levar as nanopartículas a sofrerem coagulação, floculação e agregação. Esse parâmetro foi avaliado pelo potencial zeta. O método leva em consideração as forças de atração e repulsão em cada nanopartícula, a partir do estado eletrônico presentes nas superfícies de espécies carregadas. De forma geral, partículas com potencial zeta superior a 30 mV ou inferior a -30 mV são consideradas de alta estabilidade (SILVA, 2017).

Tabela 1 - Potencial zeta (PZ) e Atividade de água (a_w) de nanopartículas de amido de batata (NBAB96%), amido de mandioca (NBAM96%) e nanopartículas de amido baseadas em amido de mandioca (NPAM96%) e amido de batata (NPAB96%) com extrato de própolis.

Amostras	ZP (mV)	a_w
NBAB96%	-18,43 ± 1,74	0,18 ± 0,01
NBAM96%	-7,05 ± 0,64	0,16 ± 0,01
NPAB96%	-24,98 ± 0,97	0,16 ± 0,01

NPAM96%	-8,40 ± 0,14	0,15 ± 0,00
----------------	---------------------	--------------------

Foi encontrado, como mostra a Tabela 1, uma média de potencial zeta de -24,98 mV para nanopartículas de amido de batata com presença de própolis, -8,40 mV para nanopartículas de amido de mandioca com presença de própolis, -18,43 mV para nanopartículas de amido de batata sem própolis e -7,05 mV para nanopartículas de amido de mandioca sem presença de própolis.

Assim, as nanopartículas com amido de batata se mostraram mais estáveis, e mesmo não tendo atingido -30mV, a NPAB96% demonstra resultados similares aos obtidos em outros trabalhos como de Dong (2021) que obteve valores de -10,2 mV a -18,6 mV e Ahmad; Gani (2021) que obtiveram valores de -14,77 mV a -24,28 mV, o valor do potencial zeta obtido para essa nanopartícula pode ser caracterizado como moderadamente estável (Lima, 2021).

4.2.2 Atividade de água (*aw*)

A atividade de água é um parâmetro que mede a disponibilidade de água nas nanopartículas para reações químicas. Os valores de atividade de água encontrado para as nanopartículas ficaram entre 0,149 e 0,183 como demonstrado na Tabela 1.

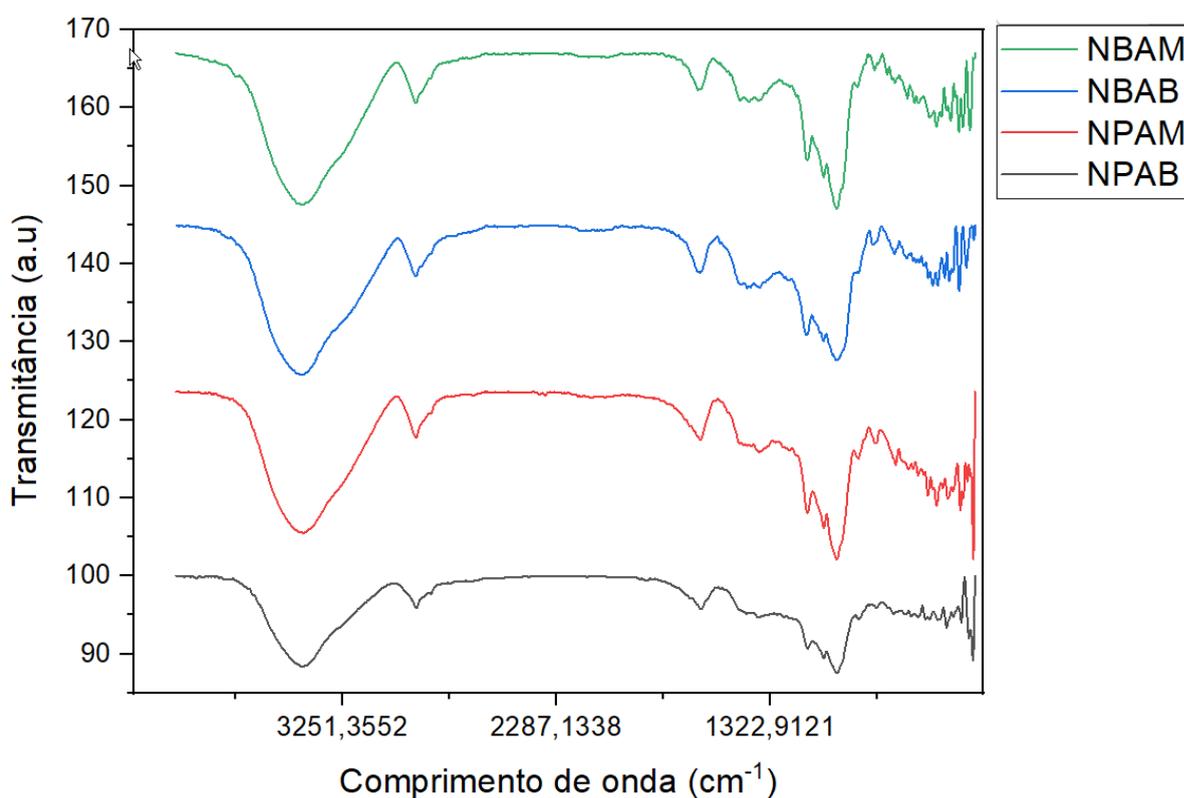
A atividade de água nas nanopartículas está relacionada com sua estrutura cristalina, assim diferentes nanopartículas irão apresentar diferentes atividades de água. Foi possível observar que as nanopartículas com conteúdo fenólico da própolis obtiveram valores menores de atividade de água, e os valores baixos de atividade de água podem ser dados pelo método da precipitação antissolvente onde ocorre a amorfização dos amidos nativos, porém após realizar o teste de Tukey, foi avaliado que não existe diferença significativa entre as amostras (LIMA et al., 2021).

Os valores médios de atividade de água encontrados para todas as nanopartículas são inferiores a 0,4, o que indica que as nanopartículas são classificadas como de baixa atividade de água e não são suscetíveis a reações e ao crescimento de microrganismos (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002), e estão de acordo com os valores encontrados na literatura (LOKSUWAN, 2007; MCMINN; AL-MUHTASEB; MAGEE, 2005).

4.2.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier (FTIR)

Na espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier é possível caracterizar compostos orgânicos com base na frequência de absorção de radiação infravermelho em grupos funcionais, que possuem faixas diferentes de absorção devido seus arranjos característicos e ligações. Compostos aromáticos, ligações C–H, O–H e C=O por exemplo, possuem bandas características permitindo assim a identificação de compostos pelas distorções no gráfico (COUGO, 2017).

Figura 3 - Espectros de FTIR de nanopartículas de amido de batata (NBAB), amido de mandioca (NBAM) e nanopartículas de amido baseadas em amido de batata (NPAB) e amido de mandioca (NPAM) com extrato de própolis.



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 3, mostra os espectros das nanopartículas obtidos pelo método de FTIR. A partir dos picos no gráfico, é possível identificar grupos funcionais presentes na NPA e NBA, o pico em 3436 cm^{-1} corresponde a uma vibração do alongamento do grupo funcional -OH , e o pico em 2921 cm^{-1} corresponde ao grupo -CH_2

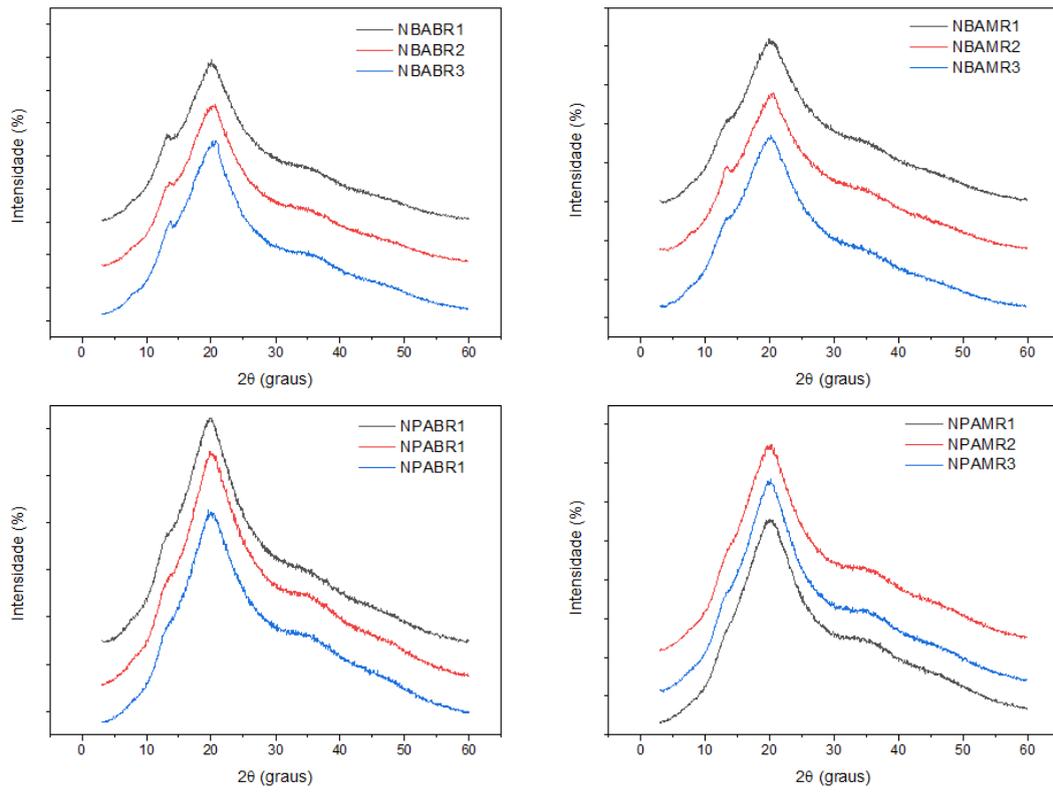
(AHMAD et al., 2020; MA et al., 2020). Em 1659 cm^{-1} tem o alongamento do grupo -OH das partículas de água (AHMAD et al., 2020). Os picos observados em 1158 cm^{-1} , 1018 cm^{-1} e 1018 cm^{-1} correspondem respectivamente aos grupos C=C , C=O e C-H (AHMAD et al., 2019). E por último o pico encontrado em 925 cm^{-1} foi correlacionado ao grupo C-O-C (VALENCIA et al., 2015).

Além dos grupos funcionais, também é possível observar uma queda de intensidade na banda 1634 cm^{-1} da nanopartícula de amido de batata com adição de própolis (NPAB), o que sugere que a nanopartícula tenha menos moléculas de água hidratando os amidos, essa mesma dedução pode ser feita durante o teste de atividade de água (LIMA et al., 2021).

4.2.4 Difração de raios X (DRX)

Para todas as amostras de nanopartículas, foram encontrados picos de $2\theta \approx 13^\circ$ ($d = 0,68\text{ nm}$) e 20° ($d = 0,44\text{ nm}$), sendo esses, comportamentos típicos de materiais semicristalinos. O primeiro pico a 13° refere-se à região cristalina, devido as ligações de hidrogênio e o empacotamento de cadeias de amilopectina. O segundo pico em 20° , largo e não definido, diz respeito à região amorfa, essa possui grupos laterais polares das cadeias de amilose que também interagem com água e etanol e impedem o empacotamento, tornando o material amorfo. Dá para perceber também uma leve diminuição de cristalinidade a 13° do amido quando se adiciona a própolis, o que sugere diminuição da interação da matriz de amido com água/etanol. Isso explica também a diminuição das bancas em 3900 e 1600 no FTIR. Essa estrutura cristalina pode ser caracterizada como tipo V, que é comum em amidos com baixa cristalinidade, sendo que essa baixa cristalinidade pode ser atribuída ao fato de o amido ter passado por um processo de gelatinização e precipitação durante o processo de produção da nanopartícula (LI; ZHOU; JIN, 2021).

Figura 4- Difractogramas de raios-X de nanopartículas de amido de batata (NBAB), amido de mandioca (NBAM) e nanopartículas de amido baseadas em amido de batata (NPAB) e amido de mandioca (NPAM) com extrato de própolis.



Fonte: O Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram utilizado amido modificado de batata e mandioca na forma de nanopartículas, pelo método de precipitação em antissolvente. Teve o objetivo de encapsular o extrato de própolis com o amido servindo de parede para a melhorias das propriedades mecânicas da nanopartícula, e o extrato de própolis agregando o produto com suas propriedades biológicas e antioxidantes. O extrato da própolis mostrou valores adequados para a capacidade antioxidante, para que pudesse ser utilizado nas nanopartículas.

Os amidos modificados, tiveram uma taxa de encapsulamento de 15,84% e 15,62% para as nanopartículas de mandioca e batata, respectivamente. O tamanho de partícula obtido também se enquadrou no característico para nanopartículas (> 1000 nm), obtendo resultados que variaram de 6,5 nm até 459 nm, como uma estabilidade medida pelo potencial zeta moderada. Com relação ao conteúdo de água, foi obtido valores menores que 0,183, o que caracteriza as NPA como pós de baixa umidade e não suscetíveis a reações químicas e crescimento de microrganismos.

Ainda com relação à nanopartículas, foi possível observar que a estrutura cristalina pode ser caracterizada como tipo V, que é comum de compostos com baixa cristalinidade, característica que foi associada ao fato de as NPA passarem por um processo de gelatinização. Outra questão observada foi a redução do conteúdo de água nas nanopartículas que possuíam o extrato de própolis, fato observado tanto no teste FTIR quando no de atividade de água.

Esses resultados sugerem que as nanopartículas de amido de mandioca e batata contendo extrato de própolis podem ser utilizadas na indústria alimentar para a formulação de produtos com maior teor de compostos antioxidantes, como em balas, gomas, na forma de cobertura para alimentos, entre outras utilizações.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir do desenvolvimento do presente trabalho, sugerem-se os seguintes pontos como continuidade da presente pesquisa:

- Estudo do aumento da estabilidade das nanopartículas
- Estudo da aplicação em coberturas.

- Estudo do aumento do tempo de prateleira em alimentos com cobertura da NPA.
- Estudo do aumento do percentual antioxidante dos alimentos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. Nano-encapsulation of catechin in starch nanoparticles: Characterization, release behavior and bioactivity retention during simulated in-vitro digestion. **Food Chemistry**, v. 270, n. April 2018, p. 95–104, 2019.
- 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. 1–11, 2020.
- AHMAD, Mudasir; GANI, Adil. Ultrasonicated resveratrol loaded starch nanocapsules: characterization, bioactivity and release behaviour under in-vitro digestion. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 251, p. 117111, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117111>.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 80, 2002.
- ALIZADEH, Zahra; YOUSEFI, Shima; AHARI, Hamed. Optimization of bioactive preservative coatings of starch nanocrystal and ultrasonic extract of sour lemon peel on chicken fillets. **International Journal Of Food Microbiology**, [S.L.], v. 300, p. 31-42, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.04.002>.
- ALMUHAYAWI, Mohammed Saad. Propolis as a novel antibacterial agent. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 27, n. 11, p. 3079-3086, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.016>.
- ALU'DATT, Muhammad H.; ALROSAN, Mohammad; GAMMOH, Sana; TRANCHANT, Carole C.; ALHAMAD, Mohammad N.; RABABAH, Taha; ZGHOUL, Roa'A; ALZOUBI, Haya; GHATASHEH, Salsabeel; GHOZLAN, Kawther. Encapsulation-based technologies for bioactive compounds and their application in the food industry: a roadmap for food-derived functional and health-promoting ingredients. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 50, p. 101971, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101971>.
- ANDRADE, Julianna Karla Santana; DENADAI, Marina; ANDRADE, George Ricardo Santana; NASCIMENTO, Cristiane da Cunha; BARBOSA, Paula Ferreira; JESUS, Monica S.; NARAIN, Narendra. Development and characterization of microencapsules containing spray dried powder obtained from Brazilian brown, green and red propolis. **Food Research International**, [S.L.], v. 109, p. 278-287, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.048>.
- ANJUM, Syed Ishtiaq; ULLAH, Amjad; KHAN, Khalid Ali; ATTAULLAH, Mohammad; KHAN, Hikmatullah; ALI, Hussain; BASHIR, Muhammad Amjad; TAHIR, Muhammad; ANSARI, Mohammad Javed; GHARAMH, Hamed A.. Composition and functional properties of propolis (bee glue): a review. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 26, n. 7, p. 1695-1703, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.013>.
- AUGUSTO-OBARA, Thalita Riquelme; OLIVEIRA, Jacqueline de; GLORIA, Eduardo Micotti da; SPOTO, Marta Helena Fillet; GODOY, Karina; VIEIRA, Thais Maria Ferreira de Souza; SCHEUERMANN, Erick. Benefits of superfine grinding method on antioxidant and antifungal characteristic of Brazilian green propolis extract. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 76, n. 5, p. 398-404, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0056>.
- BANKOVA, Vassya; TRUSHEVA, Boryana; POPOVA, Milena. Propolis extraction methods: a review. **Journal Of Apicultural Research**, [S.L.], v. 60, n. 5, p. 734-743, 6 abr. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00218839.2021.1901426>.

BELLO PEREZ, Luiz A.; AGAMA-ACEVEDO, Edith. Starch. In: **Starch-Based Materials in Food Packaging: Processing, Characterization and Applications**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. p. 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809439-6.00001-7>.

BERRETTA, Andresa A.; ARRUDA, Caroline; MIGUEL, Felipe Galeti; BAPTISTA, Nathalia; NASCIMENTO, Andresa Piacezzi; MARQUELE-OLIVEIRA, Franciane; HORI, Juliana Issa; BARUD, Hernane da Silva; DAMASO, Bianca; RAMOS, César. Functional Properties of Brazilian Propolis: from chemical composition until the market. **Superfood And Functional Food - An Overview Of Their Processing And Utilization**, [S.L.], 1 mar. 2017. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/65932>.

CAMPELO, Pedro Henrique; SANT'ANA, Anderson s; CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva. Starch nanoparticles: production methods, structure, and properties for food applications. **Current Opinion In Food Science**, [S.L.], v. 33, p. 136-140, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.04.007>.

CAVALARO, Renata lara; CRUZ, Richtier Gonçalves da; DUPONT, Sebastien; BELL, Juliana Maria Leite Nóbrega de Moura; VIEIRA, Thais Maria Ferreira de Souza. In vitro and in vivo antioxidant properties of bioactive compounds from green propolis obtained by ultrasound-assisted extraction. **Food Chemistry: X**, [S.L.], v. 4, p. 100054, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100054>.

CAVALARO, Renata lara; FABRICIO, Luis Felipe de Freitas; VIEIRA, Thais Maria Ferreira de Souza. Ultrasound-Assisted Extraction of Antioxidants from *Baccharis dracunculifolia* and Green Propolis. **Processes**, [S.L.], v. 8, n. 12, p. 1530, 25 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr8121530>.

CHACON, Wilson Daniel Caicedo; LIMA, Kennya Thayres dos Santos; VALENCIA, Germán Ayala; HENAO, Ana Cecilia Agudelo. Physicochemical Properties of Potato Starch Nanoparticles Produced by Anti-Solvent Precipitation. **Starch - Stärke**, [S.L.], v. 73, n. 1-2, p. 2000086, 8 out. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/star.202000086>.

CHANG, Zhi Qing; LEONG, Wanzhi; CHUA, Lee Suan. Statistical approach to reveal propolis as a potential biopreservative for fruit juices. **Future Foods**, [S.L.], v. 4, p. 100051, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100051>.

CHAVAN, Prafull et al. Impact on various properties of native starch after synthesis of starch nanoparticles: A review. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 364, p. 130416, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130416>.

COUGO, Cecília Dutra Garcia. **Utilização da Técnica Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para Estimativa das Concentrações de Carboidratos e de Lipídeos em *Scenedesmus* sp.** 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

DONG, Hongmin; ZHANG, Qing; GAO, Jun; CHEN, Lingyun; VASANTHAN, Thava. Comparison of morphology and rheology of starch nanoparticles prepared from pulse and cereal starches by rapid antisolvent nanoprecipitation. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 119, p. 106828, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106828>.

FARAG, Mayada R.; ABDELNOUR, Sameh A.; PATRA, Amlan K.; DHAMA, Kuldeep; DAWOOD, Mahmoud A.O.; ELNESR, Shaaban S.; ALAGAWANY, Mahmoud. Propolis: properties and composition, health benefits and applications in fish nutrition. **Fish & Shellfish Immunology**, [S.L.], v. 115, p. 179-188, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2021.06.010>.

IRIGOITI, Yanet; NAVARRO, Alba; YAMUL, Diego; LIBONATTI, Carina; TABERA, Anahi; BASUALDO, Marina. The use of propolis as a functional food ingredient: a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 115, p. 297-306, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.041>.

KOCOT, Joanna; KIEŁCZYKOWSKA, Małgorzata; LUCHOWSKA-KOCOT, Dorota; KURZEPA, Jacek; MUSIK, Irena. Antioxidant Potential of Propolis, Bee Pollen, and Royal Jelly: possible medical application. **Oxidative Medicine And Cellular Longevity**, [S.L.], v. 2018, p. 1-29, 2018. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/7074209>.

KUMARI, Suman; YADAV, Baljeet S.; YADAV, Ritika B.. Synthesis and modification approaches for starch nanoparticles for their emerging food industrial applications: a review. **Food Research International**, [S.L.], v. 128, p. 108765, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108765>.

LI, Jiaxin; ZHOU, Xing; JIN, Zhengyu. Effect of high-temperatures and aqueous ethanol treatment on the formation process and properties of V-type Granular Starch (VGS). **Carbohydrate Polymers**, v. 258, p. 117713, 2021. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.117713.

LIMA, Kenya Thayres dos Santos; GARCEZ, Jussara; ALVES, Maria Jaízia dos Santos; MONTEIRO, Alcilene Rodrigues; VALENCIA, Germán Ayala. Physicochemical Properties of Modified Starches Obtained by Anti-Solvent Precipitation Containing Anthocyanins from Jambolan (*Syzygium cumini*) Fruit. **Starch - Stärke**, [S.L.], v. 73, n. 3-4, p. 2000221, fev. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/star.202000221>.

LOKSUWAN, Jarunee. Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, v. 21, p. 928–935, 2007. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2006.10.011.

MA, Yanlan; LI, Siying; JI, Tengting; WU, Wenqi; SAMEEN, Dur E.; AHMED, Saeed; QIN, Wen; DAI, Jianwu; LIU, Yaowen. Development and optimization of dynamic gelatin/chitosan nanoparticles incorporated with blueberry anthocyanins for milk freshness monitoring. **Carbohydrate Polymers**, v. 247, p. 116738, 2020. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116738.

MARCILLO-PARRA, Verónica; TUPUNA-YEROVI, Diego Santiago; GONZÁLEZ, Zulay; RUALES, Jenny. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 116, p. 11-23, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009>.

MARQUEZ, David Guillermo; FUENMAYOR, Carlos Alberto; MAHECHA, Héctor Suarez. Effect of chitosan-propolis edible coatings on stability of refrigerated cachama (*Piaractus brachypomus*) vacuum-packed fish fillets. **Packaging Technology and Science**, [S.L.], v. 32, p. 143-153, dez. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2422>.

MCMINN, W. M. A.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE, T. R. A. Enthalpy – entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Food Research International**, v. 38, p. 505–510, 2005. DOI: 10.1016/j.foodres.2004.11.004.

MEHDIZADEH, Tooraj; LANGROODI, Ali Mojaddar. Chitosan coatings incorporated with propolis extract and *Zataria multiflora* Boiss oil for active packaging of chicken breast meat. *International Journal Of Biological Macromolecules*, [S.L.], v. 141, p. 401-409, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.267>.

MOHAMMADIAN, Mehdi; WALY, Mostafa I.; MOGHADAM, Maryam; EMAM-DJOMEH, Zahra; SALAMI, Maryam; MOOSAVI-MOVAHEDI, Ali Akbar. Nanostructured food proteins as efficient systems for the encapsulation of bioactive compounds. **Food Science And Human Wellness**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 199-213, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.009>.

MORENO, María Alejandra et al. Antifungal edible coatings containing Argentinian propolis extract and their application in raspberries. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 107, p. 105973, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105973>.

MUDALIP, S.K. Abdul; KHATIMAN, M.N.; HASHIM, N.A.; MAN, R. Che; ARSHAD, Z.I.M.. A short review on encapsulation of bioactive compounds using different drying techniques. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 42, p. 288-296, 2021. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.543>

OROIAN, Mircea; URSACHI, Florin; DRANCA, Florina. Influence of ultrasonic amplitude, temperature, time and solvent concentration on bioactive compounds extraction from propolis. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 64, p. 105021, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105021>.

PANT, Kirty; THAKUR, Mamta; CHOPRA, Harish Kumar; NANDA, Vikas. Encapsulated bee propolis powder: drying process optimization and physicochemical characterization. **Lwt**, [S.L.], v. 155, p. 112956, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112956>.

POBIEGA, Katarzyna; KRAŚNIEWSKA, Karolina; GNIEWOSZ, Małgorzata. Application of propolis in antimicrobial and antioxidative protection of food quality – A review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 83, p. 53-62, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.007>.

QUIROZ, Julián Quintero; VELAZQUEZ, Víctor; CORRALES-GARCIA, Ligia Luz; TORRES, Juan D.; DELGADO, Efreñ; CIRO, Gelmy; ROJAS, John. Use of Plant Proteins as Microencapsulating Agents of Bioactive Compounds Extracted from Annatto Seeds (*Bixa orellana* L.). **Antioxidants**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 310, 13 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9040310>.

RIVAS, Claudia Janeth Martínez; TARHINI, Mohamad; BADRI, Waisudin; MILADI, Karim; GREIGE-GERGES, Hélène; NAZARI, Qand Agha; RODRÍGUEZ, Sergio Arturo Galindo; ROMÁN, Rocío Álvarez; FESSI, Hatem; ELAISSARI, Abdelhamid. Nanoprecipitation process: from encapsulation to drug delivery. **International Journal Of Pharmaceutics**, [S.L.], v. 532, n. 1, p. 66-81, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.08.064>.

SALLEH, Sharifah Nur Amalina Syed; HANAPIAH, Nur Ayuni Mohd; JOHARI, Wan Lutfi Wan; AHMAD, Hafandi; OSMAN, Nurul Huda. Analysis of bioactive compounds and chemical composition of Malaysian stingless bee propolis water extracts. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 28, n. 12, p. 6705-6710, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.049>.

SAMSUDIN, Hayati; HANI, Norziah M.. Use of Starch in Food Packaging. In: **Starch-Based Materials In Food Packaging**, [S.L.], p. 229-256, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-809439-6.00008-x>.

SCHMIELE, Marcio; SAMPAIO, Ulliana Marques; CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva. Basic Principles. In: **Starches For Food Application**, [S.L.], p. 1-22, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-809440-2.00001-0>.

SILVA, Bruna Lallo da. **A INFLUÊNCIA DO TAMANHO DAS NANOPARTÍCULAS NAS PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS DO ZnO**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Câmpus de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2017.

SINGLETON, Vernon L.; ORTHOFER, Rudolf; LAMUELA-RAVENTÓS, Rosa M.. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Oxidants And Antioxidants Part A**, [S.L.], p. 152-178, 1999. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1).

SMAOUI, Slim; HLIMA, Hajer Ben; BRAÏEK, Olfa Ben; ENNOURI, Karim; MELLOULI, Lotfi; KHANEGHAH, Amin Mousavi. Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. **Meat Science**, [S.L.], v. 181, p. 108585, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108585>.

TAVARES, Loleny; SMAOUI, Slim; LIMA, Paulo Silva; OLIVEIRA, Martinho Marques de; SANTOS, Lúcia. Propolis: encapsulation and application in the food and pharmaceutical industries. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 127, p. 169-180, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.003>.

VALENCIA, Germán Ayala; MORAES, Izabel Cristina Freitas; LOURENÇO, Rodrigo Vinicius; BITTANTE, Ana Mônica Quinta Barbosa; SOBRAL, Paulo José do Amaral. Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes*K.) fruit.

Starch - Stärke, [S.L.], v. 67, n. 1-2, p. 163-173, 7 nov. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/star.201400097>.

YAN, Xiaoxia; DIAO, Mengxue; YU, Yali; GAO, Feng; WANG, Erlei; WANG, Zuozhao; ZHANG, Tiehua. Influence of esterification and ultrasound treatment on formation and properties of starch nanoparticles and their impact as a filler on chitosan based films characteristics. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 179, p. 154-160, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.004>.

YUSOFF, Ida Madiha; TAHER, Zarani Mat; RAHMAT, Zaidah; CHUA, Lee Suan. A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. **Food Research International**, [S.L.], v. 157, p. 111268, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268>.