

Fortaleza, CE / Novembro, 2025

Uso de biopolímeros na formação de macroesferas do tipo *bubble*



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1677-1915 / e-ISSN 2179-8184

Documentos 204

Novembro, 2025

Uso de biopolímeros na formação de macroesferas do tipo *bubble*

*Joana de Barros Alexandre
Roselayne Ferro Furtado
Laura Maria Bruno*

***Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2025***

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Pernambuco, 2.270, Pici
CEP 60.511-110 – Fortaleza, CE
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

José Roberto Vieira Junior

Secretária-executiva

Celli Rodrigues Muniz

Membros

Afrânio Arley Teles Montenegro, Aline

Saraiva Teixeira, Eveline de Castro

Menezes, Francisco Nelsieudes

Sombra Oliveira, Helenira Ellery

Marinho Vasconcelos, Kirley Marques

Canuto, Laura Maria Bruno, Marlon

Vagner Valentim Martins, Pablo Busatto

Figueiredo, Roselayne Ferro Furtado e

Sandra Maria Moraes Rodrigues

Edição executiva

Celli Rodrigues Muniz

Revisão de texto

José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica

Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

José Cesamildo Cruz Magalhães

Fotos da capa

Joana de Barros Alexandre

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Alexandre, Joana de Barros

Uso de biopolímeros na formação de macroesferas do tipo *bubble* / Joana de
Barros Alexandre, Roselayne Ferro Furtado e Laura Maria Bruno. – Fortaleza :
Embrapa Agroindústria Tropical, 2025.

PDF (16 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-
8184 ; 204).

1. Biopolímeros. 2. Macroesferas alimentícias. 3. Gelificação iônica. 4. Encapsulação.
I. Furtado, Roselayne Ferro. II. Bruno, Laura Maria. III. Série.

CDD 664.024

Rita de Cassia Costa Cid (CRB-3/624)

© 2025 Embrapa

Autores

Joana de Barros Alexandre

Química, doutora em Ciências Naturais,
Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza,
CE

Roselayne Ferro Furtado

Bióloga, doutora em Biotecnologia,
pesquisadora da Embrapa Agroindústria
Tropical, Fortaleza, CE

Laura Maria Bruno

Engenheira de Alimentos, doutora em
Ciências Biológicas, pesquisadora da
Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza,
CE

Apresentação

As *bubbles* são macroesferas alimentícias semissólidas com uma variedade de cores e sabores, visualmente bastante atrativas e frequentemente adicionadas a bebidas. A formação dessas *bubbles* pode ser realizada com substâncias naturais por meio de um processo rápido que ocorre à

temperatura ambiente, usando-se a técnica de gelificação iônica. Este trabalho descreve a técnica de gelificação iônica, o uso de alginato, carragenina e pectina como matrizes encapsulantes para a formação das *bubbles* e discute sua aplicação em alimentos.

Gustavo Adolfo Saavedra Pinto
Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

Sumário

Introdução	9
A técnica de gelificação iônica	10
Uso de biopolímeros	12
Alginato de sódio	12
Carragenina	13
Pectinas	13
Considerações finais	14
Referências	14

Introdução

As macroesferas conhecidas como *bubbles* popularizaram-se em bebidas como o *bubble tea*, *boba balls* ou *pearl tea*. Esse produto é feito à base de chá ou leite e contém pequenas esferas de amido de mandioca (também conhecido como amido de tapioca) saborizadas e coloridas, tornando-o mais atrativo sensorialmente. Acredita-se que essa ideia tenha surgido em Taiwan na década de 1980. Desde então, o produto tem ganhado destaque, especialmente em países com uma cultura forte de consumo de chá. Em 2021, o Sudeste da Ásia se tornou um mercado importante para marcas de chá com *bubbles*, alcançando um faturamento de US\$ 3,66 bilhões (Yen, 2022).

As *bubbles teas* chegaram ao Brasil por volta de 2016 e, atualmente, são comercializadas não

apenas em chás, mas também em sucos, permitindo várias combinações de cores e sabores em uma única bebida.

As esferas (Figura 1) lembram bolinhas de sagu, uma sobremesa tradicional muito conhecida no Sul do Brasil, feita a partir da fécula de mandioca; depois de cozidas, as esferas ficam macias e com aspecto translúcido. A cor geralmente avermelhada do sagu é adquirida durante o cozimento em suco de uva ou vinho.

No entanto, muitas das *bubbles* comercializadas hoje apresentam como diferencial uma película mais fina, que estouram na boca com uma leve compressão, proporcionando uma experiência refrescante e divertida ao consumidor, diferenciando-se do sagu, que consiste em uma massa gelificante mastigável de amido geralmente saborizada (Silva-e-Silva et al., 2021).

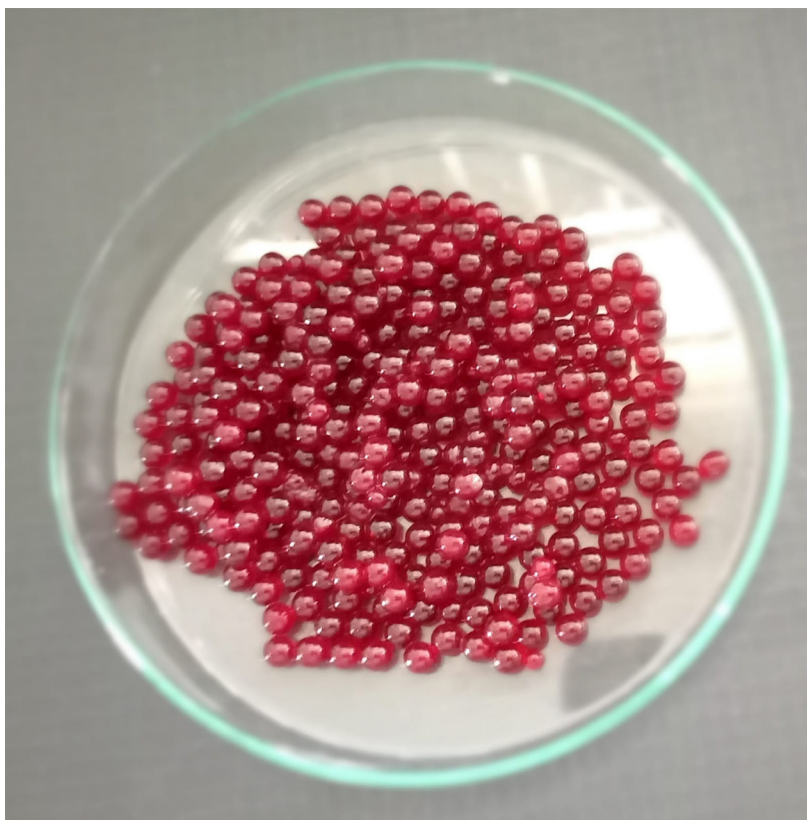


Foto: Joana de Barros Alexandre

Figura 1. *Bubbles* de alginato de sódio com extrato aquoso de beterraba.

Na gastronomia, é comum denominar a técnica de formação das macroesferas (*bubbles*) como esferificação, na qual um material líquido é revestido por um filme polimérico, geralmente biopolímeros, formando uma esfera com núcleo líquido (Tsai et al., 2017).

O alginato de sódio oriundo de várias espécies de algas marrons é o biopolímero comumente

utilizado, mas outros também podem ser aplicados na formação dessas macroesferas. Diferentemente da produção das *bubbles* de amido de tapioca, que precisam do aquecimento, as *bubbles* produzidas por gelificação iônica são formadas em poucos segundos à temperatura ambiente devido à reticulação, que ocorre na presença de alguns íons (Lee; Rogers, 2012) (Figura 2).

Condições amenas de processamento são particularmente interessantes quando se busca a adição de compostos termolábeis ou bioativos. Um exemplo disso são esferas contendo micro-organismos probióticos, em que a proteção proporcionada pelas paredes das esferas pode manter a viabilidade dos micro-organismos (Alexandre, 2023; Alexandre et al., 2025).

Além dessa possibilidade de ter característica funcional, novas macroesferas podem ser formadas buscando-se atender a outros aspectos de saudabilidade, como menor teor de carboidratos e ausência de corantes artificiais (Alexandre et al., 2024).

Em vista do crescente consumo das macroesferas no Brasil, cujos sabores e formulações estão sendo adaptados às preferências dos consumidores brasileiros, esta revisão apresentará a técnica de gelificação iônica, as principais matérias-primas utilizadas na formação das macroesferas tipos *bubbles* e sua aplicação em alimentos.

A técnica de gelificação iônica

A tecnologia de encapsulação é utilizada para proteger substâncias ativas de condições ambientais adversas e permitir sua liberação em condições específicas, como alterações de pH ou forças osmóticas. A escolha da técnica de encapsulação depende das características da substância a ser encapsulada, dos custos envolvidos e do mecanismo de liberação desejado.

A gelificação iônica consiste em uma solução polimérica interagir com eletrólitos de cargas opostas, ocorrendo a reticulação das cadeias poliméricas e formando um gel insolúvel. Existem dois principais tipos de gelificação iônica: gelificação externa (GE) e gelificação interna (GI) (Figura 2). Na GE, também denominada de esferificação convencional ou clássica, uma solução de alginato contendo o composto de interesse é gotejada sobre uma solução iônica, geralmente cloreto de cálcio.

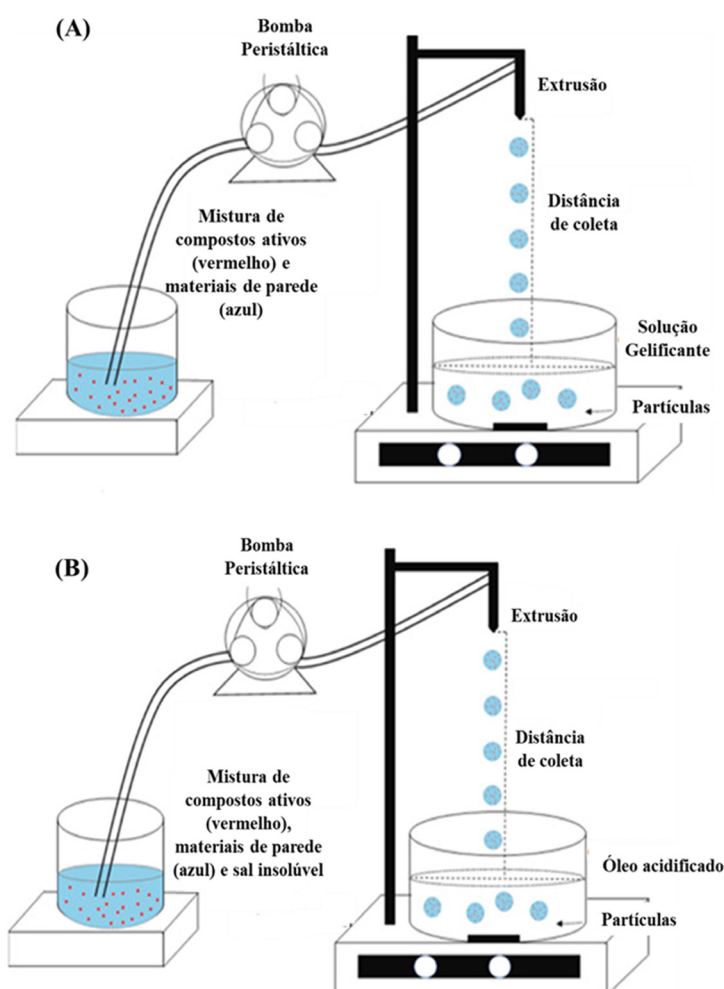


Figura 2. Processo de formação das macroesferas por gelificação iônica externa (A) e interna (B).

Fonte: Joana de Barros Alexandre.

A reticulação das partículas ocorre instantaneamente, começando na superfície onde os cátions reagem com as cadeias aniônicas do alginato, favorecendo a reticulação das cadeias poliméricas do exterior para o interior. Uma solução contendo íons, por exemplo, de cloreto de cálcio também pode ser gotejada em um banho de alginato, e esse processo é conhecido como esferificação reversa ou gelificação iônica reversa. Na GI, por sua vez, é preparada uma solução contendo o agente gelificante, o sal e o composto de interesse, que é gotejada em óleo acidificado (Aguero et al., 2021; Nicholas, 2022,

Alexandre et al., 2024). A liberação dos íons ocorre em função de ajuste no pH.

Vários fatores devem ser controlados no processo de formação das *bubbles*, entre eles a concentração de alginato e dos íons, a altura do gotejador, o pH, a temperatura e a viscosidade podem influenciar as características finais das *bubbles* (textura, resistência, etc.) e a morfologia esférica (Messaoud et al., 2016; Hu et al., 2020; Liu et al., 2020; Bennacef et al., 2021). Na Tabela 1, são apresentados trabalhos que utilizaram a técnica de gelificação iônica para obtenção de esferas tipo *bubble*.

Tabela 1. Descrição de trabalhos que utilizaram a técnica de gelificação iônica para produção de *bubbles*.

Técnica	Composto de interesse	Polímero	Resultados	Referências
Gelificação iônica externa	Cafeína	Alginato combinado com pectina, carragenina, quitosana e psyllium	O revestimento de quitosana em esferas de alginato retarda a liberação de cafeína. O uso de revestimento de psyllium ou quitosana diminuiu a intensidade do amargor da cafeína. Combinação de alginato e psyllium ou quitosana ideal para imobilizar cafeína.	Belščak-Cvitanić et al. (2015)
	Folha de bardana	Alginato de sódio	A maior concentração de cálcio tornou as esferas de núcleo líquido mais estável durante o tratamento térmico.	Tsai et al. (2017)
	<i>Syzygium caryophyllatum</i>	Alginato de sódio	Preparação de esferas de hidrogel de núcleo líquido usando-se polpa de fruta <i>Syzygium caryophyllatum</i> rica em antioxidantes como um lanche saudável.	Kasunmala et al. (2020)
Gelificação iônica reversa	<i>Berberis vulgaris</i>	Alginato de sódio	O aumento na concentração de alginato de sódio melhorou a dureza e reduziu a destruição de antioxidantes e o conteúdo fenólico total durante o armazenamento.	Maleki et al. (2020)
	Pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	Alginato de sódio, carragenina kappa e uma combinação de iota carragenina-alginato de sódio	Esferas de Kappa com menores valores de calorias, dureza e força de ruptura foi o ideal para ser aplicado em bebidas.	Bubin et al. (2019)
Gelificação iônica externa	Probióticos e suco de laranja	Alginato de sódio	As bactérias probióticas permaneceram viáveis em 10 ⁸ UFC por 14 dias e armazenadas a 4 °C.	Tanganurat (2020)
Gelificação iônica externa	Probiótico e bebida de soja saborizada	Alginato de sódio	As bactérias probióticas permaneceram viáveis em 10 ⁸ UFC por 30 dias e armazenadas a 8 °C.	Alexandre (2023), Alexandre et al. (2025)
Gelificação iônica interna e externa	Corante de beterraba	Alginato de sódio	As esferas apresentaram diferentes características e mecanismos de liberação do corante.	Alexandre (2023), Alexandre et al. (2025)

Uso de biopolímeros

A escolha do material de parede deve ser planejada para a proteção do composto ativo, uma vez que impacta diretamente na eficiência do encapsulamento, na estabilidade das partículas e na proteção do núcleo (Timilsena et al., 2019). Portanto, a seleção do material deve ser feita com cuidado, considerando-se critérios como a capacidade de formar filmes, a ausência de toxicidade, a não reatividade com o material do núcleo e a proteção contra fatores que possam afetar sua viabilidade (Rodrigues et al., 2020).

A seguir, são apresentadas informações sobre três polissacarídeos que são usados na área de alimentos (considerando-se as características gelificantes, facilidade de extração e atoxicidade) e descritos para a formação das *bubbles* adotando-se a técnica de gelificação iônica.

Alginato de sódio

Indubitavelmente, o alginato de sódio é o polímero mais usado nos estudos de formação das esferas por gelificação iônica, sendo favorecido devido ao baixo custo, à atoxicidade e à alta resistência térmica, além de ser biocompatível e biodegradável. O alginato é um polissacarídeo aniônico natural, obtido principalmente de algas marrons, constituído por unidades de ácido β -D-manurônico e α -L-gulurônico ligados por ligação glicosídica (1 $\rightarrow$ 4) (Liu et al., 2019). A proporção e distribuição das unidades monossacarídicas ao longo do polímero varia de acordo com a espécie da alga (Painter, 1983).

O alginato oferece diversas possibilidades de aplicação, podendo ser utilizado como espessante, estabilizante, gelificante em alimentos e bebidas, além de servir como material de parede na encapsulação de compostos de interesse. Géis de alginato com menor elasticidade são formados quando há uma baixa proporção de manose em relação ao ácido gulurônico, enquanto géis de alginato mais flexíveis são obtidos com uma maior proporção de manose em relação ao ácido gulurônico (Mitchell; Blanshard, 1976).

A encapsulação com a utilização de alginato tem sido amplamente estudada devido à sua capacidade de formar redes reticuladas rapidamente na presença de cátions polivalentes em meio aquoso, aprisionando compostos ativos, protegendo-os de

fatores ambientais e liberando-os de forma controlada. A formação das esferas de alginato ocorre por meio da gelificação iônica, em que os blocos de ácidos gulurônicos ligam-se aos cátions presentes em soluções polieletrólíticas. O alginato possui maior afinidade com cátions de metais alcalinoterrosos na seguinte ordem: $Mg^{2+} < Ca^{2+} < Sr^{2+} < Ba^{2+}$ (Kohn, 1975), sendo o íon Ca^{2+} o mais comum para a gelificação. Em comparação com a gelificação realizada com cátions bivalentes, os cátions trivalentes, como Al^{3+} e Fe^{3+} , intensificam a ligação com o biopolímero, resultando em uma rede de gel mais compacta (Vicini et al., 2017).

A interação do alginato com os cátions presentes em solução possibilitam a formação de um gel termoe estável, cujas propriedades dependem da constituição do polímero e da técnica de preparação (Bennacef et al., 2021). Os íons polivalentes ficam localizados dentro de cavidades eletronegativas, assemelhando-se a ovos em uma caixa de ovos, e a partir de então surgiu o termo modelo “caixa de ovo” (Cao et al., 2020).

A literatura relata com frequência o uso de alginato na formação de *bubbles*. Patomchaiviat et al. (2022) encapsularam bebidas energéticas pela técnica de esferificação reversa e avaliaram a influência de diferentes sais de cálcio para produzir *bubbles*. Os autores verificaram que melhor condição foi de gluconatolactato de cálcio a 1% (p/v) e alginato de sódio a 1% (p/v), com tempo de formação de 10 minutos, proporcionando a espessura da *bubble* de 0,46 mm. Liu et al. (2021) desenvolveram *bubbles* conhecidas em Taiwan como *boba balls* com sabor de laranja utilizando alginato de sódio. Os autores investigaram os parâmetros necessários para a formação das esferas, como as concentrações de alginato de sódio e cloreto de sódio, além da estocagem em diferentes temperaturas. Eles estimaram que as partículas poderiam ser estocadas por mais de um ano se fossem armazenadas em temperaturas abaixo de 10 °C.

Bubbles probióticas também são relatadas na literatura. De Moura (2021) produziu *bubbles* de alginato e pectina contendo bactérias encapsuladas e aplicou-as na fermentação do leite com o objetivo de produzir um iogurte com *bubbles*. Guimarães et al. (2013) desenvolveram esferas de alginato de sódio probióticas semelhantes a ovas de peixe para serem usadas como ingrediente na culinária. Alexandre (2023) elaborou bebida de soja sabor uva com *bubbles* probióticas produzidas por gelificação externa com alginato e goma xantana e verificou que os micro-organismos permaneceram viáveis em condições ácidas ao longo de trinta dias.

Outras aplicações, além de sucos e chás, também estão sendo consideradas para as *bubbles*. Yuasa et al. (2019) utilizaram 1% (m/m) de alginato de sódio e 5% (m/m) de lactato de sódio para produzir caviars moleculares sobre uma base de sopa de macarrão japonesa líquida e temperada (*mentsuyu*).

Carragenina

Carrageninas ou carragenas são polissacarídeos com propriedades gelificantes e espessantes obtidos de espécies de algas vermelhas. Assim como o alginato, são macromoléculas de baixo custo relativo e fáceis de obter. A carragenina é uma poligalactana sulfatada com 15 a 40% de éster-sulfato (Necas; Bartosikova, 2013). A estrutura das carrageninas consiste em uma cadeia principal de D-galactose e resíduos de 3,6-anidro- α -D-galactopiranosose (AG), alternadamente ligados por ligações glicosídicas α -1,3 e β -1,4. Existem vários tipos de carrageninas, mas as mais conhecidas são as kappa (κ), iota (ι) e lambda (λ), que se diferenciam pela quantidade e posição dos grupos sulfato, além da presença ou ausência de uma ponte 3,6-anidro na galactose ligada em 1 e 4 (Castro, 2002; Hayashi, 2001). Níveis mais altos de éster de sulfato estão relacionados à menor solubilidade e menor força de gel. A carragenina do tipo iota possui um teor de éster de sulfato de aproximadamente 28 a 30% e um teor de 3,6-AG em torno de 25 a 30%. Já a carragenina do tipo lambda apresenta um teor de éster de sulfato entre 32 a 39% e não contém resíduos de 3,6-AG (Barbeyron et al., 2000).

De forma semelhante ao alginato, certos cátions, como K^+ , podem se ligar à cadeia estrutural da carragenina por meio de ligações eletrostáticas, promovendo sua gelificação. Essa interação íon-polissacarídeo resulta na redução da repulsão eletrostática entre as cadeias e na estabilização das cadeias de carragenina, o que ocorre com as carrageninas do tipo kappa e iota. Em contraste, a carragenina do tipo lambda não forma gel na presença de cátions monovalentes ou divalentes, produzindo apenas uma solução viscosa (Cao et al., 2018; Geonzon et al., 2020).

Carragenina e outros polissacarídeos podem ser utilizados como copolímeros do alginato na formação de esferas (Bennacef et al., 2021). As esferas formadas pela combinação de carragenina e alginato apresentaram um diâmetro maior do que as esferas feitas apenas de alginato. Além disso, a

adição de carragenina pode melhorar a elasticidade e influenciar o intumescimento induzido pelos grupos sulfato presentes nas moléculas de carragenina (Li et al., 2019). Bubin et al. (2019) utilizaram alginato combinado com carragenina do tipo kappa ou iota e aplicaram a técnica de gelificação iônica reversa para formar *bubbles* de pitaiá. Um efeito de interação entre as variáveis (composição, duração e temperatura) foi observado, impactando especialmente a elasticidade das esferas. Para alcançar uma melhor textura das *bubbles*, os autores sugeriram armazenar as esferas por até dois dias a 4 °C.

Pectinas

A pectina é um polissacarídeo complexo encontrado na parede celular das plantas. Naturalmente, a pectina está associada à celulose, hemicelulose e lignina. Comercialmente, é obtida principalmente a partir da casca de frutos cítricos e de maçãs, com um rendimento de aproximadamente 30 a 35% (m/m) de pectina. Ela é amplamente utilizada como espessante, estabilizante e gelificante no processamento de alimentos. A formação de gel é a principal característica funcional da pectina e depende de vários fatores, como o pH, a concentração de sólidos solúveis, a presença de cátions e o seu grau de esterificação (Menezes et al., 2015).

O principal componente da pectina é α (1 $\rightarrow$ 4) ácido galacturônico (GalA) e um número variável de grupos éster metílico, os quais contribuem para a classificação das pectinas em pectinas de baixo (< 50%) a alto grau de esterificação (> 50%) (Correa, 2008; Muzzarelli et al., 2012). As pectinas de baixo grau de esterificação formam géis na presença de íons bivalentes, como cálcio ou outros metais bi ou trivalentes, em uma ampla faixa de pH. Os grupos carboxilato livres de GalA interagem com esses cátions bivalentes, resultando na formação de uma estrutura conhecida como "modelo caixa de ovo", também conhecida para os géis de alginato. Já a gelificação das pectinas de alto grau de esterificação ocorre tipicamente em pH baixo (< 3,5) e requer alta concentração de sacarose como co-soluto (Cui et al., 2024).

Estudos na literatura sobre a utilização de pectina como principal componente de matrizes encapsulantes para *bubbles* são escassos, embora seu uso seja possível. A baixa frequência de uso de pectina na produção de *bubbles* pode estar relacionada ao baixo rendimento na extração desse

polímero (Vanitha; Khan, 2019). No entanto, na área de encapsulação, é mais comum o uso da pectina em combinação com outros biopolímeros, a exemplo de gelatina, alginato e quitosana (Tamnak et al., 2016; Souza; Gurak; Marczak, 2017; Guo; Giusti; Kaletunk, 2018; De Moura, 2021).

Considerações finais

Polissacarídeos naturais, como pectinas, alginato e carragenina, usados isoladamente ou em combinação, são matérias-primas para a formulação de novas macroesferas do tipo *bubbles* em sucos, chás, iogurtes e outros produtos alimentícios. Os alimentos indulgentes, entre os quais as *bubbles* se enquadram, representam uma nova tendência de consumo, em que os aspectos de saudabilidade também precisam ser contemplados para atender aos novos critérios de preferência dos consumidores. Muitas vezes, a composição de macroesferas comerciais não atende ao aspecto de saudabilidade, sendo tecnologias com alto teor de açúcar e corantes artificiais. Pesquisas com compostos naturais e coloridos, menor teor de açúcar adicionado e diversificação de aplicação das macroesferas, são desafios e oportunidades que podem ser exploradas pelas indústrias que buscam novos nichos de mercado.

Referências

- ALEXANDRE, J. B. **Encapsulação por gelificação iônica de extrato aquoso de beterraba e de probiótico *Bifidobacterium animalis* BB-12**. 2023. 89 p. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.
- ALEXANDRE, J. de B.; SILVA, L. C. da; CASTELO, R. M.; FREIRE, G. A.; BARROSO, T. L. C. T.; MIRANDA, K. W. E.; BRUNO, L. M.; FURTADO, R. F.; CHENG, H. N.; BISWAS, A. Probiotics-encapsulated soy beverage spheres: Functional and technological characteristics. **Ciência e Tecnologia de Alimentos (Online)**, v. 45, p. e00387. 2025.
- ALEXANDRE, J. de B.; BARROSO, T. L. C. T.; SILVA, L. C. da; CASTELO, R. M.; FREIRE, G. A.; NASCIMENTO, A. B.; CHENG, H. N.; BISWAS, A.; BRUNO, L. M.; FURTADO, R. F. Encapsulation of beetroot extract (*Beta vulgaris* L.) obtained by internal and external ionic gelation: a comparative study. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 44, p. e00225, 2024.
- AGUERO, L.; ALPDAGTAS, S.; ILHAN, E.; ZALDIVAR-SILVA, D.; GUNDUZ, O. Functional role of crosslinking in alginate scaffold for drug delivery and tissue engineering: A review. **European Polymer Journal**, v. 160, 110807, 2021.
- BARBEYRON, T.; MICHEL, G.; POTIN, P.; HENRISSAR, B.; KLOAREG, B. κ -Carrageenases Constitute a Novel Family of Glycoside Hydrolases, Unrelated to That of κ -Carrageenases. **Journal of Biological Chemistry**, v. 275, p.35499-35505, 2000.
- BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; KOMES, D.; KARLOVIĆ, S.; DJAKOVIĆ, S.; ŠPOLJARIĆ, I.; MRŠIĆ, G.; JEŽEK, D. Improving the controlled delivery formulations of caffeine in alginate hydrogel beads combined with pectin, carrageenan, chitosan and psyllium. **Food Chemistry**, v. 167, p. 378-386, 2015.
- BENNACEF, C.; DESOBRY-BANON, S.; PROBST, L.; DESOBRY, S. Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. **Food Hydrocolloids**, v. 118, 106782, 2021.
- BUBIN, S. F. A.; ALI, S. M.; SHUKRI, R.; IBADULLAH, W. Z. W.; RAMLI, N. S.; MUSTAPHA, N. A.; RASHEDI, I. F. M. Characterization and stability of pitaya pearls from hydrocolloids by reverse spherification. **International Journal of Food Properties**, v. 22, p. 1353-1364, 2019.
- CAO, L.; LU, W.; MATA, A.; NISHIRANI, K.; FANG, Y. Egg-box model-based gelation of alginate and pectin: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 242, 116389, 2020.
- CAO, Y.; LI, S.; FANG, Y.; NISHINARI, K.; PHILLIPS, G. O.; LERBRET, A.; ASSIFAOU, A. Specific binding of trivalent metal ions to λ -carrageenan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 350-356, 2018.
- CASTRO, A. G. **Química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2002, 295 p.
- CORREA, R. M. **Produção de micropartículas por gelificação iônica para alimentação de larvas de peixe: Estudos em Sistema-Modelo com inclusão de micropartículas lipídicas ou emulsão lipídica e Testes in vivo**. 2008. 177 p. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- CUI, J.; LIU, D.; ZHANG, Y.; MA, M.; SHANG, M.; ZHAO, C.; LU, X.; ZHAO, C.; ZHENG, J. Structural characteristics and gelling properties of citrus pectins after chemical and enzymatic modifications:

Conformation plays a vital role in Ca^{2+} -induced gelation. **Food Chemistry**, v. 459, 140370, 2024.

DE MOURA, R. V. **Viabilidade de produto lácteo tipo bubble tea à base de iogurte com esferas de alginato, pectina e cloreto de cálcio**. 44 p. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

GEONZON, L. C.; ZHUANG, X.; SANTOYA, A. M.; BACABAC, R. G.; XIE, J.; MATSUKAWA, S. Gelation mechanism and network structure of mixed kappa carrageenan/lambda carrageenan gels studied by macroscopic and microscopic observation methods. **Food Hydrocolloids**, v. 105, 105759, 2020.

GUIMARÃES, R. R.; VENDRAMINI, A. L. A.; SANTOS, A. C.; LEITE, S. G. F.; MIGUEL, M. A. L. Development of probiotic beads similar to fish eggs. **Journal of Functional Foods**, v. 5, p. 968-973, 2013.

GUO, J.; GIUSTI, M. M.; KALETUNÇ, G. Encapsulation of purple corn and blueberry extracts in alginate-pectin hydrogel particles: Impact of processing and storage parameters on encapsulation efficiency. **Food Research International**, v. 107, p. 414-422, 2018.

HAYASHI, L. **Extração, teor e propriedades de carragenana de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba, SP**. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica, Ubatuba, 2001.

HU, M.; ZHENG, G.; ZHAO, D.; YU, W. Characterization of the structure and diffusion behavior of calcium alginate gel beads. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 137, 2020.

KASUNMALA, I. G. G.; NAVARATHNE, S. B.; WICKRAMASINGHE, I. Preparation of liquid-core hydrogel beads using antioxidant-rich *Syzygium caryophyllatum* fruit pulp as a healthy snack. **Journal of Texture Studies**, v. 51, p. 937-947, 2020.

KOHN, R. Ion binding on polyuronates–alginate and pectin. **Pure and Applied Chemistry**, v. 42, p. 371-39, 1975.

LEE, P.; ROGERS, M. A. Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 1, p. 96-100, 2012.

LI, L.; ZHAO, J.; SUN, Y.; YU, F.; MA, J. Ionically cross-linked sodium alginate/k-carrageenan double-network gel beads with low-swelling, enhanced mechanical properties, and excellent adsorption performance. **Chemical Engineering Journal**, v. 372, p. 1091-1103, 2019.

LIU, H.; LIU, F.; MA, Y.; GOFF, H. D.; ZHONG, F. Versatile preparation of spherically and mechanically controllable liquid-core-shell alginate-based bead through interfacial gelation. **Carbohydrate Polymers**, v. 236, 115980, 2020.

LIU, J.; YANG, S.; LI, X.; YAN, Q.; REANEY, M. J. T. JIANG, Z. Alginate Oligosaccharides: Production, Biological Activities, and Potential Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 1859-1881, 2019.

LIU, Y.; CHENG, H.; WU, D. Preparation of the Orange Flavoured “Boba” Ball in Milk Tea and Its Shelf-Life. **Applied Sciences**, v. 11, 2021.

MALEKI, M.; MORTAZAVI, S. A.; YEGANEHAD, S.; PEDRAM, A. Study on liquid core barberry (*Berberis vulgaris*) hydrogel beads based on calcium alginate: Effect of storage on physical and chemical characterizations. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, e14426, 2020.

MENEZES, M. F. S. C.; RODRIGUES, L. Z.; CAVALHEIRO, C. P.; ETCHEPARE, M. A.; MENEZES, C. R. Microencapsulation of probiotics by using external ionic gelling pectin. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 30-37, 2015.

MESSAOUD, G. B.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L.; PROBST, L.; DESOBRY, S. Influence of internal composition on physicochemical properties of alginate aqueous-core capsules. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 469, p. 120-128, 2016.

MITCHELL, J. R.; BLANSHARD, J. M. V. Rheological properties of alginate gels. **Journal of Texture Studies**, v. 7, p. 219-234, 1976.

MUZZARELLI, R. A. A.; BOUDRANT, J.; MEYER, D.; MANNO, N.; DEMARCHIS, M.; PAOLETTI, M. G. Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, p. 995-1012, 2012.

NECAS, J.; BARTOSIKOVA, L. Carrageenan: a review. **Veterinarni Medicina**, v. 58, p. 187-205, 2013.

NICHOLAS, D.; CHUA, H. P.; TERESA, A. M.; HAZIJAH, M. H.; ZAKARIA, A. R. Transforming liquids into pops of flavours by using Juice Pearl Kit. **Food Research**, p. 91-96, 2022.

PAINTER, T. J. Algal Polysaccharides. In: ASPINALL, G. O. **The Polysaccharides**. New York: Academic Press, 1983. v. 2, p. 195-285.

PATOMCHAIWAT, V.; SRIAMORNSAK, P.; CHANSIRI, G.; LIMMATVAPIRAT, S.; SUPAWATTANAKUL, A.; CHONGANON, T.; KEATTITEERACHAI, A.;

PIRIYAPRASARTH, S. Development of edible bubbles of calcium alginate for encapsulating energy drinks.

Science, Engineering and Health Studies, v. 16, 22050018, 2022.

RODRIGUES, F. J.; CEDRA, M. F.; BICAS, J. L.; SATO, H. H. Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A narrative review. **Food Research International**, v. 137, e109682, 2020.

SILVA-E-SILVA, A. C. A. G. da; TEODORO, A. J.; SANTANA, I. Sagu de mandioca no Brasil: um paralelo entre a pesquisa de mercado e a rotulagem de alimentos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e242101220337, 2021

SOUZA, A. C. P.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F. Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. **Food and Bioproducts Processing**, v. 102, p. 186-194, mar. 2017.

TAMNAK, S.; MIRHOSSEINI, H.; TAN, C. P.; AMID, B. T.; KAZEMI, M.; HEDAYTNIA, S. Encapsulation properties, release behavior and physicochemical characteristics of water-in-oil-in-water (W/O/W) emulsion stabilized with pectin-pea protein isolate conjugate and Tween 80. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 599-608, 2016.

TANGANURAT, P. Probiotics encapsulated fruit juice bubbles as functional food product. **International Journal of GEOMATE**, v. 19, 2020.

TIMILSENA, Y. P.; AKANBI, T. O.; KHALID, N.; ADHIKARI, B.; BARROW, C. J. Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 1276-1286, 2019.

TSAI, F. H.; CHIANG, P. H.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; ISLAM, M. Z. Producing liquid-core hydrogel beads by reverse spherification: Effect of secondary gelation on physical properties and release characteristics. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 140-148, 2017.

VANITHA, T.; KHAN, M. Role of pectin in food processing and food packaging. **Technology Open**, v. 4, p. 16-23, 2019.

VICINI, S.; MAURI, M.; WICHERT, J.; CASTELLANO, M. Alginate gelling process: Use of bivalent ions rich microspheres. **Polymer Engineering & Science**, v. 57, p. 531-536, 2017.

YEN, H. Vietnam remains SEA's third largest bubble tea market: Report. **Hanoi times**, 2022. Disponível em: <https://hanoitimes.vn/vietnam-remains-seas-third-largest-bubble-tea-market-report-321555.html>. Acesso em: Jan. 2024.

YUASA, M.; TAGAWA, Y.; TOMINAGA, M.; TOMINAGA, M. The texture and preference of “mentsuyu (Japanese noodle soup base) caviar” prepared from sodium alginate and calcium lactate. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 18, 100178, 2019.

