

NANOENCAPSULAÇÃO DE EXTRATO DE AMORA-PRETA (*RUBUS SP.*): MORFOLOGIA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

LARISSA MENEZES DA SILVEIRA¹; NATHALIA STARK PEDRA²; JULIANI BUCHVEITZ PIRES³; ELESSANDRA DA ROSA ZAVAREZE⁴; MAYARA SANDRIELLY SOARES DE AGUIAR⁵; FRANCIELI MORO STEFANELLO⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – larissamenezes1999@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – nathaliastark@hotmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – juliani_97@hotmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – elessandra.zavareze@ufpel.edu.br*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – mspereirasoares@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – francieli.stefanello@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

As frutas vermelhas são amplamente reconhecidas pelo elevado teor de compostos bioativos, especialmente antocianinas, relacionadas à capacidade antioxidante e a benefícios à saúde (Cosme *et al.*, 2022). Entre elas, a amora-preta (*Rubus sp.*), pertencente à família Rosaceae, destaca-se por sua composição rica e potenciais efeitos farmacológicos, como atividade antioxidante, anticolinesterásica, neuroprotetora (Mello *et al.*, 2023) e anti-inflamatória (Velde *et al.*, 2019). Entretanto, a instabilidade desses compostos frente a fatores ambientais, como temperatura, oxigênio, luz e pH, restringe sua aplicação em formulações alimentícias e farmacêuticas.

Nesse cenário, a nanoencapsulação emerge como uma alternativa promissora para proteger compostos fenólicos da degradação, conferindo maior estabilidade e biodisponibilidade (Peng *et al.*, 2025). Entre as técnicas disponíveis, destaca-se a técnica de *electrospraying*, que utiliza um campo elétrico de alta tensão para a formação de partículas homogêneas, sem a necessidade de temperaturas elevadas, o que favorece a preservação de moléculas sensíveis (Feng *et al.*, 2023).

Como material encapsulante, o amido modificado por anidrido octenil succínico (amido-OSA) tem se sobressaído como alternativa vantajosa aos surfactantes convencionais, por sua satisfatória capacidade emulsificante, estabilidade frente a fatores ambientais e aceitação por ser considerado um composto de origem mais natural (Rehman *et al.*, 2020). Dado seu potencial para a formação de nanopartículas, a utilização do amido-OSA para a veiculação do extrato de amora-preta mostra-se promissora para a proteção dos compostos bioativos, conferindo funcionalidade e ampliando suas aplicações.

Assim, este estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar nanocápsulas de amido-OSA contendo extrato de amora-preta utilizando a técnica de *electrospraying*, com foco na análise de sua morfologia e na avaliação da atividade antioxidante em comparação ao extrato livre.

2. METODOLOGIA

2.1 Matéria-prima e extração

Frutos de amora-preta, cultivar Cainguá, foram fornecidos pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS, Brasil). O extrato foi preparado de acordo com a metodologia descrita por Chaves *et al.* (2020), com modificações. A extração foi realizada por sonicação (30 min, temperatura ambiente, escuro) utilizando

metanol (1:25, m/v), com exposição ao solvente repetida duas vezes. Após filtração e evaporação do solvente sob pressão reduzida, o resíduo foi lyophilizado, originando o extrato bruto.

2.2 Preparo das nanocápsulas por electrospray

O preparo das nanocápsulas foi realizado segundo o método descrito por Biduski *et al.* (2019), com pequenas modificações. Soluções poliméricas foram preparadas com amido-OSA (40%, p/v) em etanol 20% (v/v). O extrato de amora-preta foi adicionado (10, 15 e 20% m/m em relação ao amido). As soluções foram processadas por *electrospraying* nas condições: 28kV, 0,6 mL/h, distância de 20 cm, resultando em nanocápsulas contendo o extrato de amora-preta (BE), denominadas BE10%, BE15% e BE20%. O amido sem extrato foi utilizado como controle.

2.3. Morfologia e distribuição de tamanho

As nanocápsulas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com imagens obtidas em 3000 \times de aumento. O diâmetro foi determinado em 100 partículas selecionadas aleatoriamente usando o software ImageJ.

2.4. Atividade antioxidante

A atividade antioxidante do extrato livre e das nanocápsulas foi avaliada pelos ensaios DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995) e ABTS (Rufino *et al.*, 2007), em diferentes tempos de incubação (24, 48 e 72 h). A absorbância foi medida por espectrofotometria UV-Vis, e os resultados expressos em porcentagem de inibição do radical em comparação ao controle.

2.5 Análise estatística

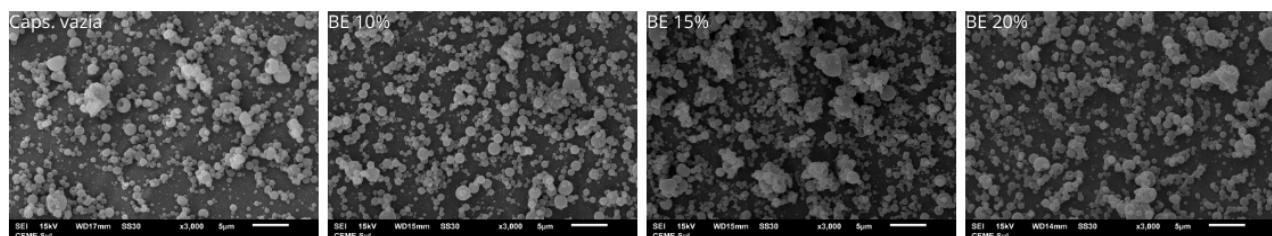
A análise estatística foi realizada por ANOVA de uma via, seguida do teste post hoc de Tukey. Diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$. Os resultados dados foram expressos como média \pm erro padrão da média (SEM).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de MEV revelaram a formação de partículas esféricas com superfície lisa (Figura 1), indicando que os parâmetros utilizados foram satisfatórios para a produção de estruturas homogêneas. Na análise do diâmetro observou-se uma média de 1094 ± 377 nm para as cápsulas vazias, e de, 1111 ± 377 nm, 1033 ± 451 nm e 1013 ± 376 nm para as formulações BE10%, BE15% e BE20%, respectivamente.

A distribuição polidispersa observada, com desvios padrão entre 376 e 451 nm, é comumente reportada na técnica de *electrospraying* e pode estar associada a flutuações no jato da solução polimérica durante o processo, variações similares foram observadas no estudo de Pires *et al.* (2022).

Figura 1. Morfologia das cápsulas de Amido-OSA.



Os resultados dos ensaios antioxidantes DPPH e ABTS, são apresentados sequencialmente na Tabela 1 e Tabela 2, demonstrando a eficácia da encapsulação. O extrato livre exibiu elevada e constante atividade em ambos os ensaios, validando seu potente perfil antioxidantante.

Para as nanocápsulas vazias observou-se um comportamento distinto, enquanto no ensaio DPPH não houve atividade, no ensaio ABTS verificou-se uma atividade baixa, mas crescente, conforme o tempo de leitura. A diferença pode estar relacionada ao mecanismo de cada ensaio, uma vez que o cátion ABTS apresenta maior sensibilidade reacional em comparação ao radical DPPH (Lee *et al.*, 2015).

Já nas formulações contendo extrato, em ambos os ensaios registrou-se relação dose dependente e ainda um padrão de liberação sustentada. As formulações com 10% e 15% de extrato, em ambos os testes, demonstraram atividades moderadas e crescentes ao longo do tempo. Destacou-se a formulação com 20% de extrato, que demonstrou elevada atividade antioxidantante no ensaio DPPH, de quase 60% após 72 h, e aumento significativo no ensaio ABTS, com variação de aproximadamente 30% em 24 h para 60% em 72 h. Estes resultados indicam a liberação progressiva dos compostos bioativos contidos no extrato, a qual ocorre de forma controlada a partir da matriz do amido-OSA, sustentando uma atividade antioxidantante prolongada.

Tabela 1. Atividade antioxidantante DPPH

Extrato de amora-preta [%], p/v] ¹	24 horas	48 horas	72 horas
Extrato livre	92,07±0,11 ^{aA}	91,63±0 ^{aB}	91,05±0,13 ^{aC}
0	0 ^d	0 ^e	0 ^e
10	16,63±0,11 ^{cB}	19,44±0,90 ^{dA}	19,76±0,19 ^{dA}
15	20,22±1,09 ^{cB}	28,83±0,60 ^{cA}	30,05±1,66 ^{cA}
20	45,27±5,27 ^{bA}	54,16±6,04 ^{bA}	58,95±6,65 ^{bA}

¹ Porcentagem de extrato de amora-preta nas soluções formadoras de nanocápsulas de amido.

a,b,c Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).

A,B,C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

Tabela 2. Atividade antioxidantante ABTS

Extrato de amora-preta [%], p/v] ¹	24 horas	48 horas	72 horas
Extrato livre	100 ^{aA}	100 ^{aA}	99,77±0,23 ^{aA}
0	6,76±1,08 ^{eB}	20,32±1,03 ^{eA}	18,51±0,11 ^{eA}
10	13,82±2,45 ^{dA}	28,37±1,97 ^{dA}	25,86±1,72 ^{dA}
15	21,07±0,69 ^{cB}	37,36±2,34 ^{cA}	38,62±2,07 ^{cA}
20	30,98±0,98 ^{bC}	48,78±0,28 ^{bB}	60,46±1,84 ^{bA}

¹ Porcentagem de extrato de amora-preta nas soluções formadoras de nanocápsulas de amido.

a,b,c Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).

A,B,C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a técnica de *electrospraying* foi eficaz para a obtenção de nanocápsulas de amido-OSA contendo o extrato de amora-preta. A estratégia foi capaz de preservar os compostos bioativos e favoreceu uma liberação prolongada da atividade antioxidante. Esses achados reforçam a relevância da encapsulação como ferramenta promissora no desenvolvimento de produtos voltados ao manejo de condições associadas ao estresse oxidativo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIDUSKI, B. et al. Electrosprayed octenyl succinic anhydride starch capsules for rosemary essential oil encapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 300-307, 2019.
- BRAND-WILLIAMS, W. et al. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.
- CHAVES V. C. et al. Blackberry extract improves behavioral and neurochemical dysfunctions in a ketamine-induced rat model of mania. **Neuroscience Letters**, v. 714, 2020.
- COSME, F. et al. Red Fruits Composition and Their Health Benefits—A Review. **Foods**, v.11, n. 5, p. 644, 2022.
- FENG et al. Electrospinning and electrospraying: emerging techniques for probiotic stabilization and application. **Polymers**, v. 5, n. 2402, 2023.
- LEE, K. J. et al., Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity Determination of One Hundred Kinds of Pure Chemical Compounds Using Offline and Online Screening HPLC Assay. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 1-13, 2015.
- MELLO, J. E. et al. Therapeutic potential of blackberry extract in the preventing memory deficits and neurochemical alterations in the cerebral cortex, hippocampus and cerebellum of a rat model with amnesia. **Metabolic Brain Disease**, v. 38, p.1261-1272, 2023.
- PENG, X. et al. EGCG-based nanoparticles: synthesis, properties, and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 65, p. 2177-2198, 2025.
- PIRES, B. P. et al. Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 162, 2022.
- REHMAN, A. et al. Role of peppermint oil in improving the oxidative stability and antioxidant capacity of borage seed oil-loaded nanoemulsions fabricated by modified starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 153, p. 697-707, 2020.
- RUFINO, M. S. M. et al. Metodologia Científica : Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. **Comunicado Técnico, 128 Embrapa**, p. 3–6, 2007.
- VELDE, F. et al. Anti-inflammatory and wound healing properties of polyphenolic extracts from strawberry and blackberry fruits. **Food Research International**, v. 121, p. 453–462, 2019.