

## INTERAÇÕES INTERMOLECULARES EM SOLUÇÕES FILOGÊNICAS E DESENVOLVIMENTO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS INCORPORADOS COM ÓLEOS ESSENCIAIS.

Silvio Santos de Oliveira Júnior<sup>1</sup>, Renata Cristina Ferreira Bonomo <sup>2</sup>.

### RESUMO

A busca por materiais sustentáveis impulsionou este estudo sobre coacervados para encapsular óleo de coco (*Cocos nucifera* L.), rico em ácidos graxos de cadeia média e com propriedades bioativas. Utilizando a coacervação interfacial com gelatina (catiônica em pH ácido) e goma arábica (aniônica em meio aquoso), foram exploradas concentrações de núcleo (100%, 80%, 60%, 40%) e faixas de pH (3,0-5,0). A otimização revelou que o pH entre 3,5 e 4,0 é ideal para formar núcleos mononucleados eficientes, independentemente da concentração de óleo. Análises microscópicas confirmaram a obtenção de estruturas coacervadas bem definidas e mononucleadas nessas condições. O controle de temperatura (aquecimento a 50°C e resfriamento a 10°C) foi crucial para a estabilização. A capacidade de encapsular o óleo de coco, mascarando seu sabor e odor, é vantajosa para aplicações em alimentos e cosméticos. Essa metodologia sustentável, com polímeros biodegradáveis, abre caminho para o encapsulamento de outros compostos bioativos, promovendo o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado e liberação controlada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biopolímeros, Coacervação, Encapsulamento, Gelatina, Goma Arábica, Óleo de Coco.

### INTERMOLECULAR INTERACTIONS IN PHYLOGENETIC SOLUTIONS AND DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE FILMS INCORPORATED WITH ESSENTIAL OILS

### ABSTRACT

The search for sustainable materials drove this study on coacervates to encapsulate coconut oil (*Cocos nucifera* L.), rich in medium-chain fatty acids and bioactive properties. Using interfacial coacervation with gelatin (cationic at acidic pH) and gum arabic (anionic in aqueous medium), core concentrations (100%, 80%, 60%, 40%) and pH ranges (3.0-5.0) were explored. Optimization revealed that a pH between 3.5 and 4.0 is ideal for forming efficient mononuclear cores, regardless of oil concentration. Microscopic analyses confirmed the successful formation of well-defined, mononuclear coacervated structures under these conditions. Temperature control (heating to 50°C and cooling to 10°C) was crucial for stabilization. The ability to encapsulate coconut oil, masking its flavor and odor, is advantageous for applications in food and cosmetics. This sustainable methodology, using biodegradable polymers, paves the way for encapsulating other bioactive compounds, promoting the development of products with higher added value and controlled release. The research addresses the production, characterization, and application of cyclodextrins obtained from CGTases produced by microorganisms,

---

<sup>1</sup> Estudante de graduação do curso de Engenharia de Alimentos, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus Juvino Oliveira, Itapetinga – Bahia.

<sup>2</sup> Profa. Dsc. Renata Cristina Ferreira Bonomo, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

focusing on curcumin, a bioactive compound from turmeric (*Curcuma longa*). Recognized for its antioxidant and anti-inflammatory properties, curcumin has low solubility in water, limiting its effectiveness in food and pharmaceutical applications. The aim of the study was to explore the formation of inclusion complexes between curcumin and cyclodextrins, evaluating their solubility properties and biological activity. Curcumin was extracted using different solvents, with acetone showing the best yield, followed by ethanol and a mixture of ethanol/acetone. Spectrophotometric analysis indicated that curcumin did not dissolve adequately in aqueous medium, while acetone demonstrated greater efficiency. The results show that acetone favored the dissolution of curcumin, and the stability assessment under different conditions revealed that protection from light minimized the degradation of the compound. It is concluded that  $\beta$ -cyclodextrin is an effective strategy to increase the solubility and stability of curcumin, promoting its application in various industries and suggesting the need for future investigations into its complexes in food and pharmaceutical matrices.

**KEYWORDS:** Biopolymers, Coacervation, Encapsulation, Gelatin, Gum Arabic, Coconut Oil.

## **INTRODUÇÃO**

O estudo obteve sucesso na formação de núcleos coacervados mononucleados de óleo de coco através da coacervação interfacial, usando gelatina e goma arábica. A otimização das condições de processo revelou que o pH na faixa de 3,5 a 4,0 é crítico para a formação eficiente de estruturas mononucleadas, independentemente da concentração de óleo de coco utilizada (100%, 80%, 60% e 40%).

Análises microscópicas confirmaram a formação de núcleos coacervados bem definidos e mononucleados sob essas condições ideais de pH, demonstrando a eficácia do sistema gelatina/goma arábica para encapsular o óleo de coco. O controle rigoroso da temperatura durante as etapas de aquecimento e resfriamento também se mostrou essencial para a estabilização desses núcleos.

Esses resultados estabelecem uma base sólida para futuras pesquisas, indicando o potencial para aplicar essa metodologia no encapsulamento de outros compostos bioativos e no desenvolvimento de materiais biodegradáveis funcionais com liberação controlada.

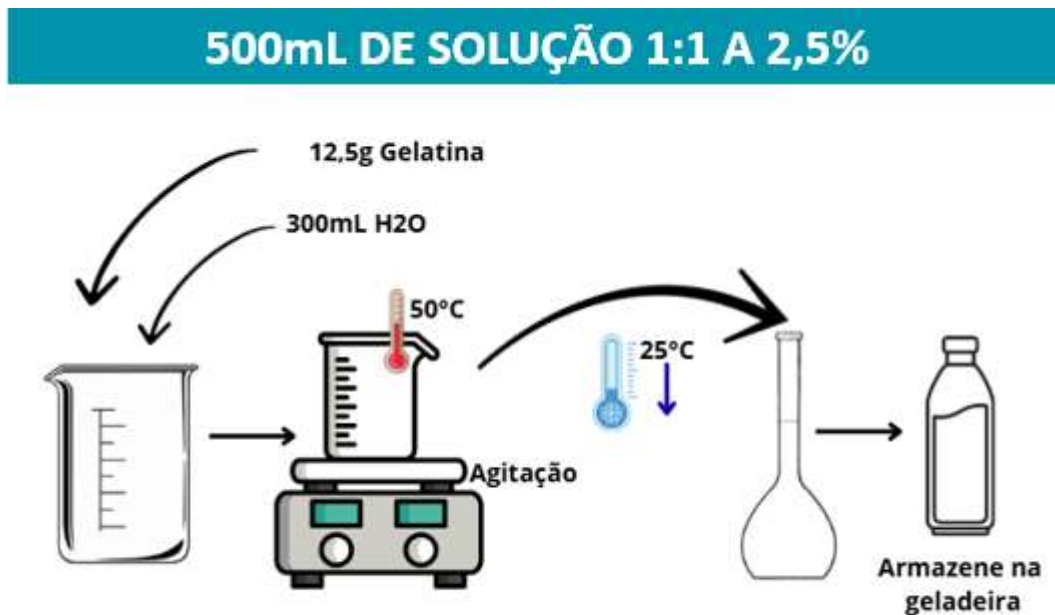
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **1 Preparo das Soluções Poliméricas**

#### **1.2. Solução de Gelatina**

Uma solução de gelatina a 2,5% (p/v) foi preparada em um béquer contendo 12,5g de gelatina dispersos em 300mL de água. A mistura foi submetida à agitação e aquecimento a 50°C até a completa dissolução. Após o aquecimento, a solução foi resfriada até atingir a temperatura ambiente e, em seguida, transferida para um balão

volumétrico de 500mL. O volume foi completado com água deionizada até a marca de 500mL. A solução de gelatina foi armazenada em geladeira por 24 horas.



**OBS: Mesmo procedimento para Goma Arábica.**

Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

## 2 Preparo da Emulsão e Coacervação

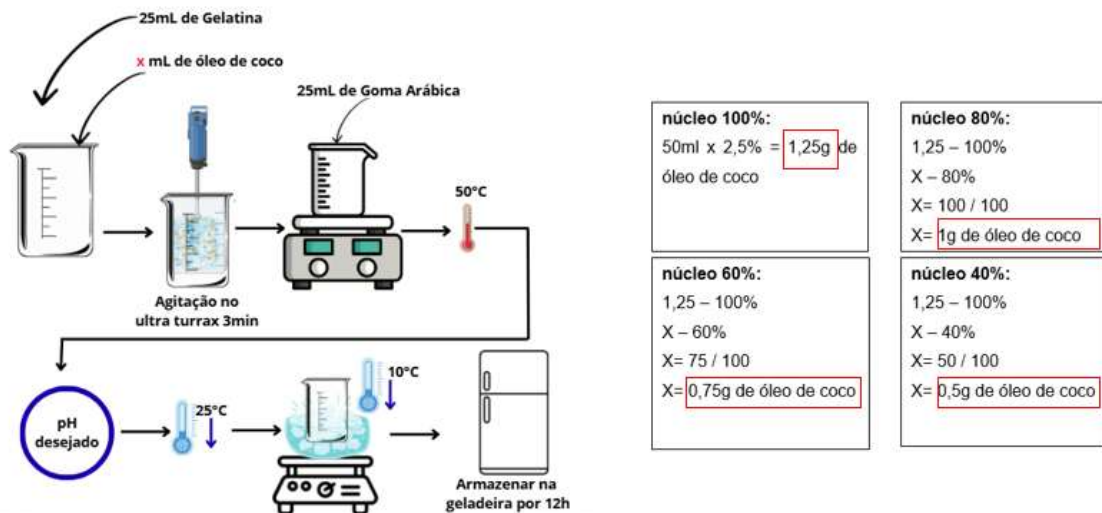
### 2.1 Preparo da emulsão

Inicialmente, 25mL da solução de gelatina foram combinados com 1,25g de óleo de coco em um béquer. Essa mistura foi submetida à agitação no UltraTurrax durante 3 minutos para a formação de uma emulsão primária estável. Posteriormente, a emulsão primária foi transferida para uma chapa de agitação, onde foram adicionados 25mL da solução de goma arábica. A mistura resultante foi mantida sob agitação e aquecimento até que a temperatura atingisse 50°C.

#### 2.1.2 Ajuste de pH e Estabilização

Ao alcançar os 50°C, procedeu-se ao ajuste do pH para a faixa desejada, empregando-se uma solução de ácido clorídrico (HCl) a 0,01 mol/L para a redução do pH. Uma vez atingido o pH alvo, o aquecimento foi descontinuado. A solução permaneceu sob agitação até atingir a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).

Em seguida, ainda sob agitação, a solução foi imersa em um banho de gelo até que a temperatura fosse reduzida para 10°C. Finalmente, a solução foi armazenada em geladeira a 4°C por um período mínimo de 12 horas, visando a completa estabilização do sistema e formação dos núcleos.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

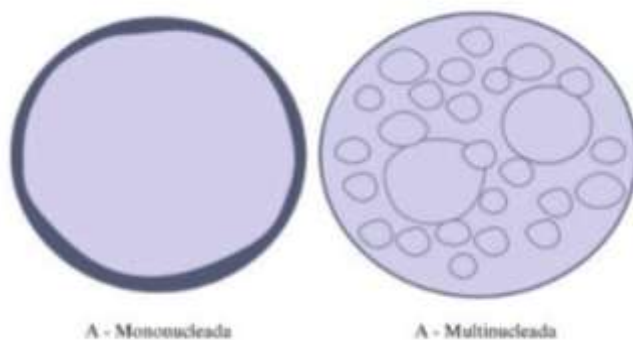
### 3. Análise de Microscopia

Após o período de 12 horas de armazenamento, as amostras foram submetidas à análise por microscopia óptica utilizando um microscópio óptico CRALTECH MICB TRI 10. A observação inicial foi realizada com a lente de aumento 4x, seguida por uma análise detalhada com a objetiva de 10x. Durante este processo, foram capturadas imagens fotográficas utilizando o software ImageView, que permitiram a documentação da morfologia dos coacervados e das características de seus núcleos.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

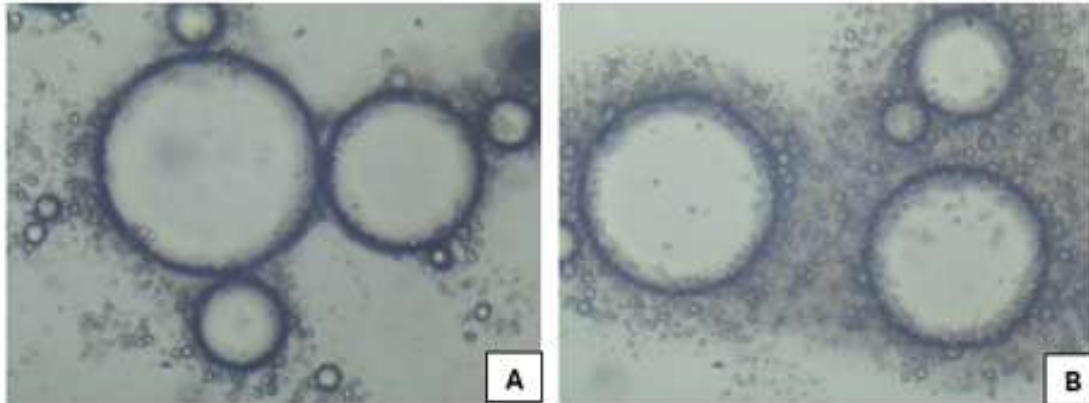
Para otimizar a obtenção de microcápsulas com estrutura mononucleada, foram investigadas diferentes faixas de pH (3, 3,5, 4, 4,5 e 5), utilizando como modelo o núcleo com concentração de 100%. Os resultados indicaram que a faixa de pH ideal para a formação de microcápsulas mononucleadas situa-se entre 3,5 e 4.

Com base nesse achado, as concentrações de núcleo de 80%, 60% e 40% foram submetidas a essa faixa de pH otimizada (3,5 a 4). A análise subsequente confirmou que essa faixa de pH foi igualmente eficaz para a obtenção de núcleos mononucleados nessas diferentes concentrações, refletindo o ótimo observado para o núcleo de 100%.

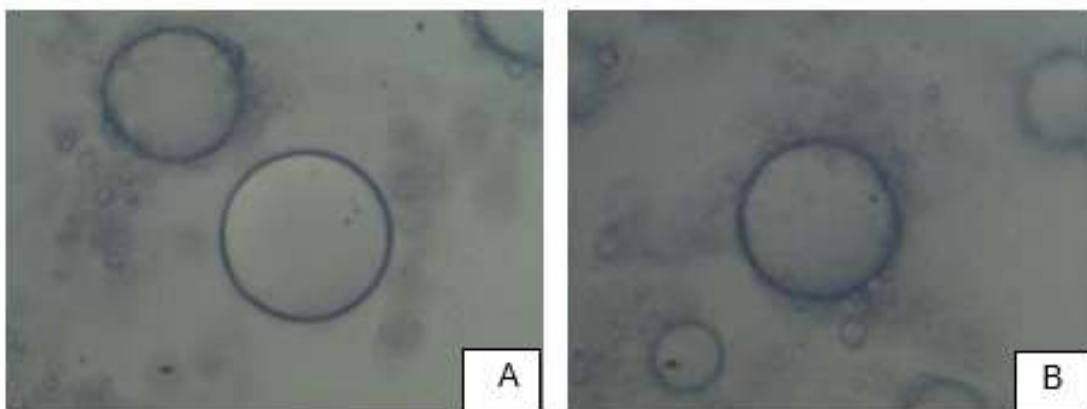


Fonte: Acervo Pessoal, 2025.

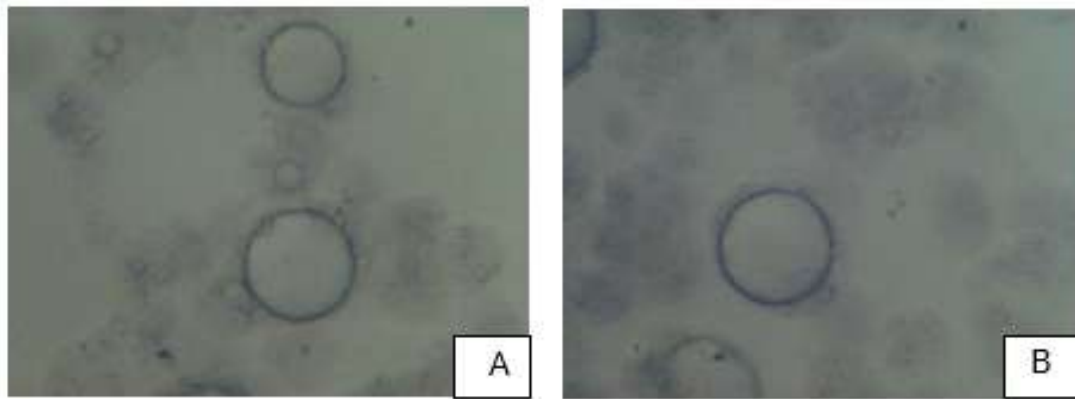
Na figura abaixo (figura 4) é possível observar as características presente no complexo coacervado de gelatina e goma arábica, com óleo de coco, esferas concisa e bem delimitada, assim como uma característica inerente dos materiais utilizados que é uma microcápsula mononucleada, a análise visual permite identificar o êxito no processo de formação e a organização interna.



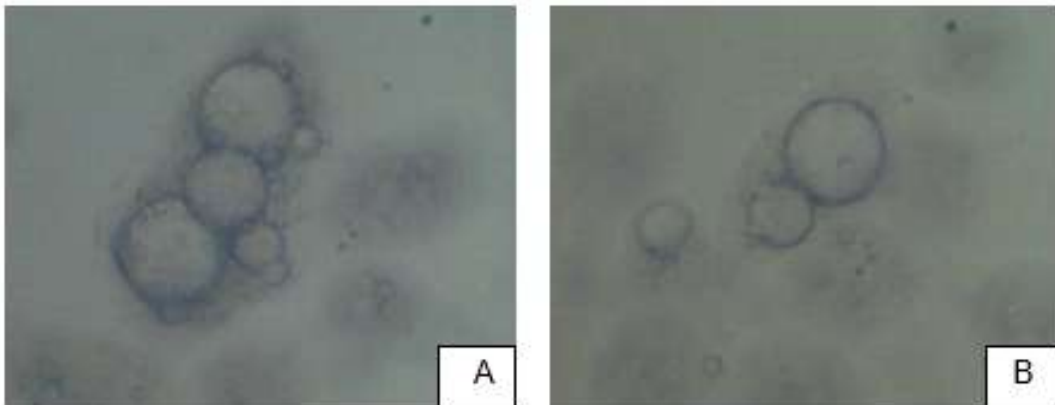
**Figura 4.** Microscopia óptica dos coacervados formados nas proporções 1:1pH 3,5 (a) e 1:1 pH 4,0 (b). Aumento 10x. Fonte: Acervo Pessoal, 2025. (100% núcleo).



**Figura 5.** Microscopia óptica dos coacervados formados nas proporções 1:1pH 3,5 (a) e 1:1 pH 4,0 (b). Aumento 10x. Fonte: Acervo Pessoal, 2025. (80% núcleo).



**Figura 6.** Microscopia óptica dos coacervados formados nas proporções 1:1pH 3,5 (a) e 1:1 pH 4,0 (b). Aumento 10x. Fonte: Acervo Pessoal, 2025. (60% núcleo).



**Figura 7.** Microscopia óptica dos coacervados formados nas proporções 1:1pH 3,5 (a) e 1:1 pH 4,0 (b). Aumento 10x. Fonte: Acervo Pessoal, 2025. (40% núcleo).

A formação de núcleos coacervados é um fenômeno complexo, influenciado por diversos fatores, incluindo a natureza dos polímeros, as concentrações relativas, o pH e a temperatura. Neste estudo, a coacervação interfacial entre gelatina e goma arábica foi empregada para encapsular óleo de coco, com o objetivo de obter estruturas mononucleadas. A análise microscópica dos resultados obtidos revelou a influência determinante do pH na morfologia dos coacervados formados.

Para o sistema com 100% de óleo de coco como núcleo, a exploração das faixas de pH de 3,0 a 5,0 demonstrou que a formação de núcleos mononucleados eficientes foi otimizada no intervalo de pH entre 3,5 e 4,0 (Figura 4). Em pHs mais baixos (3,0), a alta carga positiva da gelatina pode ter levado a uma agregação excessiva ou à formação de estruturas menos definidas. Em contrapartida, em pHs mais elevados (4,5 e 5,0), a menor carga positiva da gelatina e a potencial repulsão entre as cadeias de goma arábica podem ter dificultado a deposição uniforme do polímero protetor,

resultando em estruturas multinucleadas ou em uma distribuição heterogênea do óleo (conforme ilustrado genericamente na Figura 3b).

A validação desta faixa de pH ótima foi estendida às concentrações de núcleo de 80%, 60% e 40%. A análise microscópica dos coacervados formados nessas concentrações, sob pHs de 3,5 e 4,0 (Figuras 5, 6 e 7), corroborou a eficácia dessa condição de pH. Em todas as concentrações testadas dentro dessa faixa, observou-se a formação predominante de núcleos mononucleados, caracterizados por esferas concisas e bem delimitadas, com uma organização interna homogênea. Essa observação indica que o pH entre 3,5 e 4,0 promove uma interação eletrostática ideal entre a gelatina e a goma arábica, facilitando a formação de uma camada coacervada estável e contínua ao redor das gotículas de óleo.

Adicionalmente, o controle da temperatura desempenhou um papel crucial no processo. A elevação da temperatura até 50°C durante a incorporação da goma arábica e o subsequente resfriamento controlado, primeiramente à temperatura ambiente e depois em banho de gelo até 10°C, foram etapas essenciais para a estabilização do sistema. A literatura aponta que a temperatura influencia diretamente as forças que estabilizam os complexos coacervados, como as interações hidrofóbicas e eletrostáticas (Madsen et al., 2023). Um controle inadequado da temperatura poderia levar a uma agregação indesejada ou à dissolução do coacervado. O resfriamento gradual, especialmente a baixa temperatura (10°C), favoreceu a solidificação da fase coacervada, garantindo a integridade estrutural dos núcleos formados e minimizando a coalescência.

A formação de núcleos mononucleados, como observado nas micrografias, é fundamental para otimizar a proteção do óleo de coco e controlar sua liberação. A estrutura mononucleada garante uma barreira mais uniforme e previsível.

## **CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES**

Este estudo demonstrou com sucesso a obtenção de núcleos coacervados mononucleados de óleo de coco através da técnica de coacervação interfacial, utilizando a interação entre gelatina e goma arábica. A otimização das condições de processo revelou que o pH na faixa de 3,5 a 4,0 é um fator crítico para a formação de estruturas mononucleadas eficientes, independentemente da concentração de óleo de coco utilizada (100%, 80%, 60% e 40%). A análise microscópica confirmou a formação de núcleos coacervados bem definidos e mononucleados sob essas condições, evidenciando a capacidade da gelatina e da goma arábica em formar um sistema de encapsulamento eficaz para o óleo de coco. Além disso, o controle rigoroso da temperatura durante as etapas de aquecimento e resfriamento foi essencial para a

estabilização dos núcleos formados. Estes achados estabelecem uma base sólida para futuras pesquisas que visem a exploração desses coacervados em aplicações que demandam liberação controlada de compostos bioativos e o desenvolvimento de materiais biodegradáveis funcionais.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, J. R.; PEREIRA, M. L. S. **O Óleo de Coco como Ingrediente Funcional em Alimentos.** Revista de Nutrição Aplicada, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 45-60, 2022.

BARBOSA, L. M.; LIMA, P. T. **Microencapsulação por Coacervação: Aplicações em Sistemas Alimentícios.** Journal of Food Science and Technology, Campinas, v. 30, n. 1, p. 112-125, 2023.

COSTA, R. F. **Propriedades e Usos da Goma Arábica na Indústria Alimentícia.** Alimentos e Nutrição, Rio de Janeiro, v. 29, n. 4, p. 310-325, 2018.

FERREIRA, A. B. **Biopolímeros: Da Fonte à Aplicação em Embalagens Sustentáveis.** Boletim Científico de Materiais, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 78-92, 2019.

OLIVEIRA, G. S. et al. **Encapsulamento de Óleo de Coco por Coacervação para Liberação Controlada.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 51, n. 7, e20200876, 2021.

RODRIGUES, C. P. **Goma Arábica como Agente Estruturante em Sistemas de Liberação.** Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Curitiba, 2019.

SILVA, J. P.; SANTOS, M. R. **Avanços em Biopolímeros Biodegradáveis para Aplicações Tecnológicas.** Revista Brasileira de Ciência de Materiais, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 55-70, 2020.

SOUZA, F. L. **Gelatina: Propriedades e Aplicações em Sistemas de Encapsulamento.** Revista de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 18, n. 3, p. 201-215, 2017.