

# **CRIOGEL INTELIGENTE À BASE DE AMIDO COM EXTRATO DE HIBISCO COMO INDICADOR DE pH PARA EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS; INVESTIGAÇÃO DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES EUTÉTICOS NATURAIS PROFUNDOS (NADES)**

**Rhaine da Silva dos Santos**

**Larissa Tessaro**

**Bianca Chieregato Maniglia**

Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo

rhainesantos@usp.br

## **Objetivos**

A demanda por produtos alimentícios frescos e de alta qualidade tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias de embalagem inovadoras, especialmente embalagens inteligentes capazes de fornecer informações em tempo real sobre a qualidade do produto [1, 2]. Este projeto propõe o desenvolvimento de criogéis sensíveis ao pH, feitos a partir de amido de batata e extrato de hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.), com o objetivo de criar materiais de embalagem inteligentes biodegradáveis, não tóxicos e de baixo custo. O extrato de hibisco, rico em antocianinas [3], foi utilizado como indicador natural de pH, sendo extraído tanto com metanol (como solvente orgânico convencional – SOC) quanto com solventes eutéticos naturais profundos (NADES).

## **Métodos e Procedimentos**

Foram preparados dois tipos de solvente NADES: (1) cloreto de colina:ácido láctico CC-AL (1:1) com 20% (m/m) de água e (2) cloreto de colina:ácido oxálico CC-OA (1:1) com 20% (m/m) de água. Para o preparo do extrato de hibisco foi feita a extração na

proporção de 1 g de hibisco triturado / 20 g de solvente, em banho de ultrassom à 40 °C por 40 minutos, posteriormente, foi filtrado e armazenado sob refrigeração (4 °C). Para o preparo dos criogéis de amido, o extrato foi adicionado em diferentes concentrações nos hidrogéis de amido de batata (10 g/100 g, b.s., com 1, 2, 5 e 10 g de extrato/100 g de amido). Os hidrogéis foram colocados em moldes cilíndricos (8 mm x 15 mm), liofilizados e armazenados em dessecador com sílica. Os criogéis de amido foram avaliados quanto à resposta colorimétrica à variação de pH (1, 4, 7, 10 e 14), utilizando os parâmetros CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e  $\Delta E^*$ , com medições feitas por análise de imagem usando o *software* ImageJ. Além disso, o desempenho colorimétrico foi avaliado sob contato com soluções contendo ácido acético e hidróxido de amônio por 5 minutos, frente aos diferentes vapores de pHs dessas soluções. Ainda, foi avaliada a sua performance analítica em embalagens com carne bovina armazenada em geladeira por 0, 1, 2, 3 e 4 dias.

## **Resultados**

A caracterização mostrou que os NADES (CC:LA e CC:OA) diferem do SOC por apresentarem pH mais ácido, maior densidade e polaridade, resultando em maior extração de polifenóis e atividade antioxidante, especialmente no NADES 2 (CC:OA) (Figura 1).

Tabela 1. Caracterização dos solventes e extrato.

| Apropriedades                                                       | (SOC)                      | NADES 1 (CC:LA)            | NADES 2 (CC:OA)           |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| pH à 25°C                                                           | 6,64 ± 0,07 <sup>A</sup>   | 1,28 ± 0,02 <sup>B</sup>   | 0,865 ± 0,04              |
| Densidade (kg/m <sup>3</sup> )                                      | 0,805 ± 0,003 <sup>B</sup> | 1,142 ± 0,007 <sup>A</sup> | 1,362 ± 0,01              |
| $\lambda_{\text{máx}}$                                              | 553,67 ± 0,58 <sup>B</sup> | 594,00 ± 1,00 <sup>A</sup> | 639,00 ± 1,15             |
| $E_{\text{ox}}(\text{kcal mol}^{-1})$                               | 51,64 ± 0,05 <sup>A</sup>  | 48,13 ± 0,01 <sup>B</sup>  | 44,70 ± 0,08              |
| L* (R <sup>2</sup> do gráfico do parâmetro L)                       | ND                         | 0,75655                    | 0,84378                   |
| a* (R <sup>2</sup> do gráfico do parâmetro a*)                      | ND                         | 0,99898                    | 0,99608                   |
| b* (R <sup>2</sup> do gráfico do parâmetro b*)                      | ND                         | 0,91427                    | 0,83394                   |
| Reologia à 40°C                                                     | -                          | 19,6±0,4                   | 11,9±0,1                  |
| Teor de polifenóis totais (CREC) (mg equivalente Trolox/ g hibisco) | 12,12±0,20 <sup>b</sup>    | 32,92±1,54 <sup>a</sup>    | 82,12±7,70 <sup>a</sup>   |
| ABTS (mg equivalente Trolox/ g hibisco)                             | 195,35±3,27 <sup>b</sup>   | 248,63±23,25 <sup>a</sup>  | 276,86±9,52 <sup>a</sup>  |
| FRAP (mg equivalente Trolox/ g hibisco)                             | 50,57±6,27 <sup>b</sup>    | 225,93±19,08 <sup>a</sup>  | 255,18±90,63 <sup>a</sup> |
| Polaridade                                                          | 51,73±0,11                 | 48,11±0,05                 | 44,70±0,08                |

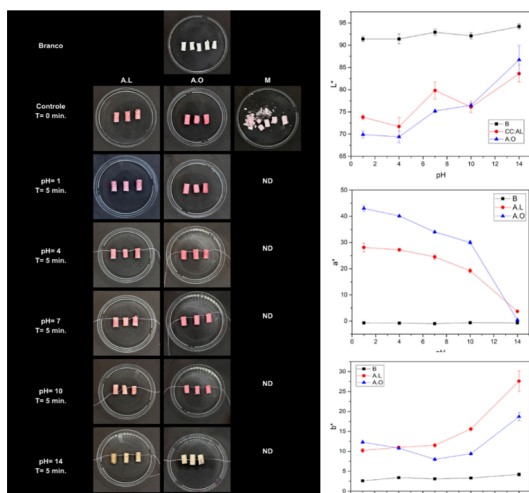


Figura 1: Caracterização dos solventes NADES (CC:LA, CC:OA) e SOC, com resultados de pH, polaridade, capacidade antioxidante (ABTS e

FRAP), análises colorimétricas (Lab) em diferentes pHs.

Nos criogéis, os extratos com NADES geraram cores intensas e sensíveis ao pH, enquanto os obtidos com SOC não apresentaram integridade para seu uso como sensores (Figura 1). O parâmetro a\* apresentou melhor linearidade para ambos NADES. A carne refrigerada não mostrou alteração de cor em até 4 dias, mantendo-se própria para consumo (pH ~6).

## Conclusões

Conclui-se que os NADES foram mais eficientes que os solventes orgânicos na extração de compostos fenólicos do hibisco, resultando em maior atividade antioxidante. Além disso, os extratos obtidos possibilitaram o desenvolvimento de criogéis com resposta colorimétrica ao pH, confirmando seu potencial como sensores.

## Agradecimentos

À Universidade de São Paulo pela bolsa concedida por meio do Programa Unificado de Bolsas de Estudo (PUB-USP) (2918). Ao Instituto de Química de São Carlos pela oportunidade de realizar o projeto e a FAPESP (2020/08727-0, 2024/10994-8, 2024/02072-3). Os autores declaram que não há conflito de interesses.

## Referências

- [1] Miller, R., Gonzalez-Maeso, J., & Kerry, J. P. *Foods*, 10(2), 299 (2021).
- [2] Alañón, M. E., Ivanović, M., Pimentel-Mora, S., Borrás-Linares, I., Arráez-Román, D., & Segura-Carretero, A. *Food Research International*, 137, 109646 (2020).
- [3] M. Tobiszewski, J. Namieśnik, Greener organic solvents in analytical chemistry, *Curr Opin Green Sustain Chem* 5, 1–4 (2017).