



Valorização Sustentável do Fruto Amazônico Buriti (*Mauritia flexuosa* L.): Eficácia na extração dos carotenoides utilizando Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES)

C. R. Köhn¹, L. C. dos Santos², J. A. Mendiola³, L. Montero⁴, S. H. Flôres⁵, A. de O. Rios⁶,

1 - Laboratório de Compostos Bioativos, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Avenida Bento Gonçalves, n° 9500, Caixa Postal 15059, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 91501-970, Brasil – e-mail (cecilia.kohn@ufrgs.br)

2 - Instituto de Investigación en Ciencia dos Alimentos (CIAL) (CSIC-UAM), C/ Nicolás Cabrera, 9, Campus da Universidade Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Espanha - e-mail (luana.dsantos@csic.es).

3 - (CIAL) – (j.mendiola@csic.es).

4 - (CIAL) – (lidia.montero@csic.es).

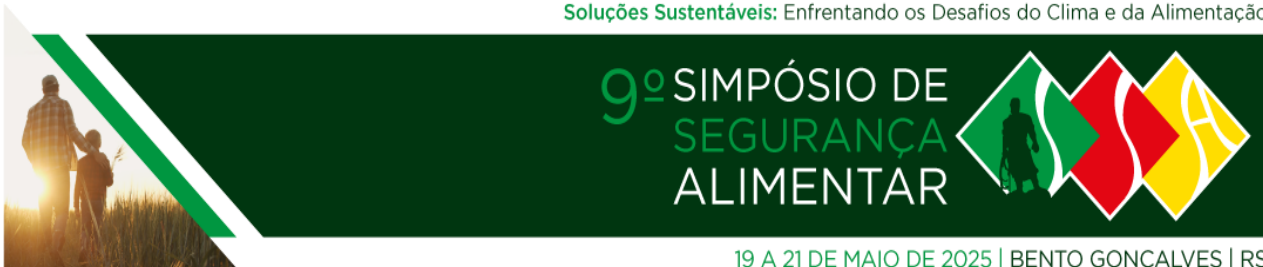
5 - (UFRGS) – (simone.flores@ufrgs.br).

6 - (UFRGS) – (alessandro.rios@ufrgs.br).

RESUMO – O crescente interesse por práticas sustentáveis tem incentivado o desenvolvimento de solventes ecológicos, como os solventes eutéticos naturais profundos (NADES). Formados pela interação entre doadores e receptores de ligações de hidrogênio, esses solventes se destacam por sua baixa toxicidade, solubilidade e propriedades que preservam os compostos bioativos. Neste estudo, avaliou-se a eficiência dos NADES na extração de carotenoides do Buriti (*Mauritia flexuosa* L.), um fruto da Floresta Amazônica, rico em carotenoides. Foram testadas quatro formulações de NADES combinadas com processo de ultrassom, sendo os melhores rendimentos obtidos com as combinações de Betaína e Glicerol ($53,59 \pm 1,64$ mg/100g) e Mentol e Ácido Láurico ($54,91 \pm 3,43$ mg/100g), superando Cloreto de Colina e Glicerol ($7,12 \pm 0,65$ mg/100g) e Mentol e Ácido Acético ($20,06 \pm 1,12$ mg/100g). Os resultados evidenciam o potencial sustentável e eficiente dos NADES para extrações, com aplicações promissoras na indústria alimentícia e cosmética, promovendo inovação alinhada aos princípios da sustentabilidade.

ABSTRACT - The growing interest in sustainable practices has encouraged the development of eco-friendly solvents, such as natural deep eutectic solvents (NADES). Formed by the interaction between hydrogen bond donors and acceptors, these solvents stand out for their low toxicity, solubility, and properties that preserve bioactive compounds. This study evaluated the efficiency of NADES in extracting carotenoids from Buriti (*Mauritia flexuosa* L.), a fruit from the Amazon rainforest rich in carotenoids. Four NADES formulations combined with ultrasound-assisted extraction were tested, with the highest yields obtained using Betaine and Glycerol (53.59 ± 1.64 mg/100g) and Menthol and Lauric Acid (54.91 ± 3.43 mg/100g), surpassing Choline Chloride and Glycerol (7.12 ± 0.65 mg/100g) and Menthol and Acetic Acid (20.06 ± 1.12 mg/100g). The results highlight the sustainable and efficient potential of NADES for extractions, with promising applications in the food and cosmetic industries, fostering innovation aligned with sustainability principles.

PALAVRAS-CHAVE: Solventes eutéticos naturais profundos; Carotenoides, Bioativos; Sustentabilidade; Química verde.



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

KEYWORDS: Natural Deep Eutectic Solvents; Carotenoids; Bioactives; Sustainability; Green Chemistry.

1. INTRODUÇÃO

Há um crescente interesse na busca de solventes sustentáveis para os processos de extração de compostos com o objetivo de reduzir a geração de resíduos químicos, que afetam negativamente a saúde humana e ao ecossistema. Nesse contexto, as extrações “verdes” surgem como uma abordagem essencial para minimizar esses impactos ambientais (Mansour et al., 2024).

A utilização dos solventes eutéticos naturais profundos (NADES) é uma classe promissora de solventes verdes que têm atraído a atenção de pesquisadores ao redor do mundo devido à sua baixa toxicidade, baixa volatilidade e versatilidade para se adaptarem a diferentes meios. Essas propriedades tornam os NADES ideais para diversas aplicações, incluindo a extração, separação e aumento da biodisponibilidade de compostos bioativos (Mansour et al., 2024). Os NADES são formados pela combinação de um doador de ligação de hidrogênio (DLH) e um acceptor de ligação de hidrogênio (ALH) de fontes naturais, formando uma mistura líquida estável (Mansour et al., 2024). A incorporação do ultrassom em processos de extrações com NADES representa um avanço significativo. Devido aos efeitos da cavitação que acabam quebrando as paredes celulares e facilitam a transferência de massa, a extração assistida por ultrassom contribui na liberação de compostos bioativos, tornando a extração mais eficiente (Ganje et al., 2025).

O fruto do Buriti é extremamente reconhecido por sua composição rica em compostos bioativos, com destaque para o elevado teor de carotenoides, o que o torna um recurso valioso da biodiversidade da Floresta Amazônica. Notavelmente, é o fruto com maior concentração de β -caroteno na região, atingindo valores de $52,86 \pm 10,71$ mg por 100 g (Sousa, Morais & Zuniga, 2024), conferindo-lhe grande potencial para aplicações funcionais e tecnológicas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da extração de carotenoides do fruto do Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) utilizando solventes eutéticos naturais profundos, como uma alternativa sustentável e segura aos solventes tóxicos tradicionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparação da amostra e dos solventes eutéticos naturais profundos

O fruto Buriti foi adquirido em um mercado local na cidade de Almeirim, Pará, Brasil. Em seguida, foi liofilizada (Liotop L101, Liobras, São Carlos, Brasil) e triturado em um moinho de



facas de escala laboratorial (Grindomix GM200, Retsch GmbH, Haan, Alemanha). Posteriormente, o material foi armazenado a -20 °C até a realização das análises.

A quantidade de solventes (DLH) e (ALH) a ser utilizada foi calculada em relação à sua massa molar (**tabela 1**). Os NADES foram obtidos por aquecimento a 80 °C com a utilização de uma placa de aquecimento com agitação mecânica até a formação de líquidos translúcidos e homogêneos.

Tabela 1 - Solventes eutéticos naturais profundos e proporções molares utilizadas.

Componente 1 (DLH)	Componente 2 (ALH)	(DLH):(ALH) Razão molar
Betaína*	Glicerol	1:1
Cloreto de Colina*	Glicerol	1:2
Mentol	Ácido Acético	1:1
Mentol	Ácido Láurico	2:1

*Síntese de NADES com adição de 50% de água.

2.2 Extração dos carotenoides por solventes eutéticos naturais profundos

Para a extração dos carotenoides totais, 100mg do fruto foi adicionado em 17 mL de NADES, a solução foi homogeneizada em vórtex e a extração assistida por ultrassom foi realizada. A extração foi realizada utilizando um sonificador com sonda (Branson Sonifier 250 W/102C Danbury, CT, EUA) por 4 minutos e amplitude de 40%. O processo de ultrassom foi a banho de gelo para evitar o aquecimento da amostra e centrifugação a 1400 rpm (Mikro 120, Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Alemanha) por 3 minutos para que houvesse total remoção do fruto da solução de NADES. Paralelamente, nas mesmas condições, foi realizado um branco com a utilização de água para obtenção dos carotenoides.

O extrato obtido foi misturado com éter de petróleo em uma proporção de 1:1, e foi realizada a homogeneização em vórtex por 1 minuto. A absorvância dos carotenoides foi lida a 450 nm (espectrofotômetro com leitor de microplacas, Synergy HT, BiotTek instruments, USA) e o coeficiente de extinção molar de β -caroteno em éter de petróleo (2592) foi utilizado para o cálculo, conforme a **Equação (1)**. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão (mg/100g de carotenoides totais).

$$\text{Total de Carotenoides} = \frac{A \times V \times 10^4}{E_{1cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação (1).}$$

Onde: A= absorvância do extrato a 450 nm, V= volume do balão volumétrico (mL), m= massa da amostra (g), $E_{1cm}^{1\%}$ = coeficiente de extinção.



2.3 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com nível de significância de 0,05, utilizando o software Statistica 14.0 (STATSOFT Inc., São Paulo, Brasil). Os dados são expressos como média \pm desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extração eficiente dos carotenoides é influenciada diretamente pela escolha e combinação dos solventes utilizados. Entre as diferentes formulações testadas, destaca-se o uso do Mentol com Ácido Láurico onde apresentou um rendimento de extração de carotenoides de $54,91 \pm 3,43$ mg/100g, demonstrando capacidade de extrair cerca de 68,30% dos carotenoides presentes no fruto (80,39 mg/100g). A combinação de Betaína e Glicerol apresentou resultados similares com valores de $53,59 \pm 1,64$ mg/100g, ambos foram significativamente superiores as outras combinações testadas como Mentol com Ácido Acético ($20,06 \pm 1,12$ mg/100g), Cloreto de Colina com Glicerol ($7,12 \pm 0,65$ mg/100g) e o controle do fruto com água ($0,40 \pm 0,07$ mg/100g). Isso sugere que o Ácido Láurico desempenhou um papel crucial na solubilização dos carotenoides, superando a eficiência da combinação com o Ácido Acético (**tabela 2**).

Tabela 2 - Composição de carotenoides presentes no fruto do Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) extraídos com NADES.

NADES	CAROTENOIDES (mg/100 g)
Fruto	$80,39 \pm 1,85$
Controle (fruto + água) ^d	$0,40 \pm 0,07$
Betaína + Glicerol ^a	$53,59 \pm 1,64^a$
Cloreto de Colina + Glicerol ^c	$7,12 \pm 0,65^c$
Mentol + Ácido Acético ^b	$20,06 \pm 1,12^b$
Mentol + Ácido Láurico ^a	$54,91 \pm 3,43^a$

A eficiência do Ácido Láurico na extração de compostos lipossolúveis, como os carotenoides, está diretamente ligada à sua estrutura química. Sua cadeia alifática longa e apolar promove alta camada superficial com compostos apolares, enquanto o grupo polar carboxílico permite a formação de interações hidrofílicas, como ligações de hidrogênio, tanto com a matriz quanto com outros componentes do sistema, como o Mentol (Airouyuwa et al., 2024). Essa combinação resulta em um solvente eutético de polaridade variável, essencial para melhorar a solubilização dos carotenoides presentes na matriz do fruto (Stupar et al., 2024). Além disso, o



Ácido Láurico reduz a tensão superficial do sistema, facilitando a interação entre os carotenoides e o solvente (Airouyuwa, Sivapragasam, Redha & Maqsood, 2024).

Ao comparar o Ácido Láurico com o Ácido Acético, observa-se que, embora ambos apresentem grupos carboxílicos capazes de interações polares, a cadeia curta do Ácido Acético limita sua compatibilidade com compostos apolares, como os carotenoides. Isso justifica os resultados superiores obtidos com a mistura de Mentol e Ácido Láurico em relação à combinação com Ácido Acético (Miklós, 2022). Além disso, o Ácido Láurico pode formar micelas ou agregados capazes de encapsular e estabilizar os carotenoides durante o processo de extração.

Outra combinação notável é o composto por Betaína e Glicerol, que apresentou eficiência estatisticamente semelhante ao Mentol com Ácido Láurico. Esse desempenho reflete a importância da presença simultânea de características polares e apolares no sistema eutético, criando um ambiente equilibrado para a composição de compostos lipossolúveis. Por outro lado, as moléculas de Cloreto de Colina com Glicerol e o controle com água mostraram rendimentos significativamente menores, o que pode ser atribuído à baixa afinidade química desses sistemas com a matriz e os compostos.

Os resultados encontrados destacam a relevância de projetar sistemas eutéticos que equilibrem polaridade e compatibilidade química, otimizando a eficiência na extração dos carotenoides e compatibilidade química entre os compostos.

4. CONCLUSÕES

Os solventes eutéticos naturais profundos (NADES) representam uma alternativa promissora para a extração dos carotenoides, oferecendo uma solução sustentável e eficiente para superar as limitações associadas aos solventes tradicionais. Os NADES permitiram uma extração eficaz dos carotenoides especificamente com Betaína e Glicerol e Mentol com Ácido Láurico, com extrações chegando a 67,06% e 68,30%, respectivamente. Além disso, sua capacidade de formar sistemas altamente vantajosos e promover interações específicas com a matriz do fruto destaca ainda, o seu potencial como alternativas sustentáveis para aplicações na indústria de alimentos e cosmética. A implementação do método de extração não apenas promove avanços tecnológicos, mas também, está alinhada com os princípios de sustentabilidade e inovação.

AGRADECIMENTOS

A pesquisa foi financiada com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS - Processo nº 21/2551-0002223-0) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que concedeu uma bolsa de estudos no Brasil e através do Programa de Doutorado-Sanduiche no Exterior (PDSE) à primeira autora. A realização



19 A 21 DE MAIO DE 2025 | BENTO GONÇALVES | RS

da pesquisa no exterior foi possível graças ao acolhimento do Laboratório de Foodômica do Instituto de Pesquisa em Ciência dos Alimentos (Madrid, Espanha).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIROUYUWA, J. O., SIVAPRAGASAM, N., REDHA, A. A., MAQSOOD, S. Sustainable green extraction of anthocyanins and carotenoids using deep eutectic solvents (DES): a review of recent developments. **Food Chemistry**, v. 448, p. 139061, 2024.

DE SOUSA, W. C., MORAIS, R. A., ZUNIGA, A. D. G.. Buriti (*Mauritia flexuosa*) shell flour: nutritional composition, chemical profile, and antioxidant potential as a strategy for valuing waste from native brazilian fruits. **Food Research International**, v. 190, p. 114578, 2024.

GANJE, M., GHARIBI, S., NEJATPOUR, F., DEILAMIPOUR, M., GOSHADEHROU, K., SABERYAN, S., ABDI, G. The ANFIS-RSM based multi-objective optimization and modelling of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from jamun fruit (*Syzygium cumini*). **Ultrasonics Sonochemistry**. v. 113, p. 107227, 2025.

MANSOUR, F. R., BEDAIR, A., HAMED, M., MAGDY, G., ALI, I., LOCATELLI, M. Applications of (natural) deep eutectic solvents in liquid phase microextraction: a review. **Microchemical Journal**, v. 198, p. 110178. 2024.

MIKLÓS, Simonyi. Revisiting carotenoid aggregates discerning non-covalent interaction of unbranched fatty acid analogues. **Archives Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences**, v. 6, n. 1, p. 001-005, 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D., & KIMURA, M. **Harvestplus handbook for carotenoid analysis**. 2004.

STUPAR, A., ŠEREGELJ, V., RIBEIRO, B. D., PEZO, L., CVETANOVIĆ, A., MIŠAN, A., MARRUCHO, I. Recovery of β -carotene from pumpkin using switchable natural deep eutectic solvents. **Ultrasonics Sonochemistry**, 76, 2021.