



EXTRAÇÃO EM LEITO AGITADO E ENCAPSULAÇÃO POR GELIFICAÇÃO IÔNICA DE BETALAÍNAS DE BETERRABA VERMELHA (*Beta vulgaris* L.)

EXTRACCIÓN EN LECHO AGITADO Y ENCAPSULACIÓN POR GELIFICACIÓN IÓNICA DE BETAÍNAS DE REMOLACHA ROJA (*Beta vulgaris* L.)

AGITATED BED EXTRACTION AND ENCAPSULATION BY IONIC GELLIFICATION OF BETAINES FROM RED BEET (*Beta vulgaris* L.)

Apresentação: Comunicação Oral

Hanna Mayara Do Nascimento Muniz Pontes¹; Iris Da Silva Moura²; Daniele Silva Ribeiro³

DOI: <https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0111>

RESUMO

As betalaínas, pigmentos bioativos divididos em betacianinas (vermelhas) e betaxantinas (amarelas), que possuem grande potencial para aplicações industriais. Este trabalho teve como objetivo obter o extrato de betalaínas da beterraba (*Beta vulgaris* L.), extraído em leito agitado, por meio de planejamento experimental, para posterior microencapsulação por gelificação iônica. A extração seguiu um planejamento fatorial 2³, variando a concentração do solvente (álcool 95,5; 70 e 40%), a relação massa/volume (1:10; 1:20; 1:30) e o tempo de extração (24, 36, 48h). O extrato com maior teor de betalaínas foi microencapsulado. Os resultados indicaram que a extração das betalaínas foi influenciada pela concentração do solvente, com menores concentrações de etanol, resultando em maior rendimento, bem como, um menor teor de m/v e também um menor tempo. Na microencapsulação, foram obtidas microcápsulas esféricas e avermelhadas, com boa estabilidade. Os resultados foram promissores, mas requer otimização do processo para aumentar o rendimento e eficiência da recuperação.

Palavras-Chave: Betalaínas; Microencapsulação; Gelificação iônica.

RESUMEN

Betalaínas, pigmentos bioactivos divididos en betacianinas (rojas) y betaxantinas (amarillas), que tienen un gran potencial para aplicaciones industriales. Este estudio tuvo como objetivo obtener extracto de betalaína de remolacha (*Beta vulgaris* L.), extraído en lecho agitado, mediante diseño experimental, para su posterior microencapsulación por gelificación iónica. La extracción siguió un diseño factorial 2³, variando la concentración del disolvente (alcohol 95,5, 70 y 40%), la relación masa/volumen (1:10, 1:20, 1:30) y el tiempo de extracción (24, 36, 48h). El extracto con mayor contenido de betalaína fue microencapsulado. Los resultados indicaron que la extracción de betalaínas fue influenciada por la concentración del disolvente, con concentraciones más bajas de etanol resultando en un mayor rendimiento, así como un menor contenido de m/v y también un tiempo más corto. En la microencapsulación, se obtuvieron microcápsulas esféricas y rojizas con buena estabilidad. Los resultados fueron prometedores, pero se requiere optimizar el proceso para aumentar el rendimiento y la eficiencia de la recuperación.

¹ Engenharia de alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, hannamayara0704@gmail.com

² Engenharia de alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, iriskimy.moura@gmail.com

³ Engenharia de alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, daniele.ribeiro@gmail.com

Palabras Clave: Betalaínas; Microencapsulación; Gelificación iónica.

ABSTRACT

Betalains are bioactive pigments divided into betacyanins (red) and betaxanthins (yellow), which have great potential for industrial applications. This work aimed to obtain beetroot (*Beta vulgaris L.*) betalain extract, extracted in a stirred bed, through experimental design, for later microencapsulation by ionic gelation. The extraction followed a 2³ factorial design, varying the solvent concentration (alcohol 95.5, 70, and 40%), the mass/volume ratio (1:10; 1:20; 1:30), and the extraction time (24, 36, 48 h). The extract with the highest betalain content was microencapsulated. Results showed that betalain extraction was influenced by solvent concentration, with lower ethanol concentrations resulting in higher yield, as well as a lower m/v ratio and shorter time. In microencapsulation, spherical and reddish microcapsules with good stability were obtained. The results were promising, but process optimization is required to increase yield and recovery efficiency.

Keywords: Betalains; Microencapsulation; Ionic gelation.

INTRODUÇÃO

A coloração dos alimentos reflete a presença de substâncias com efeitos benéficos à saúde. Como consequência, a aparência dos alimentos influencia sua aceitação, levando a indústria a utilizar corantes naturais e artificiais. Todavia, a crescente exigência dos consumidores por alimentos saudáveis, tem impulsionado a busca por produtos ricos em compostos bioativos (González *et al.*, 2015; Paz *et al.*, 2015; Singthong *et al.*, 2014). Apesar de os pigmentos naturais serem valorizados devido ao seu potencial antioxidante, ainda há desafios quanto à sua estabilidade e custo de produção (Furukawa *et al.*, 2006; Gonçalves, 2018).

A beterraba tem sido estudada como alimento funcional devido ao seu efeito benéfico à saúde, sendo um dos poucos vegetais que contêm betalaínas, pigmentos bioativos em sua composição (Clifford *et al.*, 2015). As betalaínas, compostos N-heterocíclicos solúveis em água, estão presentes nos vacúolos das plantas e possuem o ácido betalâmico como precursor. São identificadas mais de cinquenta estruturas desses compostos, restritas a cerca de 10 famílias da ordem Caryophyllales e a alguns fungos como *Amanita* e *Hygrocybe* (Cai *et al.*, 2005). Esses pigmentos se dividem em betacianinas, que conferem coloração vermelha, e betaxantinas, responsáveis pela cor amarela. São classificadas em quatro tipos principais: betanina, amarantina, goferina e bougainvilina. Na beterraba, há predominância de betacianinas (75-95%) e betaxantinas (95%) em sua composição. As betalaínas são reconhecidas por suas propriedades antioxidantes, reduzindo o estresse oxidativo e apresentando potencial anti-inflamatório, o que as torna promissoras para aplicações em alimentos, cosméticos e medicina (Netzel, 2005).

A microencapsulação é uma técnica que visa proteger compostos sensíveis, inspirada no modelo celular, onde uma membrana polimérica isola a substância ativa, melhorando sua estabilidade e funcionalidade (Reis *et al.*, 2021).

A gelificação iônica é um método eficaz para encapsular compostos bioativos, criando barreiras contra interações ambientais e químicas (Carmo *et al.*, 2015). Essa abordagem tem se destacado no desenvolvimento de novos produtos com maior estabilidade potencial de aplicação industrial. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo obter o extrato de betalaínas da beterraba (*Beta vulgaris* L.), extraído em leito agitado, por meio de planejamento experimental, para posterior microencapsulação por gelificação iônica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma raiz tuberosa amplamente cultivada, valorizada não apenas por seu valor nutricional, mas também como fonte de compostos bioativos, especialmente as betalaínas, pigmentos naturais responsáveis pela coloração vibrante da raiz. A crescente demanda por ingredientes naturais tem impulsionado o uso da beterraba como matéria-prima na produção de corantes naturais para indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (MOREIRA et al., 2022).

As betalaínas são pigmentos hidrossolúveis divididos em dois grupos: betacianinas (vermelho-arroxeadas) e betaxantinas (amarelo-alaranjadas), ambas reconhecidas por sua atividade antioxidante. Esses compostos também apresentam potenciais efeitos terapêuticos, como ação anti-inflamatória, antitumoral e hepatoprotetora (FIROOZJAH et al., 2023).

A extração das betalaínas pode ser realizada por diferentes métodos, como maceração, extração assistida por ultrassom, micro-ondas e extração em leito agitado. Dentre essas, a extração assistida por ultrassom é amplamente empregada, devido à sua capacidade de aumentar o rendimento e preservar os compostos sensíveis ao calor (WICZKOWSKI et al., 2021). No entanto, essa técnica exige maior controle de parâmetros operacionais e maior custo de equipamento. A extração em leito agitado, por sua vez, é destacada pela simplicidade, baixo custo e eficiência, promovendo melhor difusão do solvente na matriz vegetal (SHOFININITA, 2023).

Parâmetros como o teor de sólidos totais e a concentração de compostos fenólicos são cruciais para a eficiência da extração e qualidade do extrato de pigmentos de betalaínas de beterraba. O teor de sólidos está relacionado à quantidade total de material solúvel extraído, refletindo a eficiência do processo e a concentração do extrato, o que influencia diretamente a atividade funcional e estabilidade dos pigmentos (SILVA et al., 2020). Já a concentração de compostos fenólicos, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes, contribui para a proteção das betalaínas contra degradação oxidativa, aumentando a eficácia dos extratos (COSTA et al., 2019). Assim, o controle destes parâmetros é fundamental para otimizar a extração e garantir a qualidade e funcionalidade dos pigmentos obtidos.

Para aumentar a estabilidade das betalaínas frente à luz, pH e temperatura, técnicas de microencapsulação têm sido amplamente investigadas. A gelificação iônica é uma das abordagens mais utilizadas devido à simplicidade operacional, uso de polímeros naturais e condições brandas de processamento. Esse método baseia-se na formação de cápsulas através da interação entre biopolímeros aniônicos, como o alginato de sódio, e íons divalentes como o cálcio, formando redes tridimensionais que envolvem e protegem os compostos bioativos (SOUZA et al., 2019). Embora apresente boa capacidade de retenção e seja eficiente na proteção contra condições adversas, a gelificação iônica pode apresentar limitações quanto à resistência mecânica das cápsulas e à variabilidade no tamanho das partículas (MONTEIRO et al., 2021).

Outras técnicas, como a secagem por *spray drying* e a coacervação complexa, também são utilizadas, oferecendo vantagens em escalabilidade e controle de liberação, porém exigem maior investimento tecnológico e podem resultar em maiores perdas de compostos sensíveis (RUTZ et al., 2020; TONON et al., 2010).

METODOLOGIA

O experimento quantitativo foi conduzido no Centro de Laboratórios de Garanhuns, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (CENLAG/UFAPE), no Laboratório de Biotecnologia e no Centro de Laboratórios de Ciência e Tecnologia de Alimentos – LACTAL, na mesma instituição.

OBTENÇÃO DO EXTRATO DE BETALAÍNAS- PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

As beterrabas foram adquiridas em mercado local, onde foram higienizadas e sanitizadas. Em seguida, foram desidratadas e trituradas para a obtenção do pó, utilizado na produção do extrato. A obtenção do extrato foi realizada em uma mesa agitadora por meio de um planejamento experimental fatorial completo 2^3 , no qual foram estudados os efeitos das variáveis de processo na extração dos pigmentos de betalaínas. Foram definidos previamente como parâmetros/variáveis independentes da extração: a concentração do solvente (álcool P.A. 95,5%, 70% e 40%), a proporção entre a massa do pó de beterraba (g) e o volume do solvente (mL) (1:10; 1:20; 1:30 m/v), e o tempo de extração (24, 36 e 48 horas). Como variáveis-resposta, foram analisados: o teor total de betalaínas, o teor de sólidos solúveis totais (°Brix) e a concentração de compostos fenólicos totais presentes nos extratos. O experimento foi realizado à temperatura ambiente, com agitação constante de 100 rpm.

AValiação do Teor de Betalaínas Totais

O teor de betalaínas foi determinado no extrato de beterraba de acordo com método descrito

por Stintzing *et al.* (2005). As amostras foram homogeneizadas em solução tampão de Mcllvaine (pH 6,5) até obter uma leitura em espectrofotômetro (Shimadzu UV-Vis 1900i) entre 0,8 e 1,0, nos comprimentos de onda de 538 nm para betacianinas, 480 nm para betaxantinas e a 600 nm para correção. O teor de betalaínas foi determinado de acordo com a Equação 1:

$$\text{Betalaínas(mgL)} = A \times DF \times PM \times 1000 \epsilon \times l$$

(Equação 1)

Sendo, A o valor de absorbância, DF o fator de diluição e l o comprimento do caminho (1 cm) da cubeta. Para quantificação de betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), os pesos moleculares (PM) e absorvidade molar (ϵ) foram, respectivamente, 550 g.mol⁻¹ e 60000 L.mol⁻¹.cm⁻¹ em H₂O: λ = 538 nm para betanina; 339 g.mol⁻¹ e 48000 L.mol⁻¹.cm⁻¹ em H₂O: λ = 480 nm para vulgaxantina I.

QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS

A quantificação de compostos fenólicos totais foi realizada pelo método espectrofotométrico de Singleton e Rossi (1965), modificado por Boroski *et al.* (2015). Para isso, uma alíquota do extrato foi misturada com o Reagente Folin-Ciocalteu, Na₂CO₃ e água destilada, e a absorbância foi medida a 725 nm. O conteúdo de fenólicos foi expresso em mg/L de ácido gálico equivalente, baseado em uma curva de calibração.

SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

A determinação de sólidos solúveis foi realizada com um refratômetro, utilizando uma amostra de 3-4 gotas transferidas para o prisma do instrumento, com a leitura expressa em graus Brix.

DETERMINAÇÃO DO pH

O pH dos extratos foi determinado por um pHmetro calibrado, utilizando cerca de 10 mL do extrato. A leitura foi realizada em triplicata para garantir precisão, conforme AOAC (2008).

MICROENCAPSULAÇÃO DOS PIGMENTOS

As microcápsulas foram desenvolvidas pela técnica de gelificação iônica (método invertido) a técnica envolveu a encapsulação do extrato mais eficiente para o teor de betalaínas totais, seguindo a metodologia proposta por Cujic *et. al.* (2016) com modificações. Foi feita uma solução de alginato de sódio a 3% hidratado com água destilada e mantida em agitação, utilizando um agitador magnético. Essa mistura foi então extrusada com auxílio de agulha de aço inoxidável a uma distância de 6 cm da solução que contém o pigmento e 3% de Cloreto de Cálcio (0,20 M). As micropartículas foram formadas na proporção de 1:1 (v/v) e maturadas na solução coletora por um período de 15 min, sendo

as partículas obtidas posteriormente filtradas e armazenadas.

CARACTERIZAÇÃO DAS MICROCÁPSULAS

O extrato microencapsulado foi caracterizado quanto à umidade (%), determinada conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008) e atividade de água (Aa), feita por leitura direta em aparelho medidor de atividade de água (AQUALAB), a temperatura de 25°C.

EFICIÊNCIA DO ENCAPSULAMENTO (EE%)

Inicialmente as cápsulas foram transferidas para um erlenmeyer, ao abrigo de luz, um contendo o solvente extrator etanol 70% (Moura *et al.*, 2018) na proporção 1:10 (m/v), sendo em seguida submetidas a um banho de ultrassom por 30 min e mantidas sob agitação por quatro horas. Após esse processo, o extrato foi filtrado a vácuo com auxílio do papel filtro. Em seguida, o teste de eficiência foi determinado através da comparação entre o teor de betalaínas totais do extrato utilizado no momento com o teor encontrado nas cápsulas desenvolvidas através da Equação 2. O mesmo teste também foi realizado, para quantificação de compostos fenólicos.

$$EE (\%) = \frac{mg \text{ de ativo na micropartícula} \times 100g \text{ de micropartícula}}{mg \text{ ativo no extrato antes do encapsulamento} \times 100g \text{ do extrato}}$$

(Equação 2)

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados experimentais foram analisados estatisticamente utilizando o software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). O modelo estatístico foi ajustado para identificar os efeitos significativos ($p < 0,05$), considerando as repetições para estimar o erro experimental e a adequação do modelo. Todos os experimentos foram randomizados para garantir a confiabilidade dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos na Tabela 1, observa-se que o maior rendimento foi registrado no Ensaio 3, cujas condições envolveram menor teor alcoólico (40%), proporção sólido/líquido de 1:10 e tempo de extração de 24 horas. Em contraste, o Ensaio 2 apresentou o menor rendimento, apesar de possuir as mesmas proporções de m/v (1:10) e tempo (24 h), porém com teor alcoólico elevado (95,5%), o que possivelmente influenciou negativamente a extração dos compostos bioativos.

Com relação ao teor de betalaínas totais, o maior valor foi observado no Ensaio 3 (24,531 mg/100 g), evidenciando que condições com menor concentração de etanol e menor tempo de extração favoreceram a solubilização desses pigmentos. Por outro lado, o menor teor foi registrado no Ensaio 2 (0,128 mg/100 g), o qual apresentou alta concentração de etanol (95,5%) e tempo reduzido de

extração, o que pode ter limitado a extração dos pigmentos hidrossolúveis. Esses resultados indicam que o uso de solventes com menor teor alcoólico pode ser mais eficiente para a extração de betalaínas da beterraba, possivelmente em razão da maior afinidade destes compostos com soluções aquosas.

Tabela 1: Matriz do planejamento fatorial 2^3 para a produção de pigmentos de betalaínas.

Ensaio	Teor de álcool (%)	Solução extratora (m/v)	Tempo de extração (h)	Teor Betalaínas mg/100g	SST	CFT mg EAG/100g
1	95,5	1/10	48	0,324	20,5	190,22
2	95,5	1/10	24	0,128	20,6	145,50
3	40	1/10	24	24,53	18,7	177,72
4	40	1/10	48	17,59	22,5	198,56
5	95,5	1/30	48	0,340	21,1	151,89
6	40	1/30	24	6,576	15,4	150,50
7	40	1/30	48	6,821	15,1	155,78
8	95,5	1/30	24	0,442	18,9	130,22
9	70	1/20	36	1,844	20,5	123,56
10	70	1/20	36	1,928	19,9	138,83
11	70	1/20	36	1,883	20,6	136,33
12	70	1/20	36	4,106	21,8	168,28

Fonte: Própria (2024). *SST: Sólidos solúveis totais; CFT: Compostos fenólicos totais.

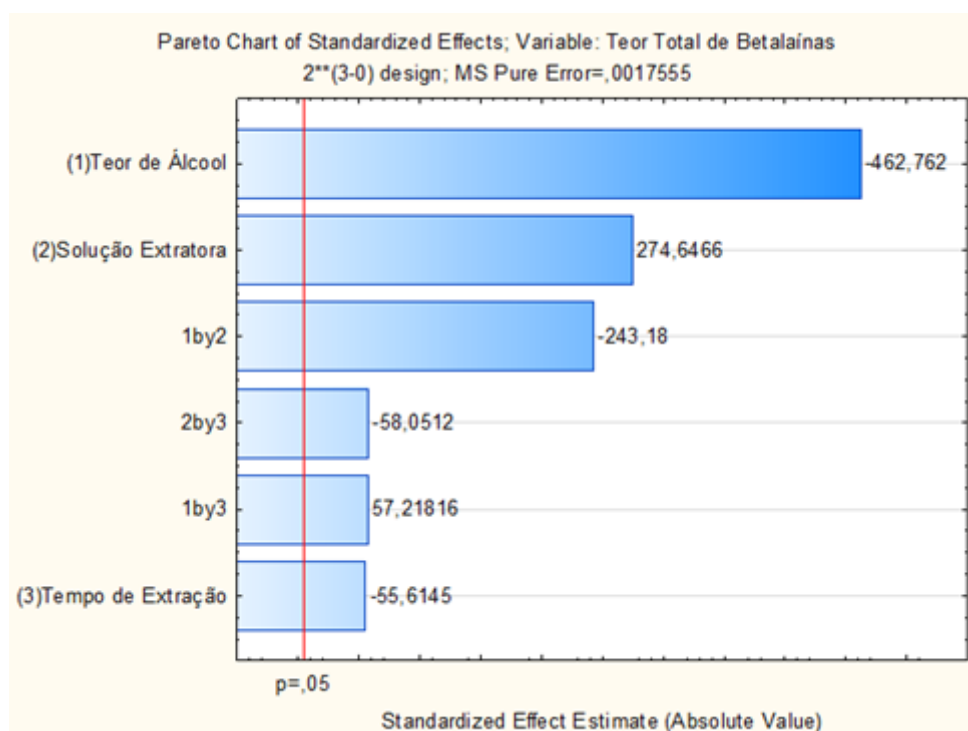
Quanto ao teor de compostos fenólicos totais (CFT), o maior valor foi observado no Ensaio 4 (198,56 mg EAG/100 g), enquanto o menor foi registrado no Ensaio 9 (123,56 mg EAG/100 g). Entretanto, os valores de CFT apresentaram variações relativamente discretas entre os ensaios, indicando que, mesmo com alterações nas condições de extração — como teor alcoólico, proporção sólido/líquido e tempo — a eficiência na extração dos compostos fenólicos manteve-se relativamente constante. Destaca-se, ainda, que condições com menor concentração de etanol e tempo de extração prolongado, como as empregadas no Ensaio 4, favoreceram ligeiramente a liberação desses compostos.

Resultados encontrados na literatura indicam que o teor de betalaínas em beterraba pode variar amplamente, geralmente entre 35 e 210 mg/100 g, dependendo da variedade, do método e das condições de extração adotadas (GONZÁLEZ et al., 2015; SILVA et al., 2019). De maneira semelhante, o teor de compostos fenólicos totais apresenta variação conforme o solvente utilizado e o tempo de extração, com valores reportados entre 120 e 460 mg EAG/100 g em extratos obtidos por métodos similares (PEREIRA et al., 2018; COSTA et al., 2020). Dessa forma, os parâmetros de extração avaliados neste estudo — tempo de extração, proporção massa por volume (m/v) e teor do

solvente, exerceram influência significativa sobre o rendimento, reforçando a importância da otimização desses fatores para maximizar a extração dos compostos bioativos.

Na figura 1, Todas as variáveis, bem como suas interações foram significativas na variável resposta teor de betalainas totais, no entanto a de maior impacto foi o teor de álcool, seguido da solução extratora e a interação entres estas.

Figura 1: Gráfico de Pareto de efeito das variáveis, tempo, solução extratora, teor de álcool e interações entre as mesmas, na produção de pigmentos vermelhos pelo planejamento fatorial 2^3 .



Fonte: Própria (2024).

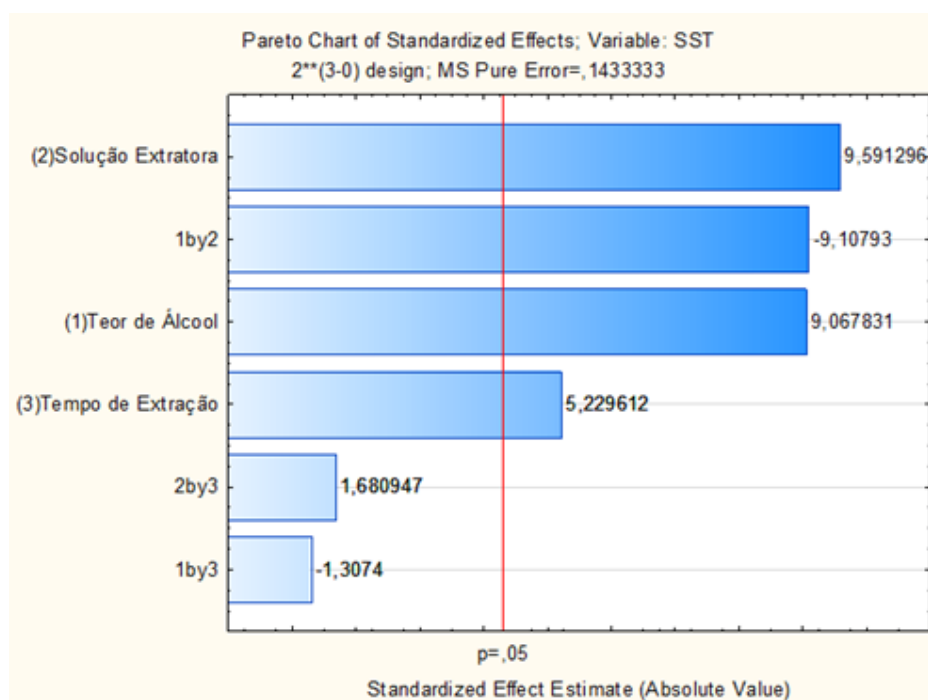
A média dos dados de pH variou entre 5,71 e 6,38, valores estes que auxiliam para estabilidade das betalainas, visto que o pH é fundamental para a manutenção da cor vermelha nestes pigmentos, já que a preservação de suas propriedades está vinculada ao intervalo de pH, tendo uma ótima estabilidade entre pH 4 e 5 sem a presença oxigênio, e entre pH 5 e 6 com a presença de oxigênio (Volp *et al.*, 2009; Schiozer & Barata, 2013).

No estudo realizado por Souza (2019), a estabilidade ótima das betalainas foi demonstrada na faixa de pH de 3 a 7 sugerindo seu uso em diferentes formulações de alimentos, especialmente em alimentos ácidos. De acordo com os resultados obtidos para o teor de betalainas por Melo (2019), foi possível observar que o etanol 70% foi o mais eficiente para extração do pigmento, visto que o extrato

de beterraba apresentou uma maior concentração em relação a sua matéria prima, confirmando o que foi dito por (Shiozer *et al.*, 2007), onde vemos que dentre os solventes que mais são utilizados para extração de betalainas, estão os solventes orgânicos, destacando-se a extração por etanol. Alves (2018), também relatou em seu estudo sobre extração de betalaína e compostos fenólicos em cascas de Pitaya que o etanol é mais eficiente que o metanol na extração de pigmentos, ambos os solventes foram utilizados em sua pesquisa.

Para os sólidos solúveis totais (SST), a solução extratora se destacou como a variável mais influente (Figura 2), sendo que a interação entre o teor de álcool e a solução também apresentou impacto significativo nos resultados, corroborando com os achados do IAL (2008), que ressaltam a importância da escolha do solvente para a eficiência na extração de compostos solúveis.

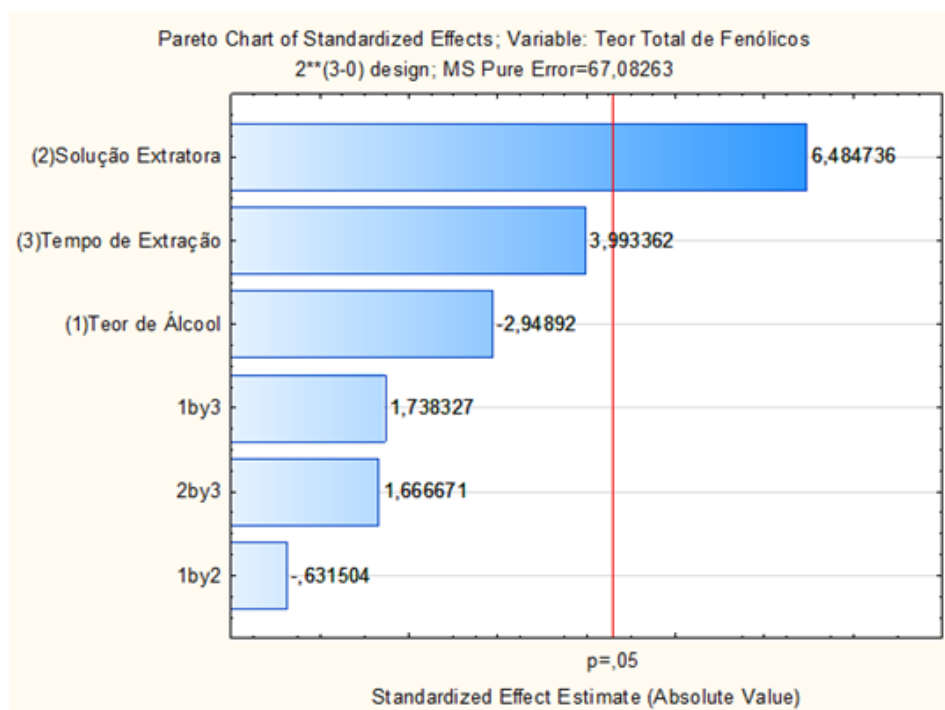
Figura 2: Gráfico de Pareto de efeito das variáveis, tempo, solução extratora, teor de álcool e interações entre as mesmas, na produção dos sólidos solúveis totais.



A análise dos compostos fenólicos (Figura 3) indicou que a relação massa/volume foi o parâmetro mais influente na produção desses compostos no extrato. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que uma maior proporção de matéria-prima em relação ao solvente favorece a difusão dos compostos fenólicos para o meio extrator, aumentando sua concentração final. De acordo com Ignat, Volf e Popa (2011), fatores como a proporção sólido/líquido exercem influência significativa sobre o rendimento da extração de compostos fenólicos, uma vez que afetam diretamente o gradiente de

concentração e o contato entre o solvente e os constituintes bioativos.

Figura 3: Gráfico de Pareto de efeito das variáveis, tempo, solução extratora, teor de álcool e interações entre as mesmas, para produção de compostos fenólicos.

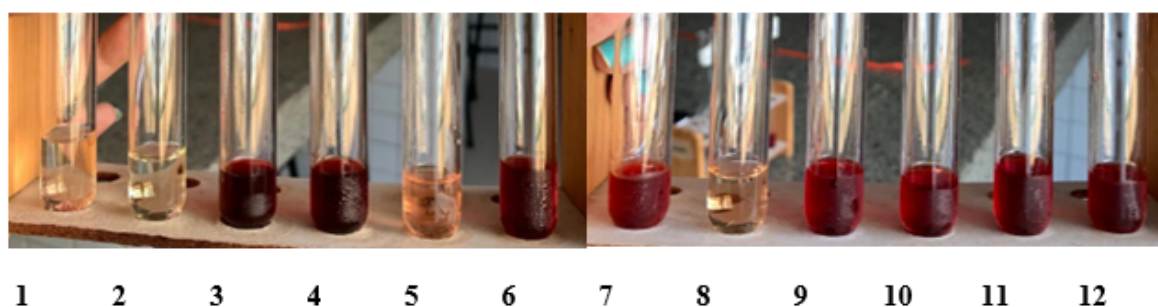


Fonte: Própria (2024).

O teor fenólico foi mais elevado no ensaio 4, enquanto o ensaio 9 obteve menor concentração. O tempo de extração não teve impacto significativo. O pH médio variou entre 5,71 e 6,38, faixa considerada estável para as betalaínas. Estudos anteriores reforçam que o etanol 70% é eficiente na extração desse pigmento, superando solventes como o metanol. Os gráficos de Pareto (Figura 1) indicaram que a concentração de etanol e a relação massa/volume da solução influenciaram negativamente a produção das betalaínas, enquanto o tempo de extração também veio a contribuir de maneira significativa.

Além disso, extratos obtidos com solvente PA não apresentaram coloração ideal (Figura 4), sugerindo que a quantidade de água interfere na extração dos pigmentos.

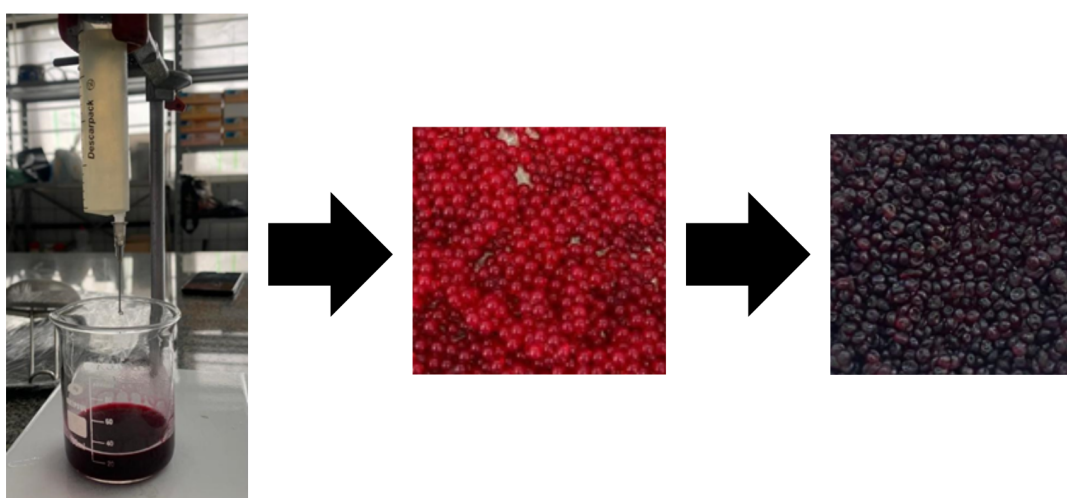
Figura 4: Extração de pigmentos de betalaínas (*Beta vulgaris L*) de beterraba, seguindo planejamento fatorial completo 2^3 (variáveis independentes concentração do álcool, massa/volume da solução e tempo em leito agitado).



Fonte: Própria (2024).

Na microencapsulação por gelificação iônica, foram obtidas microcápsulas esféricas e avermelhadas a partir do extrato de betalaínas (Figura 5). O teor de umidade das microcápsulas foi de 7,50%, o que favoreceu à sua conservação e a atividade de água foi de 0,57, indicando estabilidade química (Tabela 2).

Figura 5: Formação e secagem de microcápsulas de betalaínas vermelhas (*Beta vulgaris L.*) obtidas por gelificação iônica: do gotejamento em solução de cloreto de cálcio ao estado seco após estufa a 40 °C.



Fonte: Própria (2024).

Tabela 2: Caracterização físico-química das microcápsulas do extrato de betalaínas (*Beta vulgaris L.*).

Parâmetros físico-químicos	Média
Umidade (%)	7,50
Atividade de água	0,57

Teor de Betalaínas - EE (%)	5,24
Teor de Fenólicos - EE (%)	86,97

Fonte: Própria (2024).

O teor de betalaínas encapsuladas foi de 5,24%, inferior aos valores relatados na literatura, onde métodos como emulsões múltiplas apresentaram eficiência de até 97,9% (Tabela 2). Tal resultado decorreu de problemas operacionais durante a execução do rompimento das cápsulas. Todavia, o teor de compostos fenólicos foi de 86,97%, com eficiência similar a estudos sobre microencapsulação de extratos vegetais. Os resultados demonstram a importância de otimizar os parâmetros de extração e microencapsulação para melhorar o rendimento e a estabilidade dos pigmentos naturais. Ajustes no modelo podem ser necessários para maior eficiência, considerando o impacto da solução extratora e do teor de álcool na obtenção dos pigmentos e compostos fenólicos.

CONCLUSÕES

O estudo sobre a extração e microencapsulação das betalaínas da beterraba destacou a influência da concentração do solvente na eficiência do processo, com menores concentrações de etanol resultando em maior rendimento. O tempo de extração não afetou significativamente os resultados, enquanto o pH dos extratos influenciou a estabilidade e preservação da cor vermelha característica. A pesquisa também apontou a necessidade de aprimorar técnicas de microencapsulação para otimizar a produção das betalaínas. A análise estatística validou a relevância dos parâmetros estudados, oferecendo suporte para aplicações futuras. Apesar de algumas limitações, os resultados sugerem um grande potencial para o uso desses pigmentos naturais nas indústrias alimentícia, cosmética e medicinal. Esses achados reforçam a importância da biotecnologia na extração e encapsulação de compostos bioativos, garantindo maior estabilidade e aplicabilidade das betalaínas.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. Extração de betalaína e compostos fenólicos em cascas de Pitaya. [Detalhes completos não fornecidos].

(Se tiver mais dados, posso ajudar a formatar melhor.)

CAI, Y. Z.; LUO, Q.; SUN, M.; et al. Identification of betalain pigments from plants. *Food Chemistry*, v. 89, p. 448-452, 2005. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.02.035.

CARNEIRO, H. C. F.; et al. Encapsulação por spray drying de extrato aquoso de beterraba: estabilidade da cor e compostos fenólicos. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 16, n. 1, p. 38-45, 2013. DOI: 10.1590/S1981-67232013005000002.

CARMÓ, D. F. A.; et al. Gelificação iônica para microencapsulação de compostos bioativos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 35, n. 3, p. 500-508, 2015. DOI: [não fornecido].

CLIFFORD, T.; LEBER, H.; PEREIRA, C. Betalaínas: propriedades e aplicações. *Food Research International*, v. 69, p. 233-240, 2015. DOI: [não fornecido].

COSTA, R. S.; et al. Influência dos compostos fenólicos na estabilidade de betalaínas em extratos vegetais. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 4, p. 1824-1832, 2019.

FIRROOZJAH, F.; et al. Efeitos terapêuticos das betalaínas: revisão. *Phytotherapy Research*, v. 37, n. 2, p. 347-358, 2023.

FURUKAWA, S.; et al. Estabilidade e custo de produção de pigmentos naturais. *Food Chemistry*, v. 97, n. 1, p. 123-130, 2006.

GONÇALVES, L. A. G. Aspectos da produção e estabilidade dos pigmentos naturais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2018.

GONZÁLEZ, M. P.; et al. Variedades e concentração de betalaínas em beterraba. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63, n. 1, p. 113-120, 2015.

IGNAT, I.; VOLF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, v. 126, n. 4, p. 1821–1835, 2011. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.026.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

MELO, F. Eficiência do etanol na extração de betalaínas da beterraba. [Detalhes do documento não fornecidos], 2019.

MONTEIRO, J. B.; et al. Limitações da gelificação iônica em microencapsulação. *Journal of Microencapsulation*, v. 38, n. 7, p. 586-594, 2021.

NETZEL, M. Propriedades antioxidantes das betalaínas. *European Food Research and Technology*, v. 220, p. 495-500, 2005.

PEREIRA, R. A.; et al. Variação do teor de compostos fenólicos totais em extratos vegetais. *Food Chemistry*, v. 261, p. 130-135, 2018.

PAZ, M. P.; et al. Compostos bioativos em alimentos coloridos. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 40, p. 15-22, 2015.

REIS, A. R.; et al. Microencapsulação de compostos bioativos: princípios e aplicações. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 57, p. 1-10, 2021.

RUTZ, J. K.; et al. Técnicas de microencapsulação de compostos sensíveis: spray drying e coacervação complexa. *Journal of Food Engineering*, v. 120, p. 310-318, 2020.

SCHIOZER, A. L.; BARATA, L. E. S. Estabilidade das betalaínas em função do pH. *Ciência e*

Tecnologia de Alimentos, v. 33, n. 3, p. 583-589, 2013.

SHOFININITA, D. Extração em leito agitado de compostos bioativos. [Detalhes não fornecidos], 2023.

SHIOZER, A. L.; et al. Solventes para extração de betalaínas: comparação entre orgânicos. *Journal of Food Science*, v. 72, n. 4, p. 280-284, 2007.

SILVA, T. M.; et al. Variação no teor de betalaínas em função do método de extração. *Food Science and Technology*, v. 39, n. 3, p. 482-488, 2019.

SILVA, V. R.; et al. Influência dos compostos fenólicos na estabilidade dos pigmentos naturais. *Revista de Nutrição*, v. 33, n. 2, p. 125-133, 2020.

SOUZA, M. L. Estabilidade das betalaínas em extratos vegetais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2019.

TONON, R. V.; et al. Microencapsulation of flaxseed oil by spray drying: effect of oil load and type of wall material. *Drying Technology*, v. 28, n. 9, p. 1033–1041, 2010. DOI: 10.1080/07373937.2010.493892.

VOLP, A. C. P.; et al. Estabilidade das betalaínas em diferentes condições de pH e oxigênio. *Food Research International*, v. 42, p. 1122–1128, 2009.

WICZKOWSKI, W.; et al. Extração assistida por ultrassom para compostos fenólicos. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 58, p. 104648, 2021.