IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE PIGMENTOS DE BETERRABA (*Beta Vulgaris*) EM EXTRATO ALCÓLICO E NA FORMA MICROENCAPSULADA

EVALUACION DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS PIGMENTOS DE REMOLACHA (*Beta Vulgaris*) EN UN EXTRACTO ALCOHOLICO Y EN FORMA MICROENCAPSULATED

EVALUATION OF ANTIOXIDATING ACTIVITY OF BEET (*Beta Vulgaris*) PIGMENTS IN ALCOHOLIC EXTRACT AND MICROENCAPSULATED FORM

Apresentação: Comunicação Oral

Monnykhe Lorena de Oliveira MELO¹; Pedro Brivaldo Viana da SILVA²; Edvan de Oliveira SILVA³; Thayná Torres da SILVA⁴; Daniele Silva RIBEIRO⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0149>

Resumo

As betalaínas são pigmentos nitrogenados e hidrossolúveis classificados em betacianinas (coloração vermelho-violeta) e betaxantinas (coloração amarelo-alaranjada). Estes pigmentos são indicados como uma alternativa de corantes naturais bioativos, entretanto, devido à instabilidade a fatores ligados as técnicas de processamento de alimentos ainda não são utilizados em grande escala na indústria. Em função disso, a técnica de microencapsulação se mostra como uma possibilidade de aumentar a estabilidade desses compostos além de facilitar o manuseio durante a utilização. O presente trabalho teve como objetivo obter o extrato de beterraba (*Beta Vulgaris*) e avaliar teor de betalaínas, fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante, do extrato, antes e depois da microencapsulação por atomização (*spray dryer*), utilizando como agentes carreadores maltodextrinas de dextroses equivalentes (DE) 15 e 20. A atividade antioxidante foi avaliada por meio das análises de ABTS, DPPH e habilidade quelante de Cu²⁺, também foram avaliados o teor de betalaínas, fenólicos e flavonóides. O extrato alcóolico de beterraba apresentou melhor desempenho para as análises antioxidantes e teor de compostos bioativos realizadas no presente estudo, em comparação aos resultados obtidos do extrato da beterraba *in natura* e manteve-se na faixa de pH ótimo de preservação das betalaínas, após a extração alcoólica. Tais resultados demonstraram que a extração dos bioativos presentes na beterraba pelo processo de extrativo de sólido-líquido com etanol 70% foi eficiente. As maltodextrinas de dextroses equivalentes de 15 e 20 foram eficientes para

¹ Engenharia de Alimentos, UFRPE- UAG, monnykhelorena@gmail.com

² Engenharia de Alimentos, UFRPE- UAG, pedro.brivaldo@hotmail.com

³ Engenharia de Alimentos, UFRPE- UAG, edvan166@hotmail.com

⁴ Engenharia de Alimentos, UFRPE- UAG, thayna-torres10@hotmail.com

⁵ Doutora em Ciência e Tecnologia dos alimentos, UFRPE- UAG, ribeirodanieles@gmail.com

preservação de betalaínas e atividade antioxidante. O pó microencapsulado com maltodextrina de 15 DE apresentou maior rendimento no processo de atomização em relação ao pó microencapsulado com maltodextrina de 20 DE, apresentando uma melhor aplicabilidade para a microencapsulação do extrato alcoólico de beterraba por *spray drying*. Ambas as amostras microencapsuladas apresentaram alta retenção de betalaínas e, dessa forma, a atividade antioxidante e o poder tintorial fornecido pelos pigmentos betalaínas presentes no extrato foram mantidos, evidenciando que a técnica de microencapsulação é um processo viável para a proteção desses pigmentos.

Palavras-Chave: Capacidade antioxidante, Betalaínas, Microencapsulação, Maltodextrina

Resumen

Las betalaínas son pigmentos nitrogenados y solubles en agua clasificados en betacyaninas (tinción rojo-violeta) y betaxantinas (tinción amarillo-naranja). Estos pigmentos están indicados como una alternativa a los colorantes naturales bioactivos, sin embargo, debido a la inestabilidad a factores relacionados con las técnicas de procesamiento de alimentos todavía no se utilizan a gran escala en la industria. Debido a esto, la técnica de microencapsulación se muestra como una posibilidad de aumentar la estabilidad de estos compuestos, además de facilitar el manejo durante el uso. El objetivo de este trabajo era obtener el extracto de remolacha (*Beta Vulgaris*) y evaluar el contenido de betalaínas, fenólicas, flavonoides y actividad antioxidante del extracto, antes y después de la microencapsulación de atomización (Spray Dryer), utilizando como Agentes portadores de maltodextrina de Dextrosa equivalente 15 y 20. La actividad antioxidante fue evaluada por el análisis de ABTS, DPPH y la capacidad de quelación de Cu^{2+} , las betalaínas, contenido fenólico y flavonoides también fueron evaluados. El extracto alcohólico de remolacha presentó un mejor rendimiento para los análisis antioxidantes y el contenido de compuestos bioactivos realizados en este estudio, en comparación con los resultados obtenidos del extracto de remolacha fresca y se mantuvo en el rango de pH óptimo de la preservación de betalaína después de la extracción alcohólico. Estos resultados mostraron que la extracción de bioactivos presentes en la remolacha por el proceso de extracción sólido-líquido con etanol 70% fue eficiente. Las maltodextrinas de dextrosis equivalentes de 15 y 20 fueron eficientes para la preservación de betalains y actividad antioxidante. El polvo microencapsulado con 15 DE Maltodextrina mostró un mayor rendimiento en el proceso de atomización en relación con el polvo microencapsulado con maltodextrina de 20 DE, presentando una mejor aplicabilidad para la microencapsulación del extracto alcohólico de Remolacha por secado por pulverización. Ambas muestras microencapsuladas mostraron una alta retención de betalains y, por lo tanto, la actividad antioxidante y el poder tintorial proporcionado por los pigmentos betalains presentes en el extracto se mantuvieron, lo que evidencia que la técnica de La microencapsulación es un proceso viable para la protección de estos pigmentos.

Palabras Clave: Capacidad antioxidante, betalaínas, microencapsulación, maltodextrina.

Abstract

The betalains are nitrogenous and water-soluble pigments classified as betacyanins (red-violet) and betaxanthines (yellow-orange coloration). These pigments are indicated as an alternative to bioactive natural dyes, however due to the instability to factors linked the food

processing techniques are not still used in the industry on a large scale. Because of that, the microencapsulation technique presents itself as a possibility of increasing the stability of such compounds in addition to facilitating handling during use. The objective of this study was to obtain beet extract (*Beta Vulgaris*) and to evaluate the beta - lactic acid content of betalains, phenolics, flavonoids and antioxidant activity of the extract, before and after spray drying, using maltodextrins as dextrose agents equivalents (DE) 15 and 20. Antioxidant activity was evaluated by ABTS, DPPH and Cu²⁺ chelating ability, betalain, phenolic and flavonoid content. The beet alcoholic extract presented better performance for the antioxidant analyzes and content of bioactive compounds performed in this study, compared to the results obtained from the fresh beet extract and remained in the optimum pH range of the betalain preservation after extraction alcoholic. These results demonstrated that the extraction of bioactive substances present in beet by the solid-liquid extraction process with 70% ethanol was efficient. The maltodextrins of equivalent dextrose of 15 and 20 were efficient for preservation of the betalains and antioxidant activity. The microencapsulated powder with maltodextrin of 15 DE presented a higher yield in the atomization process in relation to the powder microencapsulated with maltodextrin of 20 DE, in this way, it's presented better applicability to the microencapsulation of the alcoholic beet extract by spray dryer. The samples of microencapsulated material presented at the end of the process of spray dryer high retention of the betalains and, of that form, the antioxidant activity and tinting power provided by the pigment were maintained, evidencing that the technique of microencapsulation is a viable process for the protection of these pigments.

Keywords: Antioxidant capacity; Betalains; Microencapsulation; Maltodextrin

Introdução

Os consumidores em geral na hora da aquisição dos alimentos, são muitas vezes induzidos pela cor que os alimentos carregam. A cor é uma característica primária que remete mesmo que subjetivamente outros fatores que envolvem alimento como o sabor, aroma e a textura. Os pigmentos são empregados nos alimentos com a finalidade de conferir cor, reconstituir a cor original, acrescentar cores já existentes ou tornar alimento mais atrativo. Existem três fontes de obtenção para corantes naturais; origem vegetal, animal e microbiana.

Um dos tipos de pigmentos naturais utilizados na indústria são as betalaínas, que além da coloração, se destacam pela bioatividade. A principal fonte de betalaínas é a beterraba (*Beta vulgaris*), reconhecida pelo seu alto valor nutricional e pela presença de compostos bioativos.

Uma das tecnologias utilizadas para preservação de compostos bioativos é a técnica de microencapsulação. Esse processo consiste basicamente em revestir o ingrediente ativo com uma fina camada de um filme contínuo para formar partículas em tamanho micro, que manterá o composto ativo isolado e protegido de reações adversas, preservando o produto e, por consequência, aumentando sua vida útil. O presente trabalho teve como objetivo obter o

extrato de beterraba (*Beta Vulgaris*) e avaliar teor de betalaínas, fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante, do extrato, antes e depois da microencapsulação por atomização (*spray dryer*), utilizando como agentes carreadores maltodextrinas de dextroses equivalentes 15 e 20.

Fundamentação Teórica

Os corantes alimentícios são extremamente importantes na indústria, para garantir a atratividade dos produtos alimentícios. No entanto, com base nas últimas descobertas relacionadas aos efeitos colaterais e problemas de toxicidade de alguns corantes sintéticos, os consumidores em todo o mundo têm mostrado crescente interesse em alternativas naturais (MARTINS et al, 2017).

Os corantes naturais de fontes vegetais são provenientes de raízes, sementes, folhas, frutos e flores. As plantas vêm sendo exploradas como fonte de pigmentos naturais para serem usados em alimentos devido ao baixo risco de toxicidade, segurança e, principalmente, por conta das propriedades benéficas à saúde (JABEUR et al., 2017).

Os principais pigmentos vegetais atualmente empregados na indústria são os carotenóides, antocianinas e betalaínas em função do seu poder corante e da bioatividade que esses pigmentos fornecem (RODRIGUEZ-AMAYA, 2016; STINTZING; CARLE, 2004). As betalaínas são reconhecidas pelo elevado poder antioxidante e também são associadas a atividade anti-inflamatória, anti-carcinogênica e propriedade hepato-protetora (CLIFFORD et al., 2015; POORNIMA; SINTHIYA, 2017). As betalaínas são pigmentos naturais nitrogenados e hidrossolúveis sintetizados a partir do aminoácido tirosina. Estes pigmentos são característicos de plantas da ordem *Caryophyllales* (ESCRIBANO et al., 2017). Levando em consideração as características estruturais e as propriedades de absorção de luz, as betalaínas são classificadas em dois grupos, as betacianinas (de coloração vermelho-violeta) e as betaxantinas (de coloração amarelo-alaranjadas), ambas apresentam como precursor comum o ácido betalâmico (POLTURAK; AHARONI, 2018; SHIOZER; BARATA, 2007).

Compostos com atividade antioxidante são responsáveis por impedir a formação de radicais livres ou a propagação dessas reações doando hidrogênio, de forma que a molécula alvo permaneça estável e, conseqüentemente, agem no retardo ou prevenção da oxidação (ACHKAR et al., 2013). As substâncias responsáveis pela atividade antioxidante nessas fontes naturais são minerais, vitaminas e principalmente compostos fenólicos.

As fontes vegetais de betalaínas são beterraba vermelha e amarela (*Beta vulgaris L. ssp. vulgaris*), acelga colorida (*Beta vulgaris L. ssp. cicla*), grão ou amaranto folhoso (*Amaranthu ssp.*) e frutos de cactos, como os de *Opuntia* e *Hylocereus genera* (ESCRIBANO et al., 2017; STINTZING; CARLE, 2004). Dentre estas, destaca-se a beterraba vermelha visto que as betalaínas são o principal pigmento encontrado neste vegetal, tornando-o um dos mais poderosos antioxidantes disponíveis no mercado (SAWICKI; WICZKOWSKI, 2018).

Shiozer e Barata (2007) reportam em seu estudo que os solventes mais usados para extração de pigmentos naturais, principalmente betalaínas, são a água, etanol ou metanol onde os dois últimos são mais indicados quando objetiva-se uma extração mais completa

A técnica de microencapsulamento é um processo onde minúsculas partículas de ingredientes ativos de líquidos, gás ou sólidos são cobertas ou aprisionadas em um segundo material, a cápsula protetora. O processo de microencapsulação objetiva isolar e proteger os componentes ativos de condições degradantes como luz, oxigênio e interação com outros produtos, dessa forma, promove o aumento da estabilidade do produto e evita possíveis consequências da exposição inadequada. As microcápsulas também têm a função de liberar os ativos encapsulados sob condições e velocidades específicas (FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008).

Várias técnicas podem ser utilizadas para a microencapsulação, diferindo apenas no tipo de revestimento ou no aprisionamento do material a ser encapsulado pelo material de parede. A combinação entre o material de parede e o agente ativo pode ser de natureza física, química ou físico-química (SUAVE et al., 2006). Servat et al., (2010). Dentre esses métodos destaca-se o *Spray Drying* (natureza física) tem sido utilizado na indústria alimentícia desde a década de 60, e atualmente é bastante usado na fabricação de aditivos e aromas alimentícios secos e estáveis (DESAI; PARK, 2007). E, para tal técnica, polissacarídeos, no geral, são considerados bons agentes encapsulantes e apresentam baixa viscosidade em altas concentrações e boa solubilidade. As maltodextrinas têm sido extensivamente utilizadas em processos de microencapsulação por conferir aos microencapsulados proteção contra oxidação, alta solubilidade em água, baixa viscosidade além de ser insípida e inodora (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Metodologia

As metodologias descritas no presente estudo foram desenvolvidas nos Laboratórios do Centro de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns – CENLAG, nos

Laboratórios de Ciência e Tecnologia de Alimentos – LACTAL/UAG/UFRPE e no Laboratório de Processamento do Departamento de Ciências do Consumo, na sede (DCC/UFRPE) - Recife-PE. As beterrabas vermelhas (*Beta vulgaris*) foram adquiridas, em lote único, em um supermercado local da cidade de Garanhuns-PE. Após a aquisição, as beterrabas foram mantidas sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) até o início das atividades experimentais.

Preparação da Matéria-Prima Obtenção dos extratos de beterraba: As beterrabas selecionadas para o estudo foram sanitizadas conforme o descrito por Chitarra (2007). Após a higienização, seguiu-se para etapa de obtenção do extrato de beterraba. A obtenção do extrato ocorreu conforme o proposto por Cuchinski, Caetano e Dragunski, (2010), com modificações. Foram utilizados 50 g de beterraba *in natura*, previamente cortada em pedaços pequenos e foram trituradas com 100 mL de etanol a 70% (proporção 1:2 m/v) em um multiprocessador de alimentos (Dellar Platinum) por cerca de 30 segundos. Posteriormente, a mistura foi colocada ao abrigo da luz e permaneceu sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) e foi deixada sob maceração por um período de 48 horas. Após esse período, o macerado foi filtrado a vácuo em papel-filtro para eliminação dos resíduos sólidos. A fração líquida restante foi submetida a evaporação do etanol em evaporador rotativo (SL-126, Solab) a 50°C até atingir volume constante. As operações de extração foram realizadas várias vezes até a obtenção de volume suficiente para realização do estudo. As amostras obtidas foram homogeneizadas em um frasco âmbar e este foi mantido congelado ($-18,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) até o momento do uso.

Obtenção do Extrato da Beterraba in natura: Com o intuito de avaliar a eficiência da extração alcoólica foi obtido o extrato da beterraba *in natura*. As beterrabas, após lavadas e sanitizadas, foram cortadas e trituradas em um multiprocessador de alimentos para obtenção do extrato da beterraba *in natura*. A fração líquida restante foi filtrada à vácuo com papel-filtro para retirada de resíduos sólidos.

Caracterização dos extratos de beterraba

pH, análise de cor e teor de betalaínas

O pH foi determinado por leitura em pHmetro digital (precisão $\pm 0,01$ pH, MARCONI, PA 200). A quantificação da cor foi realizada a partir de um colorímetro da marca Konica Minolta CR-10, previamente calibrado com as cores branco e preto padrão. O conteúdo de betalaínas foi determinado conforme descrito por Stintzing et al. (2005).

Primeiramente, a amostra foi diluída (quantas vezes necessárias) em solução de McIlvaine em pH 6,5 até obter uma leitura em espectrofotômetro entre 0,8 e 1,0 nos respectivos comprimentos de ondas para betaxantinas e betacianinas, conforme descrito pela Equação 1.

$$\text{BLC [mg/L]} = \frac{A \times DF \times MW \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo A o valor da máxima absorbância corrigida pela leitura a 600 nm, DF é o fator de diluição e l o caminho ótico da cubeta (1 cm). Para a determinação dos conteúdos de betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), os principais componentes das betalaínas na beterraba, a massa molar (MW) e o coeficiente de extinção molar (ϵ) da betanina (MW = 550 g/mol; ϵ = 60,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 538 nm) e da xantina (MW = 308 g/mol; ϵ = 48,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 480 nm) serão aplicados, respectivamente. O conteúdo de betalaínas totais é a soma das betaxantinas e betacianinas presentes nas amostras. Para a determinação dos conteúdos de betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), os principais componentes das betalaínas na beterraba, a massa molar (MW) e o coeficiente de extinção molar (ϵ) da betanina (MW = 550 g/mol; ϵ = 60,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 538 nm) e da xantina (MW = 308 g/mol; ϵ = 48,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 480 nm) serão aplicados, respectivamente. O conteúdo de betalaínas totais é a soma das betaxantinas e betacianinas presentes nas amostras.

Determinação do teor de compostos fenólicos totais e flavonoides

O teor de fenólicos totais foi estimado utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu, a partir da metodologia proposta por Vieira (2011). O teor de flavonoides totais foi quantificado a partir da metodologia proposta por Oliveira (2016). A análise foi realizada em triplicata e os resultados foram expressos em µgEQ/mL (microgramas de equivalente em quercetina por mililitros da amostra).

Avaliação da Atividade Antioxidante

Método de captura do radical ABTS: Para o extrato bruto, a determinação da atividade antioxidante *in vitro*, a partir do método de captura do radical 2,2 –azinobis-3-etilbenzoatiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS), a metodologia utilizada foi a descrita por Tseng et al. (2006) com modificações. O cátion ABTS⁺ foi formado a partir da reação de soluções aquosas de 7 mM de ABTS e 2,45 mM de persulfato de potássio (1:1 v/v) por 16 horas, à temperatura ambiente e na ausência de luz. Transcorrido esse tempo, a solução radical ABTS foi diluída em água destilada até obter uma absorbância de 0,700 (± 0,05), a 734 nm.

Alíquotas de 0,5 mL da amostra diluída em água destilada (quantas vezes necessárias) foram adicionadas em tubos de ensaio com 3,5 mL da solução do radical ABTS e em seguida a mistura foi lida a 734 nm, após 6 minutos no escuro. Um controle negativo foi preparado, substituindo-se a água destilada no lugar da amostra.

Método de captura do radical DPPH: Para determinar a capacidade antioxidante *in vitro* a partir da técnica de captura do radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) utilizou-se a metodologia proposta por Brand- Willams (1995).

A atividade antioxidante, para ambos os métodos, foi calculada em relação à atividade de eliminação do radical (%), de acordo com a Equação 2:

$$\text{Atividade antioxidante}(\%) = \frac{A_{\text{controle}} - A_{\text{amostra}}}{A_{\text{controle}}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Atividade quelante de cobre (Cu^{2+}): A atividade quelante de cobre foi realizada de acordo com metodologia descrita por Sánchez-Vioque et al. (2012), com poucas modificações. Como controle negativo, água destilada foi usada no lugar da amostra e no controle positivo utilizou-se EDTA (0,045%) no lugar da amostra. A atividade quelante de cobre foi calculada a partir do percentual de quelação do íon Cu^{2+} descrito pela Equação 3:

$$(\%) = \frac{A_{\text{controle negativo}} - A_{\text{amostra}}}{A_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Microencapsulação dos Pigmentos da Beterraba

Os agentes encapsulantes utilizados foram a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 15 e 20 MOR-REX® 1910, da Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil). As soluções alimentação do *Spray Dryer* foram preparadas com concentração final de 30% (m/v) antes da adição do extrato de beterraba. O extrato alcoólico da beterraba foi adicionado aos materiais de parede, na proporção 1:3 (v/v), respectivamente. As misturas resultantes foram homogeneizadas em um agitador magnético, mantidas a 30 °C e posteriormente submetidas a secagem por atomização. O microencapsulado foi obtido utilizando o secador por atomização Mini-Spray-Dryer LM modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA). - IDSO) – Piracicaba/SP), segundo condições proposta por Maia (2017), vazão do líquido 0,79 L/h, com bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 38 m³/h, pressão do ar 0,6 bar e

temperatura de entrada de 150 °C e temperatura de saída de 91 °C. Os pós obtidos pelos diferentes materiais de parede foram acondicionados em frascos de vidro âmbar, identificados e mantidos sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$).

Rendimento de microencapsulação, retenção de betalaínas e avaliação dos pigmentos microencapsulados

O rendimento do processo de microencapsulação foi avaliado conforme metodologia proposta por Wu et al. (2014) e calculado mediante a razão entre a massa das microcápsulas obtidas ao final do processo e a massa das substâncias iniciais adicionadas (extrato e materiais de parede). Para retenção de betalaínas a análise foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2013). As análises realizadas nos extratos de beterraba também foram realizadas nos pós microencapsulados em maltodextrina de 15 e de 20 DE. Para as análises nos pós do extrato microencapsulado da beterraba, a metodologia utilizada foi a proposta por (SARDELLA, 2016). A diferença global de cor entre o extrato antes da atomização e o pó reconstituído será obtido pela Equação 4.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2} \quad (\text{Equação 4})$$

Análise de Dados

Os dados obtidos das triplicatas das análises foram analisados estatisticamente por meio de Teste de T-Student, ao nível de significância de 5%, com auxílio do software Minitab v 17.1.0.

Resultados e Discussão

Teor de betalaínas, fenólicos e flavonoides da beterraba in natura e do extrato alcóolico

Os resultados referentes ao pH, teor de betalaínas, de compostos fenólicos e flavonoides do extrato de beterraba *in natura* e do extrato alcóolico de beterraba estão apresentados na Tabela 1. Para o pH do extrato de beterraba *in natura* obteve-se o valor de 5,90, semelhante ao resultado reportado no trabalho de Ramos et al. (2014), para beterraba *in natura*, que foram de 5,87 e 5,920, respectivamente.

Tabela 1. Teor de betalaínas, fenólicos e flavonoides para o extrato de beterraba *in natura* e do extrato alcóolico de beterraba.

Análises	Extrato de beterraba <i>in natura</i>	Extrato alcóolico de beterraba
----------	---------------------------------------	--------------------------------

pH (25 °C)	5,90 ± 0,0058 ^a	5,55 ± 0,0058 ^b
Betalainas totais (mg/100g)	38,75 ± 0,0156 ^b	44,96 ± 0,0206 ^a
Fenólicos totais (µg EAG/mL)	886,88 ± 0,00 ^b	1101,7 ± 0,994 ^a
Flavonoides (µg EQ/mL)	309,03 ± 1,58 ^b	348,47 ± 1,41 ^a

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t-Student. Fonte: Própria, 2019.

O pH do extrato alcoólico de beterraba foi de 5,55 e, quando comparado ao obtido para o extrato de beterraba *in natura*, apresentaram diferenças significativas. Entretanto, nota-se que os valores de pH encontrados para ambas amostras foram superiores a 5,5.

O extrato alcoólico de beterraba apresentou teor de betalaínas de 44,96 mg/ 100g (Tabela 1). Sanchez-Gonzalez et al.(2013) relataram teor de betalaínas de 40-77 mg/100g em extratos de beterraba comercial, obtido por meio de diferentes proporções de metanol, água e ácido acético. Pitalua (2010) encontrou 13,58 mg/100g em extrato de beterraba filtrado, ambos valores inferiores ao encontrado pelo presente trabalho. As condições de extração nos trabalhos, tais como tipo de solvente de extração, ajuste no teor de sólidos solúveis, cuja etapa não foi realizada no presente estudo, bem como fatores atrelados ao cultivo do vegetal, podem justificar a diferença entre os resultados.

Já em relação a matéria-prima, Stintzing e Carle (2007) verificaram que a faixa normalmente encontrada de teor de betalaínas encontrado em beterraba vermelha varia entre 40 a 160 mg/100g em base úmida (b.u.), no presente estudo encontrou-se um valor de 38,75 mg/100g para o extrato de beterraba *in natura*.

De acordo com os resultados de betalaínas obtidos para o extrato de beterraba *in natura* e para o extrato alcóolico, foi possível observar que o método de extração sólido-líquido, utilizando etanol 70%, foi eficiente para extração destes pigmentos, visto que o extrato de beterraba apresentou uma maior concentração em relação à matéria-prima que o originou. Segundo Shiozer e Barata (2007), dentre os solventes mais utilizados para extração de betalaínas estão os solventes orgânicos, destacando-se a extração por etanol.

Em relação ao teor de compostos fenólicos, nota-se que houve diferença significativa entre as amostras de extrato de beterraba *in natura* e extrato alcóolico de beterraba que apresentaram teor de fenólicos de 886,88 e 1101,7 µg EAG/mL, respectivamente (Tabela 1). No geral, os fenólicos apresentam alta polaridade e, portanto, a solubilidade desses compostos fica sujeita a fatores como a polaridade dos solventes utilizados, grau de polimerização demais constituintes dos alimentos (ANGELO; JORGE, 2007).

O maior teor de compostos fenólicos, bem como de flavonoides, encontrado no presente estudo pelo extrato de beterraba em relação ao extrato de beterraba *in natura* pode ser justificado pela escolha do solvente etanol, que em função da sua polaridade foi eficiente na extração dos compostos fenólicos presentes na beterraba vermelha. Segundo Alves et al. (2018) os tecidos da beterraba possuem alto teor de água, assim, o etanol se liga a água contribuindo para a elevada solubilidade do meio, favorecendo a eficiência da extração.

Avaliação da atividade antioxidante no extrato alcóolico e no extrato de beterraba in natura

Os resultados obtidos da avaliação do potencial antioxidante do extrato da beterraba *in natura* e do extrato alcóolico da beterraba encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das análises de DPPH, ABTS e Quelantes de Cu^{2+} para o extrato de beterraba *in natura* e extrato alcóolico de beterraba.

Análise	Extrato de beterraba <i>in natura</i>	Extrato de Beterraba
DPPH (%)	45,84± 0,01 ^b	63,85± 0,01 ^a
ABTS (%)	92,54±0,00 ^b	95,53±0,00 ^a
Quelante de Cu^{2+} (%)	76,04±0,01 ^b	80,30±0,00 ^a

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t-Student. *Amostras beterraba *in natura* e extrato de beterraba diluídas 1:10 para DPPH e ABTS, 1:20 para análise de quelante de cobre Fonte: Própria (2019).

Todos os resultados das análises de DPPH, ABTS, quelantes de Cu^{2+} apresentaram diferenças significativas entre as amostras do extrato de beterraba *in natura* e extrato de beterraba. Entretanto, observa-se que as amostras de extrato alcóolico de beterraba obtiveram os maiores percentuais de inibição para todas as análises comparados às amostras do extrato de beterraba *in natura*.

Os resultados da atividade antioxidante pelo método de ABTS foram superiores aos encontrados por DPPH. O radical livre DPPH é adquirido em sua forma pronta para uso, enquanto o ABTS é gerado por reações químicas ou enzimáticas, e, pode ser solubilizado em meios aquosos ou orgânicos. Assim, a atividade antioxidante pode ser mensurada em função da natureza hidrofílica ou lipofílica dos compostos nas amostras. Em contraste, o radical DPPH é dissolvido apenas em meios orgânicos o que é uma limitação na avaliação dos antioxidantes hidrofílicos (ARNAO, 2001). Estas peculiaridades podem justificar os maiores percentuais de inibição dos radicais ABTS pelos extratos em relação à análise de DPPH, visto que os pigmentos da beterraba são hidrossolúveis.

Delgado-Vargas et al. (2000) em seu trabalho ressaltaram que o uso de solventes orgânicos tem sido bastante recomendado na literatura para extração eficiente de betacianinas, as quais possuem significativa atividade antioxidante. O extrato alcoólico de beterraba também apresentou maior teor de betalaínas em sua composição em relação ao extrato da beterraba *in natura*, o que evidencia o processo eficiente de extração e justifica o maior potencial antioxidante do extrato de beterraba.

A amostra de extrato de beterraba apresentou 80,3% de inibição por quelação de cobre, indicando maior atividade antioxidante em relação ao extrato de beterraba *in natura* seguindo a tendência das análises de ABTS e DPPH (Tabela 2). O resultado da avaliação de atividade antioxidante por quelantes de cobre indica que o extrato alcoólico de beterraba possui maior quantidade de substâncias com ação de quelar os íons de cobre. Tais metais de transição como Cu^{2+} , têm a capacidade de catalisar a reação de radicais livres e, consequentemente, favorece reações como peroxidação lipídica e danos ao DNA. Portanto, esta avaliação é importante para mensurar a “quelação” de íons de metais de transição por antioxidantes já que estes impediriam a reação de oxidação. O maior percentual dado pela análise indica que houve maior ação de antioxidantes em impedir a ação de oxidação por íons de Cu^{2+} (ZHANG et al., 2011).

No presente trabalho obteve-se relação positiva entre a análise de quelantes de cobre e as análises de ABTS e DPPH. O extrato alcoólico de beterraba apresentou alto teor de compostos fenólicos (1101,7 μg EAG/mL) e flavonoides (348,47 μg EQ/mL), substâncias que possuem poder antirradicalar e isto também pode justificar a maior atividade antioxidante deste extrato como discutido na seção anterior.

Avaliação de pós do extrato de beterraba microencapsulados com maltodextrina de 15 DE e 20 DE

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos das análises de atividade antioxidante no extrato alcoólico de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 15 DE e 20 DE, amostra PM15 e PM20, respectivamente. As análises foram realizadas no pó reconstituído em solução tampão de McIlvaine (Figuras 5 e 6). O teor de fenólicos totais encontrado para amostra PM15 foi de 1118,9 μg EAG/mL, valor superior ao encontrado para o pó encapsulado com maltodextrina de 20 DE (938,96 μg EAG/mL) e superior ao encontrado no extrato alcóolico de beterraba (1101,7 μg EAG/mL) (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados das análises de atividade antioxidante DPPH, ABTS, Quelantes de Cu^{2+} , fenólicos totais, flavonoides e retenção das betalaínas nos pós microencapsulados com maltodextrina de 15 DE (PM15) e 20 DE (PM20).

Análise	PM15*	PM20*	Extrato Alcoólico de Beterraba
Fenólicos totais ($\mu\text{g EAG/mL}$)	1118,9 $\pm$ 2,76 ^a	938,96 $\pm$ 1,60 ^c	1101,7 $\pm$ 0,994 ^b
Flavonóides ($\mu\text{g EQ/mL}$)	20,96 $\pm$ 0,58 ^b	17,70 $\pm$ 0,35 ^b	348,47 $\pm$ 1,4 ^a
Retenção de Betalaínas (%)	104,31 $\pm$ 0,00	87,20 $\pm$ 0,00	-
DPPH (%)	40,21 $\pm$ 0,00 ^b	39,15 $\pm$ 0,00 ^b	63,85 $\pm$ 0,01 ^a
ABTS (%)	98,46 $\pm$ 0,00 ^a	99,12 $\pm$ 0,00 ^a	95,53 $\pm$ 0,00 ^a
Quelante de Cu^{2+} (%)	87,78 $\pm$ 0,00 ^b	89,18 $\pm$ 0,00 ^a	80,30 $\pm$ 0,00 ^c

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t-Student. * Amostras PM15 e PM20 diluídas em 1:3 flavonoides, DPPH e ABTS, 1:10 para análise de quelante de cobre e extrato da beterraba 1:20. Fonte: Própria (2019).

Figura 5. Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 15 DE (a) Pó microencapsulado com maltodextrina de 15 DE reconstituído (b).

Fonte: Própria, 2019.

Figura 6. (a) Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 20 DE (b) Pó microencapsulado com maltodextrina de 20 DE reconstituído.

Fonte: Própria, 2019

A determinação do teor de compostos fenólicos é relevante tendo em vista que diversos estudos têm associado estes compostos à atividade antioxidante. Os compostos

fenólicos compõem uma grande classe de fitoquímicos englobando moléculas que em sua estrutura química apresentam hidroxilas e anéis aromáticos tanto em sua forma simples como em polímeros, esta característica confere o poder antioxidante destes compostos (ANGELO; JORGE, 2007). Por se tratar de um método não específico de análise, compostos como vitamina C, açúcares ou minerais podem ser interferentes da reação (ANGELO; JORGE, 2007; BOROSKI, 2015). Portanto, algum interferente como estes pode ter influenciado na análise visto que o teor de fenólicos na amostra PM15 DE foi superior ao do extrato.

O teor de flavonoides entre as amostras de pós PM15 e PM20 não apresentou diferença estatisticamente significativa. No entanto, observa-se grande diferença em relação ao extrato. Infere-se que os flavonoides, representante de uma classe de compostos fenólicos, presentes nos pós podem ter sofrido ação do calor durante o processo de microencapsulação, tendo em vista que alguns flavonoides podem se degradar em altas temperaturas (ESCRIBANO - BAILÓN et al., 2004).

Os extratos microencapsulados PM15 e PM20 mostraram atividade antioxidante em todos os ensaios DPPH, ABTS e Quelantes de Cu^{2+} (Tabela 3). No entanto, para o ensaio de atividade antioxidante por DPPH, obteve-se diferenças significativas entre as amostras PM15 e PM20, quando comparado aos resultados do extrato alcoólico de beterraba. Esta situação é comumente citada na literatura, onde relata-se a perda de atividade antioxidante em consequência do processo de atomização em função da alta temperatura fornecida ao material microencapsulado na entrada e na saída do *spray dryer*. O aumento da temperatura de entrada no atomizador como efeito danoso à bioativos é relatado por Ersus e Yurdargel (2007), que observaram a diminuição do teor e retenção de antocianinas, situação também observada por Cai e Corke (2000) em relação à microencapsulação de betalaínas.

Observou-se também que as amostras de pó microencapsulados com maltodextrina de 15 DE e 20 DE mostraram diferenças estatísticas significativas na avaliação da atividade antioxidante por quelante de cobre. Os ensaios de DPPH e ABTS demonstram que não houve diferenças entre os potenciais antioxidantes entre as duas amostras, entretanto, estas duas análises avaliam a atividade antioxidante por meio da transferência simples de elétrons. O ensaio para determinar a atividade quelante de Cu^{2+} é baseado na quelação deste íon metálico com violeta de pirocatecol que produz um complexo de coloração azul. Na presença de outros agentes quelantes a formação do complexo é interrompida e a cor azul tende a diminuir. Esta taxa de redução de cor permite, portanto, mensurar a atividade quelante (SÁNCHEZ-

VIOQUE et al., 2012) que, para ambas as amostras, extrato microencapsulado com maltodextrina de 15 DE e 20 DE, apresentaram alto percentual de inibição, superior a 85%.

Rendimento da microencapsulação

O rendimento da microencapsulação avalia a viabilidade do processo a partir da determinação da eficiência em recuperar o pó do sistema, ao final do processo de secagem, sobre a quantidade de sólidos solúveis contidos nas amostras, inicialmente (TUPUNA et al., 2018). Os rendimentos obtidos por meio do processo de microencapsulação do extrato de beterraba foram de 16,889 e 14,767%, para as maltodextrinas de 15 e 20 DE, respectivamente. Valores semelhantes ao presente trabalho foram encontrados por Poornima e Sinthiya (2017), que encontram rendimentos entre 15 e 20% no processo de microencapsulação de beterraba por *spray dryer* em que variaram as proporções de extrato, material de parede e temperatura de entrada no atomizador.

Bazaria e Kumar (2017) em seu estudo afirmaram que um rendimento satisfatório deve ser superior a 50% e para microencapsulação de suco de beterraba por atomização obtiveram valores de 67,38 e 62,43 % para maltodextrinas de 10 e 20 DE, respectivamente, com isso infere-se que os valores obtidos no presente trabalho foram consideravelmente baixos. O baixo rendimento pode ser explicado principalmente pela aderência de gotículas semi-úmidas nas paredes da câmara de secagem, da aderência de pó nas paredes do filtro do ciclone e da difícil recuperação do pó neste local. Gharsallaoui et al. (2007) e Kaimainen, (2014) salientam também que o rendimento do processo de secagem por atomização é influenciado por condições ótimas de secagem e a eficiência da microencapsulação está relacionada a escolha adequada de material encapsulante e às características físico-químicas do material de núcleo.

Retenção de Betalaínas

Os pós microencapsulados, em maltodextrina de 15 DE e 20 DE, apresentaram 104,31 % e 87,2 % de retenção das betalaínas, respectivamente, ao final da secagem por atomização. Pitalua et al. (2010) em sua pesquisa, reportaram retenção de 88,2% de betalaínas obtidas pelo processo de microencapsulação de suco de beterraba utilizando goma arábica como material de parede, resultado semelhante do presente trabalho. Tais resultados demonstram que houve pouca perda do pigmento durante o processo de microencapsulamento, assim como no presente estudo, o qual teve uma maior eficiência para o pó microencapsulado com maltodextrina de 15DE. Observou-se também (Tabela 3), que esta amostra apresentou alto

teor de compostos fenólicos, o que pode ter implicado na alta retenção de betalaínas observada, em virtude de uma possível presença de compostos com absorção dentro do mesmo comprimento de onda das betalaínas.

Análise de cor

Os resultados das medidas de cor dos extratos de beterraba microencapsulados por *spray dryer* são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros da análise de cor nos pós microencapsulados.

Análise da cor	PM15	PM20
L*	28,033 ± 0,416 ^b	31,800 ± 0,819 ^a
a*	9,733 ± 1,474 ^a	10,667 ± 0,896 ^a
b*	-0,400 ± 0,624 ^a	-0,300 ± 0,693 ^a
ΔE	8,693 ± 1,604 ^a	4,278 ± 0,888 ^b

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t-Student. Fonte: Própria, 2019.

Para a variável L*, os valores obtidos foram de 28,033 e 31,8 para as amostras encapsuladas com maltodextrina de 15 e 20 DE, cujos valores apresentaram diferenças significativas a um nível de 5%.

Ersus e Yurdagel, (2007) observaram um aumento nos valores do parâmetro L* de acordo com o decréscimo de DE em amostras de antocianinas extraídas da cenoura preta e encapsuladas com maltodextrinas 10 DE, 20 DE e 30 DE, resultados estes diferentes ao observado no presente trabalho. O que pode estar relacionado com a característica química do extrato microencapsulado e sua interação com a molécula da maltodextrina.

As variáveis a* e b* para ambas as amostras de pó não apresentaram diferenças significativas entre si. Valores positivos de a* indicam a tendência à coloração vermelha e negativos, coloração verde. A coordenada b* mede a tendência para as cores amarela (+) e azul (-)(PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

O valor de ΔE expressa a diferença global de cor, este parâmetro leva em consideração as variações de L*, a* e b*. Os valores de ΔE para os pós microencapsulados com maltodextrinas de 15 e 20 DE foram de 8,693 e 4,278, em relação à solução alimentação de cada pó, nesta ordem (Tabela 4). A amostra de maltodextrina de 15 DE apresentou a maior diferença global, após o processo de atomização. Esse parâmetro é uma avaliação importante na técnica de microencapsulamento de pigmentos, visto que avalia a manutenção da cor da

matriz original com a cor obtida no produto final. Assim, é desejável que haja uma menor diferença global de cor entre as amostras. Todavia, isso irá depender de fatores relacionados ao processo e a interação entre o extrato e o material de parede.

CONCLUSÃO

O processo de extrativo de sólido-líquido foi eficiente para extração dos bioativos presentes na beterraba visto que o extrato alcóolico apresentou maiores resultados em todos os ensaios de atividade antioxidante, compostos fenólicos totais e flavonoides, em relação à matéria-prima de origem. O presente trabalho pôde comprovar que, por meio de análises *in vitro*, a bioatividade dos pigmentos da beterraba conseguiu ser preservada mesmo após condições de processamento do *spray dryer*.

Em relação aos materiais de parede utilizados para microencapsular o extrato alcóolico de beterraba, ambos materiais (maltodextrina 15 DE e 20 DE) foram eficientes na preservação das betalaínas, bem como na capacidade antioxidante, verificado nos ensaios de inibição do ABTS e quelação de cobre. Já em relação ao rendimento do processo, para o pó encapsulado com maltodextrina de 15 DE obteve-se um maior valor em relação ao encapsulado com 20 DE, indicando que a maltodextrina de 15 DE apresentou melhor aplicabilidade à microencapsulação do extrato e secagem por *spray dryer*. Assim, a alta retenção de pigmentos em ambas amostras de pós microencapsulados infere que a atividade antioxidante fornecida pelas betalaínas e o poder tintorial desses pigmentos foi mantido, evidenciando que a técnica de microencapsulação é uma alternativa viável para a proteção desses pigmentos.

Referências

- ACHKAR, M. T. et al. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e conservação de alimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 11, n. 2, p. 398–406, 2013.
- ALVES, A. C. B.; MONTEIRO, L. B.; POMPEU, D. R. Otimização da extração sólido-líquido de compostos fenólicos totais e betalaínas da casca de frutos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Revista brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 1, p. 2556–2577, 2018.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1–9, 2007.
- ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: A practical case. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, n. 11, p. 419–421, 2001.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of dextrose equivalency of maltodextrin together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 156–163, 2017.

BOROSKI, M ; VISENTAINER, J.V. ; COTTICA, SOLANGE M. ; MORAIS, D. R. . Antioxidantes - Princípios e Métodos Analíticos. 1a. ed. Curitiba: Appris, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel – Wissenschaft Technologie**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 3600, p. 1248–1252, 2000.

CHITARRA, M. I. F. Processamento mínimo de Frutos e Hortalças. Viçosa-MG: CPT, 2007.

CLIFFORD, T. *et al.* The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. **Nutrients**, v.7, n.4, p. 2801–2822, 2015.

CUCHINSKI, A. S.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. Extração do Corante da Beterraba (*BETA VULGARIS*) para Utilização Como Indicador Ácido-Base. **Eclética química**, v. 35, p. 17–43, 2010.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural Pigments : Carotenoids , Anthocyanins , and Betalains — Characteristics , Biosynthesis , Processing , and Stability. v. 40, n. 3, p. 173–289, 2000.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology: Na International Journal**, v. 23, n.7, p.1361-1364, 2005.
ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 805–812, 2007.

ESCRIBANO, J. *et al.* Characterization of betalains , saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. **Food Chemistry**, v. 234, p. 285–294, 2017.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de Ingredientes Alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.103-112, 2008.

GHARSALLAOUI, A. *et al.* Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

JABEUR, I. *et al.* *Hibiscus sabdariffa* L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. **Food Research International**, v. 100, p. 717–723, 2017.

KAIMAINEN, M. Stability of Natural Colorants of Plant Origin. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade de Turku, 2014.

MAIA, S. E. S. Obtenção de pó misto de Umbu e Acerola por atomização e sua estabilidade. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, 2017.

MARTINS, N. *et al.* Coloring attributes of betalains: a key emphasis on stability and future applications. **Food and Function**, v. 8, n. 4, p. 1357–1372, 2017.

OLIVEIRA, I. R. N. DE. Antocianinas extraídas de capim-gordura (*Melinis minutiflora*): atividade antioxidante, microencapsulamento por atomização e estabilidade. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2016.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.

PITALUA, E. *et al.* Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2–3, p. 253–258, 2010.

POLTURAK, G.; AHARONI, A. “La Vie en Rose”: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. **Molecular Plant**, v. 11, n. 1, p. 7–22, 2018.

POORNIMA, K.; SINTHIYA, R. Encapsulation of beetroot extract using spray. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)**. v. 5, n. 4, p. 346–352, 2017.

RAMOS, J. A. *et al.* Modificação da composição físico-química de beterrabas submetidas a diferentes tipos de corte e métodos de cocção. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 108–120, 2014.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Natural food pigments and colorants. **Current Opinion in Food Science**, v. 7, p. 20–26, 2016.

SANCHEZ-GONZALEZ, N. *et al.* Extraction, stability, and separation of betalains from opuntia joconostle cv. using response surface methodology. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 49, p. 11995–12004, 2013.

SÁNCHEZ-VIOQUE, R. *et al.* In vitro antioxidant and metal chelating properties of corm, tepal and leaf from saffron (*Crocus sativus* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 39, n. 1, p. 149–153, 2012.

SARDELLA, S. **Produção, caracterização e aplicação de extrato de beterraba microencapsulado em matrizes de maltodextrina e amido modificado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2016.

SAWICKI, T.; WICZKOWSKI, W. The effects of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacities of red beetroot products. **Food Chemistry**, v. 259, p. 292–303, 1 set. 2018.

SERVAT, L. *et al.* Microencapsulação: uma Alternativa Promissora para a Preservação de Produtos Naturais. **Revista Fitos**, v. 5, n. 2, p. 52–57, 2010.

SHIOZER, A. L.; BARATA, L. E. S. Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal. **Revista Fitos**, v. 3, p. 6–24, 2007.

SILVA, P. I. *et al.* Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538–544, 2013.

STINTZING, F. C. *et al.* Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 442–451, 2005.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalains - emerging prospects for food scientists. **Trends in Food Science and Technology**, v. 18, n. 10, p. 514–525, 2007.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004.

SUAVE, J. *et al.* Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Health and Environment Journal**, v. 7, n. 2, dez. 06 AB, n. July, 2006.

TSENG, Y.; YANG, J.; CHANG, H. Antioxidant Properties of Methanolic Extracts Adlay. **Food Chemistry**, v. 97, p. 375–381, 2006.

TUPUNA, D. S. *et al.* Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, v. 111, n. October 2017, p. 846–855, 2018.

VIEIRA, L.M.; SOUSA, M.S.B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 888–897, 2011.

WU, Y. *et al.* Stability and encapsulation efficiency of sulforaphane microencapsulated by spray drying. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, n. 1, p. 497–503, 2014.

ZHANG, T. *et al.* Purification and characterisation of a new antioxidant peptide from chickpea (*Cicer arietium* L.) protein hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 28–33, 2011.