

Asquieri, ER, Nishi, ACF, Batista, RD & Asquieri, EMAR. (2020). Yacon extract drying (*Smallanthus sonchifolius*) by Spray Dryer: effect of the different carrier agents and evaluation of the levels of frutooligosaccharides and phenolic compounds. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-26, e591974521.

Secagem do extrato de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por Spray Dryer: efeito dos diferentes agentes carreadores e avaliação dos teores de frutooligosacarídeos e compostos fenólicos

Yacon extract drying (*Smallanthus sonchifolius*) by Spray Dryer: effect of the different carrier agents and evaluation of the levels of frutooligosaccharides and phenolic compounds

Secado por aspersion del extracto de yacón (*Smallanthus sonchifolius*): efecto de los diferentes agentes portadores y evaluación de los niveles de frutooligosacáridos y compuestos fenólicos

Recebido: 14/05/2020 | Revisado: 16/05/2020 | Aceito: 19/05/2020 | Publicado: 30/05/2020

Eduardo Ramirez Asquieri

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3312-8003>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: asquieri@gmail.com

Adriana Cândida Faustino Nishi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7396-5418>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: adrianafnishi@gmail.com

Rayssa Dias Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3030-7241>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: rayssadiasbatista@hotmail.com

Elaine Meire de Assis Ramirez Asquieri

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3989-860X>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: assis.elaine@gmail.com

Resumo

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz tuberosa nativa da região dos Andes, considerada um alimento com propriedades funcionais que contribuem para o equilíbrio da microbiota intestinal. Para conseguir incorporar estes compostos na dieta da população, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração dos agentes carreadores (aerossil, maltodextrina e amido pré-gelatinizado) e do fluxo de alimentação no processo de secagem por spray dryer para obter um produto em pó rico em frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos (CF) do extrato aquoso de yacon. O estudo foi baseado em planejamentos fatoriais em dois níveis com três pontos centrais, utilizando-se como fatores, a concentração do agente carreador (20; 50 % p/p) e o fluxo de alimentação (2; 6 mL/min). A melhor combinação dos parâmetros de secagem foi determinada considerando os efeitos das variáveis independentes (concentração do agente carreador e fluxo de alimentação) sobre o teor de FOS e CF nos extratos secos. Os extratos secos obtidos com aerossil, maltodextrina, amido pré-gelatinizado, apresentaram conteúdos de FOS entre 27,20 a 32,4; 24,25 a 31,3; 23,54 a 35,64 (%p/p), respectivamente e CF e 0,267 a 0,320; 0,319 a 0,399; 0,407 a 0,425 (%p/p), respectivamente. O rendimento foi afetado por limitações da técnica à extratos ricos em açúcares de baixo peso molecular, variando entre 10 a 55%, cujos menores resultados foram encontrados para os extratos secos com amido. As imagens do extrato seco com aerossil mostraram partículas esféricas, e aquelas com amido pré-gelatinizado e maltodextrina apresentaram tendência à aglomeração.

Palavras-chave: Extrato seco; Alimento funcional; Prebiótico, Polifenóis.

Abstract

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a tuberous root native to the Andes region, considered a food with functional properties that contribute to the balance of intestinal microbiota. In order to incorporate these compounds into the diet of the population, this work aimed to evaluate the effect of the concentration of carrier agents (aerossil, maltodextrin and pregelatinized starch) and the feed flow in the spray dryer process to obtain a powder product rich in frutooligosaccharides (FOS) and phenolic compounds (PC) of the aqueous yacon extract. The study was based on two level factor plans with three central points, using as factors the carrier agent concentration (20; 50 % w/w) and the feed flow (2; 6 mL/min). The best combination of drying parameters was determined by considering the effects of the independent variables (carrier concentration and feed flow) on the FOS and PC content of the dry extracts. Dry extracts obtained with aerossil, maltodextrin, pregelatinised starch, had FOS contents between

27.20 to 32.4; 24.25 to 31.3; 23.54 to 35.64 (%p/p), respectively and PC and 0.267 to 0.320; 0.319 to 0.399; 0.407 to 0.425 (%p/p), respectively. The yield was affected by limitations of the technique to extracts rich in low molecular weight sugars, ranging from 10 to 55%, whose lower results were found for dry extracts with starch. The images of the dry extract with aerosil showed spherical particles, and those with pregelatinized starch and maltodextrin showed a tendency to agglomeration.

Keywords: Dry extract; Functional food; Prebiotic; Polyphenols.

Resumen

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una raíz tuberosa originaria de la región de los Andes, considerada un alimento con propiedades funcionales que contribuyen al equilibrio de la microbiota intestinal. Con el fin de incorporar estos compuestos en la dieta de la población, esta labor tuvo por objeto evaluar el efecto de la concentración de agentes portadores (aerosil, maltodextrina y almidón pregelatinizado) y el flujo de alimentación en el proceso de secado por atomización para obtener un producto en polvo rico en fructosoligosacáridos (FOS) y compuestos fenólicos (CF) del extracto acuoso de yacón. El estudio se basó en planes de factores de dos niveles con tres puntos centrales, utilizando como factores la concentración del agente portador (20; 50 % p/p) y el flujo de alimentación (2; 6 mL/min). La mejor combinación de parámetros de secado se determinó teniendo en cuenta los efectos de las variables independientes (concentración del portador y flujo de alimentación) en el contenido de FOS y CF de los extractos secos. Los extractos secos obtenidos con aerosil, maltodextrina, almidón pregelatinizado, tenían un contenido de FOS de entre 27,20 a 32,4; 24,25 a 31,3; 23,54 a 35,64 (%p/p), respectivamente y CF y 0,267 a 0,320; 0,319 a 0,399; 0,407 a 0,425 (%p/p), respectivamente. El rendimiento se vio afectado por las limitaciones de la técnica a los extractos ricos en azúcares de bajo peso molecular, que oscilaban entre el 10 y el 55%, cuyos resultados más bajos se encontraron en los extractos secos con almidón. Las imágenes del extracto seco con aerosol mostraban partículas esféricas, y las del almidón pregelatinizado y la maltodextrina mostraban una tendencia a la aglomeración.

Palabras clave: Extracto seco; Alimento funcional; Prebiótico; Polifenoles.

1. Introdução

A batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma raiz tuberosa nativa da região dos Andes (Colômbia, Equador e Peru) e pertencente à família *Asteraceae*, como a chicória (*Cichorium intybus*), a alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus*) e a dália (*Dahlia sp.*) (Silva et al., 2018). Sua aparência é a de um tubérculo, no entanto, tem polpa translúcida com textura crocante, ligeiramente adocicada, pouco ácida e não tóxica. É apropriada tanto para o consumo in natura em saladas quanto para a indústria na forma de geléias, em produtos de panificação (Sacramento et al, 2017) ou de bebidas fermentadas (Brandão et al, 2019)

Por ser uma fonte abundante de frutooligossacarídeos (FOS), o yacon é considerado um alimento funcional. Atua como prebiótico, ou seja, estimula o crescimento de bifidobactérias e lactobacilos presente no cólon quando consumido, conferindo efeitos benéficos ao hospedeiro (Ricarte et al, 2019). Além disso, possui compostos fenólicos (CF) como ácido cafeico e ácido clorogênico, antioxidantes naturais que podem atuar na proteção das membranas celulares contra danos por radicais livres de oxigênio. No entanto, esta raiz apresenta algumas características peculiares após colheita, como a diminuição no seu conteúdo de FOS pela ação de enzimas que promovem a despolimerização da molécula (Vieira et al, 2018).

A incorporação dos compostos benéficos (FOS, CF) do yacon na dieta pode ser alcançada com o uso da microencapsulação do extrato aquoso de yacon pela secagem em spray dryer. Embora, a secagem de extrato rico em açúcares como é o caso do yacon, seja dificultada, o uso de agentes carreadores contribui na redução dos efeitos causados devido a esta característica intrínseca (Araujo-Díaz et al, 2017).

A técnica de secagem por spray dryer também reduz a degradação dos compostos termolábeis e aumenta a estabilidade do produto final. Sendo assim, durante a secagem dos extratos por spray dryer, os agentes carreadores serão capazes de aprisionar a substância alvo em sua matriz, atuando como um material de revestimento, capaz de isolar do ambiente externo, sendo que o mesmo deverá ser essencialmente inerte à partícula (Rezende et al., 2018). Esta técnica oferece a vantagem de produzir microcápsulas em uma operação relativamente simples de processamento contínuo (Abrahão et al, 2019).

Tendo em vista a importância do yacon por seus componentes benéficos à saúde, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do processo de secagem por atomização (Spray dryer), utilizando diferentes agentes carreadores (aerosil, maltodextrina e amido pré-gelatinizado) sobre os teores de frutooligossacarídeos (FOS) e de compostos fenólicos (CF)

do extrato aquoso de yacon, oferecendo uma alternativa de consumo dessa batata in natura, que tem uma vida útil limitada e sofre considerável perda de FOS durante seu armazenamento.

2. Material e Métodos

2.1. Obtenção da matéria-prima

As raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) utilizadas na pesquisa laboratorial quantitativa, foram cultivadas no Estado de São Paulo, Brasil, e adquiridas na Central de Abastecimento de Goiânia (CEASA). Transportadas ao Laboratório de Química e Bioquímica de Alimentos/ da Faculdade de farmácia /UFG. Uma amostra representativa desta matéria-prima foi dessecada em estufa de circulação à 60°C, triturada em moinho de facas e acondicionada em sacos plásticos cobertos com papel alumínio para evitar a incidência da luz e armazenadas sob refrigeração a 7°C para posterior caracterização. As raízes remanescentes foram utilizadas na elaboração do extrato aquoso e o estudo de secagem por spray drying/atomização.

2.2. Reagentes

Os reagentes 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•), gallic acid e Folin- Ciocalteu foram adquiridos da Sigma-Aldrich Co (St. Louis, MO). O reagente 2,6- Di-terc-butyl-4-methylphenol (BHT) foram adquiridos da Merck (Hohenbrunn, Germany). Antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno), ADNS - Ácido 3,5- Dinitrossalicílico, Glicose (alpha-D-glucose, anhydrous, 96%), D-Frutose (levulose) foram adquiridos da Sigma-Aldrich. Agentes carreadores de secagem: Aerosil® 200 (Colloidal Silicon Dioxide) (Evonik Degussa GmbH, Darmstadt, Germany); Maltodextrina MOR-REX® DE 19-20 (Corn Products Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil); Amido pré-gelatinizado Starch 1500.

2.3. Composição proximal da raiz de yacon

As raízes do yacon in natura foram analisadas quanto ao conteúdo de umidade em estufa (Luferco®) à 60°C/24h até obtenção de peso constante; nitrogênio total pelo método de micro-kjeldahl e conversão em proteína bruta utilizando 6,25, como fator de conversão (AOAC, 2000); lipídios totais, extraídos pelo método de Bligh & Dyer (1959) e sua determinação por gravimetria em estufa (Luferco®) a 105°C/1h e cinzas (resíduo mineral

fixo), por incineração a 550 °C em mufla (AOAC, 2000). A determinação dos carboidratos totais seguiu o método fenol sulfúrico (Dubois et al., 1956). Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos como média (g/100g de matéria seca) e desvio-padrão amostral.

2.4. Obtenção e caracterização do extrato aquoso

O extrato aquoso de yacon foi obtido pela trituração de raízes de yacon usando água destilada como solvente. As raízes foram selecionadas, pesadas, higienizadas, descascadas e fatiadas manualmente. Em seguida, as fatias foram imersas em solução de NaHSO₃ 0,2% durante 1 hora para inativação enzimática. Após, as fatias foram transferidas para o liquidificador comercial, adicionando 0,03% de NaHSO₃ (calculado em função do teor sólidos totais) e trituradas durante dois minutos em velocidade máxima. O extrato obtido foi caracterizado quanto ao pH, sólidos solúveis segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), como também FOS, carboidratos totais (Dubois et al., 1956), compostos fenólicos e atividade antioxidante.

Na sequência, o material foi filtrado e concentrado em um evaporador rotativo (Buchi, modelo R-220SE) à 60°C e pressão 72 MBar até conter por volta de 10% sólidos totais. Em seguida foi caracterizado quanto à viscosidade, medida em viscosímetro Brookfield model DV-III+ (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA) (Dak et al., 2007). Os sólidos totais foram medidos por método gravimétrico em analisador com fonte de radiação halógena (Ohaus Inc., Pine Brook, NJ, USA) (IAL, 2008) e a densidade pelo método do picnômetro à 25°C (Marquezi et al., 2016). Após a etapa de concentração, o extrato foi armazenado em freezer a -18°C até a posterior secagem em *spray dryer*. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos como média (g/100g de matéria seca) e desvio-padrão amostral.

2.5. Determinação de frutooligossacarídeos totais

O conteúdo de frutose total (livre e ligada) foi determinado pelo método de Antrona modificado para cetoses (Jermyn, 1956). Esta metodologia consiste em preparar a solução de antrona 0,2% (p/v) em ácido sulfúrico 76% (v/v). As amostras, após serem diluídas e preparadas, foram incubadas em banho-maria (Químis®, banho Dubnoff) a 37°C durante 45 minutos e a leitura das absorbâncias foi realizada em espectrofotômetro (Ray Leigh®, UV-1800) a 620nm, sendo os resultados calculados a partir da equação da reta obtida da curva

padrão de frutose. O conteúdo de frutose e glicose livre foi determinado no extrato aquoso e nos extratos secos pelo método do ADNS – Ácido-3,5-Dinitrossalicílico, em que, na presença do açúcar redutor, é reduzido para ácido 3-amino-5-nitrossalicílico (Miller, 1959). Para efetivar a reação, os tubos foram levados ao banho fervente durante 6 minutos, e em seguida, resfriados. A leitura das absorvâncias foi em espectrofotômetro (Ray Leigh®, UV-1800) a 540nm. O teor total de FOS foi calculado pela diferença entre a quantidade de frutose total e açúcares redutores.

2.6. Determinação de compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos nos extratos foi avaliado utilizando o reagente Folin-Ciocalteu de acordo com Singleton & Rossi (1965) modificado por Hassimoto et al. (2003). Para o extrato aquoso, 2,5 mL foram coletados e diluídos em 10 mL de água destilada. Para o extrato seco, cerca de 1g (base seca) do extrato seco foi homogeneizado em 25 mL de água destilada. Uma alíquota de 0,25 mL foi adicionada à 2 mL de água destilada e 0,25 mL do reagente de Folin-Ciocalteu. Decorrido três minutos à temperatura ambiente, foi adicionado 0,25 mL de solução de carbonato de sódio 7.5% e, imediatamente, agitados e colocados em banho-maria (maria (Químis®, banho Dubnoff) a 37°C durante 30 minutos para efetivar a reação. A cor azul, produzida pela redução do reagente Folin-Ciocalteu pelos fenólicos, foi medida em espectrofotômetro Femto 700 plus (Femto, São Paulo, Brasil), a 750 nm. Os resultados foram calculados a partir da equação da reta obtida da curva padrão do ácido gálico e expressos em g de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100g da amostra.

2.7. Determinação da atividade antioxidante do extrato aquoso

O extrato aquoso foi avaliado quanto a sua capacidade antioxidante, proposta por Brand-Williams et al. (1995). Após conhecer o teor de compostos fenólicos, o extrato aquoso foi diluído em água na concentração de 0,2 mg/mL. Foram pipetados 1500µL de DPPH (diluído em metanol a 20 mg/L) em cubeta de 3 mL e levado ao espectrofotômetro (Ray Leigh®, UV-1800) e, em seguida, foram adicionados 750µL da amostra.

Para avaliar a cinética da reação, o extrato aquoso após ser adicionado do DPPH, foi monitorado por meio do registro da absorvância durante 20 minutos, momento em que a reação atingiu a estabilidade. Os percentuais de DPPH remanescentes foram calculados e plotados em função do tempo da reação. Para a leitura no espectrofotômetro (Ray Leigh®, UV-1800) usou-se o metanol para zerar o equipamento e a absorvância foi medida no

comprimento de onda de 517nm. A análise foi realizada em triplicata e para avaliação dos resultados, foi utilizada o padrão de BHT também a 0,2mg/m.

2.8. Teste de secagem

Para avaliar o comportamento do extrato aquoso de yacon frente ao sistema de secagem, o material foi seco sem a adição de agente carreador segundo Wang & Zhou (2015), com algumas modificações. Para isto, 100 mL do extrato aquoso a 10,67% de sólidos totais, foi seco em um spray dryer LM MSD 1.0 (Labmaq do Brasil Ltda., Ribeirão Preto, SP, Brazil). A temperatura do ar de entrada foi ajustada a 120°C, fluxo de alimentação de 4 mL/min, pressão de ar de 4,0 bar, vazão do ar de secagem de 3,0 m³/min, fluxo de ar comprimido a 45 L/min, bico injetor com orifício de 1,2 mm de diâmetro. A amostra foi mantida sob agitação em agitador magnético e em temperatura ambiente.

2.9. Planejamento experimental para obtenção dos extratos secos por spray dryer

Para estudar os efeitos da concentração do agente carreador e do fluxo de alimentação sobre os teores de frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos (CF) na secagem do extrato aquoso de yacon em spray dryer, os experimentos foram baseados em planejamentos fatoriais em dois níveis com três pontos centrais e foram realizados para cada um dos agentes carreadores estudados (aerosil, maltodextrina e amido pré-gelatinizado). A concentração do agente carreador e o fluxo de alimentação foram escolhidas como variáveis independentes (X_1 e X_2) e cada um em dois níveis codificados (-1 e +1), como pode ser observado na Tabela 1.

Com esses valores estabelecidos na Tabela 1 foi possível obter o planejamento experimental pelo programa Design Expert®, levando a um número total de 6 tratamentos de secagem para cada agente carreador (Tabela 3). Desta forma, a melhor combinação dos parâmetros para secagem foi determinada considerando os efeitos das variáveis independentes (concentração de agente carreador e fluxo de alimentação) sobre o teor de FOS e CF (variável resposta), obtido nos extratos secos no final do processo.

Tabela 1 - Fatores codificados e seus níveis no planejamento fatorial 2².

Fator	Símbolo	Níveis	
		-1	+1
Concentração de agente carreador (%)	X ₁	20	50
Fluxo de Alimentação (mL/min)	X ₂	2	6

Fonte: Autores.

Os fatores do planejamento experimental foram codificados seguindo a regra de codificação estabelecida na Equação (1) (Couto et al., 2012).

$$\text{Variável codificada} = \frac{(\text{valor codificado} - 0.5 \times (\text{maior valor} + \text{menor valor}))}{0.5 \times (\text{maior valor} - \text{menor valor})} \quad (1)$$

Os extratos secos de yacon foram coletados na saída do spray dryer, pesados e armazenados em frascos fechados em dessecador à temperatura ambiente. O rendimento real (R%) dos extratos secos coletados foi obtido pela Equação (2), calculado como a razão entre a massa de sólidos do produto em pó coletado no frasco coletor (W) (descontado o teor de umidade (U) dividido pela massa de líquido (Q_e) e o seu teor de sólidos (T_s) (Rocha et al., 2014).

$$R(\%) = \frac{W - \%U}{[Q_e \times (T_s / 100)] + \text{Agente carreador}} \quad (2)$$

2.10. Morfologia das microcápsulas dos extratos

Uma porção de cada extrato seco de yacon foi colada na parte superior de uma fita adesiva de dupla face convencional, fixada em stubs de 12 mm de diâmetro e 10 mm de altura. Para a metalização, em metalizador Sputter Coater Balzers SCD050, foi aplicada uma corrente de 40 mTorr durante 180 segundos, tendo como gás de arraste o argônio a um vácuo de 0,05 mbar. As fotomicrografias foram obtidas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV, Jeol, JSM – 6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging) (Wang & Zhou, 2015).

2.11. Análise estatística do planejamento experimental

Um modelo linear foi ajustado para correlacionar a relação entre as variáveis independentes (concentração do agente carreador e o fluxo de alimentação) e a variável

resposta (teor de FOS e CF). Fatores como X_1 e X_2 , foram correlacionados pela seguinte equação (3):

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + e \quad (3)$$

Onde Y é a resposta prevista correspondente ao teor de FOS e de compostos fenólicos (CF), cada b_i é um coeficiente de ajuste, X_1 e X_2 a concentração do agente carreador e o fluxo de alimentação, respectivamente, e o erro estimado. Análises da variância foram realizadas para cada modelo utilizando o programa Design Expert®.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do extrato aquoso de yacon

Os resultados da caracterização da matéria-prima e dos extratos de yacon estão apresentados na Tabela 2. O extrato aquoso in natura apresentou um pH de 5,97, um conteúdo de FOS de $33,5\% \pm 0,64$ e CF de $0,44 \pm 0,39$. Após ser concentrado, apresentou viscosidade de $4,34 \pm 0,056$; densidade $1,04 \pm 0,002$; sólidos totais $10,67 \pm 0,051$ e FOS $42,2 \pm 0,082$. Os resultados sugerem que não houve perdas durante esta etapa.

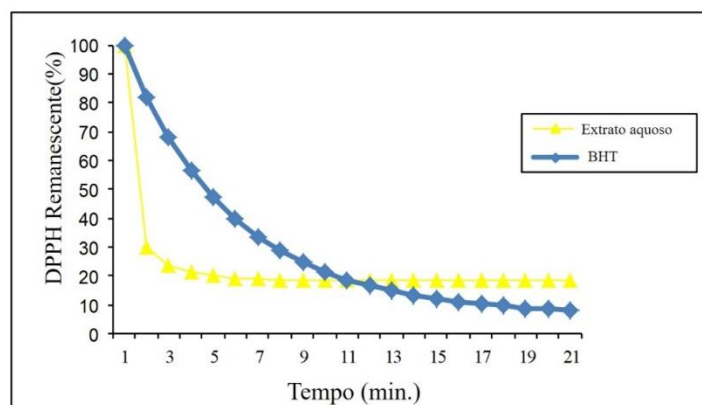
Tabela 2 - Caracterização da raiz de yacon, do extrato aquoso *in natura* e do concentrado em evaporador rotativo.

Componente	Média ± desvio padrão*
Raiz de yacon por 100g da porção comestível	
Umidade	9.29±0.085
Cinzas	3.33±0.07
Proteínas	4.29±0.173
Lipídeos	0.80±0.0359
Carboidratos totais	81.49±4.18
Frutose total	56.47 ± 0.97
Açúcar redutor	24.05 ± 0.13
FOS	32.43 ± 0.971
Extrato aquoso de yacon in natura	
Ph	5.97±0.006
sólidos solúveis °B	6.10±0.000
sólidos totais (%)	6.37±0.105
Açúcar Redutor (%p/p)	26.7±0.14
Frutose Total (%p/p)	59.78±0.75
FOS (valor estimado (%p/p)	33.47±0.64
Carboidratos (%p/p)	79.01±0.298
Compostos fenólicos totais (gEAG/100g)	0.44±0.39
Extrato aquoso de yacon concentrado em evaporador rotativo	
viscosidade dinâmica mPas	4.34±0.056
Densidade g/mL à 25°C	1.04±0.002
Sólidos totais (%p/v)	10.67±0.051
Açúcar Redutor (%p/p)	19±0.11
Frutose Total (%p/p)	61.2±0.066
FOS (valor estimado %p/p)	42.2±0.082

Média e desvio padrão de três repetições. Teor de frutooligossacarídeos (FOS). Fonte: Autores.

O resultado da atividade antioxidante pode ser visualizado pela curva de DPPH remanescente na Figura 1. A eliminação do radical livre DPPH é a base de um ensaio antioxidante comum, desta forma a Figura 1 compara se os antioxidantes presentes no extrato aquoso apresentam uma capacidade maior de eliminação do radical DPPH que o hidroxitolueno butilado (BHT), um antioxidante convencional usado como padrão nesta análise.

Figura 1 - Cinética da capacidade de sequestro do radical DPPH do extrato aquoso de yacon e BHT como controle.



Fonte: Autores.

Desta forma, o extrato aquoso de yacon apresentou atividade antioxidante superior ao padrão BHT na mesma concentração. Durante 4 minutos de reação, houve o consumo de 80% do DPPH enquanto o padrão BHT apresentou a mesma porcentagem somente em 11 minutos. A cinética da reação está relacionada com o teor de CF bem como a sua estrutura. Sabe-se que os monofenóis, como o BHT possui menor atividade antioxidante que os polifenóis (Villanueva-Tiburcio et al., 2010), isso justifica o fato do extrato aquoso da raiz de yacon ter apresentado maior atividade na reação. A utilização desta fonte pode significar uma alternativa para o aproveitamento desta raiz que é muito perecível na forma in natura, sendo assim, a elaboração de extrato seco pode ser vantajosa para a indústria alimentícia (Silva et al., 2020).

Entretanto, o teste preliminar de secagem executado conforme os parâmetros operacionais estabelecidos geraram um produto pegajoso, típico de materiais ricos em açúcares de baixo peso molecular, coloração escura e completamente retida na parede da câmara de secagem e na tubulação do equipamento, confirmando-se a limitação técnica descrita por outros pesquisados (Toneli et al., 2010; Quek et al., 2007). Estudos com secagem descrevem que o agente carreador atua reduzindo as interações da partícula com fatores ambientais, facilitando o manuseio do produto obtido, bem como o aumento do rendimento do produto final (Sarabandi et al., 2020; Jimenez-Sánchez et al., 2017; Adhikari et al., 2003). Os agentes carreadores de secagem também têm a função de proteger compostos termolábeis e aumentar a estabilidade frente ao armazenamento (Souza et al., 2018).

A seleção do amido pré-gelatinizado e maltodextrina neste experimento foi levando em consideração o fato de serem comestíveis, de fácil aquisição e constituírem base de

formulações na indústria alimentícia (Sarabandi et al., 2020). O aerosil tem aplicabilidade na indústria farmacêutica no desenvolvimento de extratos secos e serviu como agente carreador padrão no processo (Bezerra et al., 2020).

3.2. Efeito das condições de secagem sobre os extratos secos com aerosil

A matriz do planejamento resultante para cada experimento consta na Tabela 3. Pelo delineamento experimental obtiveram-se seis combinações das variáveis independentes (concentração do agente carreador e fluxo de alimentação) para a secagem do extrato aquoso de yacon, incluindo três repetições com o valor central e igual para estimar o erro experimental.

Tabela 3 - Planejamento fatorial 2^2 com três pontos centrais para estudar o efeito da concentração do agente carreador (X_1) e do fluxo de alimentação (X_2) sobre o teor de frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos (CF) no extrato seco de yacon.

Tipo de agente Carreador	Ordem aleatória	Variáveis decodificadas		FOS (%p/p)	CF (%p/p)	U%	R (%)
		X_1	X_2				
Aerosil	7	35	4	29,35	0.281	4.7	54.65
	6	35	4	27,38	0.302	2.3	43.96
	1	20	2	28,47	0.320	3.2	28.57
	2	50	2	31,68	0.267	2.2	38.14
	3	20	6	29,70	0.318	4.7	24.70
	4	50	6	25,68	0.278	3.7	37.01
	5	35	4	26,19	0.303	3.0	32.99
Maltodextrina	7	35	4	33.86	0.367	1.82	33.63
	6	35	4	33.03	0.332	2.02	38.12
	1	20	2	38.54	0.399	1.72	23.20
	2	50	2	31.37	0.367	2.34	29.70
	3	20	6	35.54	0.319	1.89	24.45
	4	50	6	31.51	0.322	1.94	34.20
	5	35	4	31.25	0.319	2.34	39.03
Amido pré-gelatificado	7	35	4	34.56	0.425	4.74	21.41
	6	35	4	35.64	0.419	2.26	22.70
	1	20	2	24.40	0.407	3.17	17.76
	2	50	2	25.16	0.423	2.21	16.25
	3	20	6	23.54	0.434	4.70	10.23
	4	50	6	28.74	0.407	3.69	12.89
	5	35	4	30.79	0.422	3.01	20.23

Concentração do agente carreador (X_1), fluxo de alimentação (X_2), teor de frutooligossacarídeos (FOS), compostos fenólicos (CF), Teor de água residual (U) e Rendimento real (R). Fonte: Autores.

Após a obtenção dos seis tratamentos, ao usar o agente carreador aerossil, FOS e CF apresentaram teores entre 27,20 a 32,4 e 0,267 a 0,320 %p/p, respectivamente. As perdas (18,7 a 3,19 %p/p) para FOS e (39 a 27 %p/p) para CF podem estar relacionadas à retenção de material na parede da câmara de secagem, ou ainda com despolimerização dos frutooligossacarídeos, uma vez que houve aumento no teor de açúcar redutor.

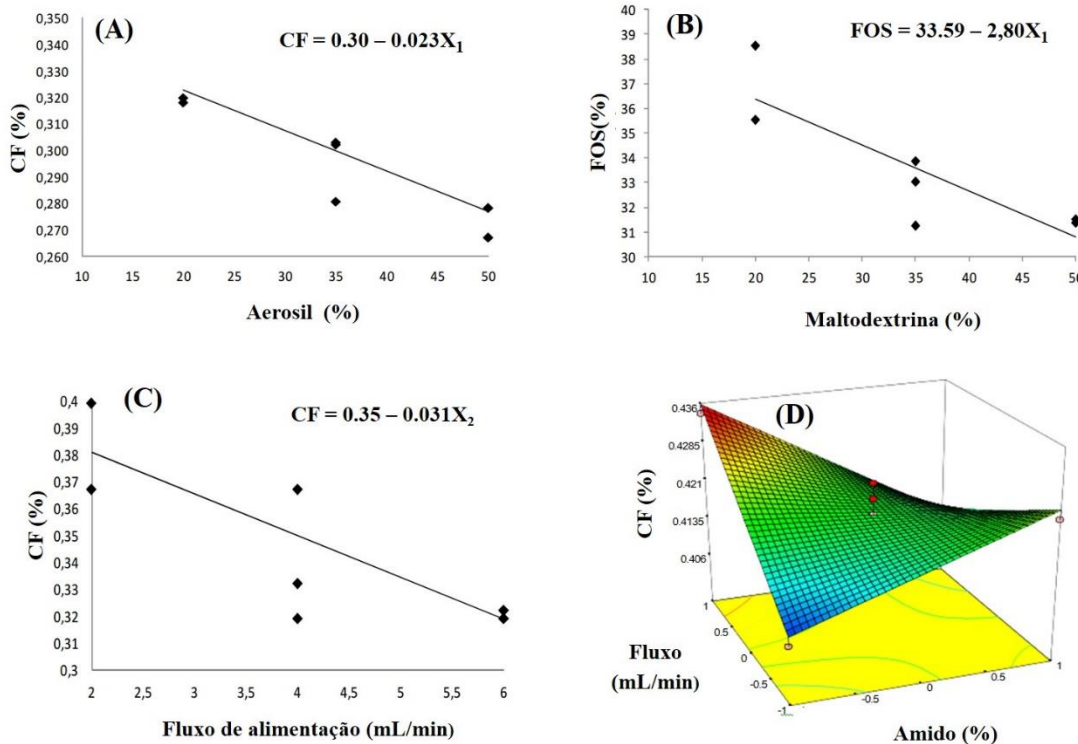
Alguns autores associam a perda CF pela degradação provocada por fenômenos de condensação oxidativa e decomposição de compostos termolábeis induzida pelo aquecimento (Araujo-Díaz et al., 2017; Couto et al., 2012). Contudo, dentre os agentes carreadores testados, os ensaios com aerossil, apresentaram os maiores rendimentos de produto, valor calculado conforme equação 2.

Apesar dos resultados de FOS terem sido elevados, a análise de variância para o modelo linear mostrou que esse modelo não é significativo, apresentando um valor para o parâmetro estatístico F igual a 2,44 na resposta teor de FOS. Ou seja, as mudanças nas concentrações de aerossil e no fluxo de alimentação não resultaram em mudanças significativas nos resultados experimentais de FOS.

Já os resultados obtidos para os valores de CF, a análise de variância do modelo linear entre CF e a concentração de aerossil, X_1 , apresentou um valor de F de 29,10, indicando que esse modelo é estatisticamente significativo, e apresenta um coeficiente de correlação, r^2 , de 0,8534.

A equação resultante para o ajuste linear consta na Figura 2A, cujos pontos representam as médias dos valores de CF para a concentração de aerossil e descreve a resposta medida para a variável independente (concentração do agente carreador) em relação a variável dependente (compostos fenólicos).

Figura 2 - Modelos lineares. Variação de CF em função da concentração de aerossil (A); variação de FOS em função da concentração de maltodextrina (B); variação de CF em função do fluxo de alimentação, utilizando maltodextrina como agente carreador de secagem (C) e superfície de resposta do teor de CF em função da concentração de amido do fluxo de alimentação (d). Os pontos em destaque representam os pontos do planejamento, conforme Tabela 3.



Fonte: Autores.

De acordo com a equação do modelo (Figura 2A), acredita-se que a concentração do agente carreador (X_1), seja o fator mais importante que afeta o teor de CF após o processo de secagem.

3.3. Efeito das condições de secagem sobre os extratos secos com maltodextrina

Para os extratos secos obtidos com maltodextrina, a variação no resultado experimental (Tabela 3) de FOS e CF foi de 24,25 a 31,3 e 0,319 a 0,399 %p/p, respectivamente. As perdas (27,5 a 6,5%p/p) para FOS foram superiores aos ensaios com aerossil, possivelmente está relacionado a uma menor capacidade de encapsulação deste agente carreador nas condições

estabelecidas. Em relação ao teor de CF, as perdas (27,5 a 9,3 %p/p) foram inferiores, indicando que a maltodextrina foi mais eficiente que o aerosil em proteger os fenóis.

As propriedades das maltodextrinas variam em função do valor de dextrose equivalente (DE). Segundo Watson et al. (2017), maltodextrinas com DE entre 10-20 são mais eficientes na formação das microcápsulas em spray dryer. O uso deste agente carreador para encapsular antocianina foi testado e os pesquisadores observaram que o aumento no valor de DE, entre 6 a 21, resultou em um aumento significativo no conteúdo de antocianina e na capacidade antioxidante, já um valor de DE acima de 33 ambos os parâmetros decresceram.

Maltodextrina com menor DE contém elevada proporção de sacarídeos de cadeia longa, resultando em barreira inflexível durante a microencapsulação que é permeável ao oxigênio. Com aumento no valor de DE, aumenta a proporção de sacarídeo de cadeia curta que resulta em um aumento na propriedade de barreira (Duan et al., 2007).

A análise de variância para o modelo linear entre FOS e a concentração de maltodextrina, X_1 , apresentou um valor para o parâmetro estatístico F de 13, indicando que esse modelo é estatisticamente significativo, e um coeficiente de correlação, r^2 de 0,7222.

A equação resultante para o ajuste linear consta da Figura 2B, cujos pontos representam as médias dos valores de FOS para a concentração de maltodextrina e descreve a resposta medida para a variável independente (concentração do agente carreador) em relação a variável dependente (FOS).

De acordo com a equação do modelo (Figura 2B), acredita-se que a concentração do agente carreador (X_1), seja o fator mais importante que afeta o teor de FOS após o processo de secagem, ou seja, a diminuição nas concentrações de maltodextrina resultaram em mudanças significativas nos resultados experimentais de FOS.

O aumento da concentração de maltodextrina eleva a viscosidade da alimentação do processo (Pycia et al., 2018), sendo assim a diminuição do rendimento está no fato de se ter maior teor de sólidos com característica para aderir à câmara de secagem (Tonon et al., 2008). Entretanto, nesta pesquisa, a recuperação de produto foi maior nas concentrações mais elevadas, provavelmente existem outros fatores que interferem neste parâmetro. Contudo, foi menor que os produtos com aerosil.

A análise de variância do modelo linear entre CF e a concentração de maltodextrina, X_1 , apresentou um valor de F de 0,18, indicando que esse modelo não é estatisticamente significativo. Ou seja, as mudanças nas concentrações de maltodextrina não resultaram em mudanças significativas nos resultados experimentais de CF. Já para a interação entre CF e fluxo de alimentação (X_2) o valor de F 9,70 indica que o modelo linear é estatisticamente

significativo, e apresenta um coeficiente de correlação, r^2 , de 0,6599. Isto pode ser observado na equação resultante para o ajuste linear descrito na Figura 2C, o qual mostra que o fluxo de alimentação (X_2) é o fator mais importante para afetar o teor de CF após o processo de secagem.

3.4. Efeito das condições de secagem sobre os extratos secos com amido pré gelatinizado

Para os produtos obtidos com amido pré-gelatinizado, os teores FOS e CF (Tabela 3) variaram de 23,54 a 35,64 e 0,407 a 0,425 %p/p, respectivamente. Dentre os agentes carreadores estudados, o amido reteve maiores concentrações dos compostos, indicando as menores perdas. Apesar da eficiência do amido em proteger os FOS e CF, houve maior adesão de material na parede da câmara de secagem, ocasionando baixos rendimentos de recuperação dos produtos secos, menor ainda no fluxo de alimentação de 6mL/min. Se a temperatura do ar de entrada permanecer constante, uma diminuição no fluxo de alimentação do líquido acarretará em aumento na temperatura do material de saída (Shishir et al., 2017). Desta maneira, a temperatura de secagem neste caso pode ter sido subestimada.

Além disso, o teor de água residual dos produtos ficou superior se comparado aos ensaios com maltodextrina. O ajuste do valor da temperatura e do fluxo de alimentação tem a finalidade de permitir a evaporação do líquido presente nas gotículas antes que estas entrem em contato com a parede da câmara de secagem (Shishir et al., 2017). Sendo assim, a temperatura de 110 °C não foi suficiente para a secagem com este agente carreador nos fluxos estabelecidos. Além disso, a taxa de migração de umidade no interior do alimento para a superfície é função de condições internas como a natureza estrutural do material e quantidade de umidade do produto (Flores et al., 2014; Kajiyama & Park, 2008). Foi observado nestes extratos secos, partículas com características vítreas, neste estado são muito higroscópicas (Toneli et al., 2010). Possivelmente ocorreu adsorção de água, antes de chegar ao coletor, diminuindo consideravelmente a recuperação do produto seco, conforme visto na Tabela 3.

A análise de variância para o modelo linear entre as variáveis independentes (concentração do agente carreador e fluxo de alimentação) e a variável resposta (FOS), apresentaram um valor para o parâmetro estatístico F igual a 0,12, indicando que esse modelo não é estatisticamente significativo. Ou seja, as mudanças nas concentrações de amido e no fluxo de alimentação não resultaram em mudanças significativas nos resultados experimentais de FOS.

Já os resultados obtidos para CF, a análise de variância do modelo linear entre CF e a combinação da concentração de amido (X_1) e do fluxo de alimentação (X_2) apresentou um valor de F de 10,68, indicando significância estatística, com um coeficiente de correlação, r^2 , de 0,9144. A equação resultante (Figura 2D) para o ajuste linear é $CF = 0.42 - 0,00275X_1 + 0.0027X_2 - 0.011X_1X_2$.

De acordo com a equação do modelo, observa-se que as variáveis independentes (concentração de amido, X_1 , e o fluxo de alimentação, X_2) são capazes de afetar o teor de composto fenólico (CF) após o processo de secagem e para ilustrar os efeitos dessas variáveis independentes no teor de CF, foi feito um gráfico de superfície de resposta (Figura 2D) no qual apresentou um ponto ótimo, nas menores concentrações do agente carreador (amido) e em um maior fluxo de alimentação.

A umidade é um importante parâmetro de controle para extrato seco em spray dryer, é uma variável que depende da temperatura de secagem e do tempo de residência do material na câmara de secagem, sendo um indicador da eficiência do processo (Couto et al., 2012). Os produtos obtidos tiveram umidade residual entre 1,7 e 4,7%. Dessa maneira, a partir dos parâmetros estabelecidos pode-se assegurar que o equipamento foi capaz de efetuar a secagem com sucesso.

O alto conteúdo de frutooligossacarídeos encontrado nos produtos faz dos extratos secos de yacon fonte de fibra solúvel ou adoçante, especialmente para o enriquecimento de outros alimentos como sobremesas, bolos, produtos instantâneos, sorvetes, achocolatados, sem causar prejuízo ao consumidor (Sacramento et al., 2017).

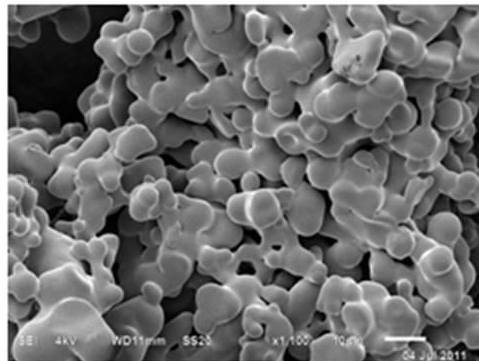
O produto obtido atende a alegação de funcionalidade estabelecida pela Anvisa (Brasil, 2008), em que estabelece que a porção do produto pronto para o consumo deve conter no mínimo 3g de frutooligossacarídeos para o alimento sólido ser definido com alegações de propriedades funcionais. Sendo assim, a inserção do extrato seco yacon em formulações alimentícias tem possibilidade de conter esta concentração de FOS e por isto ser considerado propriedade de alegação de funcionalidade.

3.5. Efeito das condições de secagem sobre a microestrutura da partícula do extrato seco de yacon

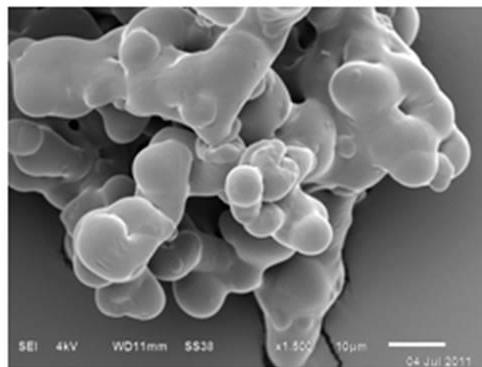
O processo de encapsulamento de partícula acontece a partir do envolvimento do agente encapsulante ou carreador, geralmente um material polimérico que atua como filme protetor, impedindo a exposição inadequada dos compostos bioativos (Souza et al., 2018). Foram

selecionadas para a análise da MEV, as amostras obtidas a partir de cada agente carreador na concentração de 20%. As fotomicrografias (Figura 3A, 3B e 3C) indicam variações no tamanho e na conformação da partícula.

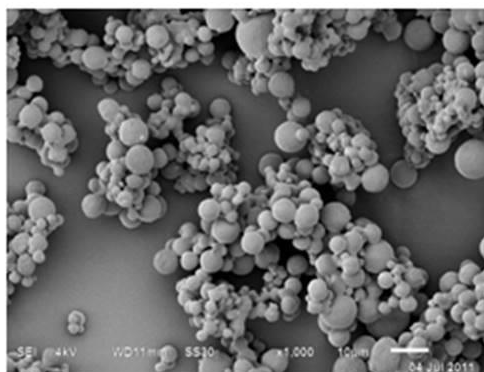
Figura. 3 - Fotomicrografia obtidas por MEV do extrato seco de yacon para os agentes carreadores: Aesosil (A), maltodextrina (B) e amido pré-gelatinizado (C) com concentração de 20%.



(A)



(B)



(C)

Fonte: Autores.

Analisando a imagem obtida com o uso do aerosil (Figura 3A), verifica-se que este agente carreador proporcionou partículas com formato esférico e diâmetro variável, todavia

59 % apresentaram tamanho entre 0,5 e 1,0 μm , mantendo o aspecto de pó fino e solto. As partículas são classificadas de acordo com o seu tamanho em nanopartículas ou em micropartículas (0,01 a 0,2 μm) e (1 a 100 μm) (Silva et al., 2014). A partir desta definição, é possível classificar as imagens dos pós em micropartículas. Os extratos com maltodextrina e amido pré gelatinizado (Figura. 3B e 3C) apresentaram partículas com superfície lisa e irregular, demonstrando ter uma forte aderência das partículas menores em torno das maiores, tendendo à formação de aglomerados, a conformação adquirida destas partículas impossibilitaram a classificação das mesmas.

O processo de secagem por spray dryer produz partículas com formato esférico e tamanho variado, sendo que a estrutura da partícula se relaciona diretamente com a viscosidade do material, que por sua vez é dependente da concentração do agente carreador, quanto maior a viscosidade, maior será o tamanho da gota, conseqüentemente maior a partícula formada (Tonon et al., 2008). Apesar dos ensaios com aerosil terem produzidos imagens com formato e diâmetro definido, suas respostas experimentais para FOS e CF foram inferiores em relação aos demais. Sugerindo que a capacidade de retenção destes compostos, pode não depender apenas do formato definido de uma partícula.

4. Conclusão

A influência dos agentes carreadores nos extratos secos por spray dryer foi evidenciada pelas características visuais das microcápsulas e o teor resultante de FOS e compostos fenólicos (CF). Os dados demonstraram que o agente carreador influencia significativamente no processo de elaboração do extrato seco de yacon, visto que, sem este é impossível elaborar o extrato seco.

Além disso, a concentração do agente carreador de secagem e sua interação com o fluxo interferem na qualidade do produto final. O elevado coeficiente de correlação para os ensaios com aerosil e maltodextrina confirma a habilidade do modelo ajustado descrever os resultados experimentais. Apesar de o modelo linear não descrever os dados experimentais dos ensaios com o amido pré-gelatinizado, os resultados ficaram próximos ao valor médio do ponto central, sugerindo a necessidade de fazer uma ampliação do planejamento para obtenção de uma função para o modelo.

Os ensaios com maltodextrina indicaram que é possível obter extrato seco de yacon, visto que foi obtido bom rendimento e baixa retenção de material na parede da câmara de secagem. E ainda, ser um agente carreador que tem sido amplamente usado na indústria de alimentos.

As micropartículas obtidas neste trabalho transportam e protegem os compostos fenólicos e frutooligosacarídeos presentes na batata yacon e podem ser potencialmente usados na indústria alimentícia e farmacêutica para a formulação de produtos inovadores com uma boa capacidade funcional.

Agradecimentos

À CAPES, Laboratório de Química e Bioquímica (UFG), Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (UFG) e Laboratório de Análise de Produtos Naturais (UFG).

Referências

Abrahão, FR, Rocha, LCR, Santos, TA, Carmo, EL, Pereira, LAS, Borges, SV, Pereira, RGFA & Botrel, DA. (2019). Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 103, 116–124.

Adhikari, B, Howes, T, Bhandari, BR & Troung, V. (2003). Characterization of the surface stickiness of fructose-maltodextrin solutions during drying, *Drying Technology*, 21 (1), 17–34.

Association of Official Analytical Chemistry - AOAC. (2000). Official methods of analysis. (17th ed.). Gaithersburg.

Araujo-Díaz, SB, Leyva-Porras, C, Aguirre-Banuelos, P, Álvarez-Salas, C & Saavedra-leos, Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, 167, 317–325.

Bezerra, DG, Devilla, IA, Conceição, EC, Czepak, C, Godinho, KCA, Caramori, SS, Portela, RC & Paula, JAM. (2020). Microencapsulated extracts from *Azadirachta indica* seeds:

Acquisition, characterization, and use in controlling *Helicoverpa armigera*. *Drying Technology*, 1-14.

Bligh, EG & Dyer, WJ. (1959). A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 911-917.

Brand-Williams, W, Cuvelier, M & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.

Brandão, CC, Asquiere, ER, Damiani, C. Bebida fermentada de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): parâmetros do processo fermentativo. *Brazilian Journal of Food Research*, Campo Mourão, v. 10 n. 1, p. 32-46, jan./mar. 2019.

Brasil. IX Lista de alegação de propriedade funcional e ou de saúde. Atualização em julho/2008. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm. Accessed 17 de maio de 2020

Couto, RO, Conceição, EC, Chaul, LT, Oliveira, EMS, Martins, FS, Bara, MTF, Rezende, KR, Alves, SF & Paula, JR. (2012). Spray-dried rosemary extracts: Physicochemical and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 131, 99–105.

Dak, M, Verma, RC & Jaaffrey, SNA. (2007). Effect of temperature and concentration on Rheological properties of “Kesar” mango juice. *Journal of Food Engineering*, 80, 1011–1015.

Dubois, M, Gilles, KA, Hamilton, JK, Rebers, PA & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3), 350-356.

Duan X, Jiang Y, Su X, Zhang ZY & Shi, J. (2007). Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chemistry*, 101, 1365–1371.

Flores, FP, Singh, RK & Kong, F. (2014). Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. *Journal of Food Engineering*, 137, 1–6.

Hassimoto, NMA, Genovese, MI, Santos, RJ & Lajolo, FM. (2003). Determinação do conteúdo de fenólicos totais em frutas. *Revista de Ciências Farmacêuticas*, 39, 167-169.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos físico-químicos para análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz. Instituto Adolfo Lutz, 1020.

Jermyn, MA. (1956). A new method for determining ketohexoses in the presence of aldohexoses. *Nature*, 177 (4497).

Jimenez-sánchez, DE, Calderón-Santoyo, M, Picart-Palmade, L, Luna-Solano, G, Ortiz-Basurto, RI, Bautista-Rosales, PU & Ragazzo-Sánchez, JA. (2017). Effect of Addition of Native Agave Fructans on Spray-Dried Chayote (*Sechium edule*) and Pineapple (*Ananas comosus*) Juices: Rheology, Microstructure, and Water Sorption. *Food Bioprocess Technology*, 2-12.

Kajiyama, T & Park, KJ. (2008). Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 10 (1), 1-8.

Marquezi, M, Gervin, VM, Watanabe, LB, Bassinello, PZ & Amante, ER. (2016). Physical and chemical properties of starch and flour from different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19, 1-8.

Miller, GL. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31 (3), 426-428.

Ortiz-Basurto, RI, Rubio-Ibarra, ME, Ragazzo-Sanchez, JA, Beristain, CI & Jiménez-Fernández, M. (2017). Microencapsulation of *Eugenia uniflora* L. juice by spray drying using fructans with different degrees of polymerisation. *Carbohydrate Polymers*, 175, 603–609.

Pycia, K, Jaworska, G, Telega, J, Sudol, I & Kuźniar, P. (2018). Effect of adding potato maltodextrins on baking properties of triticale flour and quality of bread. *LWT - Food Science and Technology*, 96, 199–204.

Quek, SY, Chok, NK & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386–392.

Rezende, YRRS, Nogueira, JP & Narain, N. (2018). Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, 254, 281–291.

Ricarte, DY, Júlio, BLA, Zocateli, GAFF, Barreto, RLF, Guimarães, M, Ferreira, RS & Guimarães, N. S. (2019). Análise sensorial de preparações com batata yacon: revisão sistemática. *HU Revista*, 45(4), 431-440.

Rocha, EMFF, Sousa, SL, Costa, JP, Rodrigues, S, Afonso, MRA & Costa, JMC. (2014). Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (6), 646–651.

Rodrigues, FC, Castro, ASB., Martino, HSD & Ferreira, CLLF. (2011). Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 70 (3), 290-295.

Sacramento, MS, Silva, PSRC & Tavares, MI. (2017). Yacon potato-functional food. *Revista Semioses*, 11 (03), 43-48.

Sarabandi, K, Gharehbeglou, P & Jafari, SM. (2020). Spray-drying encapsulation of protein hydrolysates and bioactive peptides: Opportunities and challenges. *Drying Technology*, 38, (5–6), 577–595.

Silva, JS, Ortiz, DW, Asquiere, ER & Damiani, C. (2020). Physicochemical and technological evaluation of flours made from fruit co-products for use in food products *Research, Society and Development*, 9 (3), 1-16.

Silva, DMN, Oliveira, FL, Cavatte, PC, Augusto, M, Quaresma, L & Christo, BF. (2018). Growth and development of yacon in different periods of planting and growing regions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40, 1-9.

Silva, PT, Fries, LLM, Menezes, CR, Holkem, AT, Schwan, CL, Wigmann, EF, Bastos, JO & Silva, CB. (2014). Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44 (7), 1304-1311.

Singleton, VL & Rossi, JA. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.

Shishir, MRI & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49-67.

Souza, ALR, Hidalgo-Chávez, DW, Pontes, SM, Gomes, FS, Cabral, LMC & Tonon, RV. (2018). Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 286–292.

Toneli, J, Park, K, Negreiros, A, Murr, F. (2010). Spray-Drying process optimization of chicory root inulin. *Drying Technology*, 28, 369- 379.

Tonon, RV, Brabet, C & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88, 411–418.

Vieira, NM, Dionisio, AP, Goes, TS, Araújo, IMS & Figuraueiredo, RW. (2018). Optimization of the acid treatment of yacon for the inactivation of polyphenoloxidase with maintenance of the functional properties. *Brazilian Journal Food Technology*, 21, 1-7.

Villanueva-Tiburcio, JE, Condezo-Hoyos, LA & Asquiere, ER. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 151-160.

Wang, W & Zhou, W. (2015). Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food Chemistry*, 168, 417–422.

Watson, MA, Lea, JM & Bett-Garber, KL. (2017). Spray drying of pomegranate juice using maltodextrin/ cyclodextrin blends as the wall material. *Food Science & Nutrition*, 5, 820–826.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Eduardo Ramirez Asquieri – 40%

Adriana Cândida Faustino Nishi – 40%

Rayssa Dias Batista – 10%

Elaine Meire de Assis Ramirez Asquieri – 10%