



ISSN: 1984-3151

# SECAGEM DA BATATA YACON (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) UTILIZANDO MICROONDAS DRYING OF POTATOES YACON (*SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*) USING MICROWAVE

Sérgio Luís Marcussi Vitor da Silva<sup>1</sup>; Luciana Moreira Seara<sup>2</sup>; Andrea Teixeira Charbel<sup>3</sup>

- 1 Mestre em Tecnologia de Alimentos, Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. Médico. Belo Horizonte, MG. [drsergio.perito@globo.com](mailto:drsergio.perito@globo.com).
- 2 Doutora em Química, UFMG, 1995. Pesquisadora do Centro de Microscopia da UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. [lmseara@globo.com](mailto:lmseara@globo.com).
- 3 Doutora em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, 1999. Professora do Departamento de Engenharia Química da UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. [andrea@deq.ufmg.br](mailto:andrea@deq.ufmg.br)

Recebido em: 15/06/2013 - Aprovado em: 29/11/2013 - Disponibilizado em: 30/11/2013

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo principal estudar os parâmetros de operação do processo de secagem do tubérculo de Yacon usando energia eletromagnética na frequência de microondas. A desidratação é um meio de preservar e conservar os alimentos de forma segura e ainda manter estavelmente suas propriedades. Os tubérculos de Yacon apresentam a característica de armazenar em suas raízes, em vez de amido, frutooligossacarídeos (FOS) como fonte de reserva de energia. Os frutooligossacarídeos são fibras e têm propriedades pré-bióticas, fator enriquecedor do valor nutricional dos alimentos. As variáveis estudadas foram a exaustão do ar da câmara do forno de microondas, a potência aplicada à carga de batatas (750 W e 350 W) e a temperatura do ar de secagem (30 °C e 60 °C). Pôde-se concluir que a variação da potência resultou em diferenças significativas na cinética do processo que, em aproximadamente 35 min, reduziu a umidade da batata Yacon de 91,8 % até 5 %.. Os dados experimentais, referentes à variação da umidade ao longo do tempo, foram ajustados a uma equação Gaussiana, que se mostrou adequada para representar o processo. A tecnologia de secagem por meio de microondas constitui um método prático para a introdução dos frutooligossacarídeos na dieta da população.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem; Batata Yacon; Microondas.

**ABSTRACT:** The present work has as main objective to study the operating parameters of the drying process Yacon tuber using electromagnetic energy in the microwave frequency. Dehydration is a means of preserving and storing food safely and stably while maintaining their properties. The Yacon tubers have the feature store in its roots, instead of starch, fructooligosaccharides (FOS) as a source of backup power. Fructooligosaccharides are fibers and have prebiotic properties, a factor enriching the nutritional value of foods. The variables studied were the exhaust air from the camera of the microwave oven, the power applied to the load of potatoes (750 W and 350 W) and drying air temperature (30 °C and 60 °C). It was concluded that the change in power resulted in significant differences in the kinetics of the process in approximately 35 min, reduced moisture Yacon potato 91.8% to 5%. The experimental data relating to humidity variation over time were adjusted to a gaussian equation which was adequate to represent the process. The technology of drying by microwaves is a practical method for the introduction of fructooligosaccharides in the brazilian diet.

**KEYWORDS:** Drying; Potato Yacon; Microwave.

## 1 INTRODUÇÃO

A batata Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foi introduzida no Brasil na década de 90. De origem Andina, esse tubérculo tem como característica o armazenamento, em suas raízes, de cerca de 80 % de frutooligossacarídeos, uma fibra com propriedades pré-bióticas (MAGALHÃES, LIMA E SOUZA, 2003).

No entanto, após uma semana da colheita, as perdas destas propriedades funcionais, causadas pela hidrólise das moléculas, podem chegar a 40 % (SILVA, 2007). Assim, torna-se necessário o rápido processamento do produto para que o mesmo possa conservar as suas propriedades.

Pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de oferecer uma diversificação de produtos a base de Yacon, como desidratado osmoticamente com sorbitol (MOURA, 2004), geleia de Yacon (PATRI *et al.*, 2009), xarope de Yacon (GENTA *et al.*, 2009), Yacon minimamente processado (MICHELS, 2004).

Kotovicz (2011) estudou a otimização do processo de desidratação osmótica de Yacon com frutose, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta. Foram analisados os parâmetros perda de umidade, incorporação de sólidos e atividade de água das fatias de Yacon durante o processo de desidratação osmótica, tendo como variáveis independentes a temperatura de desidratação (30 - 50 °C), a concentração da solução de frutose (40 - 68 % peso/peso) e a utilização de revestimento com cobertura comestível de alginato de sódio. Concluiu-se que as condições ótimas de desidratação foram revestimento com alginato de sódio, em solução a 68 °Brix e temperatura de 30 °C por 60 min.

Como forma de processamento, a secagem tem apresentado importância crescente no panorama da alimentação mundial, uma vez que contribui para o aumento da vida de prateleira dos produtos, além de possibilitar novas formas, por vezes mais práticas, de

consumo dos alimentos com propriedades pré-bióticas. A aplicação da batata Yacon como produto desidratado na indústria alimentícia mostra-se promissora, haja vista os estudos nos quais foi verificado que a adição da farinha de Yacon a produtos de panificação não resultou em alterações significativas nas características organolépticas dos produtos (SILVA, 2007).

Dentre os fatores que influenciam a taxa de secagem estão o tipo de processamento utilizado, a composição, a estrutura, o volume do material a ser secado e a temperatura do ar, a quantidade de vapor de água presente no ambiente e, ainda, a quantidade e a velocidade do ar que escoar pelo alimento (FELLOWS, 2006).

Padilha *et al.* (2009) estudaram a secagem em estufa da batata Yacon com três diferentes tipos de pré-tratamentos a fim de inibir o escurecimento enzimático do produto e favorecer o tempo de secagem. Amostras de Yacon sem inibição química, de Yacon submetido à solução de cloreto de cálcio 1,0 g/100 g por 30 minutos e de Yacon submetido à solução de metabisulfito de potássio 0,5 g/100 g por 5 minutos foram secas a 55 °C, em estufa ventilada, sendo o teor de água e as curvas de secagem determinados. O tempo para a redução do teor de umidade até o valor desejado foi de 22h.

A secagem utilizando energia eletromagnética na forma de microondas vem ganhando espaço entre pesquisadores devido ao tempo reduzido do processo. O interesse por esta técnica é evidenciado através de trabalhos recentes realizados por Holtz *et al.* (2010); Gölle *et al.* (2009); Soysal *et al.* (2009), Erle (2005), Pereira (2007), entre outros.

Na secagem por microondas, diferentemente da secagem convencional em estufa, as ondas atingem, como um todo, determinada profundidade do material (dependendo da densidade do produto), transportando energia eletromagnética que é, então, absorvida por

moléculas polares, como as da água, e convertida em energia térmica. O processo de aquecimento se dá devido à rotação dipolar das moléculas polares, que mudam de direção de acordo com a frequência das microondas, causando o aumento da temperatura do produto.

Segundo Holtz *et al.* (2010), os altos valores de taxa de secagem e baixo tempo total de processo podem ser atribuídos ao mecanismo dominante de transferência de calor, que se dá do interior para fora da partícula, fazendo com que tanto a remoção da umidade superficial quanto da interna tenham início imediatamente após iniciado o processo de secagem. O mesmo autor cita que o uso das microondas em processos industriais de secagem garante mais segurança e automação do que outros métodos convencionais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições operacionais de secagem por microondas da batata Yacon por meio de análise e ajuste das curvas experimentais de secagem e de velocidade de secagem.

## 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A batata Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foi adquirida de um fornecedor no mercado local de Belo Horizonte, MG. A umidade inicial foi determinada por método gravimétrico em estufa a 105 °C até as amostras, de 5 g, atingirem massa constante (AOAC, 2005). As batatas foram higienizadas, descascadas manualmente, fatiadas em tipo palha (tamanho médio de 3 cm de comprimento e 1,1 mm de espessura) e imersas em solução de ácido cítrico a 3 % a fim de inibir o escurecimento enzimático.

Para os ensaios, foi utilizado um forno de microondas convencional em que foi adaptado um sistema de aquecimento e exaustão do ar de secagem, além de um sistema de quantificação contínua da massa do

produto, permitindo a obtenção dos dados sem a necessidade de abrir a porta do equipamento a cada 3 min, o que comprometeria o processo.

As variáveis testadas foram: a temperatura do ar de entrada, de 30 °C e 60 °C; a potência do microondas, de 750 W (alta) e 350 W (média), e a exaustão do ar de secagem em dois níveis: com e sem exaustão.

O Teste t com nível de significância de 95% foi aplicado com o auxílio do programa Analyse-it para verificar o efeito das variáveis testadas. O Programa Curve Expert foi utilizado para o ajuste dos dados experimentais e estimativa dos parâmetros de modelos para prever a variação de umidade ao longo do tempo em diferentes condições.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade inicial da batata Yacon foi determinada igual a 7,33 (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>). A quantificação regular da massa das amostras e o cálculo da umidade permitiram a obtenção das curvas de secagem assim como da taxa de secagem. A variação da umidade ao longo do tempo é mostrada na FIG. 1. e nota-se um comportamento semelhante em todos os ensaios, quanto à acentuada perda de umidade no início do processo, perda esta que segue com menor intensidade até ser alcançado o equilíbrio.

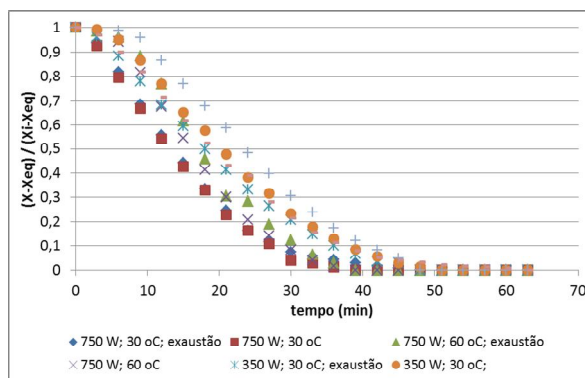


Figura 1 – Umidade (kg<sub>água</sub>/kg<sub>ss</sub>) x tempo

Uma análise da umidade para determinados valores de tempo indica, com o auxílio do teste t, que das variáveis estudadas, a temperatura e a exaustão do ar apresentaram pouca influência no processo de variação da umidade, ou seja, no processo de secagem. Apenas nas condições de potência alta com exaustão (no caso da temperatura) e a 60 ° C com potência de 350 W (no caso da exaustão), o valor P resultou significativo para o nível de significância considerado, de 95%. Já a variação da potência nas quatro condições estudadas mostrou ter influência no processo de retirada da umidade das amostras, como pode ser visto pelos valores de P indicados na TAB 1.

Tabela 1

Efeito da temperatura, potência e exaustão nas diferentes condições de operação (teste t,  $\alpha = 0,05$ ).

Condições de Operação						
	T (° C)	Potência (W)	Exaustão	P (T<= t) bi-caudal		
Efeito da Temperatura	30/60	350	sem	0,177171		
			com	0,096369		
		750	sem	0,063451		
			com	0,042379		
Efeito da Potência	30	350/750	sem	0,018184		
			com	0,034378		
	60		sem	0,008966		
			com	0,044052		
	Efeito da Exaustão		30	350		0,119035
				750	sem/com	0,070447
60		350		0,014145		
		750		0,5		

Na FIG. 2 e também na FIG. 3, estão representados os valores de velocidade de retirada de umidade, em  $g_{\text{água}}/\text{min}$ , ao longo do tempo, nos processos utilizando potência de 750 W e 350 W, respectivamente.

Pode-se verificar os menores valores de velocidade de perda de umidade alcançados no processo utilizando potência média (aproximadamente  $0,05 g_{\text{água}}.\text{min}^{-1}$ ), quando comparados aos valores obtidos no caso da potência alta (na faixa de  $0,03 g_{\text{água}}.\text{min}^{-1}$ ).

No processo com potência de 750 W houve um rápido e uniforme decaimento da velocidade de secagem, que alcançou o equilíbrio em, aproximadamente, 40 min, quando a velocidade se mostrou praticamente nula. Diferentemente, no processo com potência de 350 W, a queda da velocidade foi mais lenta, sendo o equilíbrio atingido em torno dos 55 min.

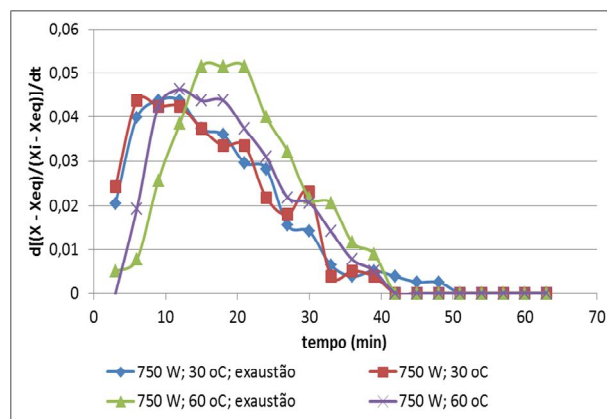


Figura 2 – Velocidade de secagem ao longo do tempo (potência de operação alta: 750 W)

Os dois conjuntos de curvas apresentaram comportamentos semelhantes aos das curvas de secagem clássicas obtidas, por exemplo, em secadores de bandejas convectivos. Vale notar que tal fato ocorre apesar dos mecanismos de transferência de calor que causam o aumento da pressão de vapor e a conseqüente retirada da umidade, nos dois casos, serem distintos.

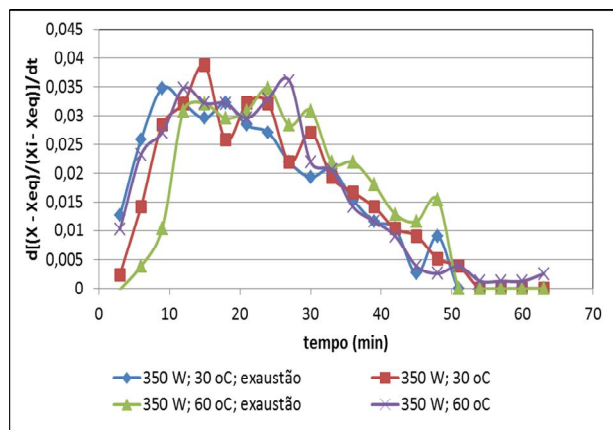


Figura 3 – Velocidade de secagem ao longo do tempo (potência de operação média: 350 W)

Os dados referentes à variação da umidade ao longo do tempo foram ajustados para as diferentes condições de operação. O modelo que se mostrou adequado para a representação de tal variação, segue a seguinte equação Gaussiana, Eq. 1:

$$y = a e^{-(b-x)^2 / 2c^2} \quad (1)$$

Referente a essa equação, a variável independente,  $x$ , representa o tempo e a variável dependente,  $Y$ , representa a umidade adimensional, dada pela Eq. 2:

$$y = \frac{X - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (2)$$

Em que:  $X$  é a umidade no tempo  $t$ , em base seca ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ss}}$ ) e  $X_{eq}$  e  $X_i$  são a umidade de equilíbrio e a umidade inicial, respectivamente, ambas em base seca.

O comportamento de todas as curvas ajustadas foi semelhante à representada na FIG. 4. Tal figura refere-se ao ajuste relativo às condições de temperatura e potência iguais a 30 °C, e 750 W, respectivamente, com exaustão.

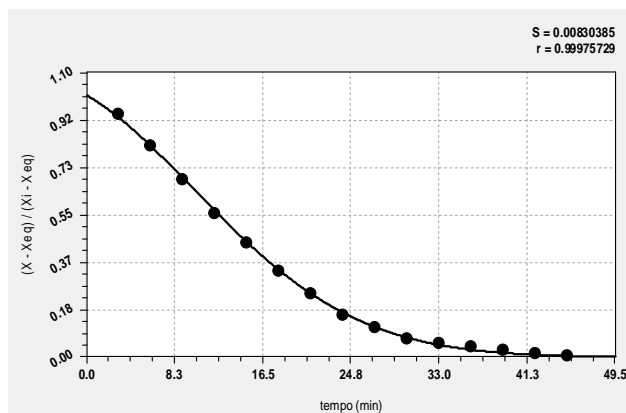


Figura 4 – Dados experimentais e calculados a partir da equação de Gauss ( $T=30$  °C;  $P= 750$  W; com exaustão)

Os parâmetros estimados utilizando o programa Curve Expert, assim como o erro padrão e o coeficiente de correlação, em cada condição, estão dispostos na TAB. 2.

Tabela 2

Coefficientes de ajuste dos dados experimentais à equação Gaussiana

Potência	Alta	Alta	Alta	Alta
Temperatura	30	30	60	60
Exaustão	com	sem	com	sem
a	1,08	1,06	1,01	1,01
b	5,54	5,02	1,86	0,55
c	15,41	14,77	13,28	13,08
s	0,0083	0,012	0,024	0,0098
r	0,9997	0,999	0,998	0,9997
Potência	Média	Média	Média	
Temperatura	30	60	60	
Exaustão	com	com	sem	
a	1,05	1,01	1,03	
b	5,68	2,29	4,33	
c	19,45	17,91	19,37	
s	0,00982	0,0080	0,0107	
r	0,9996	0,9998	0,9996	

#### 4 CONCLUSÕES

A variável potencia, estudada em dois níveis, alta (750 W) e média (350 W) apresentou influencia significativa na velocidade de perda de água, ou seja, no processo de secagem, diferentemente das variáveis temperatura e exaustão do ar de secagem.

Apesar de no processo de secagem por microondas o mecanismo de transferência de calor se dar diferentemente do método convencional, por convecção e condução, as curvas de secagem e de velocidade de secagem obtidas apresentaram comportamentos semelhantes aos das curvas em processos de secagem em estufa, como obtidas por Padilha *et al.* (2009).

O reduzido tempo de secagem comparado com o tempo necessário em estufa (PADILHA, 2009)

incentiva ao estudo do aprimoramento da técnica de secagem por micro-ondas.

A equação Gaussiana de três parâmetros mostrou-se adequada para representar os dados experimentais no processo de secagem por microondas nas condições estudadas.

Os resultados promissores da retirada da umidade por microondas da batata Yacon conduzem, no entanto, à investigação do efeito desta radiação sobre as características nutricionais do tubérculo desidratado uma vez que suas propriedades pré-bióticas (SILVA, 2007; GENTA *et al.*, 2009) foram motivação para realização deste estudo. Também as propriedades organolépticas devem ser estudadas a fim de fornecer à população produtos atraentes e com altos valores comerciais agregados.

---

#### REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis**. 18th. ed. Gaithersburg, 2005.

ERLE, U. **The microwave processing of foods. Cap. 8: Drying using microwave processing**. Editado por Helmar Shubert e Marc Regier, CRC Press LLC, Flórida, EUA, 2005.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p. ISBN 8536306521,

GENTA, S.; CABRERA, W.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I.M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, p. 182-187, 2009. ISSN: 0261-5614.

GÖLLEI, A.; VASS, A.; MAGYAR, A.; PALLAI, E. Apparatus and method for investigation of energy consumption of microwave assisted drying systems. **Review of Scientific Instruments** v 80, n. 104706, 2009. ISSN:0034-6748.

HOLTZ, E.; AHRNÉ, L.; RITTENAUER, M.; RASMUSON, A. Influence of dielectric and sorption properties on drying behaviour and energy efficiency during microwave convective drying of selected food

and non-food inorganic materials. **Journal of Food Engineering**, v. 97 p144, 2010. ISSN: 0260-8774.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do Yacon (*Polymnia sonchifolia*)**. 2011. 88f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MAGALHÃES, R. S.; LIMA, R. M. F.; SOUZA, H. A. O uso de microondas para determinação de umidade de bauxita. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v.56, out. / dez.2003. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672003000400007>> Acesso em: 04 nov 2013. ISSN 0370-4467.

MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada**. 2004. 115f. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento**

**osmótico**. 2004. 107f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PADILHA, V. M. *et al.* Avaliação do tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p 2178-2184, out. 2009. ISSN 0103-8478.

PATRI, P.; BERBARI, S. A. G.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, M. G.; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geléia de Yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009. ISSN 1981 – 6723.

PEREIRA, N. R. **Estudo da aplicação de Microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente**. 2007. 165f. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, A. S. S. **A raiz da Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência na glicemia pós-prandial**. 2007.158f. Tese de doutorado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SOYSAL, Y.; ARSLAN, M.; KESKIN, M. Intermittent microwave-convective air drying of oregano. **Food Science and Technology International**, v. 15, n. 4, 397 – 406, out 2009. ISSN: 1082-0132.