



ANÁLISE DE VIABILIDADE DA SECAGEM DE RESÍDUOS ALIMENTARES NO FORNO MICRO-ONDAS PARA A OBTENÇÃO DE BIOMASSA SÓLIDA

DIEGO H. S. CHAVES^{1*}, FILIPE G. RODRIGUES², MIGUEL V. MELO²,
VIVIANE S. BIRCHAL¹, ANDREA L. T. CHARBEL²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Ciências Térmicas e dos Fluidos
*e-mail: diegohschaves@outlook.com

RESUMO - Resíduos alimentares provenientes do Restaurante Universitário da Universidade Federal de São João del-Rei, com umidade inicial de 73,77% (b.u.), foram secos em forno de micro-ondas em três níveis de potência diferentes: 40%, 70% e 100%. Medidas de massa e temperatura da amostra foram realizadas, até a estabilização de umidade, para analisar o efeito do nível de potência na cinética de secagem. Um rápido aumento inicial na temperatura foi observado para todos os níveis de potência. O período de taxa de secagem constante é decisivo para a secagem por micro-ondas. Tanto a eficiência de secagem (41,3%) quanto o consumo específico (5,5 MJ/kg) tiveram valores médios maiores a 40% de potência. Resultados mostram a viabilidade técnica da desidratação por micro-ondas, entretanto, os resíduos estudados apresentaram alto teor de cinzas (aproximadamente 22%), o que pode ser um fator limitante para sua aplicação como biomassa combustível sólida.

INTRODUÇÃO

Biomassa pode ser definida como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. A energia proveniente da biomassa é hoje a maior fonte de energia renovável, podendo contribuir com 9% da oferta de energia primária global (ANEEL, 2020). Grande parte dos resíduos alimentares é transformado em farelo peletizado, utilizado principalmente como suplemento alimentar para bovinos. Entretanto, deve-se destacar a possibilidade de utilização de resíduos alimentares para fins energéticos, garantindo o desenvolvimento sustentável. Goldemberg (2009) enfatiza que a utilização de biomassa como fonte de energia reduz a necessidade de recursos finitos de combustíveis fósseis, reduzindo também a emissão de gases de efeito estufa.

A energia pode ser produzida pelo processo de combustão de resíduos orgânicos,

que consiste em transformar em calor a energia química existente nestas fontes de biomassa. Apesar da praticidade, o processo de combustão direta tende a ser bastante ineficiente, uma vez que os resíduos apresentam alto teor de umidade. Para que a combustão ocorra de forma mais eficiente, a secagem da biomassa é uma etapa crucial, pois a alta umidade presente neste tipo de resíduo é uma característica que atua como um fator limitante (Charbel *et al.*, 2015).

Geralmente, a secagem solar para produtos alimentícios é o tipo de secagem mais utilizado devido à principal vantagem do baixo consumo de energia, porém, a eficiência do processo é intrinsecamente dependente das condições climáticas (Mutlu *et al.*, 2021; Wilkins *et al.*, 2018). Alternativamente, a secagem por micro-ondas é uma técnica de desidratação rápida devido ao rápido aumento da temperatura do produto (Zhang *et al.*, 2006) sendo mais rápido e mais eficiente em termos energéticos em comparação com a secagem com ar quente por convecção (Kentish *et al.*,

2005; Soysal *et al.*, 2009). O calor é gerado rapidamente nos materiais dentro do forno micro-ondas devido à fricção interna das moléculas devido à polarização dos íons que tentam se alinhar com o campo elétrico (Almeida *et al.*, 2010).

No entanto, apesar das vantagens mencionadas com relação à secagem por micro-ondas, para valores de potência elevados, os produtos aquecidos podem apresentar variação de cor significativa (Ozkan *et al.*, 2007), o que sugere a utilização de valores baixos de potência para aquelas aplicações em que as características organolépticas devem ser preservadas. Dada a aplicação da utilização do resíduo como biomassa, muitas vezes queimada diretamente em fornos e caldeiras, suas características de cor são irrelevantes em relação ao seu teor de umidade final.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade do aproveitamento de resíduos alimentares como biomassa sólida. Para tanto, a secagem das amostras úmidas foi realizada em um forno micro-ondas a três níveis distintos de potência. A viabilidade foi estudada com base nos valores dos teores de voláteis, de cinzas e de carbono fixo. Neste estudo, os resíduos utilizados foram provenientes do Restaurante Universitário da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) de forma a proporcionar uma alternativa ao descarte deles que, normalmente, é feito no aterro a céu aberto da cidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de resíduos alimentares foram coletadas no Restaurante Universitário do Campus Dom Bosco da UFSJ e foram processadas de forma a homogeneizá-las. As amostras homogêneas (com textura pastosa) foram colocadas em peneiras para retirar o excesso de água por um período de 24 horas. Após a remoção do excesso de umidade, a secagem por micro-ondas foi realizada nas potências baixa (40%), média (70%) e alta (100%) do forno. O equipamento micro-ondas utilizado (modelo BMS35BBHNA) possui capacidade de 30L e potência nominal de 1400W. Os ensaios de secagem foram executados em triplicata, com três amostras distintas coletadas em dias diferentes.

Determinação da potência do micro-ondas

A potência máxima do forno informada pelo fabricante é de 1400W, entretanto, Song *et al.* (2016) constataram que as potências reais do equipamento utilizado eram ligeiramente menores do que os valores nominais reportados pelo fabricante. Kentish *et al.* (2005) observaram comportamento semelhante, com potências reais significativamente menores do que os valores nominais (10% do valor nominal). Além disso, Rosini *et al.* (2004) verificaram que não há uniformidade da distribuição das micro-ondas dentro do forno e que na região central da cavidade ocorre maior incidência de ondas. Optou-se, então, calibrar e realizar os testes na posição central da cavidade do forno.

Para calibração da potência real fornecida pelo *magnetron* do micro-ondas, 500mL de água foram adicionados em um bquer e ele foi colocado no centro da cavidade do forno micro-ondas. Ao final de 120 segundos à potência alta, foi medida a variação de temperatura da água. A potência real do micro-ondas é calculada pela Equação 1.

$$P = \frac{mc_p\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

P é a potência real fornecida pelo micro-ondas, m a massa de água usada no teste, c_p o calor específico da água (valor considerado constante), ΔT a variação de temperatura e Δt o tempo de aquecimento. A potência incidente na região central da cavidade foi calculada igual a $729 \pm 2W$ para nível de 100%. Assim, as potências correspondentes aos níveis alto, médio e baixo são 729W, 510W e 292W, respectivamente.

Umidade Inicial

Para determinar a umidade inicial dos resíduos, 5g da amostra foram colocados em uma estufa de secagem (modelo 420-1D) a $105 \pm 2^\circ C$ por 24 horas segundo AOAC (1990). Ao final deste tempo, as amostras foram novamente pesadas em balança semi-analítica (modelo UX 420H – precisão de $\pm 0,001g$) e a umidade do material em base úmida X' foi

calculada pela Equação 2 e a umidade em base seca X pela Equação 3.

$$X' = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{total}}} \quad (2)$$

$$X = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{seca}}} \quad (3)$$

$m_{\text{água}}$ representa a quantidade de massa de água presente na amostra, m_{seca} é referente à massa seca da amostra, e m_{total} corresponde à soma de $m_{\text{água}}$ e m_{seca} , ou seja, a massa total da amostra.

Ensaio de secagem no micro-ondas

Para o procedimento de secagem, foi utilizado um recipiente de acrílico próprio para aquecimento de produtos alimentícios em fornos micro-ondas. Aproximadamente 67g de amostra úmida foram adicionadas ao recipiente de forma a cobrir toda sua base, com uma fina espessura (aproximadamente 1mm). As amostras eram posicionadas ao centro da cavidade do forno micro-ondas e foram secas a três níveis distintos de potência: baixa (40%), média (70%) e alta (100%). O processo de secagem prosseguiu até a amostra atingir peso constante, considerando, assim, que toda a água já foi removida.

O *magnetron*, responsável por produzir a radiação eletromagnética, alterna a cada 22 segundos em baixa e média potências em fornos de micro-ondas domésticos, sem incidência constante de micro-ondas ao longo do tempo (Mai, 2008). Em alta potência, não há interrupções nas emissões. Então, a cada 22s, as amostras eram retiradas para medição da massa das amostras. Simultaneamente, a temperatura era medida com um termopar tipo J acoplado a um termo-higrômetro digital (modelo MTH-1362 – precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$). Para o procedimento de medição de temperatura e massa foram necessários em média 12s, incluindo a retirada da amostra do forno, pesagem, medição das variáveis e retorno da amostra novamente para dentro do forno.

Eficiência de secagem

A eficiência energética média da secagem por micro-ondas está fortemente relacionada ao

tempo de secagem e, portanto, à cinética de secagem (Holtz *et al.*, 2010). A eficiência energética do processo de secagem por micro-ondas (Equação 4) pode ser calculada como a razão entre a taxa de calor usada para evaporar a água da amostra e a energia fornecida pelo micro-ondas durante o intervalo de emissão (Soysal *et al.*, 2006).

$$\eta = \frac{m_{\text{evap}} \lambda}{P \Delta t} \times 100\% \quad (4)$$

η é a eficiência energética da secagem por micro-ondas, m_{evap} é a massa total de água evaporada, λ é o calor latente de vaporização da água calculado pela correlação apresentada na Equação 5 (Kentish *et al.*, 2005), P é a potência real do micro-ondas e Δt é o intervalo de tempo do experimento.

$$\lambda = 2504,13 - 2,4473 \cdot T \quad (5)$$

O consumo específico de energia durante o processo de secagem (*SEC – Specific Energy Consumed*), comumente apresentada em MJ/kg, é a quantidade de energia utilizada para evaporar um quilograma de água do produto (Equação 6).

$$SEC = \frac{P \Delta t}{m_{\text{evap}}} \times 10^{-3} \quad (6)$$

Teor de voláteis

O teor de voláteis pode ser descrito como o conteúdo de biomassa que evapora por aquecimento na forma de um gás (McKendry, 2002). Para determinação do teor de voláteis da amostra seca, 5g de cada amostra foram colocadas em cadinhos de porcelana e levadas à mufla a $850 \pm 10^\circ\text{C}$ por 7 minutos segundo procedimento descrito por Vieira (2012) e pela norma E872-82 (ASTM, 2019). O teor de voláteis foi calculado usando a Equação 7.

$$T_v = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100\% \quad (7)$$

T_v é o teor de voláteis, m_1 é a massa seca inicial e m_2 , a massa após os 7 minutos na mufla.

Teor de cinzas

Para o cálculo do teor de cinzas, a massa final resultante do teste anterior (teor de voláteis) foi novamente colocada em um cadinho de porcelana e levadas novamente à mufla, agora a $710 \pm 10^{\circ}\text{C}$ por 1 hora (meia hora com a porta meio aberta e meia hora com a porta da mufla totalmente fechada), segundo procedimento descrito por Vieira (2012) e pela norma E1755-01 (ASTM, 2020). Após esse procedimento, o teor de cinzas foi calculado pela Equação 8.

$$T_c = \frac{(m_2 - m_3)}{m_2} \times 100\% \quad (8)$$

T_c é o teor de cinzas, m_2 é a massa após o procedimento de teor de voláteis e m_3 , a massa final.

Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo, calculado pela Equação 9, é a massa restante após as liberações de voláteis, excluindo as cinzas e o conteúdo de umidade da amostra (McKendry, 2002).

$$C_f = 100\% - (T_v + T_c) \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras dos resíduos alimentares coletadas no Restaurante Universitário apresentaram teor médio de umidade inicial em base úmida igual a $73,77 \pm 2,45\%$ (b.u.).

Curvas características de secagem

As curvas características do processo de secagem relacionam a variação da umidade e a taxa de secagem com o tempo. As curvas de umidade vs. tempo (Figura 1) indicam a relação entre o tempo e a umidade sob determinadas condições de operação e permitem equacionar e prever o tempo de processo necessário para que o produto alcance determinado teor de umidade desejado.

É possível notar na Figura 1, que para a potência de 100%, o tempo necessário para estabilizar o valor de umidade das amostras foi menor quando comparado com as demais

potências (2,2 e 1,6 vezes menor do que 40% e 100%, respectivamente). Na alta potência tem-se incidência das micro-ondas durante 100% do tempo. Dessa forma, há uma maior transferência de energia eletromagnética, fazendo com que a umidade seja eliminada mais rapidamente.

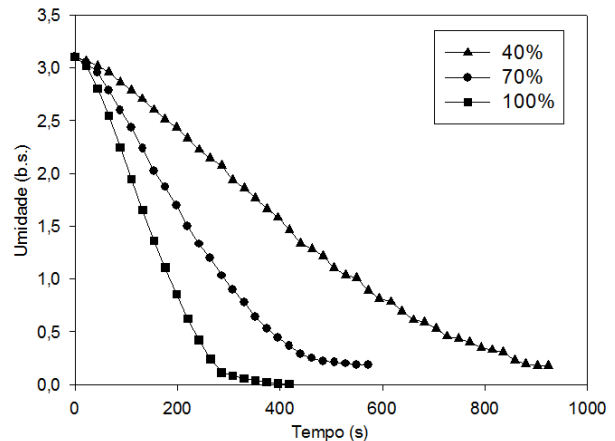


Figura 1 – Umidade média (b.s.) ao longo do tempo a três níveis distintos de potência.

Um rápido aumento de temperatura no início do processo de secagem pode ser observado na Figura 2 para os 3 níveis de potência estudados. Isso se deve ao fato de que no micro-ondas há absorção direta da energia pelo material a ser aquecido, ao contrário do processo de convecção, no qual a energia é transferida lentamente (Rosini *et al.*, 2004). Há uma oscilação maior dos dados de temperatura a 40% a um valor médio menor do que nas demais potências. O valor médio de variação de temperatura entre duas medições consecutivas foi $9,0^{\circ}\text{C}$ para 40%, $6,6^{\circ}\text{C}$ para 70% e $3,0^{\circ}\text{C}$ para 100% de nível de potência.

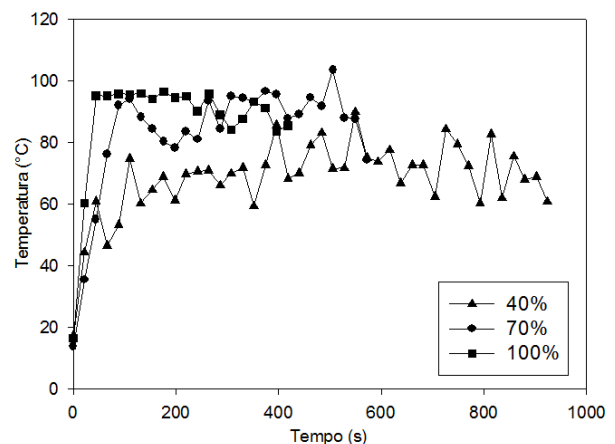


Figura 2 – Temperatura média ao longo do tempo a três níveis distintos de potência.

A taxa de secagem (Figura 3) avalia a velocidade na qual a umidade é retirada do produto ao longo do tempo de processo. Com esse parâmetro, é possível verificar em qual potência do forno micro-ondas é possível obter uma maior perda de umidade em um menor intervalo de tempo (Rodrigues e Charbel, 2018). O conhecimento do comportamento da taxa de secagem permite estudar a relação entre a umidade, a estrutura do material e o comportamento destes quando expostos às micro-ondas.

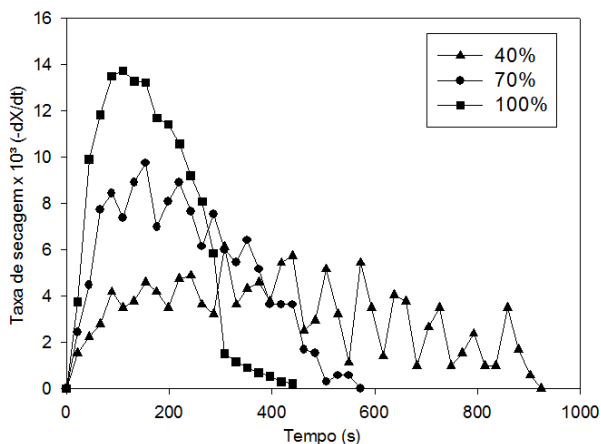


Figura 3 – Taxa de secagem média ao longo do tempo a três níveis distintos de potência.

A taxa de secagem para as amostras de resíduos alimentares atinge em um curto período um valor constante e decresce ao longo do restante do processo. Valores de taxa constante maiores foram obtidos para os valores de potência maiores. Assim, é possível eliminar a água livre não-ligada mais rapidamente, necessitando menos energia para evaporação.

O valor de umidade de transição entre a taxa de secagem constante e taxa de secagem decrescente é a umidade crítica. Na etapa de secagem à taxa decrescente, a perda de água acontece via migração da água livre ligada até a superfície e posterior evaporação. Assim, a estrutura e características do material afetam a duração desta fase de secagem.

A secagem na potência média tende a um comportamento similar à da alta, porém com menores taxas de remoção de umidade, necessitando, portanto, de mais tempo para finalizar o processo. Para o nível de potência baixo (40%), os resultados sugerem que a energia fornecida pelas micro-ondas não foi

suficiente para elevar a pressão de vapor da água a um nível necessário para sua vaporização. Além disso, os dados a esse nível de potência oscilaram significativamente durante todo o processo, diferentemente dos outros níveis de potência estudados. Essas variações são esperadas, pois se trata de um forno micro-ondas de uso doméstico e pela irradiação intermitente das micro-ondas (Mai, 2008) e pelo procedimento de medição também intermitente. Devido a esse comportamento, a umidade é eliminada de forma mais gradual sendo majoritariamente controlado pela difusão de água dentro das amostras.

O comportamento da taxa de secagem em relação ao teor de umidade do produto (Figura 4) fornece informações acerca das umidades ligada e não-ligada presentes nas amostras. A umidade não-ligada tem pressão de vapor igual à pressão de vapor da água pura, é facilmente removida e, durante sua retirada, a taxa de secagem apresenta-se constante. Já a umidade ligada apresenta menor pressão de vapor e sua retirada necessita de maior fornecimento de energia. Durante esta etapa, a taxa de secagem é decrescente.

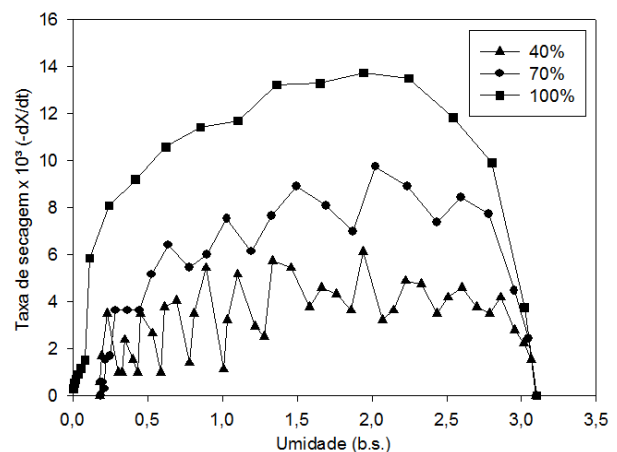


Figura 4 – Taxa de secagem média em função da umidade (b.s.) a três níveis distintos de potência.

Pela análise da Figura 4, nota-se que não há alteração significativa do valor de umidade crítica para as potências média (70%) e alta (100%), algo em torno de 0,8 (b.s.), ou seja, o resíduo que possui umidade inferior a esse valor apresenta apenas umidade ligada. Não foi possível analisar o valor de umidade crítica para os dados a 40% pela oscilação significativa dos valores medidos.

Eficiência de secagem

Para verificar a influência do nível de potência na secagem, alguns parâmetros de desempenho são apresentados na Tabela 1. A eficiência média de secagem foi calculada pela Equação 4 e o consumo específico médio de secagem pela Equação 6. O consumo total de energia foi estimado multiplicando-se a potência (W) e o tempo total de secagem (h) em cada experimento.

Tabela 1 – Parâmetros de desempenho para secagem por micro-ondas a 40, 70 e 100%.

	Potência		
	40%	70%	100%
Consumo de energia* (Wh)	74,9	81,0	84,6
Eficiência média de secagem (%)	41,3	37,6	38,1
Consumo específico médio de secagem (MJ/kg)	5,5	3,5	2,4

* Valor estimado com base no tempo de secagem e na potência real fornecida.

Tanto a eficiência quanto o consumo específico de energia foram maiores para a menor potência analisada (40%), devido ao melhor aproveitamento energético da potência convertida, mas, o consumo total relativo de energia é maior. O fator determinante para que o custo do processo de 40% seja maior se deve ao maior tempo relativo de secagem.

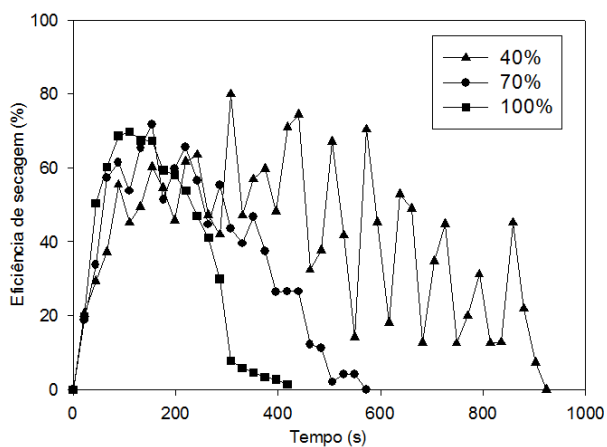


Figura 5 – Eficiência de secagem ao longo do tempo a três níveis distintos de potência.

Todos os parâmetros de desempenho são afetados diretamente pela taxa de secagem, destacando a importância das curvas características de secagem. Pela análise da eficiência ao longo do tempo (Figura 5), percebe-se uma queda abrupta dos valores quando a secagem ocorre à taxa decrescente. Uma pequena quantidade de água na amostra ao final do experimento faz com que a eficiência de secagem caia significativamente e que o consumo específico aumente exponencialmente (Figura 6).

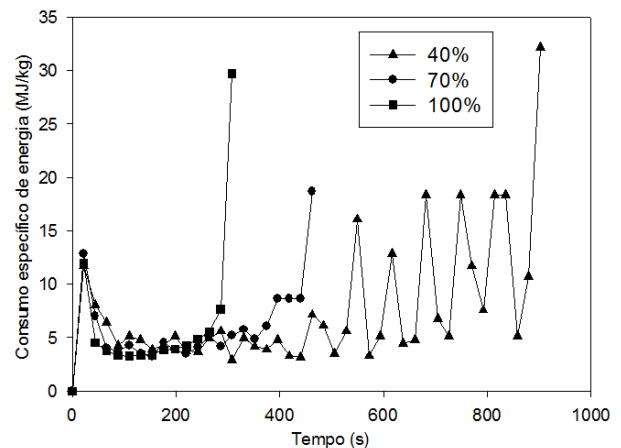


Figura 6 – Consumo específico de secagem ao longo do tempo a três níveis distintos de potência.

Um pico no SEC é observado na etapa inicial da secagem. Isso se deve ao fato do rápido aquecimento das amostras (ver Figura 2). Uma quantidade maior da energia convertida pelas micro-ondas é usada na forma de calor sensível aquecendo o resíduo. Após a etapa de rápido aquecimento, o valor do consumo específico tende a cair. Ao final do experimento, quando há pouca umidade nas amostras, é necessária uma quantidade de energia excessivamente maior para remover uma pequena quantidade de água. Isso pode inviabilizar o processo, sugerindo a necessidade de interrupção do processo antes de estabilização da massa.

Teor de voláteis

Utilizando a Equação 7, o valor médio do teor de voláteis para as amostras de resíduos alimentares secos foi de $66,49 \pm 5,79\%$. Esse parâmetro afeta o processo de combustão pois interfere na ignição uma vez que quanto maior

o teor de voláteis na biomassa, maior será a reatividade, em outras palavras, maior facilidade de incendiar.

Pela difícil caracterização do conteúdo dos resíduos alimentares, a casca de arroz foi utilizada como parâmetro de referência por possui valores na mesma ordem de grandeza dos teores calculados neste trabalho. Vieira (2012) determinou os teores de voláteis em 82,9% para casca de arroz. Já Morais *et al.* (2006) e Diniz (2005), os teores de voláteis reportados para a casca de arroz foram 64,26% e 59,5%, respectivamente, valores que estão mais próximos ao teor calculado.

Teor de cinzas

Os teores de cinzas das amostras foram calculados utilizando a Equação 8, resultando num valor médio de $22,34 \pm 4,24\%$. As cinzas são provenientes da combustão da biomassa a altas temperaturas. Em grandes concentrações, ela pode diminuir o poder calorífico, podem causar perda de energia e afetar a transferência de calor. Para os resíduos agrícolas estudados por Vieira (2012), foi encontrado em média um teor de cinzas de 15,5% para a casca de arroz. Em outros estudos, Diniz (2005) encontrou 17,1% e Morais *et al.* (2006), 23%.

Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo médio encontrado na biomassa constituída por resíduos alimentares foi $11,17 \pm 9,03\%$. O percentual de carbono fixo presente estabelece a quantidade de calor gerado, sendo que quanto maior este percentual mais lentamente o combustível irá queimar (Sturion *et al.*, 1988).

Importante ressaltar que apesar do valor médio estar na mesma ordem de grandeza que outros reportados em literatura, de 11,9 a 16,7% para a casca de arroz (Vieira, 2012), há uma incerteza relativamente alta com relação a esse valor. A Figura 7 apresenta a variação dos teores de voláteis, cinzas e de carbono fixo dos resíduos alimentares nas três potências estudadas. Observa-se o aumento do teor de carbono fixo com o aumento da potência utilizada. Dos resultados encontrados tem-se que a biomassa em questão, secada em potência alta, apresenta menor teor de cinza em relação

à condição de potência baixa, o que beneficia seu uso como combustível sólido.

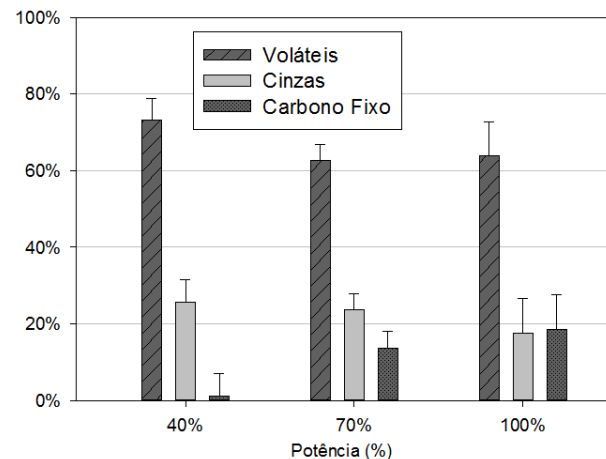


Figura 7 – Teores de voláteis, cinzas e carbono fixo a três níveis distintos de potência.

Entretanto, mesmo com um menor teor de cinzas para potência alta ($T_c = 17,6\%$), Vale *et al.* (2011) determinam que valores para esse teor maiores que 7% comprometem o processo de combustão e relatam que dentre os produtos estudados, apenas a casca de arroz mostrou valor muito acima desse estipulado. O teor de cinzas, quando muito alto, pode gerar problemas quanto a manutenção pois as cinzas representam a parte da biomassa que sobra após a queima. Isso se mostra como um fator limitante da utilização dos resíduos alimentares como fonte de biomassa.

CONCLUSÕES

O processo de secagem de resíduos alimentares utilizando forno micro-ondas é uma alternativa viável, alcançando satisfatoriamente o objetivo de remoção de umidade das amostras analisadas em um tempo relativamente muito pequeno em relação a outros tipos de secagem. A secagem na potência de 100% garante ao processo taxas mais elevadas de perda da umidade em um menor tempo.

O perfil de consumo específico de energia para todas as potências analisadas indica que ao final do processo de secagem, quando a massa começa a se estabilizar, há um crescimento exponencial. Sugere-se avaliar a secagem por micro-ondas para diferentes cargas de amostras, dado que uma carga maior pode converter mais energia, aumentando assim a eficiência do secador.

Por meio da análise do material, verificou-se que as amostras secas no forno micro-ondas apresentaram teores de voláteis, cinzas e carbono fixo numa mesma faixa de valores encontrados na literatura (para a casca de arroz). Mesmo que os produtos secos não apresentem as características necessárias para serem utilizados como biomassa (desejável $T_c < 7\%$), eles tiveram uma redução de volume após a secagem, facilitando no armazenamento dos rejeitos para uma posterior aplicação diferente.

Por fim, o fato de os ensaios terem sido realizados num equipamento doméstico, não permite que os resultados encontrados sejam extrapolados para escalas maiores ou industriais, principalmente no que concerne à distribuição das micro-ondas no interior da cavidade do forno. Sugere-se, ainda, que seja elaborado um dispositivo para medições de massa e temperatura que permita um experimento contínuo, sem intervenções como aberturas de portas para pesagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) pelo apoio financeiro.

NOMENCLATURA

C_f – teor de carbono fixo (%)
 c_p – calor específico do material (J/g)
 m – massa (g)
 P – potência (W)
 SEC – consumo específico de energia (MJ/kg)
 t – tempo (s)
 T – temperatura (°C)
 T_c – teor de cinzas (%)
 T_v – teor de voláteis
 X – umidade (b.s.)
 X' – umidade (b.u.)

Sub-índices

1 – após secagem
 2 – após teor de voláteis
 3 – após teor de cinzas
 água – água na amostra

evap – água evaporada
 seca – sólidos secos
 total – sólidos + líquidos

Letras gregas

η – eficiência de secagem (%)
 λ – calor latente de vaporização (J/g)

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D.; ROCHA, J.; LAGES, S.; COIMBRA, H. (2010), Microondas. Escola Agrária de Coimbra - Coimbra - Portugal, 14p. (trabalho de disciplina).
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2020), Atlas da eficiência energética Brasil 2020, Brasília, 104p.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists (1990), Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists Inc., Estados Unidos da América.
- ASTM - American Society for Testing and Materials (2019), Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels, E872-82, American Society for Testing and Materials.
- ASTM - American Society for Testing and Materials (2020), Standard test method for ash in biomass, E1755-01, American Society for Testing and Materials.
- CHARBEL, A.T.; TRINCHERO, B.D.; MORAIS, D.D.; MESQUITA, H.; BIRCHAL, V.S. (2015), Evaluation of the potential of fruit peel biomass after conventional and microwave drying for use as solid fuel, Applied Mechanics and Materials, Vol 798, p.480-485.
- DINIZ, J. (2005), Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. PPGQ/UFSM - Santa Maria - RS, 185p. (tese de doutorado).
- GOLDEMBERG, J. (2009), Biomassa e energia, Química Nova, Vol 32, p.582-587, 2009.
- HOLTZ, E.; AHRNÉ, L.; RITTENAUER, M.; RASMUSON, A. (2010), 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*, Vol 97, p.144–153.
- KENTISH, S.; DAVIDSON, M.; HASSAN, H.; BLOORE, C. (2005), Milk skin formation during drying, *Chemical Engineering Science*, Vol 60, p.635–646.
- MAI, I. (2008), Utilizando um forno de microondas e um disco rígido de computador como laboratório de física. IF/UFRGS - Porto Alegre - RS, 143p. (dissertação de mestrado).
- MCKENDRY, P. (2002), Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, *Bioresource Technology*, Vol 83, p.37-46.
- MORAIS, M.R.; SEYE, O; FREITAS, K.T; RODRIGUES, M.; SANTOS, E.C.S; SOUZA, R.C.R. (2006), Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agr/enr/n6v2/089.pdf>. Acesso em: 03 de agosto de 2022.
- MUTLU, Ö.Ç.; BÜCHNER, D.; THEURICH, S.; ZENG, T. (2021), Combined use of solar and biomass energy for sustainable and cost-Effective low-Temperature drying of food processing residues on industrial-scale, *Energies*, Vol 14, p.1-22.
- OZKAN, I. A.; AKBUDAK, B.; AKBUDAK, N. (2007), Microwave drying characteristics of spinach, *Journal of Food Engineering*, Vol 78, p.577-583.
- RODRIGUES, F.G.; CHARBEL, A.L.T. (2018), Secagem de rejeitos alimentares em forno micro-ondas para a obtenção de biomassa combustível sólida, *Anais do XIII COEN 2018 - Congresso de Engenharia da Universidade Federal de São João del-Rei*, 97219, São João del-Rei - MG.
- ROSINI, F.; NASCENTES, C.C.; NÓBREGA, J. A. (2004), Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas, *Química Nova*, Vol 27, p.1012-1015.
- SONG, C.; WANG, Y.; WANG, S.; CUI, Z.; XU, Y.; ZHY, H. (2016), Non-uniformity investigation in a combined thermal and microwave drying of silica gel, *Applied Thermal Engineering*, Vol 98, p.872-879.
- SOYSAL, Y.; ÖZTEKIN, S.; EREN, Ö. (2006), Microwave drying of Parsley: modelling, kinetics, and energy aspects, *Biosystems Engineering*, Vol 93, p.403-413.
- SOYSAL, Y.; ARSLAN, M.; KESKIN, M. (2009), Intermittent microwave-convective air drying of oregano, *Food Science and Technology International*, Vol 15, p.397-406.
- STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. (1988) Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte, *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, p.55-59.
- VALE, A.T.; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. (2011), Potencial energético da biomassa de carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*), *Cerne*, Vol 17, p.267-273.
- VIEIRA, A.C. (2012), Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. PPGEA/UNIOESTE - Cascavel - PR, 72 p. (dissertação de mestrado).
- WILKINS, R.; BRUSEY, J.; GAURA, E. (2018), Modelling uncontrolled solar drying of mango waste, *Journal of Food Engineering*, Vol 237, p.44–51.
- ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A.S.; WANG, S. (2006), Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables, *Trends in Food Science & Technology*, Vol 17, p.524–534.