

ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA

Mariana de Miranda Oliveira (UFSJ) - mariana.mirandoli@gmail.com

Leandro Antonio Fonseca Domingues (UFSJ) - leandro.dgues@gmail.com

Andrea Teixeira Charbel (UFSJ) - andreacharbel@gmail.com

Resumo:

Devido ao elevado custo e a agressão ambiental intrínseca ao uso de fontes não sustentáveis em processos industriais, a busca por alternativas mais ecológicas são indispensáveis. A energia solar, portanto, surge como opção de energia limpa e pode ser empregada em processos diversos. Neste trabalho, buscou-se aproveitar essa energia através de um secador solar de placa plana, visando comparar a cinética da secagem em dois processos distintos: convecção natural e convecção forçada com o auxílio de coolers para obtenção de biomassa com maior poder calorífico através da secagem de bagaço de laranja. A área total do coletor é de 1 m² e a velocidade média do ar no processo de convecção forçada foi de 2,8 m/s. O tempo de secagem médio foi igual a 1h04 e, durante todo o período, a temperatura do ar, a radiação solar e a perda de massa foram medidas a cada 2 minutos. As amostras iniciais apresentavam umidade média igual a 68% B.U. e no final do procedimento apresentaram uma redução de umidade de 35,6% (convecção natural) e 67,8% (convecção forçada). No entanto, o tempo de secagem não mostrou grandes diferenças quando comparados ambos os processos. Pôde-se concluir que os maiores níveis de temperatura alcançados na convecção natural compensaram a velocidade e a alta renovação de ar da convecção forçada. O experimento ocorreu nas dependências da Universidade Federal de São João del-Rei, em São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil.

Palavras-chave: *Biomassa, Secagem solar, Cinética de secagem.*

Área temática: *Conversão Térmica com coletores planos*

Subárea temática: *Sistemas de conversão térmica para aplicações industriais, agrícolas e outras*

ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA

Mariana de Miranda Oliveira - mariana.mirandoli@gmail.com

Leandro Antônio Fonseca Domingues - leandro.dgues@gmail.com

Andrea Lucia Teixeira Charbel - andreacharbel@ufsj.edu.br

Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Ciências Térmicas e dos Fluidos

Resumo. Devido ao elevado custo e a agressão ambiental intrínseca ao uso de fontes não sustentáveis em processos industriais, a busca por alternativas mais ecológicas são indispensáveis. A energia solar, portanto, surge como opção de energia limpa e pode ser empregada em processos diversos. Neste trabalho, buscou-se aproveitar essa energia através de um secador solar de placa plana, visando comparar a cinética da secagem em dois processos distintos: convecção natural e convecção forçada com o auxílio de coolers para obtenção de biomassa com maior poder calorífico através da secagem de bagaço de laranja. A área total do coletor é de 1 m² e a velocidade média do ar no processo de convecção forçada foi de 2,8 m/s. O tempo de secagem médio foi igual a 1h04 e, durante todo o período, a temperatura do ar, a radiação solar e a perda de massa foram medidas a cada 2 minutos. As amostras iniciais apresentavam umidade média igual a 68% B.U. e no final do procedimento apresentaram uma redução de umidade de 35,6% (convecção natural) e 67,8% (convecção forçada). No entanto, o tempo de secagem não mostrou grandes diferenças quando comparados ambos os processos. Pôde-se concluir que os maiores níveis de temperatura alcançados na convecção natural compensaram a velocidade e a alta renovação de ar da convecção forçada. O experimento ocorreu nas dependências da Universidade Federal de São João del-Rei, em São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil.

Palavras-chave: Biomassa, Secagem solar, Cinética de secagem.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se em uma posição geograficamente favorável que lhe permite adotar estratégias direcionadas às políticas socioambientais, em particular no que diz respeito ao reaproveitamento da energia solar. Uma pesquisa realizada pelo instituto Tiba (2000) mostra que a radiação solar incidente em todo o território brasileiro varia entre 8 a 22 MJ/m².dia. Uma possível aplicação dessa energia, é incorporá-la nos processos de secagem para obtenção de biomassa com baixos teores de umidade.

Biomassa é toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal que possa ser utilizada como fonte energética (ANEEL, 2002), exemplos disso são o bagaço de cana e o carvão vegetal. Dentre as vantagens do uso de biomassa está seu potencial como agente diversificador da matriz energética mundial através de, por exemplo, seu aproveitamento direto por meio da combustão em caldeiras, reduzindo os impactos socioambientais (Cerqueira apud Cardoso, 2012). No entanto, a biomassa ainda possui pouca eficiência devido ao seu baixo poder calorífico e por isso se torna importante o investimento em pesquisas em torno dela. Um dos fatores que colaboram na redução de seu poder calorífico é a sua umidade. Por esse motivo, o processo de secagem dessa matéria orgânica é de primordial importância.

Segundo a Abecitrus (2008) a laranja tem em sua constituição (40-45)% de suco; (8-10)% de casca externa ou flavedo; (15-30)% de casca interna ou albedo; polpa e membranas (20-30)% e sementes (0-4)%. Assim, após a extração do suco são obtidos resíduos com alto teor de umidade (~80%) que correspondem a 50% em peso da fruta. A umidade é a responsável pela elevada fermentação do resíduo e pode causar problemas ambientais (Tripodo et al., 2004).

O processo industrial de suco de laranja gera grande quantidade de resíduos como cascas, sementes e polpa, de forma a representar fonte de fibra em potencial. Aproximadamente 50% do peso da fruta é subutilizado e rico em fibras (Santana & Gasparetto, 2009), tornando sua exploração interessante, não somente do ponto de vista econômico, como também ambiental.

Segundo Tienne (2004) o bagaço da laranja possui alto valor energético e pode contribuir para reduzir a dependência de energia comprada para geração de calor, vapor ou eletricidade. Antes de serem utilizados na geração de energia térmica, os resíduos sólidos da laranja precisam ser secados de forma a ampliar seus usos e, ao mesmo tempo, facilitar seu transporte, armazenamento e manuseio.

Para o aproveitamento do potencial energético da biomassa pela queima ou combustão dos produtos, a secagem é etapa primordial para a eficiência do processo uma vez que, quanto menor o teor de umidade, maior a energia que pode ser liberada pelo combustível. Brand (2011) e Klautau (2008) relatam que a presença de umidade dificulta a queima, reduz o poder calorífico e, ainda, gera poluição ambiental devido ao aumento do volume de produtos de combustão e de material particulado.

A secagem é o mecanismo de retirada da umidade por aquecimento (Strumillo, Kudra, 1986). Atualmente, a secagem é feita majoritariamente por secadores industriais que utilizam fontes energéticas não sustentáveis. Uma alternativa a esse estilo de secagem é a secagem solar, que em sua forma menos complexa se resume em expor um produto diretamente ao sol. O secador solar é um coletor que aquece o ar por radiação. Esse ar aquecido, percorre o secador de forma natural ou forçada, retirando a umidade do material. Os secadores solares podem ser classificados como de convecção natural, de convecção forçada ou híbridos assim como podem ser de exposição direta ou indireta (Barbosa, 2011).

Para este estudo, foram analisadas amostras de bagaço de laranja tipo pêra, durante a secagem em secador solar plano de exposição direta, a fim de analisar a cinética de secagem e obter as curvas características do processo sob duas condições diferentes de fluxo do ar de secagem.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação da amostra

Foi utilizado bagaço de laranja tipo pêra. A umidade inicial das amostras foi determinada utilizando-se o método tradicional através da secagem em estufa, onde a amostra, em triplicata, é mantida exposta à temperatura de 105°C, por 24h, segundo o estabelecido pela AOAC – Association of Official Agricultural Chemists (Dias, 2013). Decorridas então as 24h, a massa de água é determinada pela diferença entre a massa do corpo de prova no início da secagem e a massa seca ao final do processo. Os resultados indicaram valores de umidade de 70,7%, 65,5% e 68,1% nas três amostras, resultando numa umidade média, em base úmida, de 68,1%.

Para realização do experimento, três amostras de bagaço de laranja previamente picadas em pequenos pedaços aproximadamente cúbicos de 5mm de lado e uniformes foram secas em convecção natural e outras três em convecção forçada. O bagaço da laranja utilizado foi disposto em peneiras metálicas que permitiam a livre circulação do ar aquecido sobre toda a amostra.



Figura 1 - Secador solar plano de exposição direta

2.2. Procedimento experimental de secagem

Os testes foram realizados na cidade de São João del-Rei (MG) entre 9h da manhã e 15h da tarde durante os meses de agosto e novembro de 2019 nas dependências da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), localizada a 21°08'27.9"S e 44°15'41.1"W.

O secador solar utilizado foi do tipo plano de exposição direta (Fig. 1) com dimensões 1m x 1m x 0,2m (largura x profundidade x altura), coberto com vidro comum, isolado e tendo, na base interna, uma placa absorvedora de metal lisa, pintada na cor preta. Foram acoplados a ele 6 coolers de 12V, todos com 60 mm de diâmetro, sendo os 3 da saída com suas velocidades controladas por um potenciômetro. A velocidade utilizada nos experimentos de convecção forçada foi de 2,8 m/s, correspondente à máxima velocidade alcançada pelo cooler.

Durante os experimentos, as amostras foram pesadas a cada 2 minutos. O procedimento consistia na abertura de uma porta lateral do secador para retirada de cada amostra, que era mantida fechada enquanto a pesagem era feita a fim

de diminuir a perturbação do sistema interno do secador. Durante todo o experimento, sensores DHT22 conectados a uma placa *Arduino*® forneciam as leituras da temperatura ambiente e em outros 5 pontos dentro do secador em tempo real. Os dados de leitura dos sensores foram integrados ao PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisition tool*) que os organizava em uma planilha *Excel*®. O valor da radiação foi obtido pelo instrumento SM206, posicionado paralelo à superfície do secador. Na Tab. 1 tem-se as características de cada instrumento utilizado nos experimentos.

Tabela 1 - Especificações dos instrumentos de medição.

Instrumento	Marca e/ou modelo	Escala	Precisão
Sensor de temperatura	DHT22	-40 ~ 80°C	±0,5°C
Anemômetro	ICEL WM-1850	0,4~30,0 m/s	± 3% F.E.
Medidor de energia solar	SM206	1 ~ 3999 W/m ²	±10 W/m ²
Balança digital	Digital Scale	0,01 ~ 500g	0,01g

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos da comparação entre secagem por convecção natural e forçada podem ser vistos a seguir.

Na Fig. 2 (a), é possível observar que, nos primeiros 30 minutos de experimento, para um mesmo valor da razão de umidade (MR), a velocidade do ar constante em função do processo de convecção forçada, diminuiu o tempo de secagem comparativamente à curva de secagem natural. Porém, esta redução não se mostrou mais significativa devido a diferença das temperaturas, linhas tracejadas, atingidas em ambos os processos de secagem. Os maiores valores de temperatura no processo de secagem por convecção natural compensaram os efeitos decorrentes do fluxo constante de ar presente no processo de convecção forçada. No entanto, na Fig. 2 (b), nota-se que a umidade na convecção natural atinge valores constantes antes da convecção forçada, isso ocorre devido à saturação do ar de secagem, não permitindo a retirada de mais umidade da amostra. Na convecção forçada, como o ar era renovado a todo instante, foi possível atingir valores muito menores para a umidade final.

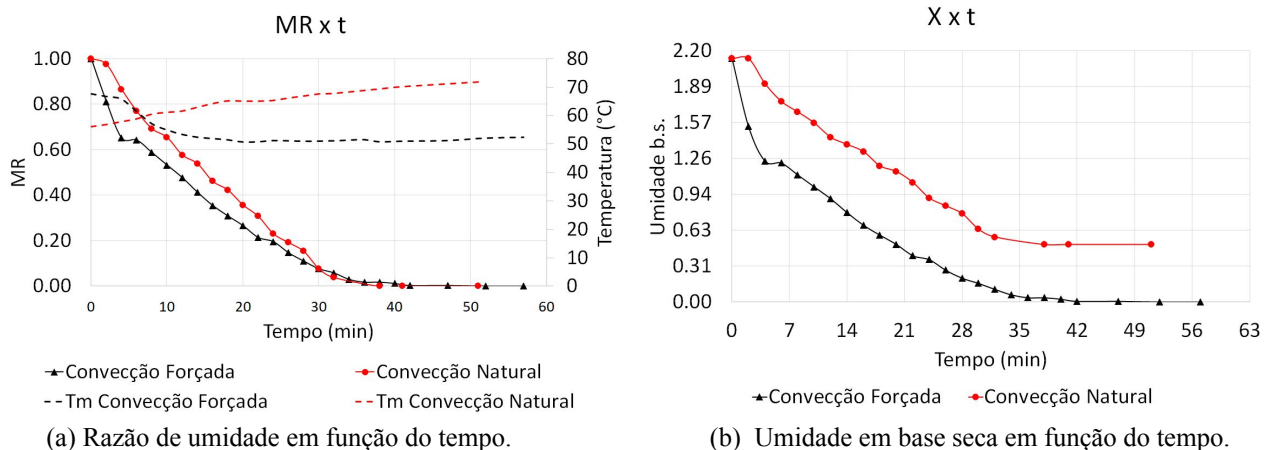


Figura 2 - Análise temporal da umidade.

Verifica-se ainda, na Fig. 3, que é possível identificar, apesar da instabilidade característica do processo solar os períodos de ajuste, de taxa constante e de taxa decrescente de secagem. No início do período constante, a amostra em convecção natural possuía 63,7% bu (ou 1,75 bs) e a amostra avaliada em convecção forçada, 52,7% ou 1,11 bs. Este período durou aproximadamente 24 minutos no regime natural e aproximadamente 8 minutos no regime forçado, resultando em uma redução de 24,8% e 12,4% de umidade em base úmida, respectivamente. A taxa de secagem média do período constante nos processos com convecção natural e forçada foram iguais a, respectivamente, 0,063 e 0,065 g/min.

No período decrescente, onde ocorre majoritariamente a remoção da umidade ligada, correspondente àquela que apresenta menor pressão de vapor e, portanto, de mais difícil remoção, houve uma redução de 2,8% dessa umidade no processo natural e 36,8% em convecção forçada, ambas em base úmida. Essa diferença indica que as condições de operação influenciam na umidade de equilíbrio final. As condições de equilíbrio são alcançadas quando não há mais

força motriz que promova a remoção da umidade. Assim, é possível atingir valores menores de umidade no processo com convecção forçada.

No final dos testes, obteve-se uma redução total de 35,6% de umidade em base úmida no processo de convecção natural e 67,8% de umidade em base úmida no processo de convecção forçada.

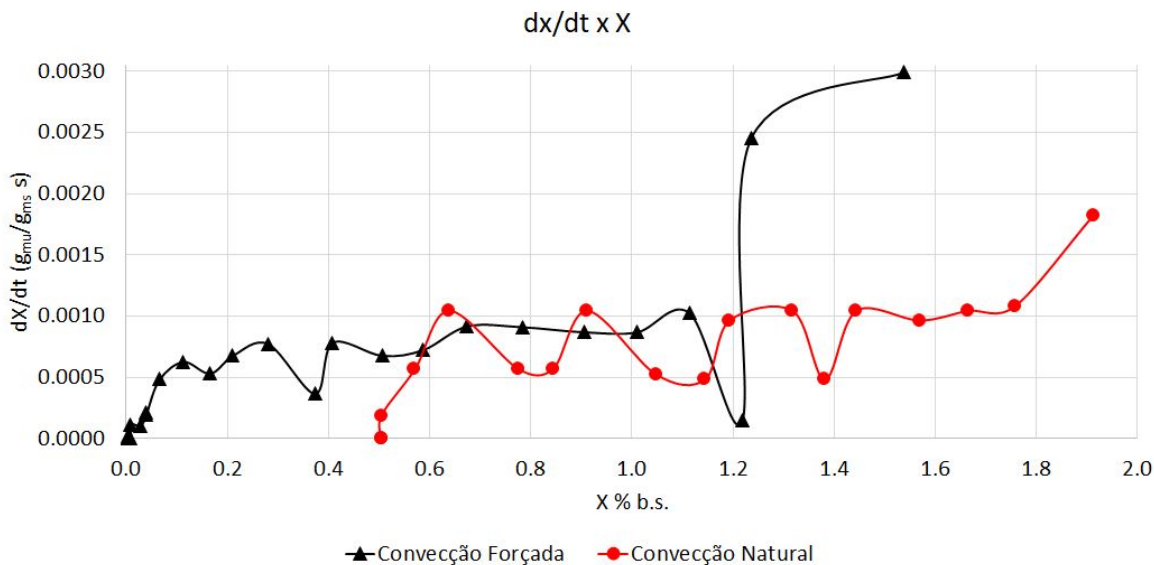


Figura 3 - Taxa de secagem x Umidade em base seca.

Comparativamente, pode-se ver na Fig. 4, que os primeiros 7 minutos de secagem são caracterizados pelo período de ajuste para ambos os tipos de convecção. Nos próximos 10 minutos, houve um breve período de taxa constante devido à eliminação de umidade não ligada, e a partir daí (em aproximadamente 17 minutos do início da secagem), tem-se o período decrescente, a umidade crítica média foi 55,6%.

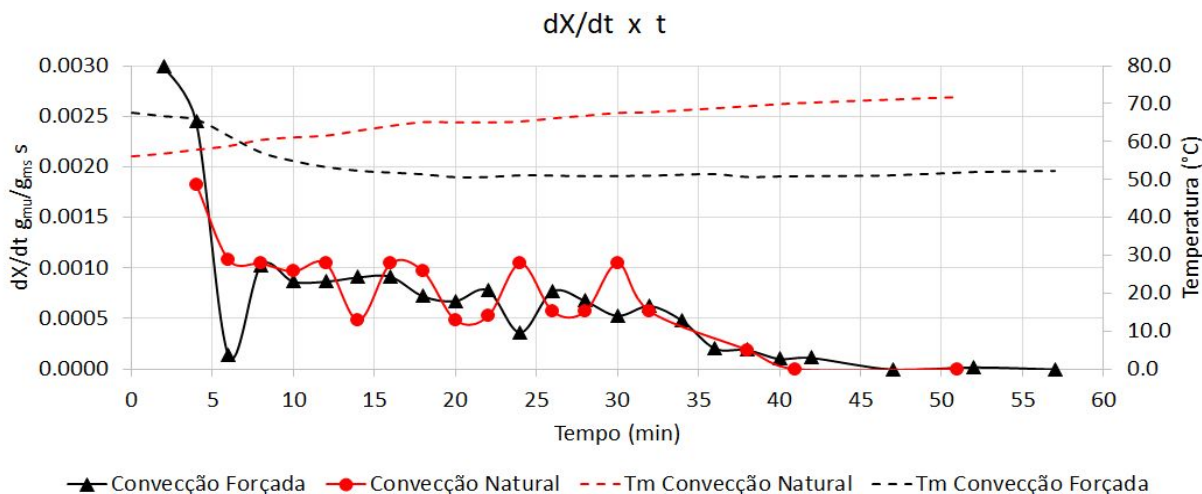


Figura 4 - Taxa de secagem x tempo

Como os experimentos ocorreram em dias diferentes, na Fig. 5, é possível ainda comparar a irradiação solar, a temperatura média dentro do secador e a temperatura ambiente durante os testes. É evidente a diferença entre a temperatura média e a temperatura ambiente em ambos os casos. O sistema de ventilação da convecção forçada reduziu em aproximadamente 13,2 $^{\circ}\text{C}$ a temperatura média dentro do coletor solar.

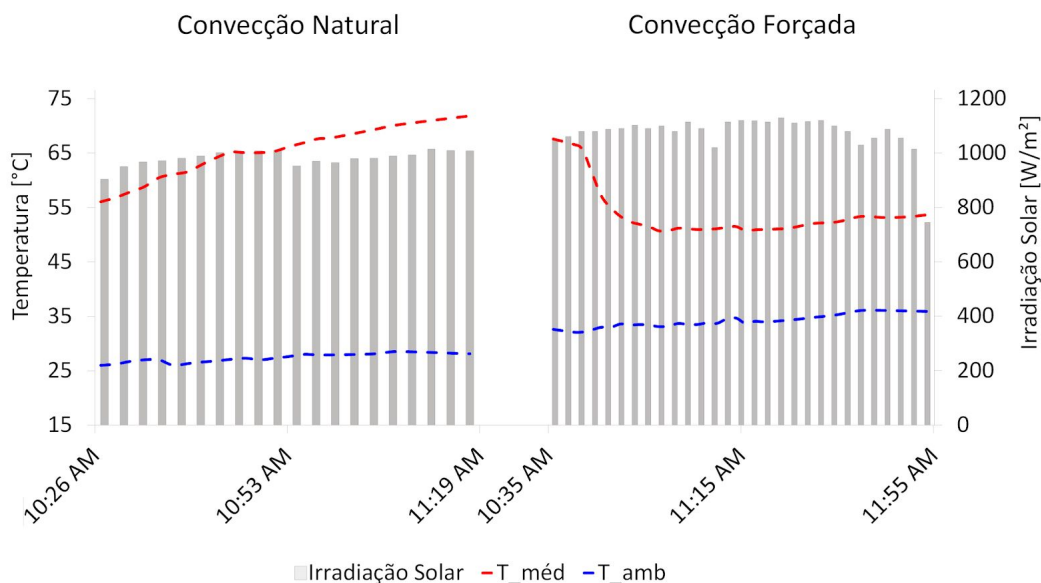


Figura 5 - Irradiação Solar ao longo do experimento de secagem.

A radiação média foi igual a 985 w/m² e 1090 w/m², respectivamente, nos testes em convecção natural e forçada.

Foram realizados mais outros dois experimentos em regime de convecção natural e mais um em convecção forçada, totalizando cinco secagens. A Fig. 6 mostra a razão de umidade e a temperatura média para cada experimento. Nela é possível perceber que a amostra de secagem natural que tem início às 12h10 apresenta a melhor redução da razão de umidade ao longo do tempo comparativamente a de convecção forçada. Isso ocorre devido aos altos níveis de temperatura e irradiação solar desse período do dia.

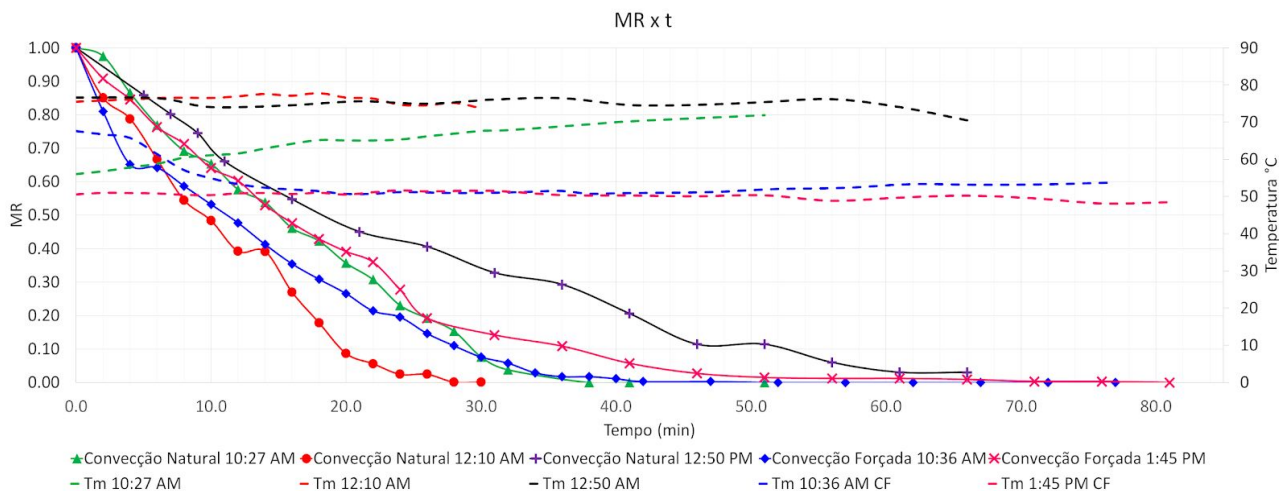


Figura 6 - Razão de umidade e temperatura

4. CONCLUSÃO

A secagem solar foi analisada neste artigo a fim de comparar seu comportamento em diferentes tipos de convecção. Assim, amostras de bagaço de laranja picados uniformemente foram secadas em um secador plano de exposição direta com convecção natural ou forçada. No fim, contabilizou-se uma redução de 35,6% da umidade em base úmida em secagem com convecção natural e 67,8% em convecção forçada. Além disso, notou-se uma diminuição do tempo de secagem em convecção forçada em relação com a natural, não sendo maior ainda essa diferença em razão da alta temperatura média do processo em convecção natural compensar a maior renovação do ar da forçada. No entanto, justamente por possuir maior renovação que impedia a saturação do ar, a convecção forçada permitiu que se alcançasse menores valores de umidade. Os resultados sugerem que um processo combinado seria adequado, utilizando convecção natural no período com maior radiação solar e convecção forçada nos períodos de menor radiação do dia ou quando do início do período decrescente, onde a taxa de remoção de umidade é baixa.

Para estudos futuros, sugere-se acrescentar células de carga ao secador para que a medição das amostras sejam instantâneas e não seja necessário abrir o secador mesmo que por pouco tempo e perder energia térmica. Uma outra sugestão seria a realização de experimentos combinados com convecção forçada nos períodos de maior radiação do dia e nos períodos de menor radiação, já que a secagem solar com convecção natural obteve tempo de secagem significativamente próximo ao de convecção forçada em períodos com maior radiação.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de São João del Rei pelo espaço de aprendizado, estrutura de pesquisa e apoio financeiro, sem os quais esta pesquisa não teria sido possível.

REFERÊNCIAS

- Abecitrus, História da Laranja e Subprodutos da Laranja, Disponível em: <http://www.abecitrus.com.br/>. Acessado em: outubro de 2019.
- Aneel. Atlas de energia elétrica do Brasil. ANEEL, 2002, Brasília. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acessado em: outubro de 2019.
- Barbosa, J. R. P., 2011. Estudo da viabilidade de uso de secadores solares fabricados com sucatas de luminárias. 82f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de do Rio Grande do Norte.
- Brand, M. A. Fontes de Biomassa para a Geração de Energia. Disponível em: <http://www.solumad.com.br/artigos/201011171818441.pdf>. Acessado em: outubro de 2019.>
- Cardoso, B. M., 2012. Uso da Biomassa como Alternativa Energética. 112f. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Dias, L. G. Estudo do Processo de Secagem em Estufa e por Microondas de Compósitos Cerâmicos de Argila e Resíduos de Esteatito. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São João del-Rei, 2013.
- Klautau, J. V. P. Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Co-corrente Para Secagem de Grãos. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.
- Santana, M.F.S.; Gasparetto, C.A. Microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja: um estudo por técnicas físicas e análise de imagens. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.29, n.1, p.124-134, 2009. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612009000100020. Acessado em: outubro de 2019.
- Strumillo, C. e Kudra, T., 1986. Drying Principles, Applications and Design, Gordon and Breach Science Publ., Londres.
- Tiba, C. et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Recife-PE: Ed. Universitária da UFPE, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>.> Acessado em: novembro de 2019.
- Tienne, L; Deschamps, M. C; Andrade, A. M., 2004. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço de laranja (*Citrus sinensis*), Revista Biomassa e Energia. 1, 191-197.
- Tripodo, M. M.; Lanuzza, F. Micali, G.; Coppolino, R.; Nucita, F. Citrus waste recovery: a new environmentally friendly procedure to obtain animal feed. Bioresource Technology, v.91, p.111-115, 2004.

STUDY OF ORANGE BIOMASS SOLAR DRYING WITH NATURAL AND FORCED CONVECTION

Abstract. *Due to the high cost and intrinsic environmental aggression to the use of unsustainable sources in industrial processes, the search for greener alternatives is indispensable. Solar energy therefore emerges as a clean energy option and can be employed in various processes. In this work, we sought to harness this energy through a flat plate solar dryer, aiming to compare the drying kinetics in two distinct processes: natural convection and forced convection with the help of coolers to obtain higher calorific biomass through drying of orange pomace. The total collector area is 1 m² and the average air velocity in the forced convection process was 2.8 m / s. The average drying time was 1h04 and throughout the period, air temperature, solar radiation and mass loss were measured every 2 minutes. Initial samples had an average humidity of 68% B.U. and at the end of the procedure presented a humidity reduction of 35.6% (natural convection) and 67.8% (forced convection). However, the drying time showed no major differences when comparing both processes. It was concluded that the higher temperature levels achieved in natural convection compensated for the speed and high air renewal of forced convection. The experiment took place in the facilities of the Federal University of São João del Rei, in São João del Rei, Minas Gerais, Brazil.*

Keywords: Biomass, Solar Drying, Drying kinetics.