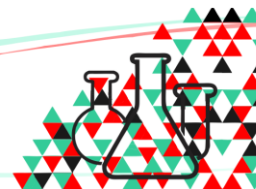




CONGRESSO BRASILEIRO
DE ENGENHARIA QUÍMICA EM
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

21-24 Julho de 2019
Uberlândia/MG



CONSTRUÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DE UM SECADOR HÍBRIDO FOTOVOLTAICO PARA PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS EM PEQUENA ESCALA

M. N. CANDIDO¹, R. S. AGUIAR¹, L. F. HIDALGO^{1,2}, J. T. FREIRE² e G. N. A. VIEIRA¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Química de Araraquara, Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química

² Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química

E-mail para contato: gustavo.vieira@unesp.br

RESUMO – Secadores solares híbridos fotovoltaicos são equipamentos que utilizam a radiação solar tanto como fonte de energia térmica, quanto elétrica. Trata-se de equipamentos com potencial de aplicação para processar alimentos produzidos por agricultores de pequena escala, melhorando a qualidade final do produto seco em relação à simples exposição à radiação solar direta. Este trabalho teve por objetivo construir um secador solar híbrido fotovoltaico e instalar nele instrumentos de medição para o monitoramento de variáveis de processo (temperaturas, umidades do ar e fluxo de radiação solar incidente). Foi elaborada uma interface digital de aquisição de dados em LabVIEW, que foi testada em dois experimentos distintos: com o uso da placa fotovoltaica para ligar coolers responsáveis pelo escoamento do ar no secador ou sem o seu uso. Verificou-se o funcionamento pleno deste secador e da interface de aquisição de dados.

1. INTRODUÇÃO

Uma das mais antigas aplicações da radiação solar é em processos de secagem. Trata-se de uma fonte de energia limpa, renovável e de baixo custo, sendo uma alternativa interessante para processos de secagem em pequena escala. No Brasil, a densidade da radiação solar está entre as maiores do mundo, no intervalo de 8 a 22 MJ/m²/dia, demonstrando enorme potencial energético solar no país (BRASIL, 2008; IMRE, 2006).

Na secagem solar, a exposição direta à radiação térmica pode ser utilizada como única fonte de calor (secagem solar direta) ou para aquecer o ar de secagem (indireta). O ar pode escoar por convecção natural ou forçada. A convecção forçada pode causar um aumento das taxas de transferência de calor e massa (BELESSIOTIS; DELYANNIS, 2010), se a secagem for limitada por mecanismos externos (predominantemente convectivos), e não internos (predominantemente difusivos). Quando se utiliza a convecção forçada em secadores solares, diz-se que o secador solar é híbrido (IMRE, 2006).

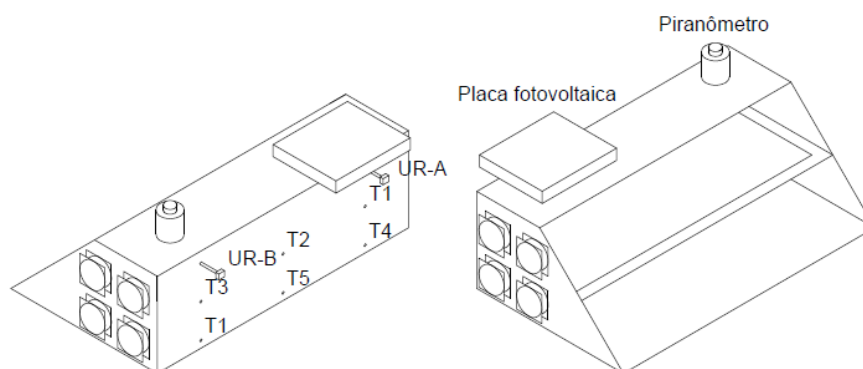
Uma das limitações da secagem solar híbrida é a dependência de energia elétrica para acionar equipamentos como ventiladores e sistemas auxiliares de aquecimento. Em geral, a queda de pressão em secadores solares é relativamente baixa; logo, os equipamentos para o

escoamento do ar não necessitam de alta potência, o que viabiliza o uso de energia fotovoltaica. Secadores que combinam o uso de radiação solar com a convecção forçada, sendo esta alimentada por um sistema fotovoltaico, são denominados de secadores solares híbridos fotovoltaicos. Trata-se de uma alternativa para a necessidade de energia elétrica de uma fonte externa (BENAMOUN, 2013). Diferentes secadores solares híbridos fotovoltaicos têm sido desenvolvidos e aplicados essencialmente na secagem de alimentos (BARNWAL; TIWARI, 2008; EKECHUKWU; NORTON, 1999; NAYAK *et al.*, 2011). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi a construção e a instrumentação de um secador solar híbrido fotovoltaico, que permitirá o processamento de alimentos em pequena escala e a análise deste processo de secagem em etapas futuras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para execução deste trabalho foi construído um secador solar híbrido fotovoltaico, representado esquematicamente pela Figura 1.

Figura 1 –Esquema do secador solar híbrido desenvolvido.



O secador propriamente dito consiste em uma caixa metálica de inox, cujo formato é um prisma de base trapezoidal. A face trapezoidal tem 30 cm de base menor, 70 cm de base maior e 40 cm de altura. Os ângulos da base do trapézio são 90° (face posterior) e 45° (face anterior). A largura total do secador é de 1,20 m. Todo o secador está suportado em uma estrutura metálica com rodízios, o que permite transportá-lo para uma área ensolarada.

Sobre a face superior do secador, foi instalada uma placa fotovoltaica de potência nominal de 10 W, tensão máxima de 17,5 V, tensão de circuito aberto de 21,5 V, corrente de curto-circuito de 0,65 A e corrente de circuito aberto de 0,58 A. As dimensões da placa fotovoltaica são 35,5 cm por 30,0 cm. Ela fornece energia elétrica para oito coolers (tipicamente utilizados em microcomputadores) de 12 cm de diâmetro nominal, que estão fixados nas faces laterais, de forma a permitir a entrada do ar na câmara por uma das faces e remoção do ar pela outra. A face anterior (inclinada) do equipamento foi construída em vidro temperado e está fixa por dobradiças metálicas na face superior, permitindo a inserção e retirada do material no secador, que pode ser acomodado em uma prateleira metálica perfurada suspensa a 20 cm da face inferior do secador, ou sobre a própria face inferior.



2.1 Instalação dos medidores e demais periféricos

Para fins de análise do processo de secagem de alimentos neste secador, foi necessário instalar medidores de variáveis de processos relacionados à radiação solar e à corrente gasosa. Para a medição do fluxo de radiação solar, foi instalado na face superior do secador um piranômetro da marca Hukseflux, modelo SR05-D2A2, que mede o fluxo de radiação solar em um intervalo de 0 a 1600 W/m² e converte em um sinal analógico de corrente de 4 a 20 mA. Para a medição da umidade do ar na entrada e na saída do secador (próximo aos coolers), foram utilizados dois transmissores de temperatura e umidade da marca Novus, modelo RHT-DM. Para a medição da temperatura do leito de material dentro do secador, foram instalados seis termopares tipo J, sendo três sobre a prateleira perfurada e três na face inferior. Os termopares foram instalados para permitir a medição função da posição ao longo da largura do secador.

Todos os medidores foram conectados a uma placa de aquisição de dados da marca National Instruments, modelo cDAQ-9185, com os módulos de temperatura (NI 9212) e de entrada analógica (NI 9203). Para monitoramento das variáveis, foi elaborada uma rotina de aquisição de dados no software LabVIEW 2018. A rotina (*virtual instrument*, ou *VI*) permitiu que a aquisição fosse feita automaticamente em intervalos de tempo determinados pelo usuário.

2.2 Testes preliminares

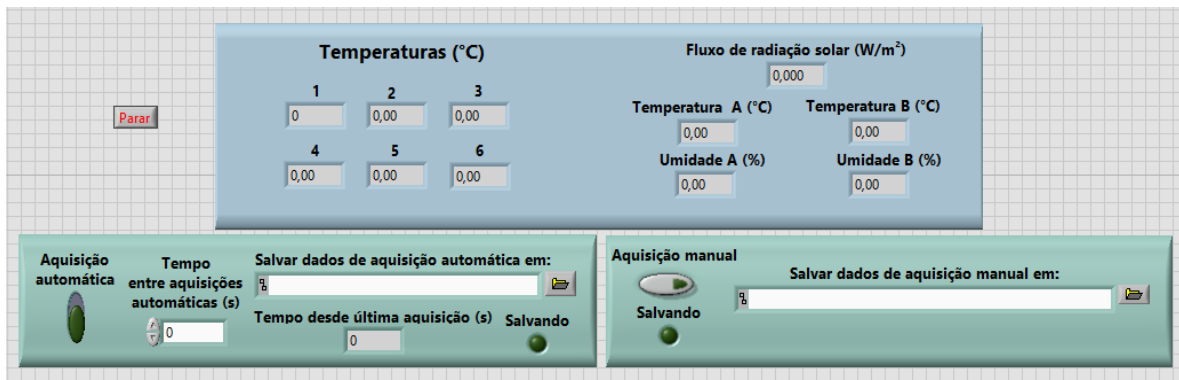
Com a instrumentação concluída, testou-se o funcionamento do equipamento e da interface de aquisição de dados em dois experimentos. No primeiro experimento, o secador foi exposto à radiação solar, com a placa de vidro voltada à direção norte, e a convecção forçada foi utilizada (coolers ligados). O segundo experimento foi realizado da mesma forma, mas sem a convecção forçada (coolers desligados). Nenhum material foi alimentado no secador em ambos os experimentos, portanto, não houve processo de secagem. Os experimentos foram realizados no período das 9h às 16h, nos dias 03 e 05 de abril de 2019, no município de Araraquara-SP. Neste intervalo de tempo, todas as variáveis descritas anteriormente foram medidas periodicamente de forma automática pela rotina LabVIEW a cada 30 s. Cada ponto experimental equivale à média de 500 pontos medidos com uma frequência de 1,0 kHz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra uma captura de tela da interface da rotina de aquisição de dados desenvolvida no software LabVIEW. Verifica-se que a rotina permitiu o monitoramento contínuo das variáveis do processo: as temperaturas 1 a 6, o fluxo de radiação solar e as temperaturas e umidades do ar na entrada (A) e na saída (B). As duas caixas na porção inferior da interface foram utilizadas para salvar a média e o desvio-padrão de 500 medidas obtidas a 1,0 kHz de forma pontual (lado esquerdo) ou periodicamente, com um intervalo de tempo determinado pelo usuário (lado direito). Todos estes dados foram salvos em um arquivo *.txt em uma pasta também especificada pelo usuário nesta interface.

A interface desenvolvida é baseada em uma rotina criada na forma de diagrama de blocos (na linguagem LabVIEW), que foi suprimida para fins de síntese deste trabalho. No entanto, a elaboração da rotina propriamente dita foi uma etapa essencial para que seja possível a aquisição de dados durante experimentos de secagem a serem realizados futuramente.

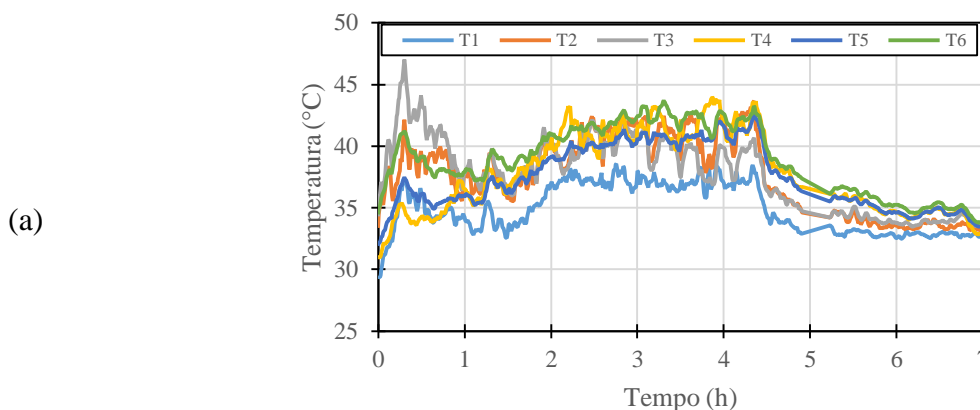
Figura 2 – Interface ao usuário da rotina de aquisição de dados desenvolvida em LabVIEW



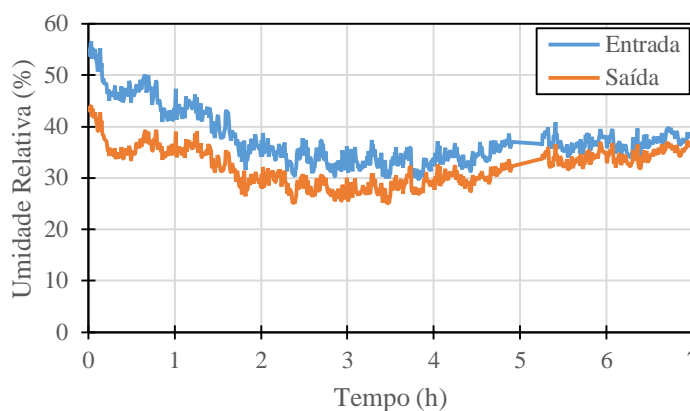
Como exemplo de conjunto de dados obtidos por esta rotina, a Figura 3 mostra o perfil de temperaturas 1 a 6 (Figura 3 (a)) e as umidades relativas do ar na entrada e na saída (Figura 3 (b)) em função do tempo no experimento com os coolers ligados, e o fluxo de radiação solar em função do tempo (Figura 3 (c)) para ambos os experimentos.

Todas as variáveis monitoradas apresentaram variações, decorrentes da periodicidade natural da radiação solar, o que pode ser verificado principalmente na Figura 3 (c). No início, o fluxo de radiação solar foi mais baixo, já que o horário era próximo do alvorecer. No período próximo do final da manhã e no início da tarde (entre 3 e 4 h de experimento), são notadas em linhas gerais as temperaturas máximas em todas as posições e o máximo do fluxo de radiação solar; enquanto próximo ao final do experimento (ao entardecer), as temperaturas e o fluxo de radiação solar diminuem, como esperado. As reduções bruscas de fluxo de radiação solar estão relacionadas com a formação de nuvens no período. Já as variações de umidade relativa estão exclusivamente relacionadas a variações climáticas, visto que não estava ocorrendo processo de secagem em ambos os experimentos.

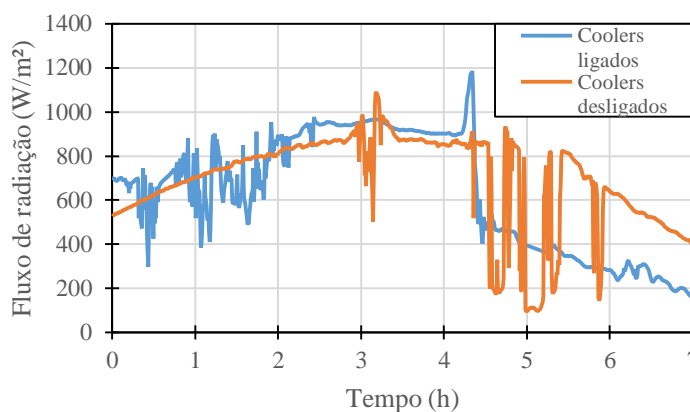
Figura 3 – Temperaturas (a), umidades relativas do ar (b) e fluxo de radiação solar (c) em função do tempo



(b)



(c)



A tendência nas medições de temperaturas e umidades relativas foi a mesma do ponto de vista qualitativo para os experimentos com os coolers desligados. Porém, houve diferenças quantitativas nos resultados. A Tabela 1 mostra a média e o desvio-padrão das medidas ao longo do tempo, para as seis posições, em ambos os experimentos.

Tabela 1 – Médias e desvios-padrão das temperaturas nas seis posições dos termopares, para ambos os experimentos

Coolers		Temperaturas (°C) e posição dos termopares						Média
		1	2	3	4	5	6	
Ligados	Média	34,9	37,7	37,8	37,8	37,5	39,0	37,7
	Desvio	2,0	3,0	2,9	3,2	2,6	2,8	1,4
Desligados	Média	60,5	66,9	55,7	47,9	48,3	46,4	54,3
	Desvio	11,8	11,0	9,0	7,1	5,6	4,7	8,2

A média de todas as temperaturas ao longo do secador foram superiores para o experimento com os coolers desligados em relação ao experimento com os coolers ligados. O resultado era esperado, já que a constante retirada de ar do secador pelos coolers da saída também corresponde à constante retirada de energia térmica do sistema (na forma de entalpia



do ar na saída), reduzindo a taxa de acúmulo de energia no secador. Além disso, nota-se que os desvios-padrão são superiores para o experimento com coolers desligados em relação ao experimento com os coolers ligados. Trata-se também de um resultado esperado, visto que a convecção forçada auxilia na redução de gradientes de temperatura no secador.

A princípio, processos de secagem com convecção forçada ocorrem a taxas de secagem mais elevadas (se o processo for controlado por mecanismos externos). Por outro lado, a redução da temperatura no secador com os coolers ligados pode desfavorecer cineticamente o processo de secagem, por reduzir as taxas de transferência de calor. Experimentos posteriores de secagem permitirão concluir se é vantajosa ou não a utilização da convecção forçada.

4. CONCLUSÃO

A partir dos dados mostrados, conclui-se que o secador solar híbrido fotovoltaico construído e instrumentado apresenta-se em funcionamento pleno; assim, será possível a realização de experimentos de secagem de diferentes materiais. Porém, a redução da taxa de acúmulo de energia no secador com o uso da convecção forçada poderá causar uma redução na taxa de secagem. Outros experimentos serão realizados para verificação destas hipóteses.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (processos 2017/21890-5, 2018/23766-2, 2018/24132-7 e 2018/23762-7). As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

6. REFERÊNCIAS

- BARNWAL, P.; TIWARI, G. N. Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study. *Solar Energy*, v. 82, p. 1131- 1144, 2008.
- BELESSIOTIS, V.; DELYANNIS, E. Solar drying. *Solar Energy*, v. 85, p. 1665-1691, 2010.
- BENAMOUN, L. Integration of Photovoltaic Cells in Solar Drying Systems. *Drying Technol.* v. 31, p. 1284-1296, 2013.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Atlas da Energia Elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília: ANEEL, 2008, p. 85.
- EKECHUKWU, O. V.; NORTON, B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energ. Convers.Manage.*, v. 40, p. 615-655, 1999.
- IMRE, L. Solar Drying. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.) *Handbook of Industrial Drying*, 3 ed., Boca Raton: Taylor & Francis, Inc., p. 308-361, 2006.
- NAYAK, S.; KUMAR, A.; MISHRA, J.; TIWARI, G. N. Drying and testing of mint (*Mentha piperita*) by a hybrid photovoltaic-thermal (PVT)-based greenhouse dryer. *Drying Technol.*, v. 29, p. 1002-1009, 2011.