

AUMENTO DO EFEITO ESTUFA ATRAVÉS DO USO DE FILMES EM SUPERFÍCIES DE VIDRO

Silvio Romero de Melo
Manoel Leonel de Oliveira Neto
George Santos Marinho

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – CT – UFRN
Campus Universitário – Natal RN – 59072-970
E-mail: silvio@dem.ufrn.br

RESUMO

Foram realizados experimentos para verificação da variação da temperatura do interior de uma câmara hermeticamente fechada, dotada de cobertura de vidro e submetida à radiação proveniente de uma fonte térmica utilizada para simular o fluxo de energia solar. Três tipos de filme (película) de filtração da radiação solar, com diferentes índices de opacidade, foram analisados. Em cada caso, compararam-se as temperaturas atingidas na câmara com aquela obtida na situação da cobertura sem filme. Empregando materiais de baixo custo e instrumentação comum a qualquer laboratório de ensino e pesquisa, foi possível estabelecer uma metodologia simples para verificação da influência do uso de filmes em superfícies de vidro na temperatura do interior de uma câmara. A análise permitiu demonstrar o aumento do efeito estufa devido ao uso de filme, resultado que pode ser estendido ao aumento do rendimento térmico de coletores solares planos.

Palavras-chave: Radiação térmica, efeito estufa, filme, película.

1. INTRODUÇÃO

Entre os parâmetros que influenciam o rendimento térmico de coletores solares, destacam-se: a geometria, o tipo de material e acabamento da superfície de absorção, o ângulo de inclinação em relação à fonte, o espaçamento da cavidade, o fator de correção devido à deposição de poeira, o tipo e o número de lâminas de vidro (Garg, 1978).

A cobertura de um coletor solar deve, ao mesmo tempo, permitir a passagem da maior quantidade possível de radiação térmica incidente e minimizar a perda de calor refletido e emitido pela superfície de absorção, caracterizando o denominado efeito estufa. Devido às suas características intrínsecas, tais como: alta transmissividade, resistência às intempéries, baixo custo e fácil reposição, o vidro transparente é o melhor material atualmente disponível para uso como cobertura de coletores solares (Mesquita & Trindade, 1996).

Várias técnicas para aumentar a eficiência de coletores solares do tipo placa plana têm sido investigadas. Saboya & Saboya (1996) demonstraram que a adição de aletas à superfície de absorção permite minimizar as perdas de calor por convecção e radiação, já que as aletas retêm parte da energia que seria liberada por convecção para o ar no interior da cavidade.

Tanaka (1980) descreve os efeitos da deposição de filmes metálicos na face interna do envelope de vidro que envolve a superfície de absorção de coletores concentradores, mostrando que, para o intervalo de comprimento de onda da radiação solar, o aumento da espessura do filme provoca uma diminuição na transmissividade ao mesmo tempo em que aumenta a refletividade na região infra-vermelho.

O uso de material isolante transparente (MIT) acoplado à superfície refletora possibilita o aumento da eficiência de captação de radiação térmica e, conseqüentemente, o aumento da temperatura no interior do coletor. Além disso, o uso de MIT implica em menor complexidade e custo inferior em comparação às técnicas de uso de superfícies seletivas e/ou tubos evacuados. Entretanto, a viabilidade do uso de MIT depende do equacionamento entre o ganho obtido com a redução das perdas térmicas pelo coletor e a perda devido à atenuação da radiação pela cobertura (Leite *et al.*, 1996).

O presente trabalho trata da análise da influência do uso de películas em superfícies de vidro no aumento da temperatura do ar no interior de uma câmara hermeticamente fechada submetida à radiação proveniente de uma fonte térmica.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados em uma câmara com cobertura de vidro transparente de 3mm de espessura, por ser esse o tipo mais empregado (Mesquita e Trindade, 1996), e paredes laterais e inferior de madeira, pintadas respectivamente nas cores branco fosco a preto fosco. Na figura 1 representam-se as dimensões e pontos de fixação dos termopares.

A análise da eficiência de um coletor solar em condições naturais está associada à problemas de repetibilidade das medidas. Desse modo, deve-se dispor de um dispositivo que permita estimar os parâmetros térmicos de interesse sem os inconvenientes das medições em ambiente externo (Tiba *et al.*, 1989).

Para garantir a repetibilidade dos dados nos experimentos, utilizou-se uma fonte de radiação térmica para aquecimento da câmara, constituída por uma lâmpada mista (vapor de mercúrio e fluorescente, 500W) e um refletor de alumínio, montado sobre barras e garras universais de laboratório. Uma lâmina de vidro foi fixada à frente do refletor da lâmpada para servir de anteparo à radiação. Dessa forma, os experimentos ficaram restritos à faixa visível da radiação térmica. Na figura 2 vê-se o esquema do sistema utilizado.

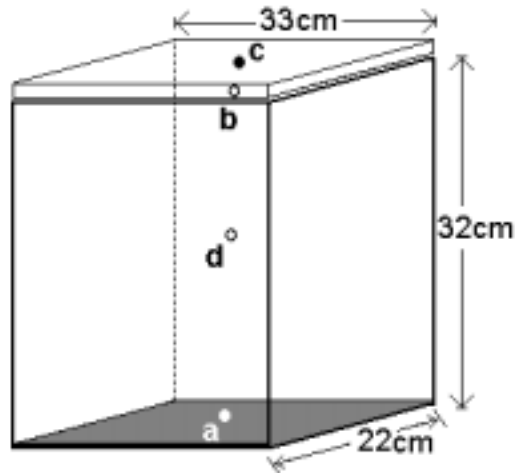


Figura 1. Câmara com cobertura de vidro e pontos de fixação de termopares (a, b, c, d).

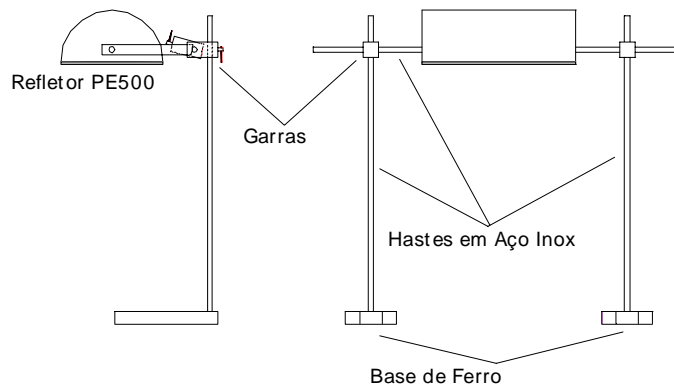


Figura 2. Fonte de radiação térmica montada em suporte universal.

Sendo o objetivo da pesquisa a análise do efeito da modificação da superfície transparente de coletores solares na temperatura no interior da câmara, uma superfície horizontal de vidro foi exposta à radiação solar às 12:00h, com ângulo de incidência dos raios de 90°; dessa forma, foi possível determinar a temperatura atingida pelo vidro e, a partir desse valor, foi determinada a distância a ser utilizada nos experimentos em laboratório entre a fonte luminosa e a câmara. Assim, nos experimentos realizados, a cobertura da câmara atingiu uma temperatura próxima daquela obtida quando exposta ao sol.

Após a montagem do aparato em ambiente com controle de temperatura, a primeira parte dos experimentos permitiu a análise do aquecimento da câmara no caso da cobertura de vidro sem película de filtragem de radiação térmica. Para medição de temperatura foram utilizados quatro termopares acoplados a dois termômetros digitais. Os termopares foram fixados em pontos simetricamente alinhados, localizados nas partes centrais externa e interna da cobertura, no centro e na base da câmara (ver fig.1). As medidas foram tomadas em intervalos de 5, 15, 30 e 60min, durante 11 horas (duas horas além do tempo necessário para que o sistema atingisse o regime permanente).

Na segunda parte dos experimentos, películas foram fixadas na superfície inferior do vidro e repetidos os procedimentos da primeira parte para cada uma delas. i.e., submetendo-se a câmara à mesma potência de radiação luminosa anterior. Foram utilizadas três películas com índices de transparência diferentes, sendo uma delas fumê e as duas outras refletivas.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados dos experimentos podem ser explicados com base na figura 3.

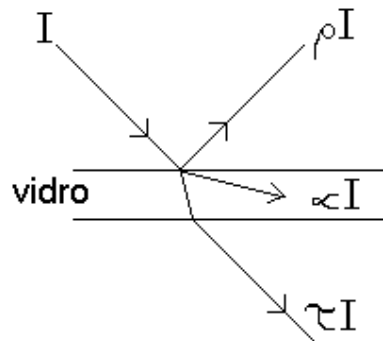


Figura 3. Distribuição da energia térmica radiante sobre a superfície de vidro.

A equação genérica da distribuição de radiação térmica que incide sobre uma superfície é dada por:

$$I = \rho(I) + \tau(I) + \alpha(I) \quad (1)$$

onde: I = energia total incidente
 ρ = refletividade
 τ = transmissividade
 α = absorptividade

Em relação ao vidro, considerando-se a radiação térmica com comprimento de onda na faixa visível, as absorptividades (α_p) e refletividades (ρ_p) das películas utilizadas nos experimentos eram maiores, enquanto a transmissividade (τ_v) do vidro era maior que as das películas. Com base nesses dados, a comparação entre a distribuição da energia incidente na cobertura da câmara nas situações com e sem película permite os seguintes resultados:

$$\begin{aligned} \rho_p I &> \rho_v I \\ \alpha_p I &> \alpha_v I \\ \tau_p I &< \tau_v I \end{aligned} \quad (2)$$

onde: subscrito “p” refere-se à cobertura com película
subscrito “v” ao vidro sem película.

Nas figuras 4 e 5 representam-se respectivamente as variações de temperatura nas faces superior e inferior do vidro, nas quatro situações do experimento, ou seja: sem película, com película nº1 (refletiva), com película nº2 (“fumê”) e com película nº3 (refletiva).

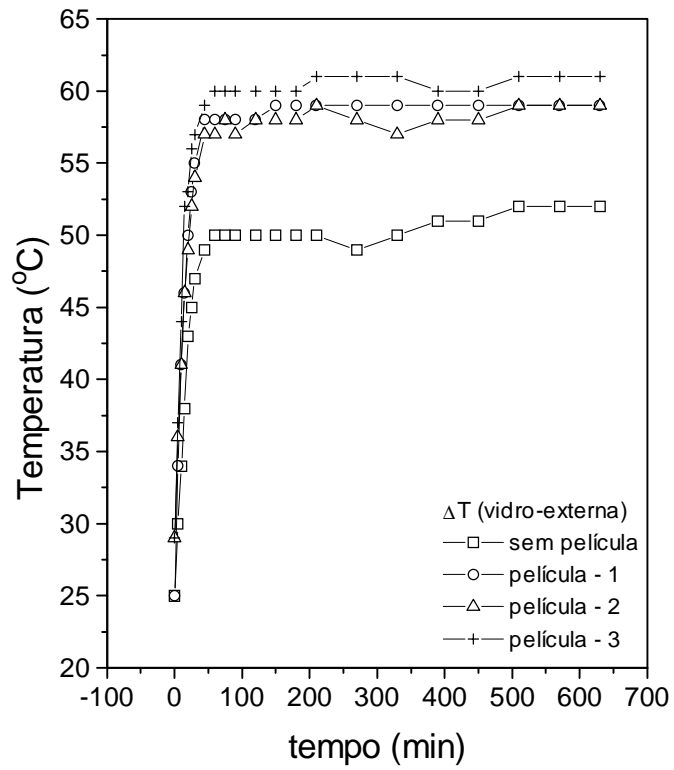


Figura 4. Variação da temperatura na parte superior do vidro.

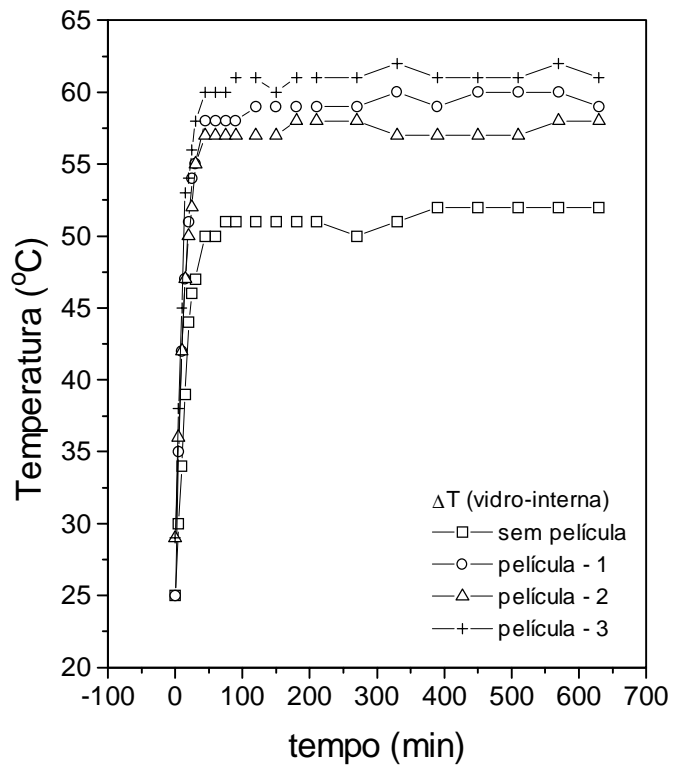


Figura 5. Variação da temperatura na parte inferior do vidro.

Distingui-se o aumento de temperatura na parte superior do vidro (fig.4) devido à adição da película, como era esperado, já que a película aumenta a absorvidade (α) da radiação incidente. A máxima diferença de temperatura foi obtida com a película nº3 (espelhada), cujo valor ficou 10°C acima da temperatura do vidro sem película.

A temperatura na parte inferior do vidro (fig.5) seguiu o mesmo padrão obtido no caso da temperatura na parte superior (fig.4), com diferença de temperatura máxima de 9°C entre o vidro sem película e com película nº3 (espelhada).

Apesar da refletividade da cobertura ser maior nos casos com película (que, assim, devolvem ao meio através de reflexão uma fração maior da energia incidente), as absorvidades das películas eram maiores. Desse modo, mesmo com o aumento da quantidade de energia refletida, a energia absorvida pela película fez com que a temperatura na parte inferior do vidro atingisse um valor superior ao caso do vidro sem película.

A figura 6 representa a variação da temperatura na base da câmara.

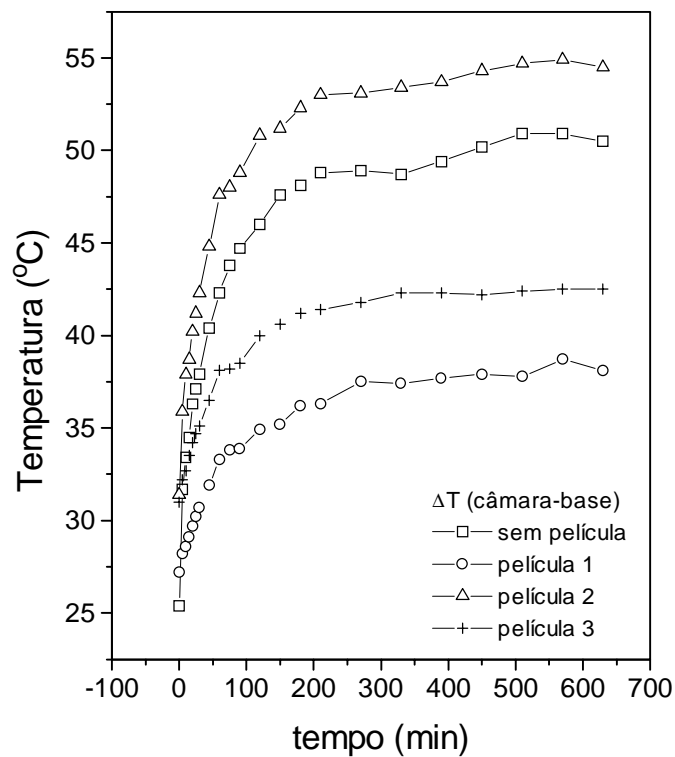


Figura 6. Variação da temperatura na base da câmara.

Observou-se que no caso da cobertura com películas espelhadas (nº1 e nº3), a base da câmara atingiu temperaturas respectivamente 12,4 e 8°C menores do que no caso da superfície sem película. Isso ocorreu devido à maior refletividade das películas espelhadas, que provocaram uma redução da quantidade de energia que atravessava a cobertura (em comparação com os casos da superfície com a película nº2 e sem película), resultando na diminuição na energia radiante que atingia a base da câmara.

Apesar de aparentemente idênticas, as películas refletoras possuíam absorvidades distintas, o que explica o maior valor da temperatura obtida com a película nº3, 4,4°C superior ao obtido com a película nº1.

No caso da película n°2 (fumê), mediu-se uma temperatura na base da câmara 4°C acima da obtida no caso sem película. Apesar de causar uma redução na transmissividade (τ), a película fumê foi responsável por um aumento na temperatura do vidro devido à sua maior absorptividade (α). Desse modo, a soma das energias transmitida através da cobertura, refletida de volta para a base e emitida por radiação pela cobertura aquecida superam o menor ganho de energia devido à menor transmissividade da película fumê, resultando numa quantidade maior de energia chegando na base da câmara e, portanto, uma temperatura mais elevada.

Apesar das temperaturas nas faces do vidro com película atingirem valores muito próximos (ver figs. 4 e 5), a menor refletividade da película n°2 (fumê) resultou em temperaturas na base 12 e 16,4°C maiores que as obtidas com as películas n°3 e n° 1, respectivamente. Na figura 7 vê-se a variação da temperatura do ar no centro da câmara.

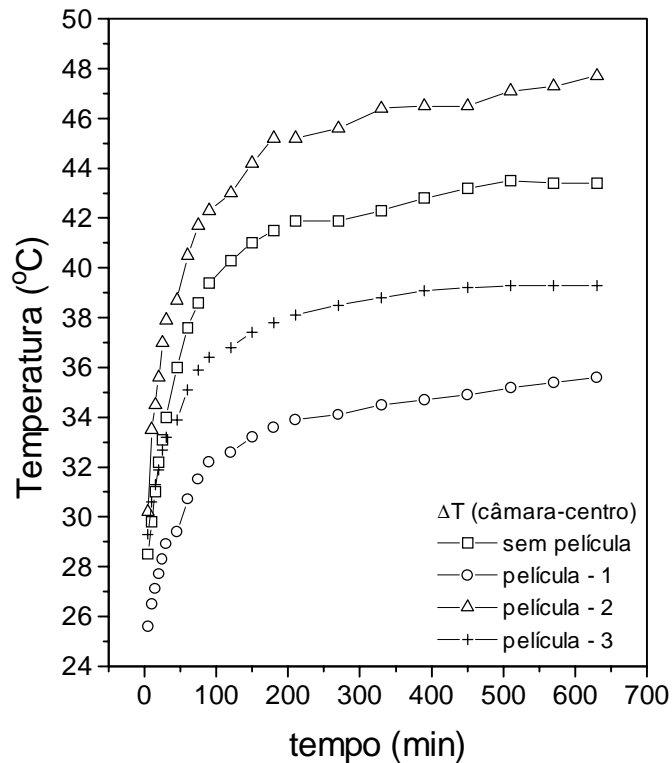


Figura 7. Variação da temperatura do ar no centro da câmara.

Como o ar é transparente à radiação, apenas a condução próximo às paredes e a convecção contribuem para a elevação de sua temperatura no interior da câmara. O calor absorvido pelo ar pode ser expresso matematicamente por:

$$Q_{ar} = Q_P + Q_C \quad (3)$$

onde: Q_P é o calor transferido por convecção pelas paredes e pela base e Q_C é o calor transferido por convecção a partir da cobertura.

Em comparação à situação sem película, as diferenças de temperatura do ar na câmara foram, respectivamente, - 7.8°C com a película n°1, + 4.3°C com a película n°2 e - 4.1°C com a película n°3. Como a temperatura da cobertura foi maior no caso da película n° 2, a parcela de calor transferida para o ar por convecção para o ar foi maior.

4. CONCLUSÕES

Construído o aparato e realizados os experimentos, a análise dos dados permitiu que se chegasse às seguintes conclusões:

- a) a utilização de filmes de filtração da radiação solar permitiu modificar as características de absorvidade (α), transmissividade (τ) e refletividade (ρ) da cobertura da câmara;
- b) a modificação das características da cobertura alterou significativamente a transferência de calor para o ar no interior da câmara;
- c) no caso do filme fumê (película nº 2), a redução da transmissividade da energia para o interior da câmara foi compensada pelo aumento da absorvidade (α) da cobertura, cuja fração de energia radiante transferida à base da câmara aumentou sua temperatura; esta, por sua vez, transferiu calor por convecção para o ar, aumentando sua temperatura;
- d) através de uma metodologia simples e da utilização de recursos mínimos de instrumentação para análise de parâmetros térmicos (termopares), foi possível evidenciar o aumento do efeito estufa devido à adição de películas à cobertura de uma câmara que simulava um coletor solar;
- e) faz-se necessária a realização de experimentos com o dispositivo submetido à radiação solar (ou a proveniente de um simulador da radiação solar) para que seja possível determinar o aumento do rendimento de coletores com cobertura dotadas de filmes.

5. BIBLIOGRAFIA

- Garg, H. P., 1978, System data on flat plate collectors and it's optimization, anais do I Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro – RJ, pp.65-86.
- Leite, A. P. F., Soares, J. J. & Rodrigues, L. S., 1996, Simulação do desempenho ótico de um coletor solar plano isolado com material transparente, IV Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, Recife – PE, pp. 747-751.
- Mesquita, L. C. S. & Trindade, R. C., 1996, Manual de aquecimento solar, CRESESB, 1.ed., pp. 7-8.
- Saboya, S. M. & Saboya, F. E. M., 1996, Eficiência de coletores solares com absorvedores aletados, VI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, Florianópolis – SC, pp. 1621-1626.
- Tanaka, T., 1980, Review Paper: Solar Thermal Electric Power Systems in Japan. Solar Energy, vol.25, pp.97-104, Pergamon Press Ltd., Great Britain.
- Tiba, C., Fraidenraich, N. & Barbosa, E. M. S., 1989, Desempenho térmico de um coletor solar mediante testes noturnos, X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro – RJ, pp.577-580.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Misteiner Rodrigues Meira, Coordenador do Laboratório de Física do CEFET-RN
Ao CNPq e à CAPES.