

DESENVOLVIMENTO DE JANELAS COM SUPERFÍCIES ÓPTICAMENTE SELETIVAS PARA PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS PLANOS

Marcus Vinicius Santos da Silva – marfis@ufba.br

Denis Gilbert Francis David – denisgfd@ufba.br

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física

Lucimara Stolz Roman – lsroman@fisica.ufpr.br

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Física

Resumo: O objetivo deste trabalho é o estudo e o desenvolvimento de filmes finos de óxidos metálicos depositados em substrato de vidro, com propriedades ópticas que favorecem o aprisionamento de radiação infravermelha em painéis solares térmicos. Esses materiais avançados produzem melhores performances em processos de conversão da energia solar em energia térmica. Neste trabalho, será apresentado o funcionamento básico destes painéis, e igualmente os resultados da caracterização óptica e elétrica do dióxido de estanho dopado com flúor em substrato de vidro ($\text{SnO}_2\text{:F}$), que apresenta alta transmissividade na região do visível, seguido por uma alta refletividade a partir do infravermelho próximo ($1,5 \mu\text{m}$), características importantes para fabricação de superfícies ópticamente seletivas

Palavras-chave: Energia Solar, conversão térmica, dióxido de estanho dopado flúor, filmes finos

1. INTRODUCTION

O vapor é de grande interesse na indústria, sobretudo para a indústria alimentar. Também pode ser utilizada no sistema de refrigeração baseadas na absorção (amoníaco + água) ou adsorção (água + zeólito ou álcool + carbono ativo). Geralmente o vapor é produzido em caldeiras aquecidas pela combustão de petróleo, que envolve elevados custos, econômicos e ecológicos. Um objetivo deste trabalho é o de demonstrar que é possível produzir vapor utilizando painéis solares térmicos planos, com uma temperatura mínima de trabalho de 140°C .

Uma rápida classificação dos dispositivos solares térmicos existentes revela três famílias básicas de dispositivos:

- Dispositivos com espelhos côncavos que concentram a luz para o líquido dentro de um forno, resultando em temperaturas de até 3000°C .
- Dispositivos tubulares com um sistema de concentração ao longo de uma única direção, resultando em temperaturas de até 400°C .
- Dispositivos sem concentração, produzindo temperatura típica de até 120°C .

Os dois primeiros dispositivos precisam de um sistema mecânico para manter o seu eixo óptico em direção ao sol. Além disso, eles só irão funcionar de forma eficaz durante o dia claro, que é a condição necessária para se obter a concentração desejada. Infelizmente, raros são os locais onde estas condições são cumpridas. Por exemplo, em Feira de Santana (estado da Bahia, Brasil), um estudo recente (A. Soares e de D. David, 2007) mostrou que o fator de solar diminui para 0,6 no inverno, devido à presença frequente de nuvens.

Nestas condições, mostra-se interessante aumentar o desempenho dos painéis solares térmicos planos que não necessitam seguir o sol e são muito menos sensíveis à presença de nuvens, a fim de melhorar o rendimento para altas temperaturas. Uma condição importante para alcançar esse objetivo é o de reduzir drasticamente as perdas térmicas, particularmente às perdas por radiação que se tornam importantes acima de 100°C , utilizando materiais com propriedades ópticas específicas.

A pesquisa por materiais com alta transparência no visível, e alta refletividade no infravermelho começou na década de 80. Amostras de materiais utilizados como janelas seletivas fabricadas com dióxido de estanho dopado flúor (FTO) depositado por “sputtering” foram estudados por B. Stjerna e Grandqvist (1990). Recentemente, vários trabalhos foram realizados a fim de obter eficiência e rentabilidade de processos, pois eles são baseados em técnicas de deposição sol-gel (Banerjee, AN et al. 2003) ou pirólise de spray (ZB Zhou et al. 2001). Mais recentemente, um processo semelhante foi desenvolvido com sucesso no Brasil pela FLEXITEC, em colaboração com o Departamento de Física UFPR (LS Roman et al. 2006). As propriedades ópticas de amostras de FTO FLEXITEC foram estudadas a partir do

visível até o médio infravermelho no Laboratório de Propriedades Ópticas (Instituto Física - UFBA), no intuito de verificar o nível de perda dos painéis solares térmicos planos.

2. MODELIZAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS PLANOS

Os painéis solares térmicos planos são modelizados a partir dos seus componentes principais: a janela de vidro, com (ou sem) uma superfície (filme) opticamente seletiva, a chapa absorvedora, com suas próprias propriedades ópticas (não discutidas aqui), e a tampa metálica (Figura 1). A tubulação necessária para extrair o calor a partir do painel não é considerada, porque o objetivo deste trabalho é de determinar a temperatura máxima que o painel pode atingir. Com a extração de calor, a temperatura da chapa absorvedora seria mais baixa, e a escolha de uma temperatura nominal determinaria o rendimento de conversão. As perdas consideradas podem ser por:

- Convecção do ar fora do painel,
- Condução / convecção por ar dentro do painel,
- Condução através do vidro na face externa, e através do metal na face inferior,
- Radiação da chapa absorvedora, a partir o vidro da janela e da tampa metálica.

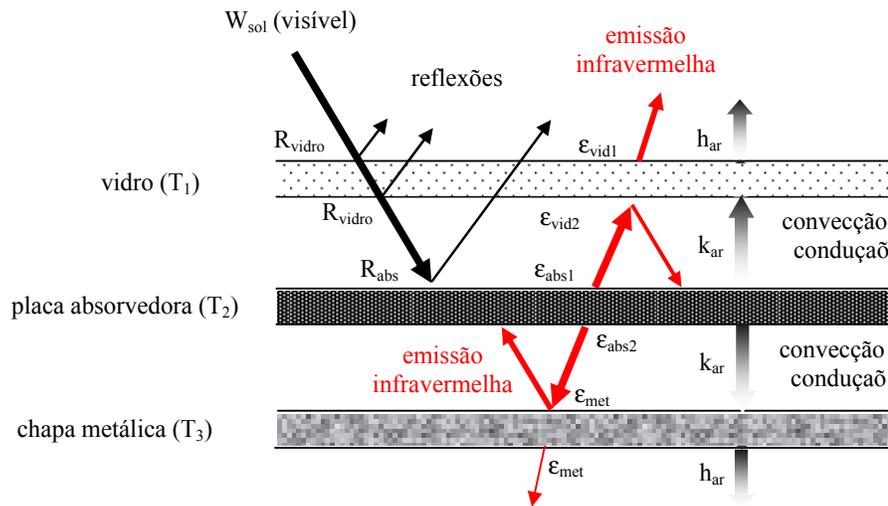


Figura 1 - Estrutura de um painel solar plano

Os valores típicos dos coeficientes associados a essas perdas são dadas na Tabela 1:

Tabela 1. Condutividades térmicas e emissividades infravermelhas típicas

Material	k (W/m/K)	e (mm)	k/e ou h (W/m ² /K)	ε _{IR}
Aço	67	1	67.000	0,1
Vidro	1,0	3	333	1
Ar parado	0,025	30	0,83	0
Ar	-	-	5	0

A Tabela 1 mostra que os fluxos de calor radiante não são limitados por condução / convecção no ar, como previsto. Assumindo que o gradiente no vidro e no metal são pequenos, a temperatura no interior da janela, na chapa absorvedora e na tampa metálica são consideradas uniformes. Também é assumido que o sistema está no estado estacionário. Assim, a temperatura da chapa absorvedora é determinada a partir do cálculo do fluxo térmico em cada componente do painel solar.

(1) Para a chapa absorvedora:

$$v \cdot W_{\text{sun}} = \frac{k_{\text{air}}}{e_{\text{air}}} \cdot (2 \cdot T_2 - T_1 - T_3) + \sigma \cdot (T_2^4 \cdot (\epsilon_{\text{abs1}} + \epsilon_{\text{abs2}}) - T_1^4 \cdot \epsilon_{\text{abs1}} - T_3^4 \cdot \epsilon_{\text{abs2}}) \quad (1)$$

onde W_{sun} (W / m^2) é a intensidade solar incidente, em modo difuso e direto, v é o coeficiente de transmissão da luz do sol até a chapa absorvedora, tendo em conta a reflexão sobre o vidro e as filme fino, k_{air} ($W / m / K$) é a condutividade térmica do ar, e_{air} (m) é a espessura da camada de ar entre a placa e a janela (a mesma espessura é assumido entre a placa e a tampa metálica), T_2 (K) é a temperatura chapa absorvedora, T_1 (K) é a temperatura da janela, T_3 (K) é a temperatura da tampa metálica, σ ($= 5.67 \times 10^{-8} W/m^2/K^4$) é a constante de Stefan, ϵ_{abs1} é a emissividade combinada do lado superior da chapa absorvedora e da parte inferior da janela, ϵ_{abs2} é a emissividade combinado da parte inferior da placa absorvedora e do lado superior da tampa metálica.

(2) Para a janela

$$\frac{k_{air}}{e_{air}} \cdot (T_2 - T_1) = h_{air} \cdot (T_1 - T_{env}) + \sigma \cdot (T_1^4 \cdot (\epsilon_{glass1} + \epsilon_{abs1}) - T_{env}^4 \cdot \epsilon_{glass1} - T_2^4 \cdot \epsilon_{abs1}) \quad (2)$$

onde h_{air} ($W/m^2/K$) é o coeficiente de convecção no ar, T_{env} (K) é a temperatura ambiente, e ϵ_{vid1} é a emissividade combinada da parte superior da janela e a atmosfera. Em vidros ordinários, os dois lados possuem iguais emissividades, mas no caso dos painéis com filmes opticamente seletivos, as emissividades são diferentes.

(3) Para a tampa metálica:

$$\frac{k_{air}}{e_{air}} \cdot (T_2 - T_3) = h_{air} \cdot (T_3 - T_{roof}) + \sigma \cdot (T_3^4 \cdot (\epsilon_{met1} + \epsilon_{abs2}) - T_{roof}^4 \cdot \epsilon_{met1} - T_2^4 \cdot \epsilon_{abs2}) \quad (3)$$

onde T_{roof} (K) é a temperatura do telhado, e ϵ_{met1} é a emissividade combinada do lado inferior da tampa metálica e da parte superior do telhado.

A emissividade combinada ϵ_c , resultado das emissividades ϵ_1 e ϵ_2 de duas áreas combinadas, é dada pela seguinte relação:

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2}{1 - (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2)} \quad (4)$$

Deste modo, este modelo introduz um comportamento não linear devido às perdas por radiação, proporcionais a potência quarta da temperatura absoluta. Quando o aumenta de temperatura é pequeno (menor que 50 K), as perdas por radiação podem ser linearizadas e geralmente são da mesma magnitude que as perdas por condução e convecção. No presente caos, por causa do objetivo de alcançar uma temperatura mínima de 140°C, essas perdas dominam todas as outras.

É importante lembrar qual é a natureza da radiação térmica do sol, bem como dos painéis. Ambos obedecem à lei de emissividade do corpo negro de Plank-Einstein:

$$L(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1} \quad (5)$$

onde $L(\lambda, T)$ (W/m^3) é a intensidade espectral do corpo irradiante, $C_1 = 2 \cdot h \cdot c^2 = 1.191 \times 10^{-16} W/m^2$ e $C_2 = h \cdot c / K_B = 1.439 \times 10^{-2} K \cdot m$ são duas constantes da lei, λ (m) é o comprimento de onda da radiação e T (K) é a temperatura do corpo.

No caso do sol, considera-se um disco com uma temperatura próxima a 5900K, visto da Terra com um ângulo de $\delta\Omega = 6.8 \times 10^{-5}$ sr, de forma que a intensidade do Sol que chega à atmosfera da terra é igual a 1350 W/m^2 . No caso da chapa absorvedora, assumindo uma emissividade próxima a 1 e a temperatura de 200°C, a intensidade da radiação emitida pela chapa é próxima a 900 W/m^2 . Estas intensidades são muito próximas, ilustrando a importância da emissão infravermelha do painel.

A figura 2 mostra como as temperaturas da chapa absorvedora, da janela e da tampa metálica variam em função da intensidade incidente do sol, com dois valores de emissividade da janela (0.95 sem filme e 0.1 com um filme opticamente seletivo). Com os parâmetros da tabela 1 e uma intensidade solar igual a 700 W/m^2 , a máxima temperatura é de 187°C com $\epsilon = 0.1$ e somente 112°C com $\epsilon = 0.95$. Com uma baixa emissividade ($\epsilon = 0.1$), o objetivo de 140°C é

atingido com uma intensidade solar abaixo de 450 W/m² e a produção de vapor (100°C) com uma intensidade solar abaixo de 250 W/m².

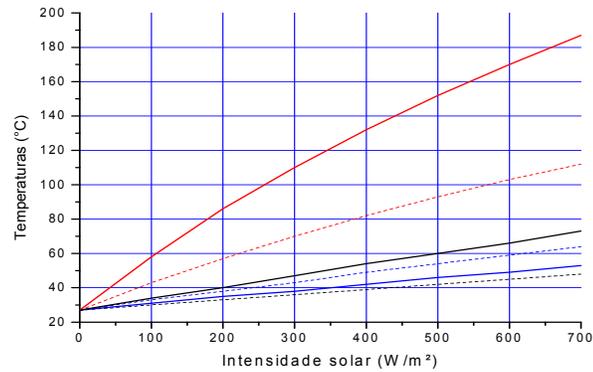


Figure 2 – Temperaturas máximas atingidas (1) com vidro sem filme ($\epsilon = 0,95$ – linha pontilhada) (2) com filmes ópticamente seletivo no vidro ($\epsilon = 0,1$ – linha cheia). Em azul: janela, em preto: tampa metálica, em vermelho: chapa absorvedora.

Assim, um importante objetivo deste trabalho é o de obter uma emissividade da janela reduzida idealmente para 0,1, sem aumentar o seu coeficiente de transmissão no visível / infravermelho próximo.

3. JANELAS OPTICAMENTE SELETIVAS

3.1. Necessidade de filmes ópticamente seletivos

O substrato da janela é geralmente um vidro. No caso do SiO₂ puro, o vidro é transparente no visível e opaco a partir de 4,5 μm . Por isso é um excelente material para a transmissão da radiação solar. Mas seu coeficiente de reflexão no infravermelho não é muito elevado, com a exclusão da região de 8 a 10 μm que corresponde a uma banda de absorção devida ao radical SiO (ver figura 4). Por essa razão, ele emite a maioria da radiação infravermelha, aumentando as perdas por radiação.

No caso do substrato utilizado nesse trabalho (plaquetas para microscópio), o espectro de transmissão do vidro revela uma situação menos favorável: a transmissão varia de 90% a 80% de 0,4 a 2 μm e cai para zero entre 2 e 3 μm . O espectro de reflexão é muito baixo, exceto em 4,5 μm e em 9,5 μm devido as vibrações de SiO (fônons) no vidro (ver figura 4). A emissividade infravermelha é achada maior do que 0,93.

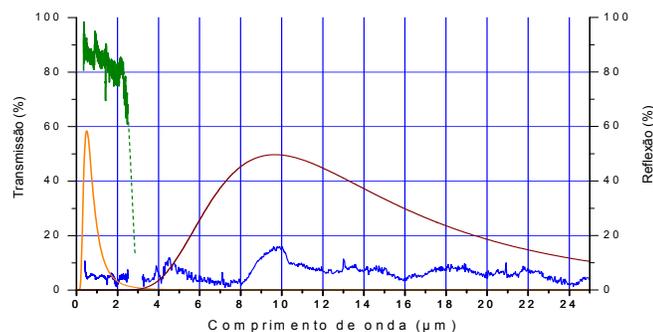


Figura 3 – Coeficientes de transmissão e absorção do vidro entre 0,3 e 25 μm em verde: transmissão, em azul: reflexão, em laranja: corpo negro a 5900 K (Sol) em marrom: corpo negro a 300 K (amplificado em relação ao do Sol).

Para reverter essa situação, é possível depositar um filme fino condutor de SnO₂, ZnO ou TiO₂ sobre o vidro, criando uma forte reflexão no infravermelho, começando tipicamente a partir de 2 μm , e preservando, ao mesmo tempo, uma boa transmissão no visível. Nesse trabalho, quatro novas séries de amostras de vidro com filme de SnO₂ dopado

pelo flúor e fabricados pela FLEXITEC foram estudadas. Essas novas amostras superam, em termo de desempenho, as três amostras estudadas e apresentadas na primeira Conferência Brasileira de Energia Solar (D. David et al, ICBENS, Fortaleza – 2007). Essas quatro séries correspondem a quatro níveis de dopagem: a dopagem da série FTO15 é 1/3 da dopagem padrão (DP) da FLEXITEC, a dopagem da série FTO25 é 1/2 da DP, a dopagem da série FTO80 é 2 vezes maior do que a DP, enfim a dopagem da série FTO100 é 3 vezes maior do que a DP. Foi possível assim determinar qual é a melhor dopagem para a aplicação desse material à energia solar.

3.2. Fabricação das janelas seletivas de SnO₂:F

As amostras foram preparadas pela técnica de pirolise de spray em substratos de vidro. A pirolise de spray é baseada na decomposição pirolítica de um composto metálico dissolvido em uma mistura líquida (SnCl₄ + metanol + fluoreto de amônio, quando dopado com flúor) para facilitar a pulverização no substrato pré-aquecido a 400°C (Roman et al. 1996, 1997).

A microscopia de força atômica revela a estrutura do filme que é composto de cristalitas com um diâmetro médio de 100 nm. Os filmes tem uma espessura variando entre 300 e 800 nm.

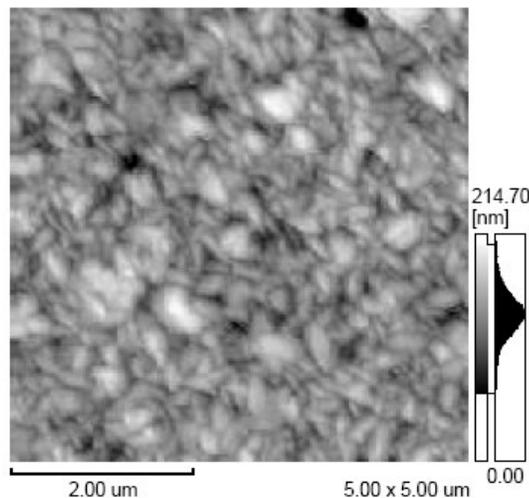


Figura 4 – Microscopia de força atômica (AFM) de um filme de SnO₂ fabricado pela Flexitec

As amostras que foram estudadas (21) são indicadas na Tabela 2.

Tabela 2. Quadro de amostras por dopagem

Série	Concentração de flúor	Resistência das amostras ($\Omega \square$)
FTO15	1/3	40, 42, 43, 47, 48, 50
FTO25	1/2	11, 12
FTO80	2	18, 20, 24, 25, 29, 27
FTO100	3	38, 40, 52, 53, 54, 57, 73

O efeito da dopagem pelo flúor é de criar uma população de elétrons livres no material que chega assim a ser condutor. Com efeito, os filmes transparentes – condutores de SnO₂:F foram primeiramente desenvolvidos para realizar eletrodos transparentes, como no caso dos displays de cristal líquido (LCD). É por essa razão que cada amostra é caracterizada por sua resistência (Tabela 2). Essa mesma propriedade pode ser aproveitada para fabricar células fotovoltaicas, como é o caso das células de filmes finos de silício amorfo da SOLEMS.

As amostras estudadas foram preparadas em substrato de vidro de lâmina de microscópio, no formato de 25 x 38 mm². Esse formato é bem adaptado à caracterização ótica e elétrica (medida de condutividade e efeito Hall). Mas a FLEXITEC sabe produzir placas de superfície bem maior (15 x 20 cm²) e não teria obstáculo para depositar esse filme de SnO₂:F em áreas compatíveis com painéis solares padrões (1 x 1,7 m²).

3.3. Medida das propriedades ópticas das amostras

A caracterização das amostras de dióxido de estanho foi realizada a partir da construção de um sistema de aquisição constituído de um monocromador Czerny-Turner (vide Figura 5), além de um conjunto de sensores capazes de varrer todo o espectro eletromagnético de interesse.

O espectrômetro utilizado foi desenvolvido especificamente para esse tipo de medidas. Ele se compõe de:

- Fonte:
 - Lâmpada branca para o visível e infravermelho próximo.
 - Resistência aquecida a 800 – 1000°C para o infravermelho.
- Detectores em transmissão e em reflexão:
 - Detectores Si e Ge para o visível e o infravermelho próximo.
 - Detector piroelétrico para o infravermelho.
- Em absorção:
 - Detector foto-térmico.
 - Célula fotoacústica.”

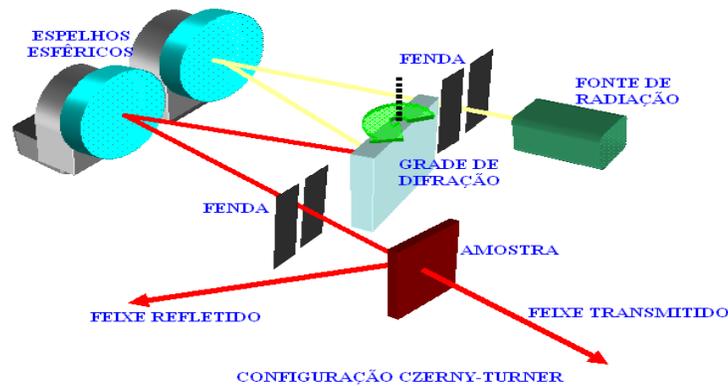


Figura 5 - Esquema de Espectrômetro Czerny-Turner

Esse sistema é capaz de realizar medidas nos modos de reflexão, transmissão e absorção, tendo sido essas amostras caracterizadas somente nos dois primeiros modos, permitindo ainda assim, a determinação dos coeficientes de absorção a partir das medidas dos demais modos, nas regiões do visível e infravermelho (0,4 a 25 μm).

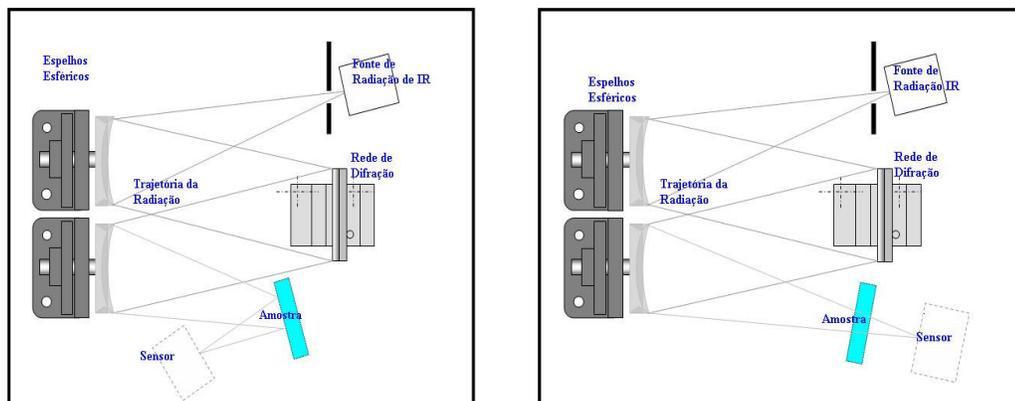


Figura 6 - Esquema de Espectrômetro Czerny-Turner

A mudança dos modos de medida, reflexão e transmissão, é facilmente realizadas, pois os sensores são montados em suportes reversíveis, isto é, suportes que podem ser invertidos para um ou outro modo, e sem dificuldades (vide Figura 6). A base do monocromador apresenta furações guias, que permitem rápida fixação dos suportes, facilitando assim a utilização de qualquer um dos modos de medida.

RESULTADOS

Os espectros de transmissão (Figura 5) obtidos entre 0,25 μm e 2,5 μm revelam um máximo de transmissão entre 0,5 μm e 1,25 μm que varia entre 85% e 90%. Em seguida, observa-se um decaimento da transmissão entre 1,25 μm e 1,5 μm que se estabiliza a partir de 1,5 μm até 2,5 μm em um nível variando de 60% (série FTO15) a 30% (série FTO100). No violeta, observa-se uma queda importante da transmissão entre 0,5 μm e 0,25 μm que varia entre 60% (FTO15) e 30% (FTO100).

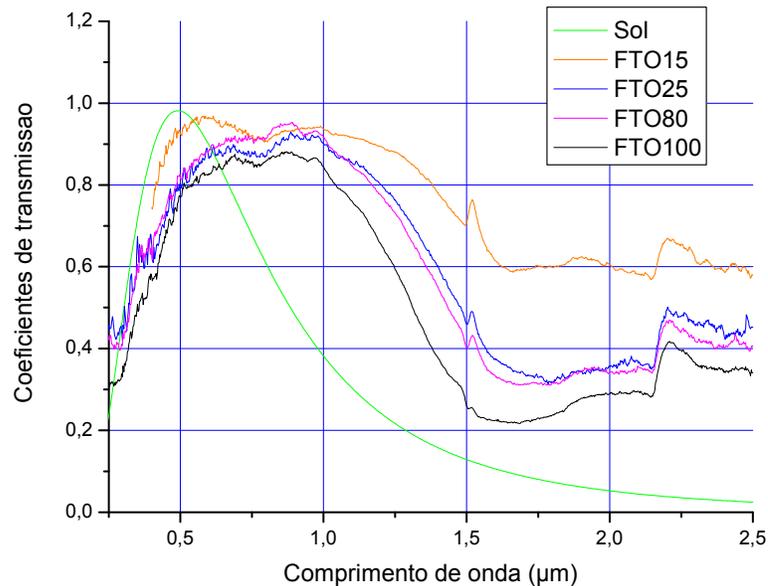


Figura 7 – Coeficientes de transmissão das quatro séries FTO entre 0,25 e 2,5 μm e emissão de um corpo negro a 5900 K

Esses espectros de transmissão são similares aos obtidos por Rakhshani et al. (1998) e Stjerna et al. (1990). Utilizando a definição do fator de transmissão solar:

$$\alpha_s = \frac{\int_0^{\infty} L(\lambda, 5900 \text{ K}) \cdot T(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} L(\lambda, 5900 \text{ K}) \cdot d\lambda} \quad (6)$$

Foram encontrados fatores de transmissão variando entre 0,71 e 0,83 (ver Tabela 3).

A forte absorção observada entre 0,25 μm e 0,5 μm pode explicar a diminuição do fator de transmissão. Com efeito, a maioria dos trabalhos sobre os filmes de SnO_2 apontam uma transição direta entre 0,28 e 0,32 μm (Sunaram et al. 1981, Rakhshani et al. 1998, Banerjee et al. 2003 e Roman et al. 2006). Essa transição direta seria então responsável por essa absorção no próximo ultravioleta.

Os espectros de reflexão (Figura 6) obtidos entre 0,25 e 25 μm , revelam uma reflexão importante começando a partir de 1,5 μm , de amplitude quase constante de 2,5 a 25 μm . Esses resultados são similares com os obtidos por Haijema et al. (1989) e Stjerna et al. (1990), com a vantagem de apresentar um reflexão máxima logo a partir de 2 μm .

Os coeficientes de reflexão dos filmes estudados nesse trabalho foram modelizados de uma maneira relativamente satisfatória pelo modelo de Drude, no qual as concentrações de portadores variam entre $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ e $1,65 \cdot 10^{24} \text{ cm}^{-3}$, a frequência de colisão é da ordem de $4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$ a $5 \cdot 10^{14}$ e a condutividade elétrica é da ordem de $10^5 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (idem) (a massa efetiva do elétron foi escolhida igual a 0,3 m_e). No entanto, foi observada uma banda de absorção específica situada em 1,5 μm , devida provavelmente à modificação da estrutura das bandas no material por causa da forte

concentração de flúor no filme. As bandas de absorção relativas às vibrações de SnO₂ (fônons) não foram observados no caso desse novo material fortemente dopado.

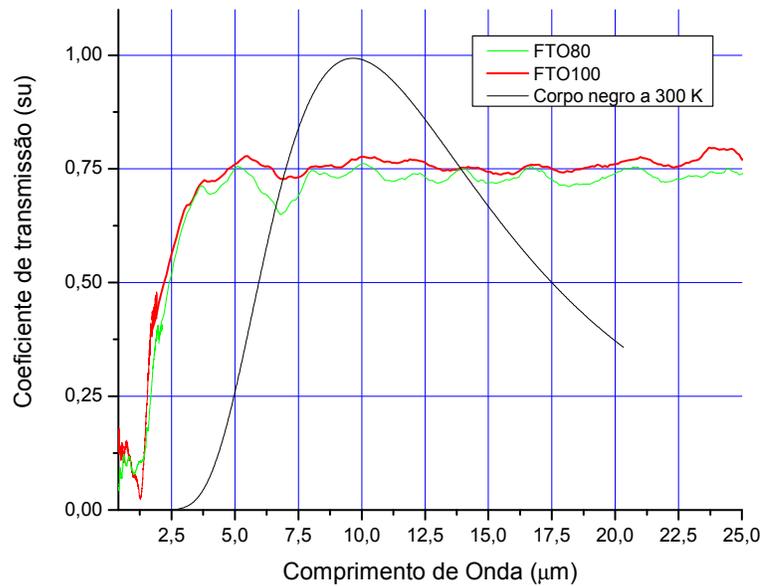


Figure 8 – Coeficientes de reflexão das séries FTO80 e FTO100 entre 0,5 e 25 µm e a emissão de um corpo negro a 300K.

Utilizando a definição da emissividade no infravermelho:

$$\epsilon_{IR} = \frac{\int_0^{\infty} L(\lambda, 300 K) \cdot (1 - R(\lambda)) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} L(\lambda, 300 K) \cdot d\lambda} \quad (7)$$

Foram encontradas emissividades variando entre 0,2 e 0,4 (ver Tabela 3). Utilizando o modelo térmico exposto no parágrafo 2, foram encontradas as temperaturas máximas podendo ser alcançadas pelo painel solar plano térmico. Com uma intensidade solar típica de 700 W/m², temperaturas de até 157°C poderiam ser alcançadas.

Tabela 3. Síntese dos resultados obtidos com as quatro séries de amostras de vidro com filme de SnO₂:F

Série	αS	εIR	Temperatura máxima teórica a 700 W/m ²
FTO15	0,834	0,4	141,4°C
FTO25	0,761	0,2	157,8°C
FTO80	0,740	0,2	155,2°C
FTO100	0,707	0,2	151,0°C
Vidro só	0,90	0,95	120,6°C

CONCLUSÃO

Um modelo térmico, levando em conta as perdas por radiação foi desenvolvido a fim de determinar a temperatura máxima em painéis solares térmicos planos e avaliar o ganho que filmes óticamente seletivos em janelas de vidro oferecem.

Um processo de deposição de filmes finos de SnO₂ e de SnO₂:F em um substrato de vidro foi desenvolvido pela FLEXITEC (Paraná). Esse processo permite a obtenção de filmes transparentes no visível, eletricamente condutores e refletores no infravermelho. Amostras desse material foram caracterizadas no Laboratório de Propriedades Óticas (Instituto de Física – UFBA) e sua habilidade para reduzir as perdas por radiação em painéis solares térmicos planos foi verificada.

Agradecimentos

Esse trabalho foi financiado pelo CNPq (CT-ENERG 2003 / 2005) e pelo BNB (FUNDECI 2004).

REFERÊNCIAS

- D. G. F. David, A. F. Silva, I. M. Pepe, L. S. Roman. 2007. Desenvolvimento de superfícies opticamente seletivas para energia solar térmica. In: Primeiro Congresso Brasileiro de Energia Solar (ICBENS), 2007, Fortaleza. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza : CEFET, v. 2.1.
- A.N. Banerjee, S. Kundoo, P. Saha, and K.K. Chattopadhyay, 2003. Synthesis and Characterization of Nano-Crystalline Fluorine-Doped, Tin Oxide Thin Films by Sol-Gel Method, Journal of Sol-Gel Science and Technology Vol. 28 pp. 105-110.
- H. Haitjema, J.J.Ph. Elich, and C.J. Hoogendoorn, 1989. The optical, electrical and structural properties of fluorine-doped, pyrolytically sprayed tin-oxide coatings, Solar Energy Materials, vol. 18 pp. 283-297.
- A. E. Rakhshani, Y. Makdisi, and H. A. Ramazaniyan, 1998. Electronic and optical properties of fluorine-doped tin oxide films, J. Appl. Phys. vol. 83 n. 2, pp. 1049-1057.
- L. S. Roman, R. Valaski, C. D. Canestraro, C. Persson, I. Pepe, E. F. Silva, A. F. da Silva, 2006. Optical Band-Edge Absorption of Oxide Compound SnO₂. Applied Surface Science, Vol. 252, pp. 5361-5364.
- B. Stjerna, and C. G. Grandqvist, 1990. Optical properties of SnO_x thin films: Theory and experiment, Appl. Phys. Lett., vol. 57 n. 19, pp. 1989-1991.
- K. B. Sundaram, and G. K. Bhagavat, 1981. Optical absorption studies on tin oxide films, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.14 pp. 921-5.
- Z. B. Zhou, R. Q. Cui, Q. J. Pang, Y. D. Wang, F. Y. Meng, T. T. Sun, Z. M. Ding, X. B. Yu, 2001. Preparation of indium tin oxide and doped tin oxide by an ultrasonic spray CVD process, Applied Surface Science Vol. 172 pp. 245-252.

Abstract. *The objective of this work is to study and develop thin films of metallic oxides on glass windows, with optical properties which are favourable to infrared radiation trapping in thermal solar panels. These advanced materials will yield to better performances in the process of conversion of light energy into thermal energy. In this paper, will be exposed the basic functioning of these panels, and also results on the optical and electrical characterization of fluorine doped tin oxide films on glass (SnO₂:F).*

Key words: *Solar Energy, Thermal Conversion, Fluorine doped Tin Oxide, Thin Films*