

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO SUPERFICIAL EM SUPERFÍCIES ABSORVEDORAS SELETIVAS À BASE DE Cr₂O₃ PARA COLETORES SOLARES

Maycon Fagner de Oliveira Menezes (UFPB) - maycon.menezes@cear.ufpb.br

Camila Rêgo de Andrade (UFPB) - camila.andrade@cear.ufpb.br

Luana Fernandes Cavalcanti de Assis (UFPB) - luana.assis@cear.ufpb.br

Ronny Peterson da Nóbrega Gonçalves (UFPB) - ronnypng@gmail.com

Kelly Cristiane Gomes (UFPB) - gomes@cear.ufpb.br

Resumo:

O consumo de energia para atender as necessidades da sociedade tem aumentado significativamente com o passar dos anos, e com isto o uso intensivo de combustíveis fósseis. Nesse contexto, a busca por fontes limpas de energia tem se mostrado como uma alternativa viável para minimizar os impactos ambientais decorrentes das fontes de energias não renováveis. Dentre essas fontes, destaca-se a energia solar, que pode ser usada tanto para aplicações térmicas como para geração de eletricidade, através de Sistemas Solares Térmicos (SST), que possuem como componente principal o coletor solar. Uma das formas de melhorar a eficiência dos coletores é através da aplicação de Superfícies Solares Seletivas (SSS), que são revestimentos capazes de absorver o máximo da radiação solar incidente e minimizar as perdas térmicas por emissão. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é obter filmes absorvedores à base de cromo negro utilizando a técnica de eletrodeposição, bem como avaliar a influência do tratamento superficial dos substratos nas propriedades ópticas das superfícies obtidas. Para isso, na confecção dos filmes, os substratos foram submetidos a um tratamento mecânico com diferentes tempos e granulometrias. Após a etapa de eletrodeposição, as propriedades ópticas e morfológicas dos filmes foram obtidas através das análises de Espectrofotometria UV-Vis-NIR, de Perfilometria e de Microscopia Óptica. A partir dos resultados, constatou-se que todos os filmes produzidos apresentaram alta absorção (97%) e boa estabilidade de absorção, bem como microestruturas homogêneas com baixa rugosidade superficial, sendo considerados potenciais candidatos a serem empregados como superfícies seletivas em coletores solares.

Palavras-chave: *Superfície Solar Seletiva, Cromo Negro, Tratamento Superficial*

Área temática: *Conversão Térmica com Concentradores*

Subárea temática: *Coletores concentradores e sistemas para conversão térmica em média temperatura*

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO SUPERFICIAL EM SUPERFÍCIES ABSORVEDORAS SELETIVAS À BASE DE Cr₂O₃ PARA COLETORES SOLARES

Maycon Fagner de Oliveira Meneses – maycon.menezes@cear.ufpb.br

Camila Rêgo de Andrade – camila.andrade@cear.ufpb.br

Luana Fernandes Cavalcanti de Assis – luana.assis@cear.ufpb.br

Ronny Peterson Gonçalves da Nobrega – ronnypng@gmail.com

Kelly Cristiane Gomes – gomes@cear.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Energias Renováveis

Resumo. O consumo de energia para atender as necessidades da sociedade tem aumentado significativamente com o passar dos anos, e com isto o uso intensivo de combustíveis fósseis. Nesse contexto, a busca por fontes limpas de energia tem se mostrado como uma alternativa viável para minimizar os impactos ambientais decorrentes das fontes de energias não renováveis. Dentre essas fontes, destaca-se a energia solar, que pode ser usada tanto para aplicações térmicas como para geração de eletricidade, através de Sistemas Solares Térmicos (SST), que possuem como componente principal o coletor solar. Uma das formas de melhorar a eficiência dos coletores é através da aplicação de Superfícies Solares Seletivas (SSS), que são revestimentos capazes de absorver o máximo da radiação solar incidente e minimizar as perdas térmicas por emissão. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é obter filmes absorvedores à base de cromo negro utilizando a técnica de eletrodeposição, bem como avaliar a influência do tratamento superficial dos substratos nas propriedades ópticas das superfícies obtidas. Para isso, na confecção dos filmes, os substratos foram submetidos a um tratamento mecânico com diferentes tempos e granulometrias. Após a etapa de eletrodeposição, as propriedades ópticas e morfológicas dos filmes foram obtidas através das análises de Espectrofotometria UV-Vis-NIR, de Perfilometria e de Microscopia Óptica. A partir dos resultados, constatou-se que todos os filmes produzidos apresentaram alta absorptância (97%) e boa estabilidade de absorção, bem como microestruturas homogêneas com baixa rugosidade superficial, sendo considerados potenciais candidatos a serem empregados como superfícies seletivas em coletores solares.

Palavras-chave: Superfície Solar Seletiva, Cromo Negro, Tratamento Superficial

1. INTRODUÇÃO

Frente ao cenário do mundo atual, o consumo de energia para atender as necessidades da sociedade tem aumentado significativamente com o passar dos anos, cuja parcela considerável desse aumento se dá em função do uso dos combustíveis fósseis, que tiveram uma elevação acentuada na sua exploração a partir das Revoluções Industriais dos séculos XVIII e XIX (Pompelli et al., 2011). Assim, fatores ligados a esse grande consumo e às questões ambientais permitiram uma maior abertura para as fontes de energia renováveis, o que proporcionou um avanço significativo nas pesquisas e, conseqüentemente, no desenvolvimento dessas tecnologias (Editorial, 2015; Berizzi et al., 2015; Ueckerdt et al., 2015; Voinov et al., 2015).

Dentre essas fontes, destaca-se a energia solar, cujo aproveitamento pode se dar pela conversão térmica e pela conversão fotovoltaica. Dentro da área térmica, a energia do sol pode ser usada tanto para aquecimento como para geração de eletricidade. Esta última pode ser realizada através de Sistemas Solares Térmicos (SST), que possuem como componente principal o coletor solar, que é um trocador especial de calor usado para promover o aquecimento do fluido de interesse (Weiss; Rommel, 2008).

No entanto, apesar da conversão solar térmica apresentar uma boa relação custo-benefício (Sani et al., 2012), esta utilização encontra limitações quando se busca aquecer fluidos a uma temperatura entre 100°C e 400°C (coletores de média temperatura) ou acima de 400°C (coletores de alta temperatura). Estas limitações estão associadas à alta emissão de calor por radiação e à baixa estabilidade térmica e óptica dos materiais nas faixas de temperatura mencionadas (Incropera, 2008).

Como a emissão de calor por radiação é um fenômeno de superfície (Incropera, 2008), foi proposto que os coletores solares fossem revestidos superficialmente com materiais que fossem bons absorvedores de radiação, bem como emitissem pouco calor (Shaffer, 1958; Kokoropoulos et al, 1959; Tabor, 1961).

Esses revestimentos são conhecidos como Superfícies Solares Seletivas (SSS), cuja característica principal é a seletividade óptica, que consiste na capacidade de o material absorver o máximo da radiação solar incidente e minimizar as perdas térmicas por emissão de radiação infravermelha (Martins, 2010). Desde então, têm se buscado melhorar a relação entre a absorptividade e a emissividade dessas superfícies visando um melhor rendimento dos coletores solares (Vander Poorten, 1980; Ehrmann; Reineke-koch, 2012; Petitjean; Sani et al., 2012).

Para a produção de SSS com boas propriedades ópticas, é de extrema importância determinar qual será a técnica empregada na aplicação das mesmas sobre o coletor, visto que cada técnica permite um controle diferente sobre as propriedades morfológicas dos filmes produzidos. Além disso, é necessário que o método escolhido garanta uma conversão solar térmica homogênea ao longo do coletor, como também uma boa aderência entre o substrato metálico e o revestimento seletivo (Sani et al., 2012; Joly et al., 2013; Atkinson et al., 2015).

Nesse sentido, estas superfícies podem ser fabricadas por diferentes técnicas, como a Eletrodeposição, Evaporação, Pintura, Spray-pirólise, Sol-gel, Pulverização Catódica (Sputtering) etc (Selvakumar e Barshilia, 2012). Dentre elas, a eletrodeposição apresenta-se como uma alternativa interessante visto que é um processo de baixo custo, que possibilita a formação de filmes com geometria apropriada para aplicações em coletores solares, além de poder ser realizado à temperatura ambiente e à pressão atmosférica, o que o torna particularmente atrativo para aplicações industriais (Paula, 2010).

Outro parâmetro relevante na seletividade dessas SSS é o material empregado na sua obtenção. Dentre os materiais empregados, destaca-se a aplicação de filmes finos de cromo negro, que é um revestimento bastante utilizado comercialmente, em especial quando obtido pela técnica de eletrodeposição, em razão da sua simplicidade, do seu baixo custo (Daryabegy; Mahmoodpoor, 2006) e principalmente devido à sua alta absorção solar (97%), baixa emissão hemisférica total a 100°C (9%) e por ser termicamente estável a 400°C no vácuo (Kennedy, 2002; Selvakumar, Barshilia, 2012).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo a obtenção de filmes absorvedores à base de cromo obtidos pela técnica de Eletrodeposição, bem como avaliar a influência do tratamento superficial do substrato nas propriedades ópticas e na morfologia das superfícies obtidas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios de Síntese e Caracterização de Filmes Finos (LabFilm) do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, no Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais (TECNOM) do Centro de Tecnologia e do Laboratório Integrado de Biomateriais (LABIO) do Centro de Ciências da Saúde, localizados no Campus I da UFPB.

Para alcançar o objetivo desta pesquisa, foi estabelecido o programa experimental a seguir:

- (1) Determinação dos parâmetros utilizados na eletrodeposição.
- (2) Preparo dos substratos.
- (3) Obtenção dos filmes a base de óxido de cromo por eletrodeposição.
- (4) Caracterização óptica e microestrutural dos filmes depositados.
- (5) Avaliação da eficiência dos revestimentos absorvedores produzidos.

Para a preparação dos substratos foram utilizados substratos com dimensões iguais a 30 x 30 mm de aço inoxidável AISI 304. Antes da eletrodeposição, os substratos passaram por processos de tratamento mecânico e limpeza.

2.1 Tratamento mecânico

O tratamento mecânico teve como objetivo criar uma rugosidade controlada na superfície dos substratos, garantindo uniformidade e melhor acabamento para a mesma. Foram utilizadas 4 lixas com diferentes granulometrias (220, 400, 600 e 1200 mesh). Além disso, também se variou o tempo de lixamento (5 e 10 minutos) para cada substrato, totalizando 8 condições diferentes, que podem ser melhor visualizadas na Tab. 1, juntamente com a nomenclatura das amostras. Neste sentido, foi adotada a seguinte nomenclatura apresentada, para indicar a variação dos parâmetros analisados nesta pesquisa.

A. **10**

Onde:

A: Refere-se à granulometria da lixa utilizada, sendo A para a de 220, B para a de 400, C para a de 600 e D para a de 1200;

10: Refere-se ao tempo do tratamento mecânico do substrato, podendo ser 5 ou 10 minutos;

Tabela 1 - Nomenclatura dos filmes absorvedores.

Amostras	Granulometria das Lixas	Tempo de Tratamento Mecânico (minutos)
A.5	220	5
A.10		10
B.5	400	5
B.10		10
C.5	600	5
C.10		10
D.5	1200	5
D.10		10

*Cada condição de amostra teve suas respectivas réplicas e trélicas confeccionadas.

Com uso da poltriz lixadeira de velocidade variável da marca Teclago, operando em 50 rpm, foi realizado o tratamento mecânico, onde a posição da face do substrato foi mudada a cada 1 minuto de lixamento, com rotação de 90°. Essa metodologia foi adotada para que o substrato não ficasse lixado preferencialmente numa única direção, e assim, garantir que esse tratamento ocorresse da maneira mais homogênea possível.

2.2 A limpeza dos substratos

O processo de limpeza dos substratos teve como objetivo eliminar quaisquer impurezas que pudessem interferir nos resultados e garantir uma boa adesão entre o filme e o substrato. Para tanto, as amostras foram imersas em álcool isopropílico e passaram por um banho ultrassônico de 15 minutos sob uma temperatura de 25°C. O equipamento utilizado foi o Banho Maria Digital modelo CE-160/30 – MAG, fabricado pela Cienlab.

2.3 Eletrodeposição

Para a realização da eletrodeposição do cromo negro utilizou-se um banho eletroquímico preparado de acordo com Aguilar et al. (2003), cuja composição é apresentada na Tab. 2.

Tabela 2 - Composição do banho eletroquímico.

Composição	Concentração (g/L)
CrO ₃	364
H ₂ SiF ₆	1,8
BaCO ₃	9,1
KNO ₃	2,3

No arranjo físico do processo de eletrodeposição, os eletrodos foram sustentados de modo a se manterem imersos no banho eletroquímico, sendo o substrato de aço conectado ao polo negativo (cátodo) da fonte de alimentação, enquanto uma liga de Pb-Sb (95- 5%) foi conectada ao polo positivo (ânodo). A fonte de corrente utilizada foi um Potenciostato da marca Agilent modelo E3631A.

A temperatura do banho variou entre 25°C e 30°C, enquanto a tensão permaneceu em valores próximos a 5 V e a densidade de corrente foi mantida aproximadamente a 55,56 A/dm². Com relação aos parâmetros da eletrodeposição, adotou-se 20 mm para a distância ânodo-cátodo, uma vez que, conforme os trabalhos de Spitz et al. (1978) e Medeiros et al. (2019), distâncias menores permitem a obtenção de filmes mais homogêneos e com melhor desempenho. E optou-se por um tempo de deposição igual a 2 minutos, pois, de acordo com Medeiros et al. (2019) e Window et al. (1978), tempos mais curtos apresentam melhores resultados.

2.4 Caracterização Óptica e Microestrutural

a) Espectrofotometria no UV-Vis-NIR

Para obter as propriedades ópticas em termos de absorção dos filmes produzidos foi utilizado o Espectrofotômetro na região do Ultravioleta, Visível e parte do Infravermelho próximo (UV-Vis-NIR), fabricado pela Shimadzu, modelo UV-2600, operando na região entre 220 nm e 1400 nm com medidas de reflectância, utilizando o acessório de esfera de integração.

Sabe-se que a soma da absorptância, da transmitância e da reflectância de uma superfície para um determinado comprimento de onda é igual a um (Incropera,2008), como expressa a Eq. (1):

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

Onde:

α = absorptância

ρ = reflectância

τ = transmitância.

No caso de uma superfície opaca, a transmitância é igual a zero ($\tau=0$), logo:

$$\alpha + \rho = 1 \rightarrow \alpha = 1 - \rho \quad (2)$$

b) Microscopia Óptica

Para o estudo das características microestruturais dos filmes depositados, foram realizadas análises no microscópio óptico. Como o material analisado é opaco, apenas sua superfície foi observada pelo microscópio, de modo que a imagem gerada é resultado das diferenças de refletividade nas várias regiões da microestrutura do filme. O equipamento utilizado foi um microscópio óptico, fabricado pela Olympus, modelo BX41M-LED, com lente objetiva de 50x e uma lente ocular de 10x, totalizando, assim, uma ampliação de 500x.

c) Perfilometria Óptica

Com base na norma ISO 4287, a rugosidade pode ser definida como o conjunto de desvios microgeométricos que abrange pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície (ABNT, 2002). Ela constitui um importante fator para o desempenho das películas finas de cromo negro, pois interfere na absorção uniforme da radiação nas regiões da luz visível e do infravermelho próximo (Smith et al., 1985; Piratelli Filho, 2011). Desse modo, a rugosidade constitui um parâmetro importante no estudo de filmes absorvedores. Sabendo disso, esta análise foi realizada com o objetivo de determinar a rugosidade da superfície. Tais medições foram feitas pelo aparelho de Perfilometria óptica sem contato CCI MP, fabricado pela Taylor Hobson, conectado a uma unidade computadorizada contendo o software Talysurf CCI (Taylor Hobson, Inglaterra) para obtenção e análise dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Espectrofotometria UV-Vis-NIR

A Fig. 1 apresenta os resultados obtidos para os filmes produzidos, juntamente com a espectrofotometria do substrato de aço.

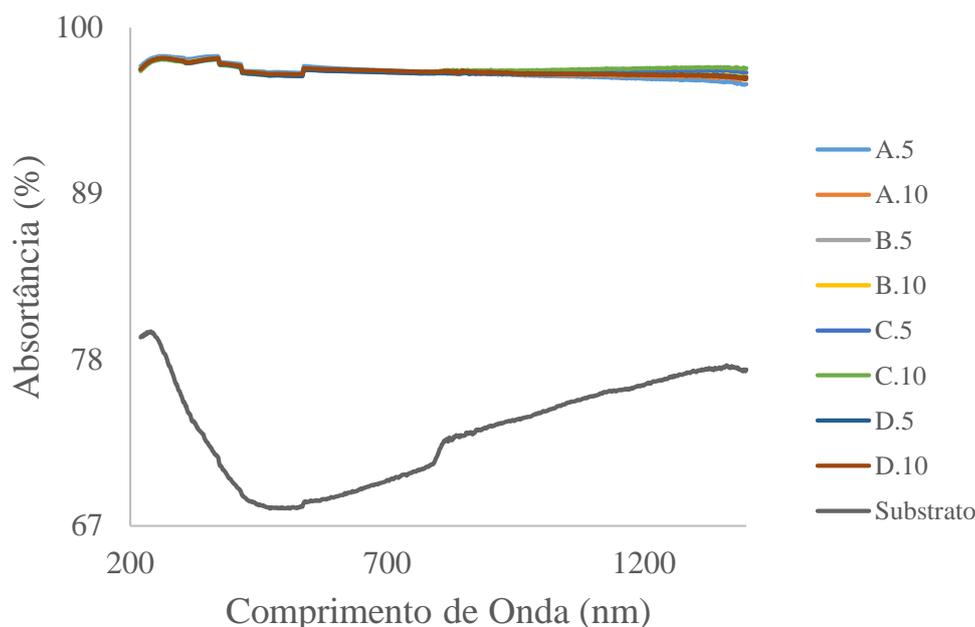


Figura 1 - Espectro da absorvância do substrato de aço e das 8 condições de amostra.

Pela Fig. 1 pode-se observar, pelos resultados obtidos, que a técnica de eletrodeposição é um método eficaz na fabricação de filmes absorvedores a base de cromo, visto que a absorvância do substrato de aço aumentou com a deposição de cromo negro sobre sua superfície. Além disso, é possível observar que as superfícies seletivas obtidas apresentaram elevados níveis de absorvância (acima de 95 %), bem como uma boa estabilidade de absorção em toda a faixa do comprimento de onda estudado (220 nm a 1400 nm).

As médias de absorvância ao longo do espectro e suas respectivas faixas de tolerância (desvio padrão) são apresentados na Tab. 3 e na Fig. 2.

Tabela 3 - Valores de absorvância média e suas faixas de tolerância para cada condição de amostra.

Amostras	Absorvância Média (%)	Desvio Padrão (%)
A.5	97,06	0,50
A.10	97,04	0,36
B.5	97,11	0,36
B.10	97,13	0,36
C.5	97,20	0,28
C.10	97,24	0,27
D.5	97,07	0,39
D.10	97,12	0,41

Pela Fig. 2, é possível visualizar que as faixas de tolerância não apresentam grandes variações, estando entre 0,27 e 0,50 %, o que indica que os filmes, de uma maneira em geral, são muito estáveis opticamente, com absorvância média em torno de 97 %. Pode-se observar, ainda, que os filmes obtidos pelo tratamento mecânico com granulometria 600 mesh (C.5 e C.10) foram os que obtiveram os melhores resultados (maiores absorvâncias), seguido dos filmes B.5 e B.10 (granulometria 400). Já os filmes D.5 e D.10 (granulometria 1200) obtiveram resultados semelhantes com os de granulometria 400, enquanto os obtidos com granulometria 220 (A.5 e A.10) tiveram as menores absorvâncias.

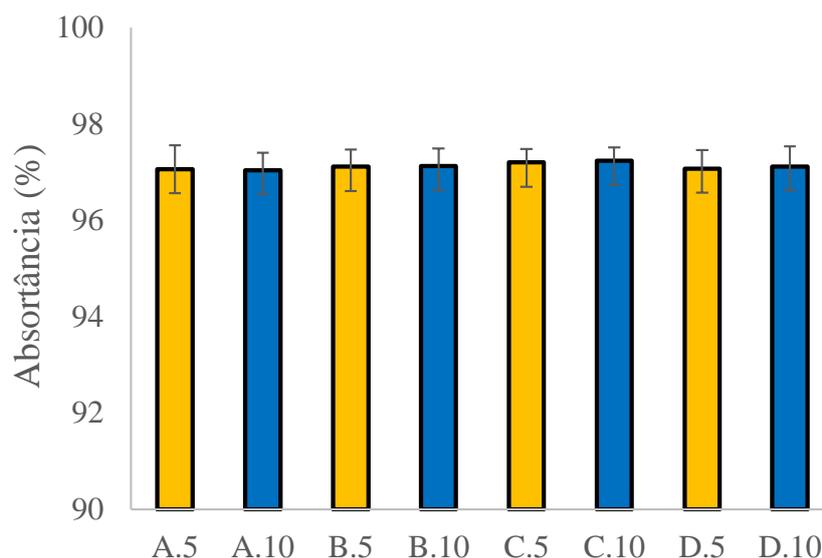


Figura 2 - Absortividade média dos filmes absorvedores e suas faixas de tolerância.

Pode-se observar que ao comparar os resultados dos tempos de 5 minutos de tratamento mecânico com os de 10 minutos, os resultados foram praticamente os mesmos, ou seja, a variação do tempo deste tratamento não foi um parâmetro determinante na melhoria da eficiência das amostras.

3.2 Microscopia Óptica

As micrografias obtidas para os filmes com a menor absortância média (A.10) e a maior absortância média (C.10) estão apresentadas na Fig. 3.

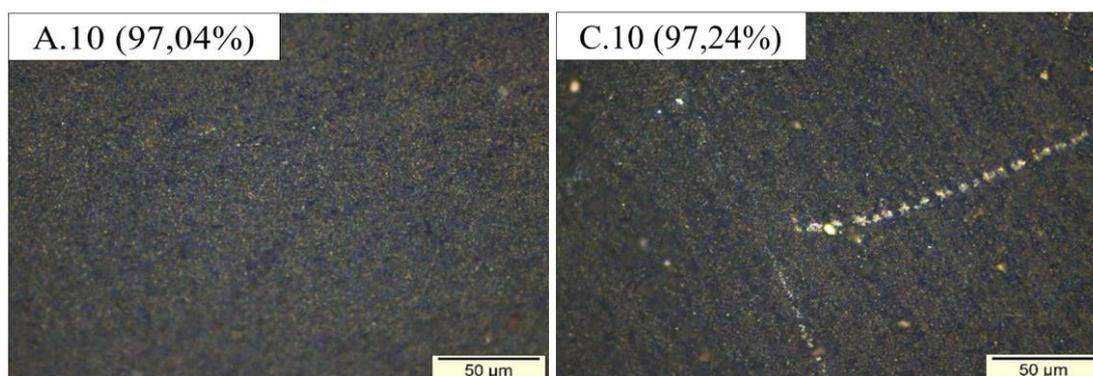


Figura 3 - Micrografias dos filmes absorvedores A.10 e C.10.

Pelas micrografias, observa-se que o filme C.10 apresentou uma superfície mais homogênea e com nucleação uniforme, embora sejam perceptíveis alguns riscos, os quais estavam presentes no substrato e não foram completamente removidos durante o tratamento mecânico, porém isso não comprometeu o desempenho do filme absorvedor C.10, que apresentou, inclusive, a maior absortância média (97,24%).

Com relação ao filme A.10, nota-se que a nucleação ocorreu de maneira pouco menos uniforme, fazendo com que o filme se tornasse mais denso em alguns pontos da superfície.

Contudo, vale ressaltar que as amostras apresentaram microestruturas semelhantes com poucas variações entre si, o que pode ter influenciado na obtenção de níveis de absortância muito próximos (em torno de 97%).

3.3 Perfilometria Óptica

A Tab. 4 apresenta os valores dos parâmetros de rugosidade R_p (máxima altura de pico do perfil da rugosidade), R_v (máxima profundidade de vale do perfil da rugosidade) e R_a (desvio médio aritmético do perfil da rugosidade) dos filmes eletrodepositados.

Tabela 4 - Parâmetros de rugosidades das amostras.

Amostras	Rp (μm)	Rv (μm)	Ra (μm)
A.5	13,09	21,63	2,43
A.10	22,79	24,77	3,50
B.5	12,86	20,84	2,59
B.10	15,46	14,72	2,38
C.5	13,41	19,81	2,46
C.10	15,34	10,72	1,49
D.5	15,71	17,16	2,83
D.10	13,94	10,39	1,52

Segundo estudos de Medeiros (2018), o aumento da diferença entre Rp e Rv provoca uma diminuição da absorvância. Esse fenômeno também já foi relatado por Galvão (2018) em suas superfícies seletivas a base de cromo. Nesse sentido, quanto maior for a diferença entre os valores de Rp e Rv, mais rugosa é a superfície, e maior é a tendência de a absorvância das mesmas diminuir.

Ao analisar os valores de Rp e Rv da Tab. 4, percebe-se que seus valores se encontraram na faixa de 10 a 25 μm , variação esta que pode ser considerada pequena, uma vez que os filmes produzidos nessa pesquisa atingiram elevados níveis de absorvância (97 %), indicando homogeneidade sobre suas superfícies. No entanto, sabe-se também que maiores valores para Ra, Rp e Rv, podem causar uma diminuição na absorção dos filmes, este é o caso que pode ser observado pela amostra A.10, cujos parâmetros de rugosidade são os mais altos dentre os demais, justificando sua menor absorvância (97,04 %).

Neste sentido, menores níveis de rugosidade permitiram a obtenção de filmes com uma melhor resposta à absorção, como já havia sido verificado por Medeiros et al. (2019), Galvão (2018) e Window et al. (1978). Esse comportamento pode ser melhor observado na Fig. 4.

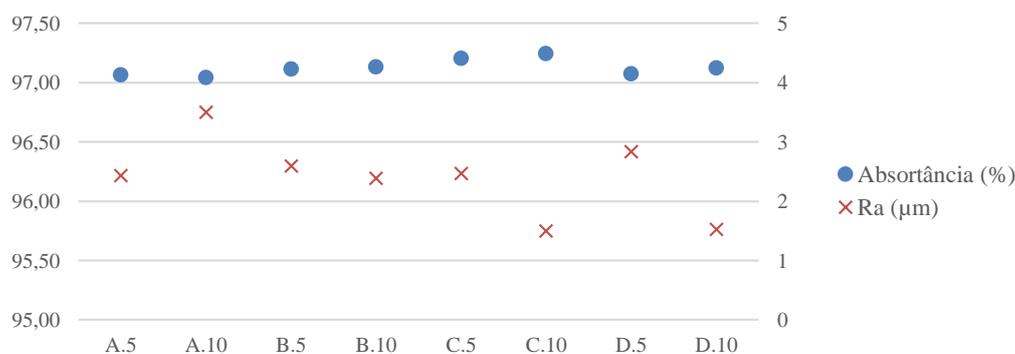


Figura 4 - Relação entre a rugosidade aritmética (Ra) e a absorvância dos filmes.

A Fig. 5 ilustra as microestruturas em 3D dos filmes com a menor absorvância média (A.10) e com a maior absorvância média (C.10). Pode-se observar que as amostras apresentam superfícies semelhantes com microestruturas homogêneas, o que explica os altos níveis de absorvância dos filmes. Contudo, a amostra A.10 apresenta uma rugosidade mais elevada, o que é confirmado pelos dados da Tabela 4, e justifica o fato deste filme possuir a menor absorvância média (97,04%).

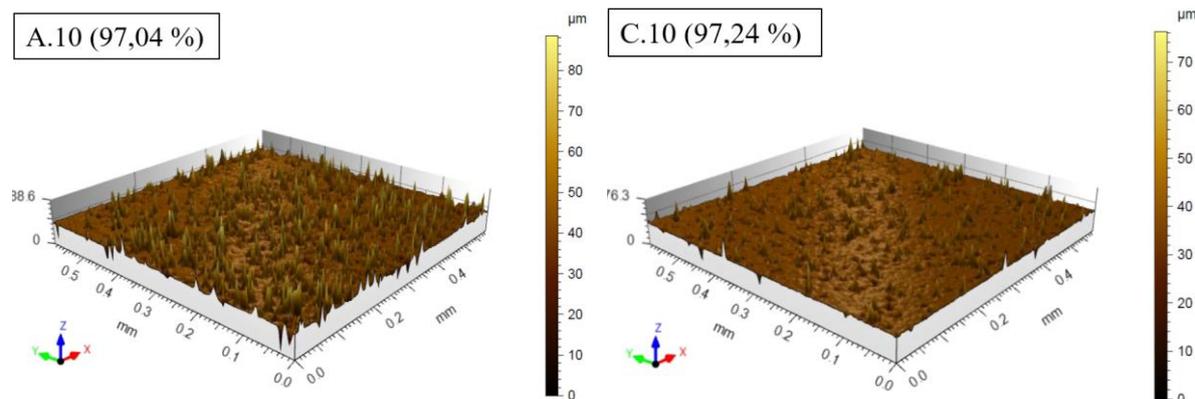


Figura 5 - Microestruturas em 3D dos filmes absorvedores A.10 e C.10.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram obtidas superfícies solares absorvedoras à base de cromo pela técnica de eletrodeposição, cujo processo foi otimizado, tendo em vista que foram obtidos filmes com alta absorvidade (97 %). Destaca-se que os filmes produzidos apresentaram uma microestrutura mais homogênea, decorrente tanto do tratamento mecânico do substrato como da eletrodeposição de cromo negro.

Quanto ao tratamento mecânico, percebe-se que ele foi responsável por garantir uma rugosidade específica para o substrato, o que influenciou nos níveis de absorvidade obtidos, tendo em vista que o uso da lixa de 600 permitiu produzir filmes com as maiores absorvidades (97,20% e 97,24 %), enquanto que o tratamento realizado com a lixa de 220 apresentou os menores valores (97,04% e 97,06 %). Já com relação à variação no tempo de permanência do substrato nesse tratamento, ele, praticamente, não influenciou nas propriedades analisadas.

Pela análise da perfilometria, observou-se que os filmes apresentaram, de um modo geral, baixos valores de rugosidade superficial, sendo a amostra A.10 a que apresentou o maior valor de rugosidade aritmética (R_a) e, portanto, a menor absorvidade média (97,04%). No entanto, essa queda na absorção provocada pelo perfil de rugosidade não foi significativa, uma vez que todos os filmes produzidos, inclusive A.10, tiveram suas absorvidades médias acima de 97%.

Todos os filmes produzidos apresentaram microestruturas muito semelhantes, o que explica níveis tão próximos de absorvidade.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que os filmes produzidos são potenciais candidatos a serem empregados como superfícies seletivas em coletores solares, devido à sua alta absorvidade, à sua boa estabilidade de absorção ao longo do espectro e à sua superfície ser microestruturalmente homogênea.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Laboratórios LabFilm, TECNOM e LABIO da UFPB por todo apoio tecnológico no desenvolvimento deste trabalho, em especial a técnica Rebeca Tibau. Agradece aos órgãos de fomento CNPq e CAPES pelo apoio financeiro aos Programas de Pós-graduação brasileiros.

REFERÊNCIAS

- Aguilar, M., Barrera, E., Palomar-Pardavé, M., Huerta, L., Muhl, S., 2003. Characterization of black and white chromium electrodeposition films: surface and optical properties, *Journal of non-crystalline solids*, vol. 329, n. 1-3, p. 31-38.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 4287: 2002: especificações geométricas do produto (GPS). Rugosidade: método do perfil: termos, definições e parâmetros da rugosidade.
- Atkinson, C., Sansom, C.L., Almond, H.J., Shaw, C.P., 2015. Coatings for concentrating solar systems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, p. 113–122. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.015>>.doi: 10.1016/j.rser.2015.01.015.
- Berizzi, A., Bovo, C., Ilea, V., Merlo, M., Miotti, A., Zanellini, F., 2015. Decentralized congestion mitigation in HV distribution grids with large penetration of renewable generation. *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 71, p. 51–59.
- Daryabegy, M.; Mahmoodpoor, A. R., 2006. Method of manufacturing absorbing layers on copper for solar applications (I), *Renewable Energy Organization of Iran*, vol. 2, p. 35-39.

- Editorial, 2015. The 3rd International Conference on Renewable Energy: Generations and Applications (ICREGA 2014)-, Renewable Energy, vol. 82, p. 1-3.
- Ehrmann, N., Reineke-koch, R., 2012. Selectively coated high efficiency glazing for solar-thermal flat-plate collectors, Thin Solid Films, vol. 520, p. 4214-4218.
- Galvão, G. O., 2018. Superfícies seletivas absorvedoras a base de cromo para coletores solares, Relatório Final - Projeto de Iniciação Científica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P.; Bergman, T. L., Lavine, A. S., 2008. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, LTC, Rio de Janeiro.
- Joly, M., Antonetti, Y., Python, M., Gonzalez, M., Gascou, T., Scartezzini, J. L., Schuler, A., 2013. Novel black selective coating for tubular solar absorbers based on a sol-gel method, Solar Energy, vol. 94, p. 233–239. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.009>>. doi: 10.1016/j.solener.2013.05.009.
- Kennedy, C. E., 2002. Review of mid-to high-temperature solar selective absorber materials, National Renewable Energy Lab., Golden.
- Kokoropoulos, P., Salam, E., Daniels, F., 1959. Selective Radiation Coatings. Preparation and high temperature stability, Solar Energy, vol. 03, p. 19-23.
- Martins, M., 2010. Produção de Superfícies Seletivas por Magnetron Sputtering para Aplicação em Coletores Solares, Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Medeiros I. D. M. de, 2018. Obtenção de Superfície Solar Seletiva de Cromo Negro: Influência dos processos e dos parâmetros de fabricação, Relatório de Qualificação de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Medeiros, I. D. M., Gomes, K. C., Gonçalves, R. P. N., Galvão, G. O., 2019. Selective Solar Surface Solar Based on Black Chromium: Influence of Electrodeposition Parameters in the Absorption of Surfaces, Materials Research, vol. 22, n. 2.
- Paula, F., 2010. Deposição electroquímica, Ciência & Tecnologia dos Materiais, vol. 22, n. 3-4, p. 87-93.
- Petitjean, J. P., Vander Poorten, H., 1980. Les revêtements sélectifs et leur rôle dans l'amélioration des performances des collecteurs solaires, Surface Technology, p. 229–258.
- Piratelli Filho, A., 2011. Rugosidade superficial, Seminário de Metrologia, vol. 3.
- Pompelli, M. F., Orozco, A. J. J., Oliveira, M. T. de, Rodrigues, B. R. M., Barbosa, M. O., Santos, M. G., Oliveira, A. F. M. De, Almeida-cortez, J. S. de, 2011. Crise Energética Mundial e o Papel do Brasil na Problemática de Biocombustíveis, Agronomia Colombiana, Bogotá, vol. 29, n. 2, p. 361-371.
- Sani, E., Mercatelli, L., Janfrancesco, D., Sans, J. L., Sciti, D., 2012. Ultra-High Temperature Ceramics for solar receivers: spectral and high-temperature emittance characterization, Journal Of The European Optical Society-Rapid Publications, vol. 7, article number 12052.
- Selvakumar, N., Barshilia, H. C., 2012. Review of physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid- and high-temperature solar thermal applications, Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 98, p. 1-23.
- Saffer, L. H., 1958. Wavelength-dependent (selective) processes for the utilization of solar energy, Solar Energy, vol. 2, p. 21-26.
- Smith, G. B., Mcphedran, R. C., Derrick, G. H., 1985. Surface structure and the optical properties of black chrome, Applied Physics A, vol. 36, n. 4, p. 193-204.
- Spitz, J., Van Danh, T., Aubert, A, 1978. Chromium black coatings for photothermal conversion of solar energy, part I: Preparation and structural characterization, Solar Energy Materials, vol. 1, n. 3-4, p. 189-200.
- Tabor, H., 1961. Solar collectors, selective surfaces and heat engines, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 47, p. 1271–1278.
- Ueckerdt, F., Brecha, R., Luderer, G., 2015. Analyzing major challenges of wind and solar variability in power systems-, Renewable Energy, vol. 81, p.1-10.
- Voinov, A., Arodudu, O., Duren, I.V., Morales, J. , Qin, L., 2015. Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production, Journal of Cleaner Production, vol. 102, p. 213-225.
- Weiss, W., Rommel, M., 2008. Process Heat Collectors: State-of-the-Art Within Task 33/IV, IEA SHC-Task 33 and Solar PACES-Task IV: Solar Heat for Industrial Processes.
- Window, B., Ritchie, I. T., Cathro, K., 1978. Selective electroplated chromium blacks, Applied optics, vol. 17, n. 16, p. 2637-2644.

INFLUENCE OF SUPERFICIAL TREATMENT ON SELECTIVE Cr₂O₃-BASED ABSORBER SURFACES FOR SOLAR COLLECTORS

Abstract: Energy consumption to meet society's needs has increased significantly over the years, and with it the intensive use of fossil fuels. In this context, the search for clean energy sources has been shown as a viable alternative to minimize the environmental impacts from non renewable energy sources. Among these sources, we highlight solar energy, which

can be used for both thermal applications and electricity generation, through Solar Thermal Systems (SST), which have as main component the solar collector. One way to improve collector efficiency is by applying selective solar surfaces (SSS), which are coatings capable of absorbing the maximum of incident solar radiation and minimizing thermal emission losses. In this sense, the objective of this research is to obtain absorber films based on black chrome using the electrodeposition technique, as well as to evaluate the influence of the surface treatment of the substrates on the optical properties of the obtained surfaces. For this, in the making of the films, the substrates were subjected to a mechanical treatment with different times and sandpaper granulometry. After the electrodeposition step, the optical and morphological properties of the films were obtained through the analysis of UV-Vis-NIR Spectrophotometry, Profilometry and Optical Microscopy. From the results, it was found that all films produced presented high absorption (97%) and good absorption stability, as well as homogeneous microstructures with low surface roughness, being considered potential candidates to be used as selective surfaces in solar collectors.

Key words: *Selective Solar Surface, Black Chrome, Surface Treatment*