



## EFEITOS DO PÓS-TRATAMENTO TÉRMICO EM SUPERFÍCIES SELETIVAS À BASE DE ÓXIDOS DE CROMO OBTIDAS PELO PROCESSO DE ELETRODEPOSIÇÃO

Ronny Peterson da Nóbrega Gonçalves<sup>1</sup>, Ithyara Dheylyle Machado de Medeiros<sup>2</sup>, Kelly Cristiane Gomes<sup>3</sup>, Aline da Silva Oliveira<sup>4</sup>, Gabriela Oliveira Galvão<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB – João Pessoa – Brasil, <sup>2</sup>Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB – João Pessoa – Brasil,

<sup>3</sup>Professora Doutora na Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis

<sup>4</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, UFPB – João Pessoa – Brasil, <sup>5</sup>Graduanda em Engenharia Energias Renováveis, UFPB – João Pessoa – Brasil

Recebido em: 06/04/2019 – Aprovado em: 10/06/2019 – Publicado em: 30/06/2019  
DOI: 10.18677/EnciBio\_2019A177

### RESUMO

As superfícies seletivas solares vêm sendo desenvolvidas e utilizadas desde a década de 60 como forma de melhor aproveitar a energia solar em coletores utilizados para aquecimento de fluidos. Um dos processos convenientes para a obtenção dessas superfícies é a eletrodeposição de cromo negro. Torna-se conveniente estudar o envelhecimento desses filmes para avaliar sua estabilidade térmica e durabilidade. Foram depositados três filmes de óxido de cromo sobre substratos de aço inoxidável através do processo de eletrodeposição. Dois dos filmes foram submetidos a tratamento térmico por 25h e 40h respectivamente. Os filmes foram caracterizados através das técnicas de espectrofotometria na região do UV-Vis e NIR, difração de raios-x e microscopia eletrônica de varredura. As absorvâncias médias dos filmes ficaram acima de 90%, sendo o filme envelhecido a 25 horas o que apresentou maior absorvância (94,85%). Pela difração de raios-x foi possível observar uma maior quantidade de óxidos de cromo nos filmes envelhecidos em comparação com os filmes como depositado, que resulta numa maior qualidade dos filmes absorvedores. As análises de microscopia eletrônica mostraram a formação de microfissuras no filme como depositado, resultantes do processo de desidratação das amostras, assim como o descolamento do filme e o aparecimento de partículas esféricas formadas pelos átomos do substrato nas amostras envelhecidas a 25 e 40 horas respectivamente. O aumento da absorvância dos filmes foi atribuído a maior homogeneidade dos filmes resultante da formação de óxidos no processo de envelhecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** eletrodeposição, envelhecimento, superfície seletiva,

## EFFECTS OF THE THERMAL POST-TREATMENT IN CHROMIUM OXIDE BASED SELECTIVE SURFACES OBTAINED BY ELECTRODEPOSITION PROCESS

### ABSTRACT

Solar selective surfaces have been developed and used since the 1960s as a way to better utilize solar energy in solar panels used for heating fluids. One of the convenient processes for obtaining these surfaces is the electrodeposition of black chromium. It is convenient to study the aging of these films to evaluate their thermal stability and durability. Three films of chromium oxide were deposited on stainless steel substrates through the electrodeposition process. Two of the films were submitted to heat treatment for 25h and 40h respectively. The films were characterized by spectrophotometry in the UV-Vis and NIR region, X-ray diffraction and scanning electron microscopy. The mean absorptances of the films were above 90%, and the film aged at 25 hours presented the greatest absorptance (94.85%). By X-ray diffraction it was possible to observe a greater amount of chromium oxides in the aged films compared to the films as deposited, which results in a higher quality of the absorber films. Electron microscopy analyzes showed the formation of microcracks in the film as deposited, resulting from the dehydration process of the samples, as well as the detachment of the film and the appearance of spherical particles formed by the substrate atoms in the samples aged at 25 and 40 hours respectively. The increase of film absorption was attributed to the greater homogeneity of the films resulting from the formation of oxides in the aging process.

**KEYWORDS:** electrodeposition, selective surface, annealing.

### INTRODUÇÃO

A conversão em energia térmica é uma das formas mais populares de uso da energia solar por se tratar de um processo limpo, não desperdiçar água e não perturbar o equilíbrio ecológico. A radiação solar é recebida em abundância pela superfície da terra, e devido a isso, países como Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Itália e Japão têm desenvolvido a tecnologia solar de forma a aproveitar o máximo dessa energia (ZHANG et al., 2017).

No Brasil, o uso da energia solar para o aquecimento de água segue como a forma mais disseminada de aproveitamento dessa energia e a indústria regional de aquecimento solar mostra-se bem desenvolvida e habilitada a suprir a demanda de um mercado crescente (DA SILVA et al., 2016). Apesar do país ser o quinto no mundo com a maior capacidade total instalada de aquecimento solar (WEISS; SPORK -DUR, 2018), 24% do consumo anual de energia elétrica residencial ainda é devido ao aquecimento de água para banho (PEREIRA et al., 2017). Os dois principais fatores de impedimento de uma maior disseminação desse tipo de aproveitamento nas residências brasileiras são a falta de conscientização da população e o custo inicial elevado de instalação desses sistemas de aquecimento, quando comparado com o chuveiro elétrico (PEREIRA et al., 2017).

A diminuição de custos relacionados a esse aproveitamento ocorre paralelamente à redução dos custos de produção e ao aumento da eficiência total dos coletores solares utilizados. Uma vez que a quantidade de coletores está diretamente relacionada com a sua capacidade total de absorver a energia solar, uma das metodologias utilizadas para aumento dessa eficiência é a utilização de revestimentos que absorvam a maioria dos comprimentos de onda que chegam à superfície terrestre, enquanto eliminam o efeito de perda da radiação infravermelha devida ao fenômeno de emissão e que é agravada quando os coletores atingem

altas temperaturas (BERMEL et al., 2012). Nesse contexto, as superfícies seletivas solares foram desenvolvidas por Tabor (1961), e correspondem a materiais que possuam alta absorvância da radiação solar e baixa emissividade térmica nas temperaturas de trabalho desses coletores.

A deposição de cromo negro (composto por diversos óxidos de cromo) vem sendo bastante estudada como forma de obtenção de superfícies seletivas, principalmente quando empregada com técnicas de baixo custo e alta facilidade, como é o caso da eletrodeposição. Com o uso dessa técnica para depositar cromo negro sobre substratos de aço, é possível obter superfícies com níveis de absorção maiores que 90% (KENNEDY, 2002; MEDEIROS et al., 2017a).

Entretanto, poucos autores têm discutido a utilização de tratamentos térmicos pós-deposição, que simulem o envelhecimento das superfícies, e analisem o comportamento dos óxidos de cromo, quando submetidos a esses tratamentos (PETTIT, 1983; GAO et al., 2016, ZHANG et al., 2017). Segundo Nunes et al. (2018) o pós-tratamento térmico facilita a obtenção de óxidos de cromo, que está diretamente relacionado com a qualidade dos filmes obtidos, e um aumento da absorvância.

Em vista disso, torna-se viável a análise da formação de óxidos de cromo nas superfícies obtidas pelo processo de eletrodeposição, visando obter uma relação entre a presença desses óxidos e os níveis de absorvância dos filmes produzidos, assim como as modificações morfológicas decorrentes dessa formação.

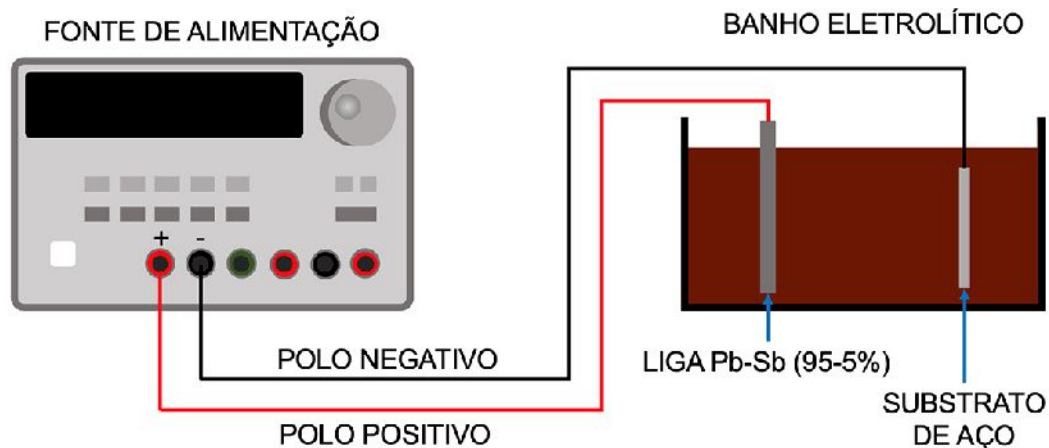
## MATERIAL E MÉTODOS

### *Preparo dos substratos*

Os substratos a serem eletrodepositados foram obtidos através do corte de uma chapa de aço inoxidável AISI em pequenas amostras de forma retangular com 3 cm de altura e 2,5 cm de largura. Em seguida, foram submetidos a um processo de limpeza composto por imersão em solução de 0,77 kg/l de ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ), aquecida à 50°C, durante 30 minutos, banho ultrassônico por 30 minutos e colocados em estufa à 50°C para secagem por 1 hora.

### *Obtenção das superfícies*

As superfícies seletivas foram então depositadas sobre os substratos de aço através do processo de eletrodeposição. Os substratos foram submersos em banho eletrolítico composto por 274 g/l de trióxido óxido de cromo ( $CrO_3$ ) e 0,854 g/l de ácido hexafluorossilícico ( $H_2SiF_6$ ) (MEDEIROS et al., 2017a) e conectados a uma fonte de corrente contínua (modelo E3631A, Agilent). O circuito foi fechado por uma liga de Pb-Sb (95-5%) de acordo com o esquema apresentado na figura 1.



**FIGURA 1** – Esquemático do circuito elétrico utilizado para a eletrodeposição dos óxidos de cromo sobre os substratos de aço inoxidável. Fonte: Autores (2019).

No processo de eletrodeposição, foi utilizada uma tensão de alimentação de 5V, uma distância de 5 cm entre os eletrodos e um tempo de eletrodeposição de cinco minutos. Esses valores foram selecionados de acordo com os melhores resultados obtidos por Medeiros et al.(2017b). Foram eletrodepositadas um total de três amostras idênticas que foram numeradas de 1 a 3.

#### *Tratamento térmico*

Dentre as três amostras obtidas, duas foram submetidas a tratamentos térmicos com diferentes durações. A amostra 1 não foi submetida a tratamento térmico, enquanto as amostras 2 e 3 foram colocadas em forno tipo estufa à uma temperatura de 250°C. A amostra 2 permaneceu na estufa por um período de 25 horas e a amostra 3 permaneceu na estufa por um período de 45 horas. As durações dos tratamentos térmicos estão concatenadas no quadro 1.

**QUADRO 1** – Duração dos tratamentos térmicos nas amostras.

| <b>Amostra</b> | <b>Duração do Tratamento Térmico (horas)</b> |
|----------------|--|
| <b>1</b>       | Sem tratamento                               |
| <b>2</b>       | 25   |
| <b>3</b>       | 40   |

#### *Caracterização das amostras*

As amostras foram caracterizadas por três técnicas diferentes para análise dos efeitos dos tratamentos térmicos sobre os níveis de absorvância, a morfologia e os tipos de óxidos obtidos. Os níveis de absorvância das superfícies foram obtidos através da técnica de espectrofotometria na região do ultravioleta-visível e infravermelho próximo (UV-Vis e NIR), utilizando um espectrofotômetro (modelo UV 2600, *Shimadzu*) com medidas de reflectância dos comprimentos de onda compreendidos entre 220 nm e 1400 nm. Foi utilizada a esfera de integração para possibilitar a análise dos filmes. A partir da reflectância, foram calculados os valores de absorvância com base na lei de *Kirchhoff* para corpos opacos (MEDEIROS et al., 2019).

A morfologia das amostras foi analisada através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um microscópio eletrônico (modelo Quanta

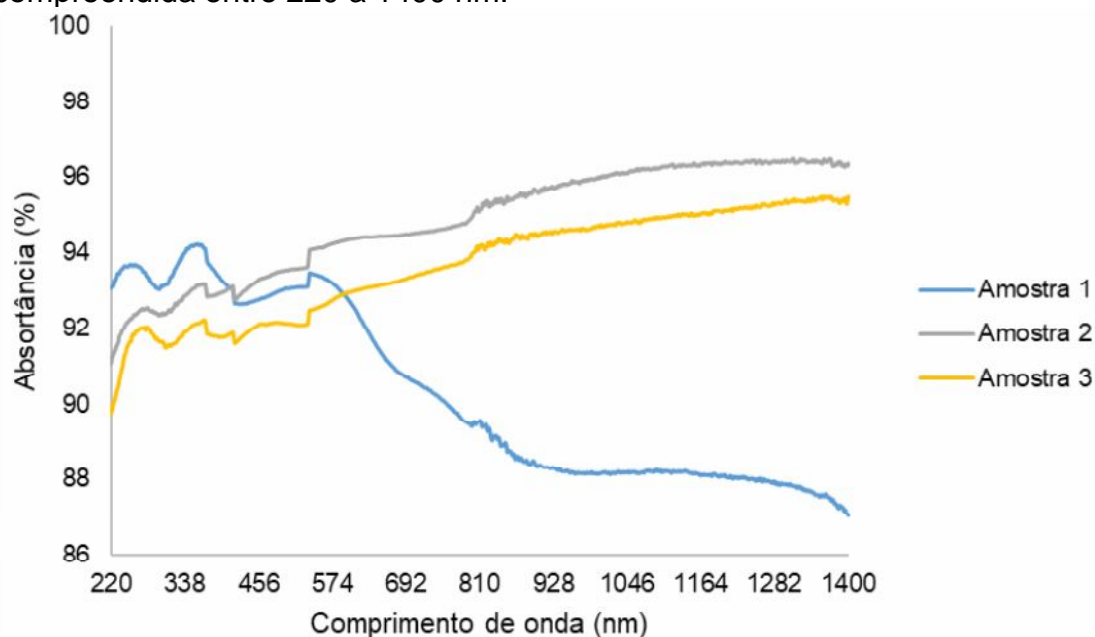
450, FEI) operando com o princípio de funcionamento de elétrons secundários com módulo ambiental.

Os óxidos presentes nas amostras foram identificados através da técnica de difração de raios-x, utilizando um difratômetro de bancada (modelo D2 PHASER, Bruker) emitindo radiação de cobre através de uma fenda de 0,6 mm, entre os ângulos de incidência ( $2\theta$ ) de  $20^\circ$  a  $80^\circ$ , com um incremento de  $0,02^\circ$  por segundo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Espectrofotometria na região do UV-Vis e NIR*

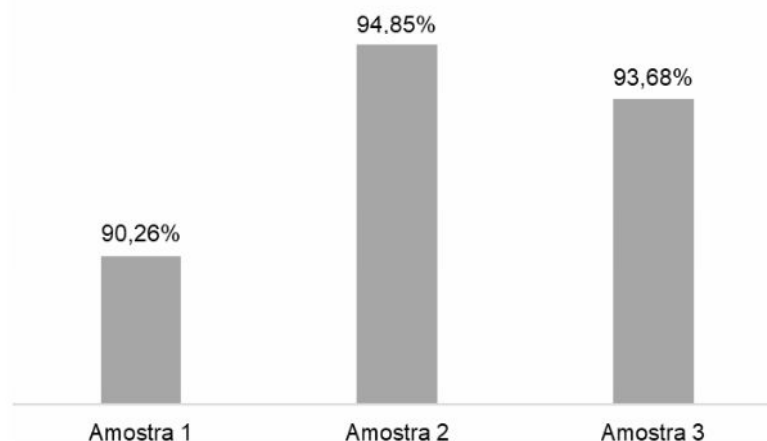
A Figura 2 expõe os resultados para os filmes avaliados na faixa de radiação compreendida entre 220 a 1400 nm.



**FIGURA 2** – Porcentagem de absorptância dos filmes ao longo do comprimento de onda em estudo. Fonte: Autores (2019).

Nota-se que os picos de absorção das amostras que passaram por tratamento térmico ocorreram entre 810 a 1400 nm, e que o inverso foi observado no comportamento da amostra sem o tratamento, o que é positivo para a aplicação como superfície seletiva, tendo em vista que as mesmas precisam conservar as características de absorção quando atingirem a temperatura de funcionamento (KE et al., 2017). No caso do presente estudo, além de conservar as boas propriedades absorptivas, estas foram ampliadas. Esse fato positivo não foi obtido por Lampert (1980) que ao analisar as características do cromo negro, submetido a um tratamento térmico de 100h a  $300^\circ\text{C}$ , observou que a absorptância do filme foi reduzida em 6% após o recozimento mencionado. Isso mostra que as condições do presente estudo são favoráveis a aplicação destinada.

A Figura 3 ilustra a média de absorção dos filmes dentro do espectro UV-Vis e NIR na faixa compreendida entre 220 a 1400 nm.



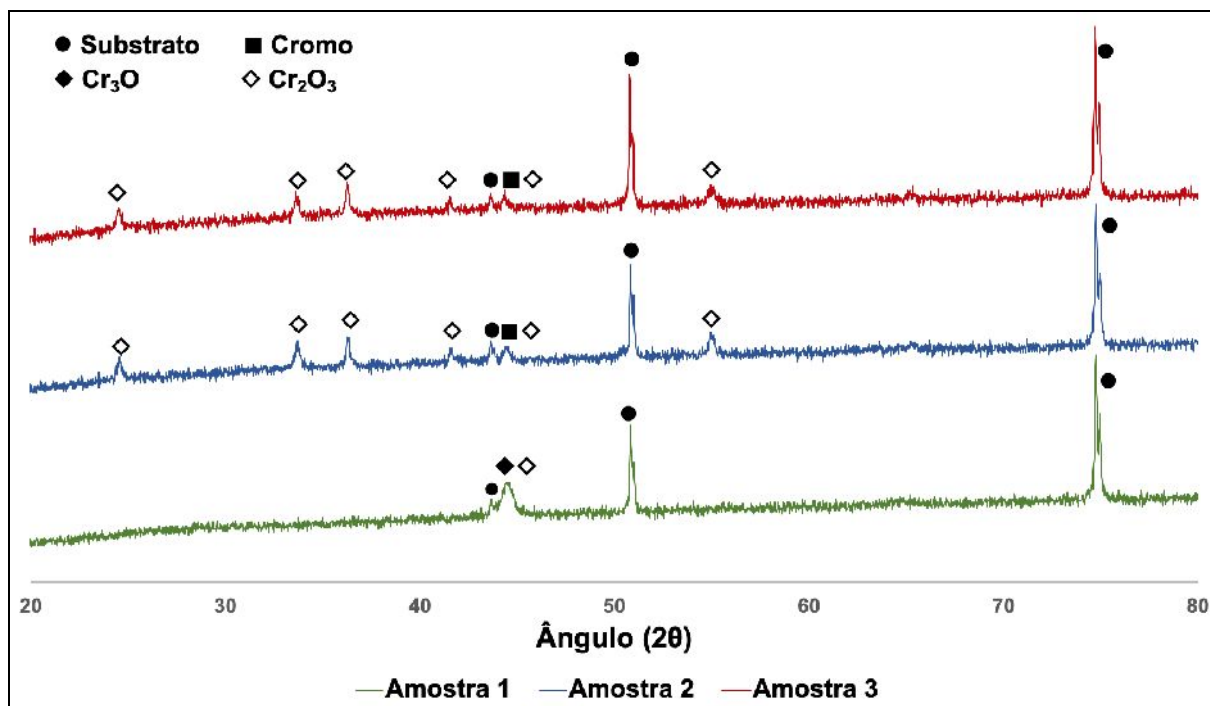
**FIGURA 3** – Média da absorvância dos filmes entre 220 e 1400 nm. Fonte: Autores (2019).

Observa-se um aumento de 4,6% e de 3,4%, em nível de absorção, após tratamentos de 25h e 40h, respectivamente, evidenciando que mesmo com a diminuição da absorvância com o aumento do tempo de recozimento, quando comparadas as amostras 2 e 3, percebe-se que ambas aumentaram em relação ao filme sem tratamento. Esse fato demonstra a aplicabilidade do filme produzido, uma vez que além de apresentar uma média de absorvância adequada, a qual segundo Kennedy (2002) é acima de 90%, essa se elevou ao ser submetida às temperaturas de trabalho.

A diminuição da absorção com o aumento do tempo de exposição as temperaturas de funcionamento dos filmes absorvedores, também foi observado por Pettit (1983) ao realizar o envelhecimento acelerado de revestimentos de cromo negro eletrodepositados, este percebeu que ao aumentar o tempo de 10 para 30h a absorvância foi reduzida para todas as temperaturas por ele analisadas (350°C, 375°C, 400°C, 425°C e 450°C).

#### *Difração de Raios-x*

As análises de difração de raios-x revelaram três diferentes fases relacionadas ao cromo depositado. Na amostra 1, foram identificadas a presença tanto de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  quanto de  $\text{Cr}_3\text{O}$ , além da fase correspondentes ao substrato de aço inoxidável. Já nas amostras 2 e 3, observou-se maior presença do  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , indicado pelo aparecimento de um maior número de picos relacionados com essa fase, assim como a presença de uma fase cristalina de cromo metálico, e a fase correspondente ao substrato de aço inoxidável. Na figura 4 observam-se os padrões de difração obtidos a partir de cada amostra, com a identificação dos picos correspondentes a cada fase presente.

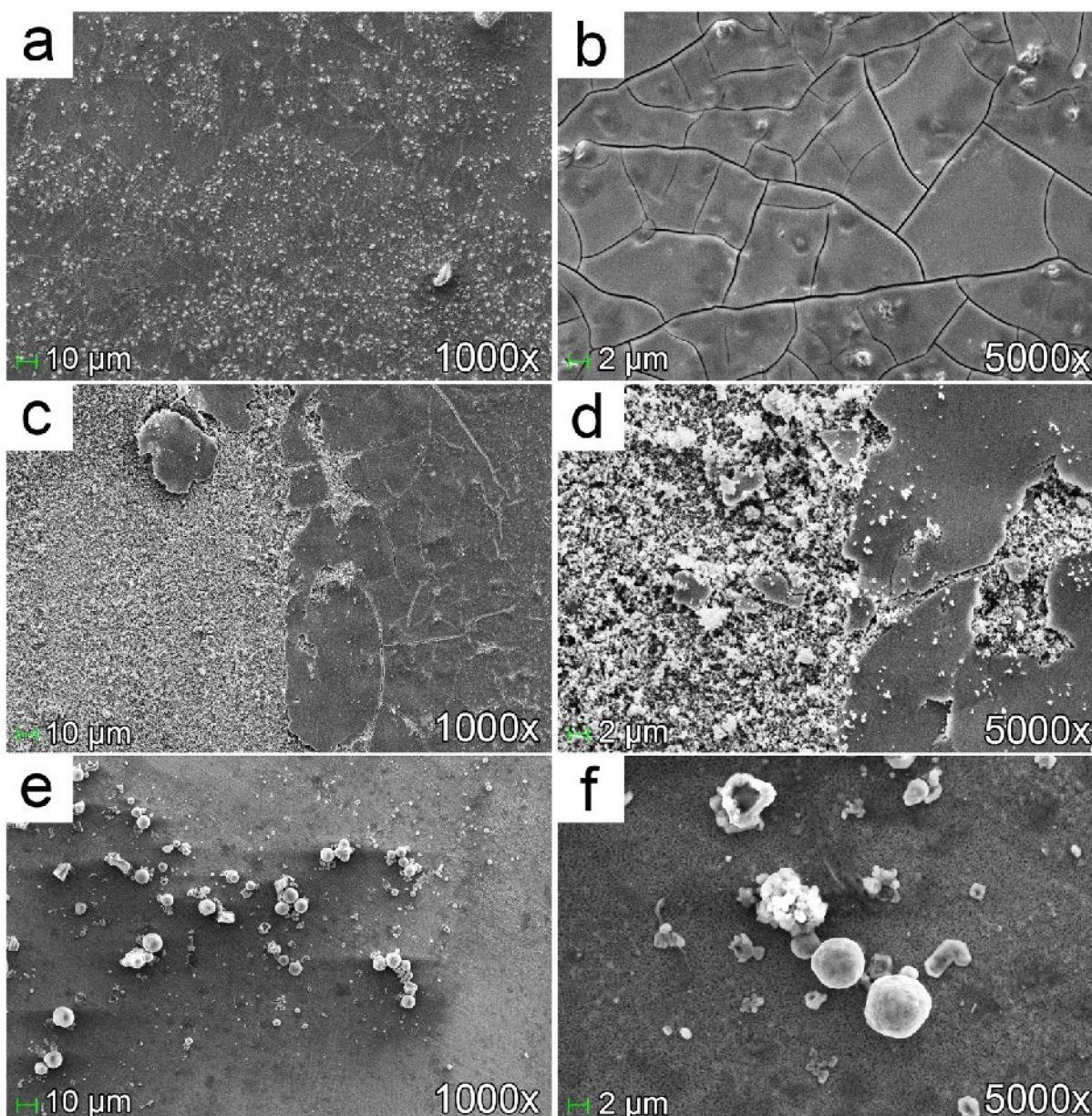


**FIGURA 4** – Resultados da difração de Raios-x nas amostras 1, 2 e 3. Fonte: Autores (2019).

Os resultados obtidos corroboram com os estudos de Nunes et al. (2018) que ao aplicarem a técnica de difração de raios-x em amostras de cromo eletrodepositadas sobre substratos de aço inoxidável AISI 304 seguido de um tratamento térmico a 600°C por duas horas, observaram a formação das fases correspondentes ao cromo metálico e ao  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Assim como nos resultados obtidos nesse trabalho, Nunes et al. (2018) também não identificaram a presença de  $\text{Cr}_3\text{O}$  nos padrões de difração das amostras submetidas a tratamento térmico, fato que pode ser explicado pela transformação dessa fase em uma fase mais estável ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) durante esse processo. A formação de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  está diretamente relacionada com a qualidade dos filmes depositados.

#### *Microscopia Eletrônica de Varredura*

A morfologia dos filmes depositados pode ser analisada através das imagens obtidas através de microscopia eletrônica contidas na figura 5.



**FIGURA 5** – Microscopia eletrônica de varredura das amostras 1 (a e b), 2 (c e d) e 3 (e e f) em diferentes ampliações. Fonte: Autores (2019).

Pela figura 5(b) é possível observar a presença de microfissuras no filme depositado sobre a amostra 1, resultado das tensões originadas do processo de desidratação do filme após a remoção da amostra do banho eletrolítico (WEN et al., 2008). Nas figuras 5c e 5d é possível observar que na amostra 2, o filme depositado sofreu um descolamento do substrato em pontos específicos, mas no geral, o filme apresenta bastante homogeneidade, quando comparado com a amostra 1. Essa homogeneidade dá-se devido a redução das microfissuras presentes na amostra 1, resultantes do processo de envelhecimento.

Na amostra 3, não foi observado descolamento do filme, que apresentou-se também bastante homogêneo, entretanto foram observadas o surgimento de partículas esféricas depositadas sobre o filme. Kotilainen et al. (2014) observaram o aparecimento de pequenas ilhas de óxido, em superfícies seletivas de cromo,



depositadas sobre um substrato de cobre. Essas ilhas resultam da difusão de átomos do substrato para a superfície, devido ao processo de envelhecimento.

Pode-se relacionar a alta absorptância da amostra 2 com a homogeneidade do filme envelhecido, uma vez que as microfissuras tendem a diminuir a absorptância dos filmes de óxido de cromo. Entretanto, na amostra 3, a absorptância foi levemente reduzida, devido ao aparecimento das partículas esféricas resultantes da difusão do substrato para a superfície do filme.

### CONCLUSÃO

Os filmes obtidos pelo processo de eletrodeposição de cromo negro sofreram um aumento da absorptância após processo de envelhecimento. Entretanto, esse aumento é limitado a certos intervalos de tempo devido ao aparecimento de ilhas de átomos do substrato resultantes do processo de difusão, que levam à diminuição da absorptância do filme.

Foram observadas nos três filmes a presença de dois tipos de óxido de cromo e também a presença de cromo metálico. A formação de óxidos foi estimulada pelo processo de envelhecimento, que resultou numa maior absorptância dos filmes, uma vez que a presença desses óxidos está diretamente ligada a uma maior qualidade dos filmes.

Torna-se necessário avaliar as causas do descolamento do filme depositado sobre a amostra 2 e verificar se esse descolamento causou queda de absorptância, mesmo este filme sendo o de melhor performance entre três analisados. Além disso, o processo de envelhecimento mostrou-se eficaz para um aumento da absorptância dos filmes, uma vez que elimina as microfissuras resultantes das tensões de desidratação, e facilita a formação de óxidos de cromo.

### REFERÊNCIAS

BERMEL, P.; LEE, J.; JOANNOPOULOS, J .D.; CELANOVIC, I.; SOLJACIC, M. Selective solar absorbers. **Annual Review of Heat Transfer**, v. 15, p.231-254, 2012. Disponível em: <<http://www.dl.begellhouse.com/references/5756967540dd1b03,6a1e673c1ba053bf,19908a75302f7e6a.html>>. DOI: 10.1615/AnnualRevHeatTransfer.2012004119

DA SILVA, R. C.; DE MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.59, p.328-341, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.001>>. DOI:10.1016/j.rser.2016.01.001

GAO, X. H.; GUO, Z. M.; GENG, Q. F; MA, P. J.; WANG, A. Q.; LIU, G. Enhanced thermal stability and spectral selectivity of SS/TiC-Y/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spectrally selective solar absorber by thermal annealing. **Solar Energy**, v.140, p.199-205, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.046>>. DOI: 10.1016/j.solener.2016.10.046

KE, Z., MIAO, D., LEI, H., JIANPING, M., JINING, W., XIAOPENG, L., ZHEJUN, D., JIE, M., BO, Z. Thermal stability test and ageing mechanisms study of different solar selective absorbing coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 323, p. 65-71, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.092>>. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.08.092

KENNEDY, C. E. **Review of Mid to High Temperature Solar Selective Absorber Materials**, NREL/TP-520-31267, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, July 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.2172/15000706>> DOI: 10.2172/15000706

KOTILAINEN, M.; MIZOHATA, K.; HONKANEN, M.; VUORISTO, P. Influence of microstructure on temperature-induced ageing mechanisms of different solar absorber coatings. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 462-472, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.09.026>>. DOI: 10.1016/j.solmat.2013.09.026

LAMPERT, C. M. Metallurgical analysis and high temperature degradation of the black chrome solar selective absorber. **Thin Solid Films**, v. 72, n. 1, p. 73-82, 1980. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0040-6090\(80\)90560-X](https://doi.org/10.1016/0040-6090(80)90560-X)> DOI: 10.1016/0040-6090(80)90560-X

MEDEIROS, I. D. M.; SILVA NETO, J. F.; SANTOS, K.; LEITE, A. K. B. D. S.; GOMES, K. C.; PESSOA-BRASIL, J. Avaliação da interferência dos parâmetros de eletrodeposição nos níveis de absorção de superfícies seletivas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 1360-1369, 2017a. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2017b/eng.htm>> DOI: 10.18677/EnciBio\_2017B114

MEDEIROS, I. D. M.; SILVA NETO, J. F.; SANTOS, K.; LEITE, A. K. B. D. S.; GOMES, K. C.; PESSOA-BRASIL, J. Eletrodeposição de filmes de cromo negro em substratos de cobre para absorção solar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 1370-1379, 2017b. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2017b/eng.htm>> DOI: 10.18677/EnciBio\_2017B115

MEDEIROS, I. D. M.; GOMES, K.C.; GONÇALVES, R. P. N.; GALVÃO, G. O. Selective Solar Surface Solar Based on Black Chromium: Influence of Electrodeposition Parameters in the Absorption of Surfaces. **Materials Research**, São Carlos, v.22, n.2, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0625>>. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2018-0625

NUNES, R. A. X.; COSTA, V. C.; SADE, W.; ARAÚJO, F. R.; SILVA, G. M. Selective Surfaces of Black Chromium for Use in Solar Absorbers. **Materials Research**, São Carlos, v.21, n.1, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0556>>. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2017-0556

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; DE LIMA, F. J. L. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, p. 80, 2017. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf)>. Acesso em 20/03/2019.

PETTIT, R. B. Accelerated temperature aging of black chrome solar selective coatings. **Solar Energy Materials**, v. 8, n. 4, p. 349-361, 1983. Disponível em:

<[https://doi.org/10.1016/0165-1633\(83\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0165-1633(83)90001-1)>

DOI: 10.1016/0165-1633(83)90001-1

TABOR, H. Solar collectors, selective surfaces and heat engines. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 47, p. 1271–1278, 1961. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/47/8/1271.short>>. Acesso em: 20/03/2019. DOI: 10.1073/pnas.47.8.1271

WEISS, W., SPORK-DUR, MF. Solar Heat Worldwide – Global Market Development

and Trends in 2017 / Detailed Market Figures 2015. **IEA Solar Heating & Cooling Programme**, June 2018. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2018.pdf>> Acesso em: 20/03/2019.

WEN, N. T.; LIN, C. S.; BAI, C. Y.; GER, M. D. Structures and characteristics of Cr (III)-based conversion coatings on electrogalvanized steels. **Surface and Coatings Technology**, v. 203, n. 3-4, p. 317-323, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.09.006>> DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.09.006

ZHANG, K.; HAO, L.; DU, M.; MI, J.; WANG, J.-N.; MENG, J. A review on thermal stability and high temperature induced ageing mechanisms of solar absorber coatings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1282-1299, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.083>>. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.083