

ANÁLISE DE AQUECIMENTO POR RADIAÇÃO EM AMBIENTE FECHADO PROTEGIDO POR VIDRO COM FILME DEPOSITADO POR PLASMA

R. L. F. Melo¹, J. D. Rocha Junior², S. S. Oliveira², J. C. P. Barbosa²
^{1,2}Centro integrado de inovação tecnológica do Semi-Árido – CITED Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, R. Francisco Mota, 572 – Costa e Silva,
CEP: 59600-971, Mossoró – RN, Brasil
¹rafaelfm@outlook.com

RESUMO

Foram depositados filmes do aço inoxidável AISI 316 em vidros do tipo float de composição silício-sodo-cálcicos, a fim de fabricar janelas inteligentes, que impedissem a entrada de radiação, mas mante-se a visibilidade. Foram utilizadas diferentes variáveis no processo de deposição variando a potência fornecida ao reator, o tempo de deposição e pressão de vácuo. Em todas as amostras foi possível a deposição de filmes sendo que a maior deposição foi na utilização de menor pressão. A análise do processo foi realizada de forma simples, através da medição de temperatura do interior de uma câmara fechada, protegida pelos vidros e sofrendo radiação direta de uma fonte de luz. Na análise foi constatado que os vidros que melhor protegem a câmara do aumento de temperatura são aqueles confeccionados em maior potência e menor pressão e que o aumento do tempo de deposição influencia na visibilidade através das amostras, parâmetro medido simplesmente a olho nu.

Palavras-chave: Plasma, Filmes, AISI 316, Janelas inteligentes.

INTRODUÇÃO

Há tempos, a busca por novas fontes de economia de energia elétrica tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores. O conforto térmico é um fator que implica grande gasto de energia. Em países equatoriais o gasto de energia com climatizadores e ar-condicionado chega a valores altíssimos. Conforme pesquisa realizada pela concessionária *light*, que administra o fornecimento de eletricidade em

31 municípios do estado do Rio de Janeiro, o ar-condicionado pode aumentar em 166% o gasto de energia nos domicílios nos próximos anos⁽³⁾.

Uma tecnologia recente que possibilita a economia com ar-condicionado e climatizadores é a janela inteligente. Essa impossibilita a passagem de raios infravermelhos como forma de calor e mantém a visibilidade do lado interior, permitindo assim um clima agradável dentro do ambiente. Existem várias formas de confecção de janelas inteligente, entre elas: termotrópica, fotocrômica, eletrocromica, hidretos refletivos, entre outras. No entanto, a pesquisa para avanços nas confecções de janelas ainda se mostra relevante na comunidade científica. Um exemplo é a confecção de janelas através de deposições de filmes por plasma.

No começo dos anos 30, estudos a respeito de descarga em gases, que mais tarde ficou conhecido como plasmas, possibilitaram uma nova forma para modificações de superfícies. A tecnologia de deposições de filmes por plasma em materiais sólidos é referência no meio acadêmico⁽²⁾. Para um substrato sólido, a deposição de filmes de um material condutor pode gerar diversas propriedades no material⁽⁵⁾.

O plasma pode ser definido como um volume de material onde átomos, íons positivos, íons negativos e moléculas excitadas interagem entre si ou com elétrons livres. Também pode ser entendido como “descarga elétrica”, “descarga gasosa” ou “descarga luminescente”⁽¹⁾.

Grau de ionização é um parâmetro que define as características do plasma, é o fator de espécies neutras que se tornam íons quando o gás é ativado. Quando a proporção de cerca de uma partícula ionizada entre um milhão de neutras é atingida, o plasma é chamado de plasma a frio⁽⁴⁾. Este é o plasma usado em laboratório no campo de pesquisas científicas como deposição de filmes.

O atrelamento de janelas inteligentes confeccionadas por plasma, já vem sendo feito na atualidade de diversas formas, por motivos econômicos e de simplicidade do processo. Já se tem conclusões da viabilidade com uso de diversos sólidos como fonte para deposição de filmes, um exemplo deles é o titânio que consegue diminuir significativamente a passagem de raios pelas janelas⁽⁶⁾. Apesar disso, investigações de parâmetros de processo na deposição de filmes e outros materiais para confecções de janelas por plasma vêm sendo estudados.

Nesse contexto, a dinâmica de parâmetros do uso do plasma para a melhor confecção de janelas através de outro material para deposição torna-se fundamental.

METODOLOGIA

Preparação da amostra

As amostras para deposição foram vidros tipo float de composição silício-sodo-cálcicos com espessura de 3 mm, estes foram cortados em quadrados de 20 x 20 mm. As amostras foram limpas em banho de acetona e secas antes de serem acopladas ao reator.

Sistema de deposição por plasma

O equipamento consiste em uma câmara de vácuo (reator), bomba de vácuo mecânica, fonte de tensão, sistema de exaustão e periféricos. O sistema de plasma é constituído por um *magnetron sputtering* com um alvo de aço inoxidável AISI 316 com diâmetro exposto de 48 mm.

A câmara de deposição consiste em um reator tubular de aço inoxidável, vedado por uma borracha na sua base. A parte inferior do reator conta com conexões de entrada para mangueira da bomba de vácuo, sensor de pressão, e ligação com a fonte de tensão. O porta amostra consiste em um disco de aço inoxidável que fica sobre o alvo.

Para ativação do plasma e alimentação elétrica do sistema, foi utilizada uma fonte rádio frequência com potência ajustável máxima de 300 W.

A bomba de vácuo ligada ao reator trata-se de uma bomba mecânica *Oerlikon* que consegue chegar a cerca de 10^{-3} mBar de pressão.

O gás de trabalho utilizado foi o atmosférico em baixa pressão. A figura 1 ilustra os equipamentos presentes no laboratório utilizado.



Figura 1: Equipamentos de deposição por plasma do CITED.

Condições de deposição utilizadas

Amostras de vidro foram recobertas por um material oriundo do alvo de aço inoxidável AISI 316 e elementos do plasma da atmosfera terrestre formando os possíveis compostos como nitretos e/ou óxidos de ferro, cobre e carbono.

As variáveis de todo o processo foram: potência elétrica fornecida ao plasma, tempo de deposição e pressão no ambiente de deposição. Foram utilizadas potências de 250 W e 200 W, os tempos de deposição foram 30, 45 e 60 minutos, e as pressões no ambiente de deposição foram 10^{-2} mBar e 10^{-1} mBar. As amostras foram caracterizadas por essas variáveis citadas e serão identificadas no trabalho da seguinte forma: A₁T60 significa: “A” a potência de 250 W, o índice 1 a pressão de 10^{-1} mBar e T60 o tempo de 60 minutos; B₂T45 significa: “B” a potência de 200 W, o índice 2 a pressão de 10^{-2} mBar e T45 o tempo de 45 minutos.

A tabela 1 apresenta detalhadamente as nomenclaturas e amostras que foram envolvidas no processo.

Tabela 1: Amostras envolvidas no trabalho.

Amostra	Potencia (Watts)	Tempo (minutos)	Pressão (mBar)
A ₂ T60	250	60	10^{-2}
A ₂ T45	250	45	10^{-2}
A ₂ T30	250	30	10^{-2}
Amostra	Potencia (Watts)	Tempo (minutos)	Pressão (mBar)

B ₂ T60	200	60	10 ⁻²
B ₂ T45	200	45	10 ⁻²
B ₂ T30	200	30	10 ⁻²
A ₁ T60	250	60	10 ⁻¹
A ₁ T45	250	45	10 ⁻¹
A ₁ T30	250	30	10 ⁻¹
B ₁ T60	200	60	10 ⁻¹
B ₁ T45	200	45	10 ⁻¹
B ₁ T30	200	30	10 ⁻¹

Análise de deposição

Para análise dos parâmetros de deposição foi observado à radiação luminosa que os vidros recobertos impediam a passagem. Para isso foi montado um instrumento simples para análise, o qual consiste de uma câmara com apenas uma entrada de luz onde foi acoplado à amostra. Logo, o método de análise ocorreu da seguinte forma: o vidro recoberto pelo filme ficou na superfície da câmara e através dele passou radiação emitida de uma fonte de luz de 60 W. O aumento de temperatura interna da câmara foi monitorado através de um termômetro acoplado à mesma. A figura 2 ilustra como foi a montagem do sistema.



Figura 2: Método de análise dos vidros.

A câmara usada no processo foi confeccionada com uso de poliestireno expandido, papel preto e fita adesiva isolante. Suas dimensões foram: 4 x 6 x 6 cm, sendo largura, comprimento e altura respectivamente. A espessura do poliestireno expandido usado foi de 1 cm. Logo suas dimensões internas foram 2 x 4 x 4 cm,

totalizando 32 cm³ de volume interno. A abertura superior para acoplar o vidro foi de 1,5 x 1,5 cm, fazendo com que o vidro acoplado se mantenha acima, já que este foi cortado com dimensões 2 x 2 cm. A figura 3 ilustra detalhes da câmara.



Figura 3: **(a)** Vista superior da câmara e **(b)** Vista isométrica da câmara.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aspecto visual dos filmes

O aspecto visual de cada filme depositado nas amostras é mostrado na figura 4.

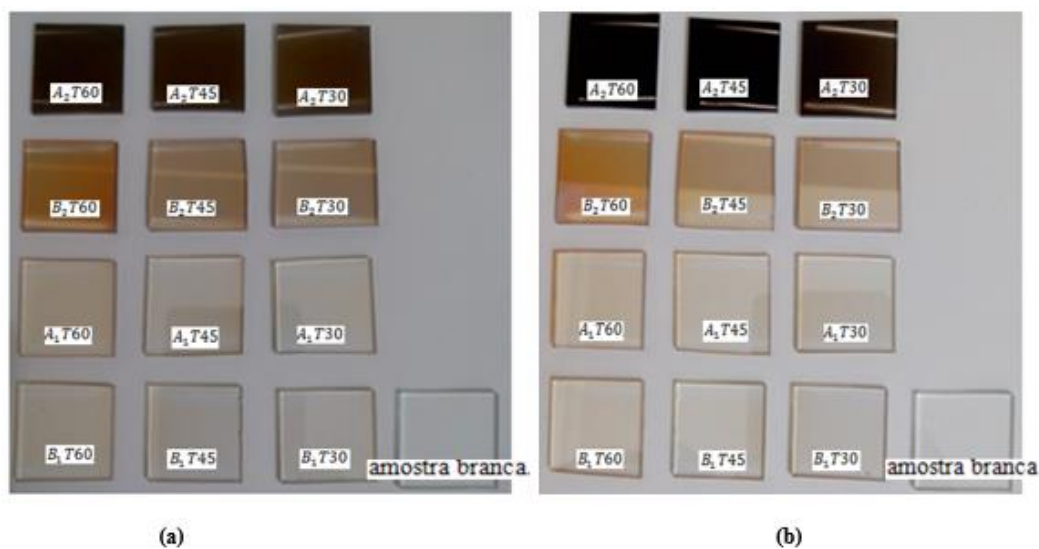


Figura 4: **(a)** Frente dos vidros com deposição de filmes finos por plasma e **(b)** Traseira dos vidros com deposição dos filmes finos por plasma.

As amostras A₂T60 e A₂T45 se tornaram espelhadas do lado da deposição e opacas do lado oposto, ou seja, não permitindo mais a visualização de ambos os lados através do vidro. A amostra A₂T30 se tornou espelhada do lado da deposição, contudo o lado oposto se manteve visível. Todas as outras amostras mantiveram a visibilidade de ambos os lados.

É possível notar pela fotografia que os parâmetros potência e pressão são os principais responsáveis pela deposição, quando em maior potência e menor pressão a deposição se mostra mais rápida. O que ocorre é que na deposição alimentada por maior potência elétrica, os íons se deslocam mais rapidamente até o alvo, devido ao campo elétrico gerado. Aliado a isso, a menor pressão implica em maior liberdade dos íons em acelerar sem colidir com outras partículas do ambiente, promovendo maior energia cinética antes de se chocarem com o alvo, obtendo assim energia suficiente para arrancar os átomos da sua rede cristalina. De outro modo, em maiores pressões os íons atraídos para o alvo se chocam com outras partículas da atmosfera no caminho e trocam momento linear, não permitindo que os íons cheguem ao alvo com energia suficiente para arrancar os átomos do aço. No entanto, essa discussão não garante que o filme mais espesso ou crescido mais rapidamente é aquele que atende ao objetivo de bloquear uma radiação eletromagnética específica, como a infravermelha que é associada ao calor, pois é necessário um estudo mais detalhado do processo com outros tipos de análises, como por exemplo, investigar a uniformidade do filme formado.

Aumento da temperatura da câmara protegida pelos vidros com deposição de filmes finos por plasma

Para comparação experimental realizou-se o ensaio em uma amostra branca, ou seja, sem qualquer deposição. A figura 5 apresenta seu resultado.

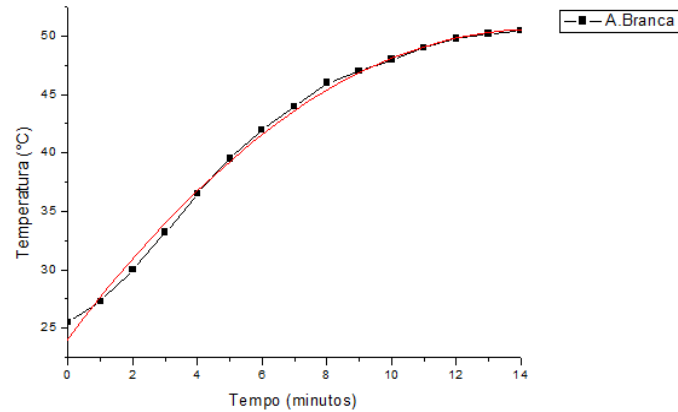


Figura 5: Monitoramento da temperatura versus tempo da amostra branca.

As amostras A₂T60, A₂T45 e A₂T30 são mostradas na figura 6 juntamente com a amostra branca.

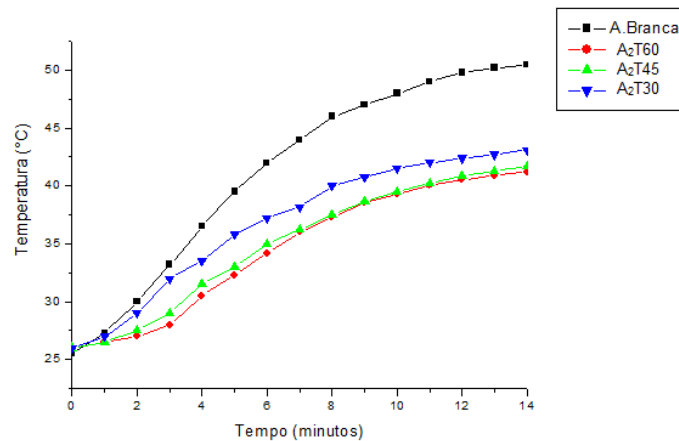


Figura 6: Monitoramento da temperatura versus tempo da amostra branca e das amostras A₂T60, A₂T45 e A₂T30.

É possível notar que o decréscimo de temperatura das amostras com filmes nessas condições de parâmetros é relevante em relação à amostra branca. A amostra A₂T60 se estabiliza em 14 minutos com 9,3°C a menos que a amostra branca. A amostra A₂T45 teve sua variação de temperatura parecida com a amostra A₂T60 e se estabiliza em 14 minutos com 8,8°C a menos que a amostra branca. A amostra A₂T30 se estabiliza em 14 minutos com 7,4°C a menos que a amostra branca, ou seja, retendo menos radiação do que as amostras anteriormente mostradas, contudo desse bloco de três amostras a A₂T30 é a única com visibilidade do lado oposto a deposição.

As amostras B₂T60, B₂T45, B₂T30, A₁T60, A₁T45, A₁T30 e B₁T60, B₁T45, B₁T30 são mostradas na figura 7.

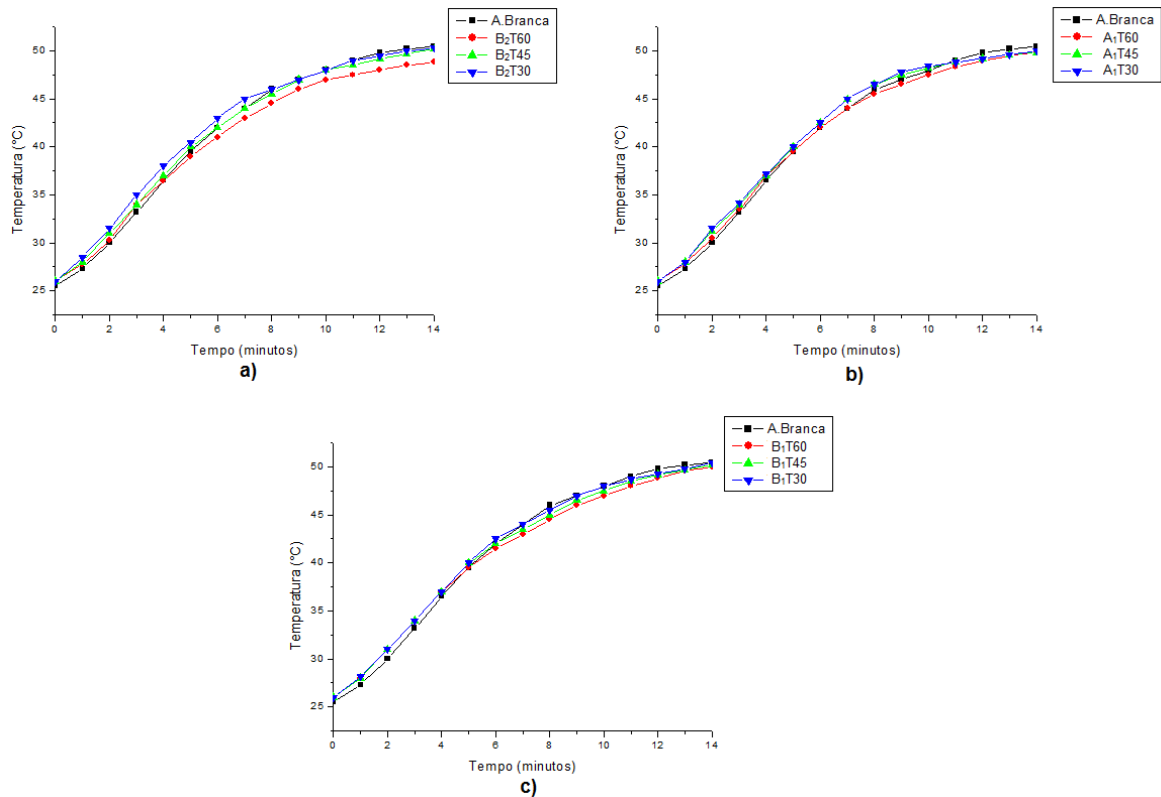


Figura 7: a) Monitoramento da temperatura versus tempo da amostra branca e das amostras B₂T60, B₂T45 e B₂T30 b) Monitoramento da temperatura versus tempo da amostra branca e das amostras A₁T60, A₁T45 e A₁T30 c) Monitoramento da temperatura versus tempo da amostra branca e das amostras B₁T60, B₁T45 e B₁T30.

As amostras apresentadas na figura 7, nos momentos iniciais, possuíram uma temperatura levemente maior que a amostra branca. A hipótese é que seja devido a uma espécie de efeito estufa que acontece durante o aquecimento da amostra, provavelmente, a radiação que passa pela amostra não consegue voltar facilmente da câmara e se dissipar, por esse motivo, a temperatura tem um leve aumento. Após esse momento inicial a temperatura da câmara volta a baixar, fazendo com que todas as amostras mostradas na figura 7 estabilizem a câmara ao final dos 14 minutos pouco abaixo da amostra branca.

Discussão geral acerca dos resultados obtidos

A diferença de potência para deposição não exerce uma influência tão grande comparado à pressão que garante maior valor de livre caminho médio e,

consequentemente, maior taxa de deposição, já que maior quantidade de espécies chega ao alvo e arranca mais átomos para se depositar na amostra promovendo maior crescimento do filme.

Para os casos estudado, o tempo de deposição foi um fator relevante. Em tempos maiores há um aumento da taxa de deposição em consequência da maior probabilidade de as espécies presentes no plasma atingirem a superfície da amostra.

CONCLUSÃO

Foi possível realizar deposição de filmes por plasma em todas as amostras apenas com a utilização da atmosfera, sem a necessidade de um gás puro dentro do reator. Além disso, notou-se que a pressão foi o principal parâmetro de processo sendo responsável pela maior diferença no recobrimento do vidro.

Por mais que a análise de visibilidade dos vidros e de aquecimento da câmara tenha sido feita de forma simples, foi possível obter o resultado de que a amostra A₂T30, para as condições empregadas nesse trabalho, mostrou-se como relevante para confecção de janelas inteligentes, já que essa manteve a visibilidade e teve um resultado final de temperatura da câmara fechada de 43,1°C contra 50,5°C da amostra branca.

REFERÊNCIAS

1. ALVES JR., C. *Nitreção a plasma: fundamentos e aplicações*. 1. ed. Natal: EDUFRN. 2001. 109 p.
2. BARBOSA, J. C. P. *Diagnóstico das espécies ativas do plasma usado em tratamentos termoquímicos do titânio*. 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
3. BONSOR, K. *Janelas inteligentes: uma tecnologia em desenvolvimento que apresenta resultados positivos*. Disponível em: <<http://www.gw3mn.com.br/site/index.php/revista-em-foco-n-36/360-janelas-inteligentes-uma-tecnologia-em-desenvolvimento-que-apresenta-resultados-positivos>> Acessado em: 12 nov. 2013.

4. DAUDT, N. F. *Influência nos parâmetros de processo na deposição de nitreto de titânio por plasma em gaiola catódica*. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
5. FEIL, A. F. *Deposição e caracterização de filmes finos de TiO₂ formados por DC magnetron sputtering reativo: transição estrutural*. 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2006.
6. MEREU, C. *Pesquisadores desenvolvem janelas que prometem diminuir o uso de eletricidade com ar-condicionado e aquecedores*. Disponível em: <<http://revista.fapemig.br/materia.php?id=539>> Acessado em: 3 nov. 2013.

ANALYSIS OF RADIATION HEATING IN CLOSED ENVIRONMENT PROTECTED BY GLASS WITH DEPOSITED FILM FOR PLASMA

ABSTRACT

AISI 316 stainless steel films were deposited on float glass type silicon-sodo-calcic composition, in order to manufacture smart windows, which would prevent the radiation input, but they kept the visibility. They used different variables in the deposition process by varying the power supplied to the reactor, deposition time and vacuum pressure. In all samples it was possible deposition of films with the greater deposition was the use of lower pressure. The analysis process was carried out simply by measuring the temperature inside a closed chamber protected by glass and suffering direct radiation from a light source. On analysis it was found that glasses better protect the temperature increase of the chamber are those made of higher power and lower pressure and that increasing the deposition time influences on the visibility through the samples, a parameter measured simply by the naked eye.

Key-words: Plasma, Films, AISI 316, Smart windows