

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Efeito da selagem hidrotérmica com adição de íons Ce (III) na proteção à corrosão da liga de alumínio AA7475-T761 anodizada em banho ácido tartárico-sulfúrico**

Thallis L. Almeida<sup>a</sup>, Fernanda M. Queiroz<sup>b</sup>, Maysa Terada<sup>c</sup>, Isolda Costa<sup>d</sup>, Vera R. Capelossi<sup>e</sup>

### ***Abstract***

The aluminum alloys of series 7XXX have excellent mechanical properties combined with low density and are often used in the aeronautic industry. However, their susceptibility to localized corrosion requires the use of protective coatings to ensure their long-term life. In the aircraft industry, the anodization process is an effective corrosion control method. Besides, the anodized layer sealing treatment of parts that are not used with coatings, provide further protection. However, both processes, anodization and sealing, generally employ baths containing Cr (VI) ions. These are highly toxic to the environment and carcinogenic. In this work, the AA7475-T761 alloy was anodized in a solution of tartaric-sulfuric acid (TSA) and then the anodic layer was hydrothermally sealed in aqueous solutions, either with or without the addition of Ce (III) ions. The effect of sealing time on the corrosion protection of the anodic layer was investigated for periods of sealing corresponding to 2.5 min, 5 min, 7.5 min and 10 min. The corrosion resistance of the anodized alloy samples was evaluated by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) as a function of exposure time to a sodium chloride electrolyte. Higher impedances were associated with anodic layers hydrothermally sealed for 7.5 min and 10 min in Ce (III) ions containing solution. Surface observation was carried out by scanning electron microscopy (SEM) and the results indicated that hydrothermal treatments in solution with Ce (III) ions leads to anodic layers with decreased porosity.

**Keywords:** aluminum alloys, anodizing, TSA, hydrothermal sealing, Ce (III).

### **Resumo**

As ligas de alumínio da série 7XXX apresentam excelentes propriedades mecânicas aliadas à baixa densidade, sendo frequentemente utilizadas na indústria aeronáutica. Entretanto, a suscetibilidade à corrosão localizada exige o emprego de revestimentos protetores para assegurar sua vida útil em longo prazo. Na indústria aeronáutica, o processo de anodização destas ligas, assim como os tratamentos de selagem da camada anodizada, geralmente utilizam banhos contendo íons de Cr (VI), os quais são altamente tóxicos ao meio ambiente e carcinogênico. Neste trabalho, a liga de alumínio AA7475-T761 foi anodizada em solução

<sup>a</sup> Mestrando, Engenheiro de Produção e Sistemas – Universidade Estadual de Santa Cruz

<sup>b</sup> Doutora – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

<sup>c</sup> Doutora – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

<sup>d</sup> Doutora – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

<sup>e</sup> Doutora – Universidade Estadual de Santa Cruz

---

ácida tartárica-sulfúrica (TSA), então selada hidrotermicamente ou em água ou em solução aquosa com íons Ce (III) por 2,5 min, 5 min, 7,5 min e 10 min. A resistência à corrosão das amostras anodizadas foi avaliada por ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS). Os resultados mostraram que as maiores impedâncias foram associadas às amostras seladas hidrotermicamente durante 7,5 min e 10 min em solução contendo íons Ce (III). Quanto à superfície das amostras, a observação por microscopia eletrônica de varredura (SEM) sugere que o tratamento hidrotérmico em solução com íons Ce (III) proporciona uma camada superficial de menor porosidade.

**Palavras-chave:** ligas de alumínio, anodização, TSA, selagem hidrotérmica, Ce (III).

## Introdução

---

As ligas de alumínio são amplamente utilizadas em diversos setores da economia, sendo o segundo material metálico mais utilizado industrialmente, superado apenas pelo aço (1). Essas ligas, principalmente as das séries 2XXX e 7XXX, são frequentemente utilizadas na indústria aeronáutica devido à elevada resistência mecânica aliada a sua baixa densidade e facilidade de conformação e usinagem (2). Ligas da série 7XXX possuem em suas composições elementos ligantes que melhoram suas propriedades mecânicas, mas também provocam redução da resistência à corrosão devido à presença de intermetálicos em sua microestrutura (1),(3).

Diante da possibilidade de ocorrência de ataque corrosivo nestas ligas é necessário o emprego de revestimentos para a sua proteção em longo prazo. Na indústria aeronáutica, geralmente, as partes fabricadas com ligas de alumínio passam por processo de anodização a fim de se estender a vida útil do material (2). Banhos contendo íons Cr (VI) são os eletrólitos mais utilizados pelas indústrias no processo de anodização. As camadas obtidas nestes banhos apresentam excelente resistência à corrosão (5)(6). Porém, por ser carcinogênico e altamente tóxico ao meio ambiente e ao ser humano, o cromo hexavalente tem sofrido limitações e proibições quanto a seu uso (4)(7).

Peças anodizadas que são destinadas a uso sem revestimento orgânico necessitam de um proteção adicional, o que é feito através de um pós-tratamento de selagem dos poros, com a intenção de vedar ou diminuir a porosidade da camada externa do óxido e dificultar o acesso do meio corrosivo ao substrato metálico (liga). Em algumas indústrias aeronáuticas, as ligas de alumínio anodizadas passam por um processo de selagem em meios geralmente com dicromato de potássio composto mais utilizado nas soluções de selagem.

Diante das necessidades de substituição deste composto por outros mais amigos do ambiente, foi objetivo deste estudo propor um novo tratamento de selagem compatível com o meio ambiente para a proteção da liga de alumínio da série 7XXX, especificamente a AA7475-T761, utilizada na indústria aeronáutica. O objetivo é encontrar um substituto potencial para os tratamentos de selagem que empregam íons Cr (VI).

## Metodologia

---

Amostras da liga AA7475-T761 foram cortadas com dimensões de 5,0 cm x 7,0 cm, utilizando-se uma guilhotina mecânica e, posteriormente, foram submetidas a preparação da superfície (pré-tratamento), anodização (tratamento) e selagem (pós tratamento). Após todas estas etapas, a resistência a corrosão da liga anodizada foi avaliado por ensaios eletroquímicos.

## Preparação da superfície

Inicialmente foi realizado um processo de limpeza, no qual as amostras foram imersas em acetona em ultrassom durante 10 min, lavadas em água DI (deionizada) e, em seguida, a desengraxadas em solução de TURCO 4215 NCLT por 10 min a uma temperatura de 50 °C para remoção de contaminantes, sendo finalmente enxaguadas com água DI. Em seguida, as amostras foram expostas a ataque alcalino em solução de hidróxido de sódio a 40 °C, e então enxaguadas com água DI. Após o enxágue, as amostras foram neutralizadas por imersão em solução ácida (livre de cromatos) de TURCO SMUTT-GO à temperatura ambiente, sendo novamente enxaguadas em água DI.

## Anodização

Após preparação da superfície, as amostras foram anodizadas por imersão em um banho de ácido tartárico-sulfúrico (TSA) à temperatura de 37 °C durante um período de 20 min. Para manutenção da temperatura do banho e agitação necessária, o processo aconteceu em um banho-maria. A anodização foi realizada utilizando-se uma fonte externa para aplicação de uma tensão constante de 14 V e densidade de corrente de 0,3 A/dm<sup>2</sup>. Um eletrodo de chumbo (5,0 cm x 7,0 cm) foi utilizado como catodo. Ao finalizar a anodização, as amostras passaram por enxágue em água DI e, imediatamente, foram expostas ao processo de selagem.

## Selagem

A selagem hidrotérmica foi realizada utilizando-se:

1. Apenas água (Sh) em ebulição.
2. Solução aquosa contendo íons Ce (III) (ShCe), em ebulição.

O processo de selagem por imersão em um dos meios acima indicados em ebulição foi realizado por vários períodos de tempo, especificamente 2,5 min, 5 min, 7,5 min e 10 min com o objetivo de investigar a influência do tempo de selagem na resistência à corrosão da camada anódica obtida.

## Ensaio de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)

A resistência à corrosão das amostras anodizadas e seladas foi avaliada por ensaio de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica foram realizados utilizando um potenciostato da marca *Solartron Analytical*, modelo *Electrochemical Interface* SI1287, conectado a um computador e controlado pelo software *CorrWare*. O aparato experimental consistiu de célula eletroquímica de três eletrodos, sendo um eletrodo de referência de Ag|AgCl|KCl<sub>sat</sub>, um contra eletrodo em espiral de titânio e revestido com ródio e o eletrodo de trabalho (amostra) com 3,73 cm<sup>2</sup> de área exposta. O eletrólito teste usado foi uma solução aquosa de NaCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> à temperatura ambiente.

Os diagramas de impedância foram obtidos na faixa de frequência de 100 KHz a 10 mHz, com taxa de aquisição de dados de 10 pontos por década, amplitude de perturbação de 20 mV a diferentes tempos de exposição à solução, especificamente, 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 168 h (1 semana).

---

## Resultados e discussão

---

### Espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS)

Os resultados de EIS serão apresentados na forma de diagramas de Bode. Foram observados ruídos em médias e baixas frequências estes foram atribuídos à formação de pites os quais contribuem para a descontinuidade do filme passivo óxido (9).

#### *AA7475-761 anodizada e selada hidrotermicamente (Sh)*

Os resultados eletroquímicos das amostras anodizadas e seladas em água em ebulição (Sh), foram obtidos durante 6 h de exposição à solução de NaCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup>. Após 6 horas de imersão foi observado que todas as amostras testadas apresentavam potenciais estáveis (10).

Nota-se no diagrama de ângulo de fase, Figura 4(a), apenas uma constante de tempo para a amostra selada hidrotermicamente por 2,5 min. Na amostra selada por 5 min pode-se perceber o surgimento de uma segunda constante, que estará bem evidente nas amostras seladas por períodos de 7,5 e 10 min. A constante de tempo em altas frequências refere-se à resposta da camada porosa, enquanto aquela em baixas frequências deve-se à camada barreira (2). A presença marcante das duas constantes de tempo comprova a selagem pelo menos parcial dos poros da camada externa, causando aumento da resistência dessa camada.

A selagem hidrotérmica acontece, majoritariamente, entre os 5 e 10 minutos de selagem. A camada de óxido mais externa, ou seja, a que está em contato com os poros, sofre conversão em boemita mais rapidamente do que a mais interna (11). Assim, pode-se comprovar que em 2,5 min, os poros ainda não estão realmente selados. Nas amostras expostas a selagem por 5 min, ocorre provavelmente apenas a precipitação e formação da pseudo-boemita, enquanto que para tempos superiores a 7,5 min de selagem, a boemita aparentemente já está parcialmente formada.

Nos diagramas de Bode de módulo de impedância, Figura 4(b), pode-se perceber o aumento da resistência à corrosão das amostras seladas durante 5 min, 7,5 min e 10 min em relação à amostra anodizada e não selada ou a selada por apenas 2,5 min. Esta última não apresentou aumento considerável de resistência. O aumento de impedância observado deve-se ao processo de formação da boemita que no decorrer do tempo vai preenchendo os poros da camada anodizada, dificultando a penetração do eletrólito e, portanto, o contato com o substrato metálico (12). Apesar da amostra selada por 10 min indicar, conforme diagrama (Figura 4), maior resistência da camada externa porosa, a resistência do sistema completo é equivalente ao da amostra selada por 7,5 min.

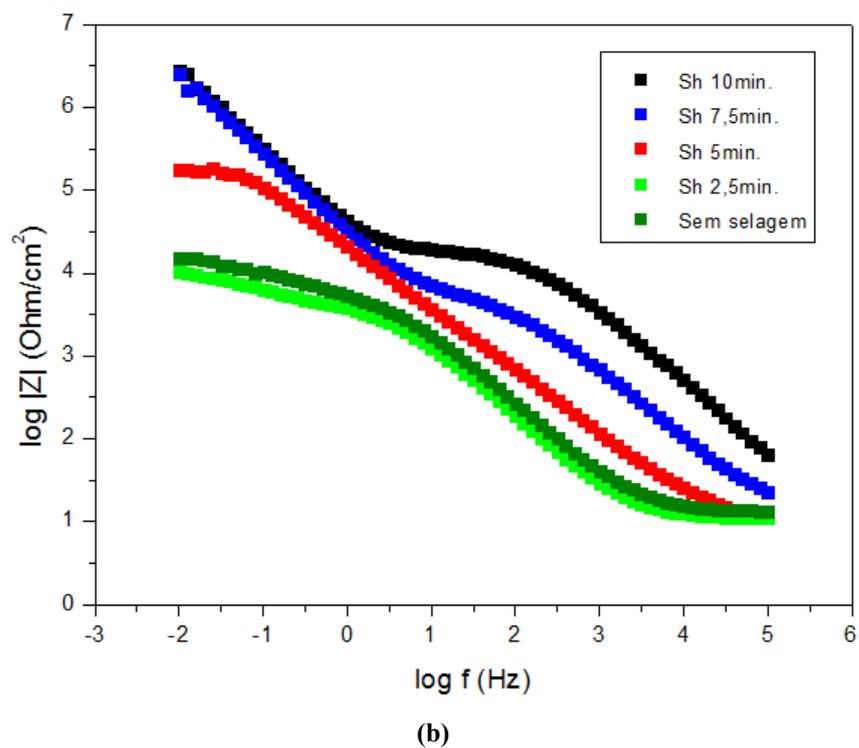
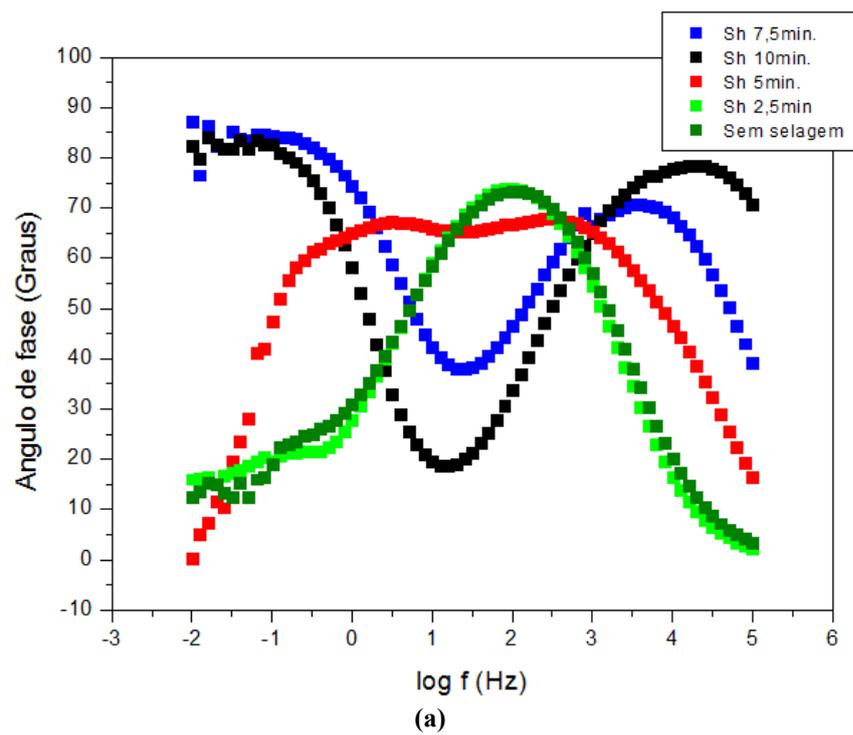


Figura 4: Diagramas de Bode (a) ângulo de fase e (b) módulo de impedância para a liga AA7475-761 anodizada não selada ou selada hidrotermicamente durante 2,5 min, 5 min, 7,5 min e 10 min.

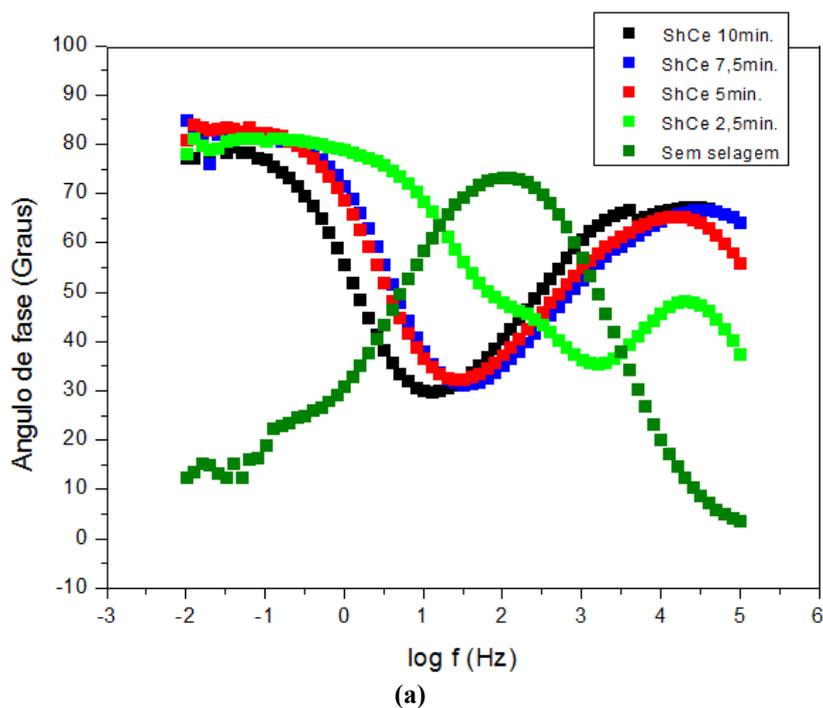
***AA7475-T761 anodizada e selada hidrotérmicamente em solução contendo íons Ce (III) (ShCe)***

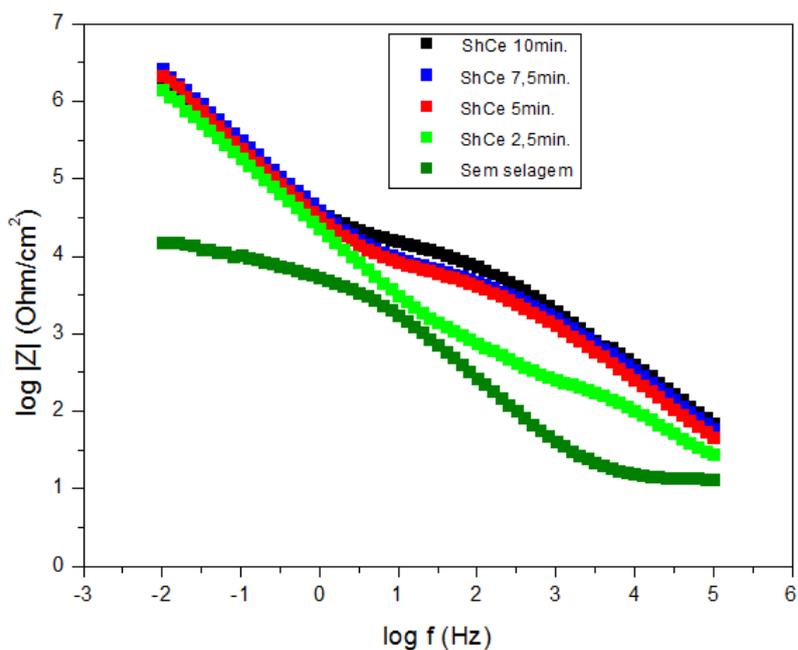
Os diagramas de Bode de ângulo de fase, Figura 5(a), permitem observar a presença de duas constantes de tempo em todas as condições de selagem em presença de íons Ce, indicando o efeito benéfico da adição destes íons. Tempos de selagem de 5, 7,5 e 10 minutos apresentaram impedâncias similares, enquanto que a selagem por 2,5 min resultou em uma camada porosa com características de proteção à corrosão inferior às das demais.

Nos diagramas de Bode de módulo de impedância, Figura 5(b), é evidente o aumento da impedância em aproximadamente duas ordens de grandeza, entre as quatro condições de selagem hidrotérmica em solução de Ce (III) e a amostra não selada. Isso se deve ao fato de que na selagem contendo íons Ce (III) observa-se a presença de uma mistura de óxido/hidróxido de cério nos poros da camada anódica com propriedades de barreira na camada anódica (13).

Os sais de Ce (III) causam a formação e precipitação de óxidos e/ou hidróxidos insolúveis sobre os sítios catódicos existentes na superfície do substrato metálico. Estes precipitados, por sua vez, têm efeito de obstrução, limitando o acesso do meio corrosivo à superfície e, conseqüentemente, diminui a taxa das reações de corrosão (14).

Nos diagramas de ângulo de fase de bode, Figura 5(a) nota-se que a amostra selada em solução com Ce (III) por 2,5 minutos apresenta comportamento bem diferente dos demais tempos de selagem, particularmente nas altas frequências. Estes resultados sugerem que a camada porosa não está bem selada e, então, menores ângulos de fase são observados nas altas frequências para este tipo de amostra. O aumento no tempo de selagem favorece a precipitação da pseudo-boemita, no interior da camada porosa, provocando a obstrução parcial dos poros, e dificultando a penetração do eletrólito. Estes fenômenos causam o aumento na resistência à corrosão da liga (15).





(b)

Figura 5: Diagramas de Bode a) ângulo de fase e b) módulo de impedância para a AA7475-761 anodizada e selada hidrotérmicamente em solução contendo íons Ce durante 2,5 min, 5 min, 7,5 min e 10 min, e amostra sem selagem.

### Melhores condições de Sh, ShCe

Dentre as amostras anodizadas, seladas e ensaiadas por 6 horas em solução de NaCl  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ , aquelas com tratamentos Sh 10 min e ShCe 10 min apresentaram as maiores impedâncias, sendo este último tipo de tratamento associado às maiores impedâncias entre todos os tratamentos testados. Os valores foram todos da ordem de  $\text{M}\Omega.\text{cm}^{-2}$ .

O circuito equivalente da Figura 6 foi proposto para ajuste dos resultados experimentais para a selagem por 10 minutos, em água.

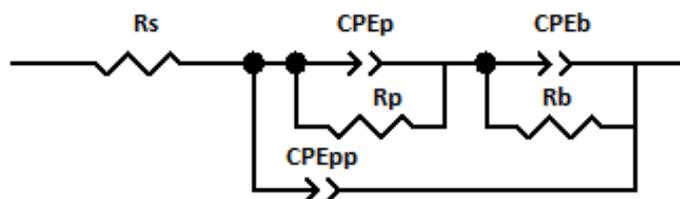


Figura 6 – Circuito equivalente proposto para ajuste dos resultados de EIS para a amostra anodizada e selada hidrotérmicamente em água por 10 min (Sh 10 min).

A resistência  $R_s$  representa a resistência do eletrólito à livre movimentação de íons. Dado o caráter não homogêneo das camadas formadas, foram utilizados elementos de fase constante (CPE) ao invés de capacitâncias puras (C) para simular os comportamentos capacitivos.

A camada porosa é caracterizada pela resistência  $R_p$  do eletrólito nos poros e a capacitância pelo elemento de fase constante,  $CPE_p$ . Esses elementos estão associados à dissolução e precipitação da alumina hidratada presente nas paredes dos poros, a qual passa para o interior desta camada durante o processo de autoselagem (2). A resistência  $R_b$  e o elemento  $CPE_b$  descrevem a camada barreira que é o principal responsável pela resistência à corrosão do sistema. Já o elemento  $CPE_{pp}$ , está relacionado com a evolução do processo corrosivo na parede do poro, sendo que os poro e possivelmente a parte superior da parede estão selados. Para as amostras seladas em solução contendo íons Ce (III) adotou-se modelo físico similar ao da Figura 6, porém a resposta capacitiva das paredes do poro foi representada por uma capacitância pura ( $C_p$ ).

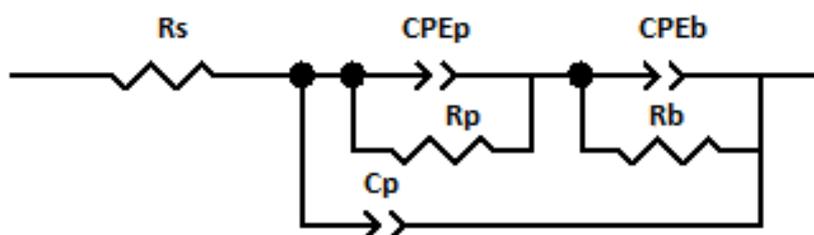
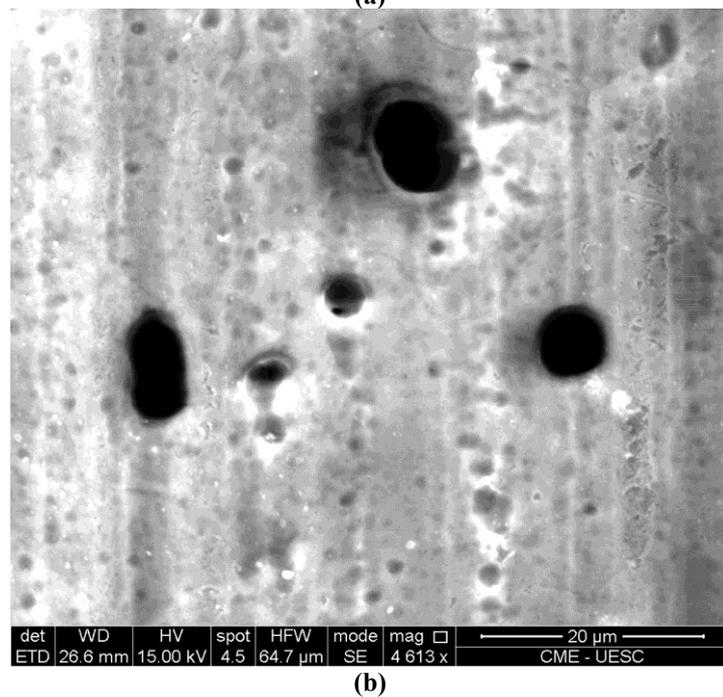
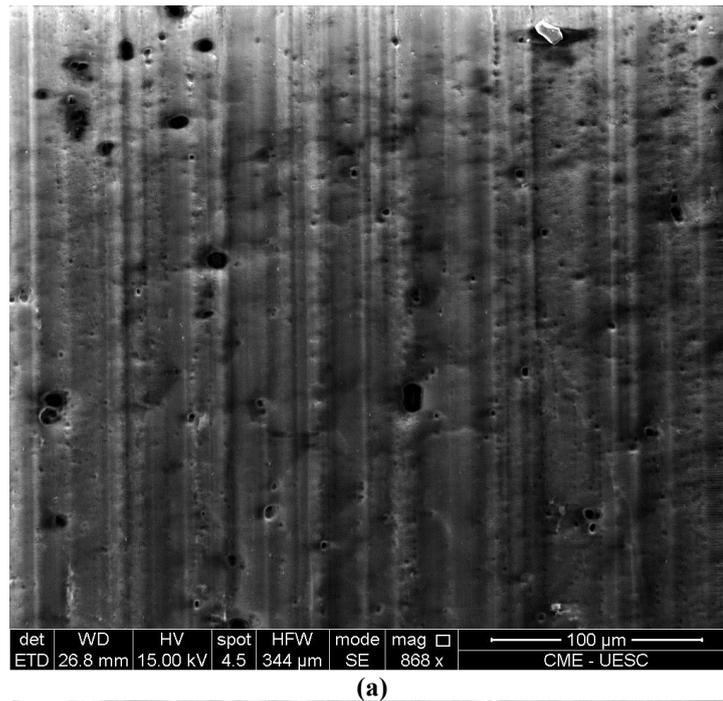


Figura 7 – Circuito equivalente utilizado para ajuste dos resultados experimentais de EIS da amostra anodizada e selada hidrotermicamente em ShCe por 10 min.

### Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

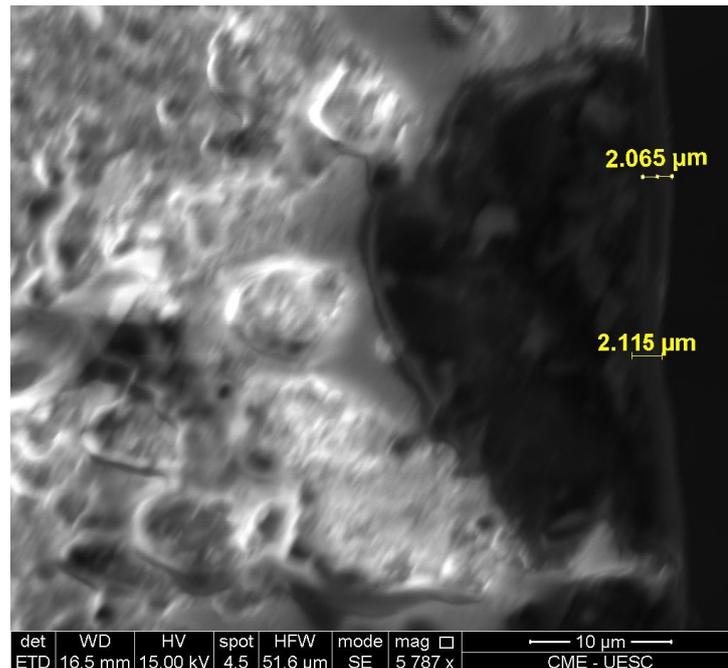
Quando a liga AA7475-T761 passa pelo processo de anodização tartárica-sulfúrica, na sua superfície ocorre a formação de uma camada de óxido porosa. Conforme se pode observar na Figura 8, os poros da camada anodizada formada em TSA não são bem definidos, possuem tamanhos irregulares e sua distribuição não é homogênea, o que pode ser provavelmente justificado pela característica do ácido sulfúrico em fazer crescer um filme anódico bastante heterogêneo [BOISIER et. al., 2008]. Em contrapartida, a presença do ácido tartárico no banho de anodização proporciona a formação, em grande parte da camada, de poros mais compactos, com diâmetros menores [BOISIER et. al., 2008; GOROKH et. al., 2006].

Eu sugiro tirar esta parte em verde. Para mim o que aparece como pites ou buracos na superfície da liga são causadas por corrosão, seja no processo de preparação da superfície (exposição a meios muito corrosivos) ou no processo de anodização (ídem). Veja que os buracos são muito grandes (ordem de 10 microns) e não acho que é assim na camada anodizada. Sugiro deixar apenas as fotos de secção transversal.



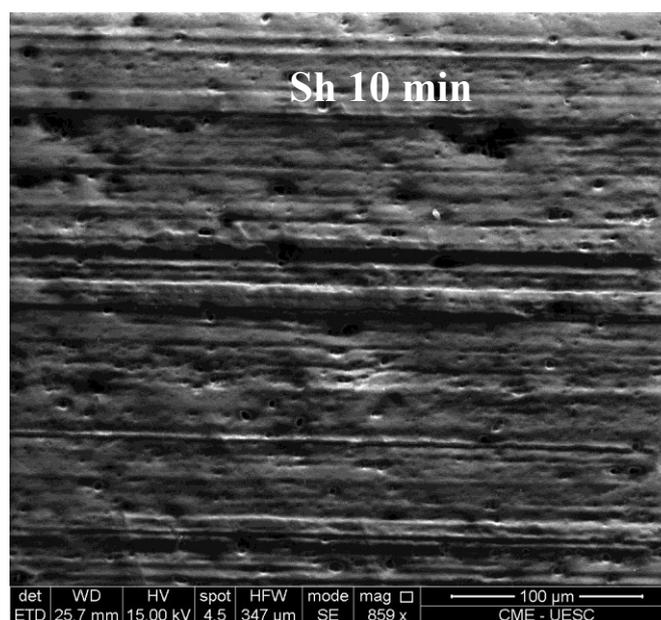
**Figura 8 – Micrografias de topo obtidas por MEV da superfície da amostra AA7475-T761 anodizada e sem selagem para um aumento de (a) 868 x e (b) 4613 x.**

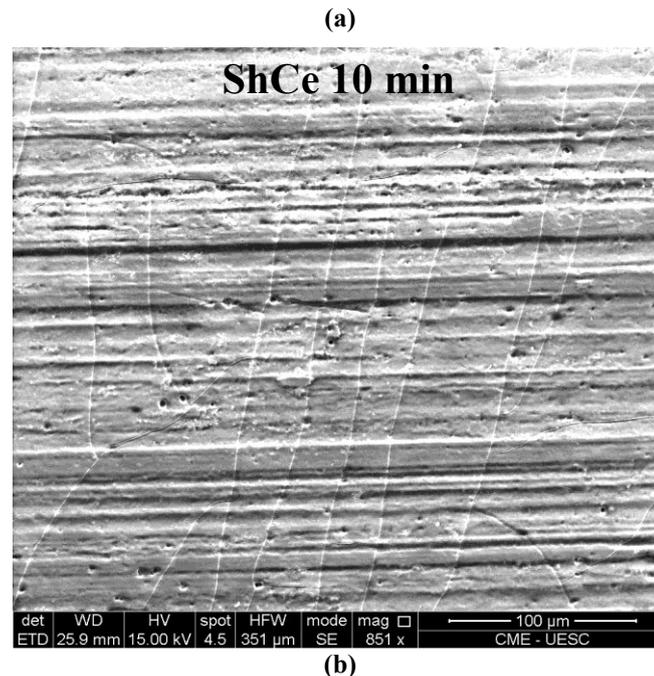
Ao analisar transversalmente uma superfície anodizada sem selagem (Figura 9), observa-se que a camada anodizada formada sobre a liga AA7475-T761 em TSA, caracteriza-se por ser uniforme e homogênea, e com uma espessura em torno de 2,0 μm.



**Figura 9 – Micrografia obtida por MEV da seção transversal da amostra AA7475-T761 anodizada em solução sulfúrico-tartárica e sem selagem.**

Quando a liga AA7475-T761 anodizada é selada em Sh 10 min ou em ShCe 10 min percebe-se uma vedação parcial dos poros e a existência ainda de uma superfície porosa, conforme apresentado nas micrografias (Figura 10). Analisando a figura, observa-se que cada processo de selagem confere características diferentes à superfície das amostras, estando de acordo com os diagramas de impedância onde a maior resistência é devida a selagem dos poros. Assim, nota-se que existe uma maior porosidade na camada selada hidrotérmicamente em apenas água, Figura 10(a), e uma superfície menos porosa para a amostra selada hidrotérmicamente em solução contendo íons Cério (III), Figura 10(b).





**Figura 10 – Micrografias de topo obtidas por MEV de amostras da liga AA7475-T761 anodizadas e seladas em (a) Sh 10min (b) ShCe 10min.**

O que se observa quando se compara as duas micrografias da Figura 10 é a formação de produtos de corrosão alinhados ao longo direções preferenciais, o que pode ter ocorrido devido ao tipo de tratamento térmico utilizado na liga e a localização preferencial de sítios anódicos em regiões com maior tensão superficial.

## Conclusões

Pode-se concluir a partir dos resultados obtidos, que a resistência à corrosão da liga AA7475-T761 anodizada em ácido tartárico-sulfúrico (TSA) aumente representativamente durante a selagem hidrotérmica em água em ebulição. A exceção é o tempo curto de selagem, especificamente Sh 2,5 min. Este tempo se mostrou também muito curto para a selagem em solução contendo íons Ce (III). Os resultados eletroquímicos (EIS) permitiram identificar as melhores condições de tratamento de selagem, destacando-se os seguintes:

- Selagem hidrotérmica em água durante 7,5 min ou 10 min.
- Selagem hidrotérmica em solução com íons Ce (III) para os tempos de 5, 7,5 e 10 min.

A selagem em solução contendo íons Ce (III) resultou em maiores resistências à corrosão em relação selagem em água para todos os tempos de selagem.

A camada de óxido obtida por anodização em ácido tartárico-sulfúrico nas condições adotadas neste estudo resulta em uma espessura de cerca de 2,0 µm. Esta se apresenta homoganeamente distribuída sobre a liga. Assim, pelo fato de proporcionar um ganho significativo em resistência ao processo corrosivo, a anodização em banho ácido tartárico-sulfúrico seguida pela selagem hidrotérmica em solução contendo íons Ce (III), mostra-se alternativa promissora e ambientalmente amigável para a substituição da selagem crômica, desta forma, possibilitando a eliminação total do cromo do processo de revestimento de conversão sobre a liga AA7475-T761.

---

## Agradecimentos

---

Os autores agradecem ao Programa de Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais – UESC, ao Centro de Microscopia Eletrônica – UESC pela caracterização da superfície, ao Laboratório de Materiais e Meio Ambiente – UESC e ao Laboratório de Eletroquímica e Revestimentos Protetores – IPEN, pela realização da parte experimental deste trabalho, e ao LNNano pelo uso de microscopia eletrônica. O autor Thallis L. Almeida agradece à Fapesb pela bolsa concedida,

---

## Referências bibliográficas

---

- (1) DEJUN, K.; JINCHUN, W. Salt spray corrosion and electrochemical corrosion properties of anodic oxide film on 7475 aluminum alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 632, p. 286–290, 2015.
- (2) CAPELOSSI, V. R.; POELMANC, M.; RECLOUXA, I.; HERNANDEZ, R. P. B.; MELO, H. G. de.; OLIVIERA, M. G. Corrosion protection of clad 2024 aluminum alloy anodized in tartaric-sulfuric acid bath and protected with hybrid sol-gel coating. *Electrochimica Acta*, v. 124, pg.69–79, 2014.
- (3) FERRARI, J.V. Estudo da corrosão localizada da liga de alumínio 7475-T761 por espectroscopia de impedância eletroquímica global e local em meio de sulfato de sódio. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola politécnica, USP, São Paulo, 2011.
- (4) MOUTARLIER, V.; GIGANDET, M.P.; NORMAND, B.; PAGETTI, J. EIS characterisation of anodic films formed on 2024 aluminium alloy, in sulphuric acid containing molybdate or permanganate species. *Corrosion Science*, v. 47, p. 937-951, 2005.
- (5) BOISIER, G.; PÉBÈRE, N.; DRUEZ, C.; VILLATTE, M.; SUEL, S. FESEM and EIS Study of Sealed AA2024 T3 Anodized in Sulfuric Acid Electrolytes: Influence of Tartaric Acid. *Journal of The Electrochemical Society*, v.155, p.C521-C529, 2008.
- (6) REIS, F.M.; DE MELO, H.G.; COSTA, I. EIS investigation on Al 5052 alloy surface preparation for self-assembling monolayer. *Electrochimica Acta*, v. 51, p. 1780-1788, 2006.
- (7) SUEGAMA, P.H.; DE MELO, H.G.; BENEDETTI, A.V.; AOKI, I.V. Influence of cerium (IV) ions on the mechanism of organosilane polymerization and on the improvement of its barrier properties. *Electrochimica Acta*, v. 54, p. 2655-2662, 2009.
- (8) ZHAO, X.; ZUO, Y.; ZHAO, J.; XIONG, J.; TANG, Y. A study on the self-sealing process of anodic films on aluminum by EIS. *Surface & Coatings Technology*, v. 200, p. 6846-6853, 2006.
- (9) SZKLARSKA-SMIALOWSKA, Z. Pitting corrosion of aluminium. *Corrosion Science*, v. 41, p. 1743-1767, 1999.
- (10) CODARO, E.N. Estudo da corrosão em ligas de alumínio utilizadas na indústria aeronáutica. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Engenharia, UNESP, Guaratinguetá, 2006.
- (11) MENEGHESSO, A.A.; GRACCIOLLI, J.I. Noções básicas sobre processo de anodização do alumínio e suas ligas – parte 9. C & P, p. 29-31, 2008.
- (12) LEE, W.; PARK, S. -J. Porous Anodic Aluminum Oxide: Anodization and Templated Synthesis of Functional Nanostructures. *Chemical Reviews*, v. 114, p.7487–7556, 2014.
- (13) PROVAZI, K. A influência do ferro e do óxido de cério sobre a condutividade elétrica e resistência à corrosão do alumínio anodizado. Dissertação (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Materiais) – IPEN, São Paulo, 2006.

- (14) SCIENZA, L.C.; BOSSARDI, K. Inibição da corrosão da liga de alumínio 3003 com sulfato de cério IV. 6ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos e 22º Congresso Brasileiro de Corrosão, 2002.
- (15) CAPELOSSI, V. R.; KURUSU, V.I.; SANTOS, W. I. A.; TERADA, M.; COSTA, I. Estudo da proteção contra corrosão da liga aa2024-t3 por tratamentos hidrotérmicos em soluções com íons ce (iii) ou polietileno glicol, EBRATS, 2015.