



## MECÂNICA E METALÚRGICA

### **Guilherme Augusto Momberger Vittore**

Engenheiro Mecânico – Universidade Feevale, ICCT, endereço institucional (Rod. RS239, n.2755, Bairro Vila Nova), Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.

### **Sandra Raquel Kunst**

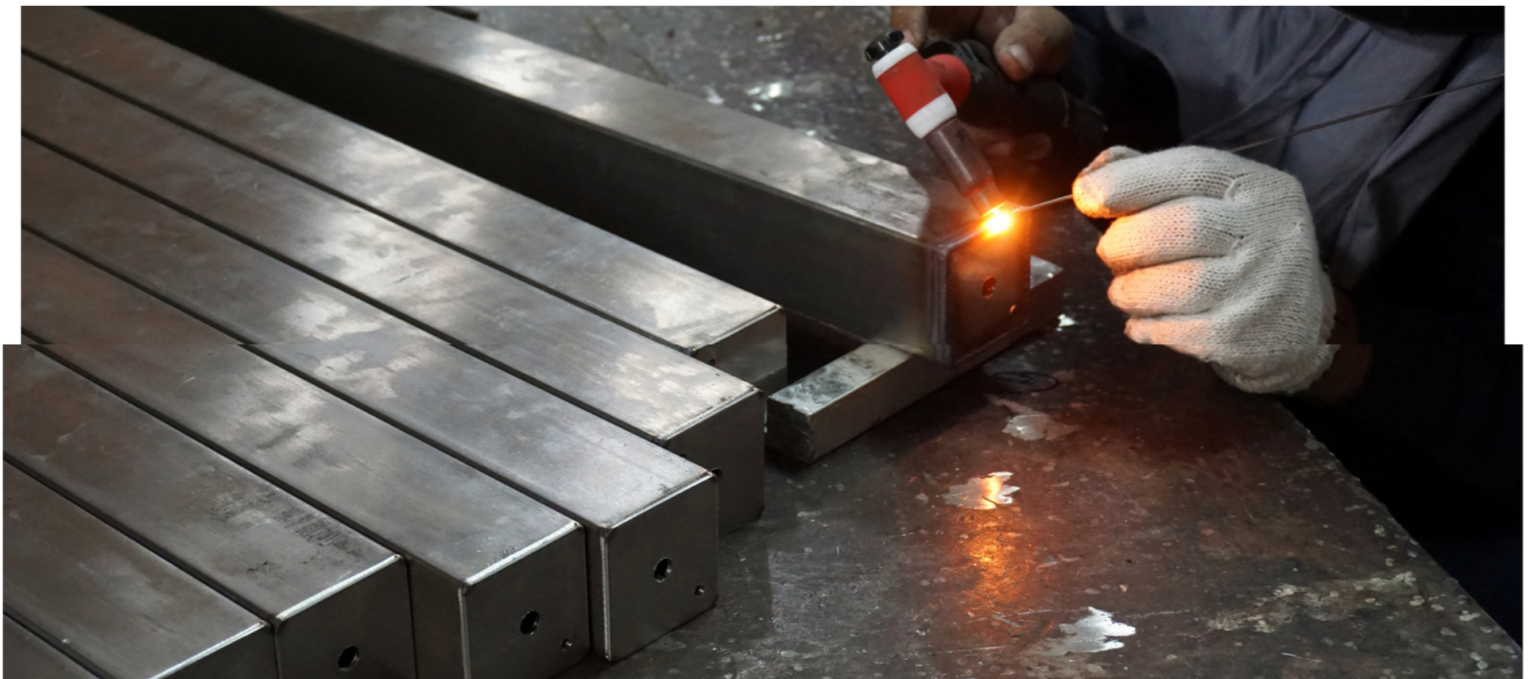
Doutora em Engenharia – UFRGS. Projeto de Fixação de Recursos Humanos do CNPq – Nivel A (RHAЕ) – CNPq, Sapucaia do Sul – RS – Brasil.

### **Cláudia Trindade Oliveira**

Doutora em Engenharia – UFRGS. Professora na Universidade Feevale, ICCT, endereço institucional (Rod. RS239, n.2755, Bairro Vila Nova), Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil. CREA: RS104476

### **Luciane Taís Führ**

Doutora em Ciência e Tecnologia dos Materiais – Universidade Feevale. Professora na Universidade Feevale, ICCT, endereço institucional (Rod. RS239, n.2755, Bairro Vila Nova), Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil.



# ANODIZAÇÃO POROSA DE ALUMÍNIO COM INCORPORAÇÃO DE NANOCARGA DE PRATA PARA APLICAÇÕES ANTIMICROBIANAS



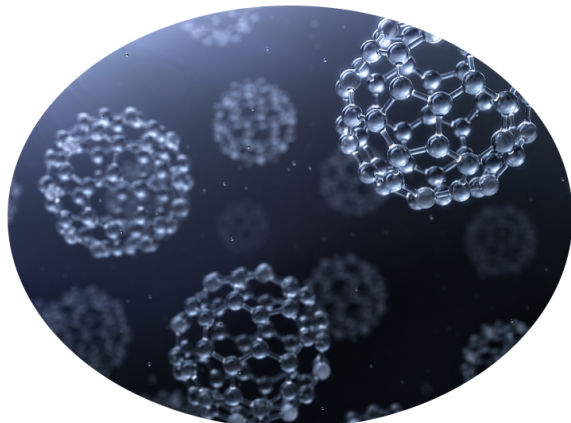
## INTRODUÇÃO

A pandemia global estabelecida pela Covid-19 mostrou uma nova preocupação com os revestimentos, pois há estudos de que este microrganismo pode sobreviver cerca de 72h sobre superfícies metálicas. Estas superfícies podem ser normalmente de objetos com alta incidência de contato coletivo como maçanetas, corrimãos, puxadores, etc.

Tais objetos metálicos podem ser produzidos em aço carbono, aço inoxidáveis e ligas de alumínio, dependendo do processo de fabricação e da relação custo benefício. O que se nota é que o alumínio é um dos materiais mais utilizados em função do seu fácil processamento e suas propriedades mecânicas, que agregam qualidade e durabilidade. Também oferece uma excepcional resistência a agentes externos, intempéries, raios ultravioletas, abrasão e riscos, proporcionando elevada durabilidade, inclusive quando usado na orla marítima e em ambientes agressivos (TNS COMPETENCE IN NANOTECHNOLOGY, 2017). Essas propriedades relacionadas à resistência e à corrosão podem ser potencializadas pela anodização.

A anodização é um processo de formação por um filme de óxido na superfície do metal por eletrólise e muito aceito e bem definido para produzir uma película decorativa e protetiva de alta qualidade nas ligas de alumínio, abrangendo um amplo espectro de aplicações (MENEHES, 2006). E com a adição de nanopartículas de prata que apresenta ação antimicrobiana (TANG; 2018), principalmente na forma de nanopartículas ou íons (KESHARI; 2020), causa a precipitação de proteínas e age diretamente na membrana citoplasmática da célula bacteriana, exercendo ação bactericida imediata e ação bacteriostática residual. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é identificar e avaliar um processo para incorporação de nanocarga de prata no óxido poroso de alumínio obtido por anodização e verificar suas características morfológicas.

**Palavras-chave:** Alumínio. Anodização. Nanocarga de prata.



## DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Experimental

### MATÉRIA DE CAPA



**E não é que a Engenharia "Inventa moda"?!**

### PALAVRA DA PRESIDENTE



**Bora Inovar sem esquecer de valorizar?**

### ENTREVISTA



**Engenheiro Mario William Esper, presidente da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).**

### ARTIGOS



**AGRONOMIA  
A Importância da Atuação do Engenheiro Agrônomo nas Indústrias de Alimentos**

[Ver mais >](#)

### INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS



**Projeto de chip para detecção do câncer de mama leva estudantes de Engenharia Elétrica para conferência nos EUA**

[Ver mais >](#)

### FISCALIZAÇÃO



**#PartiuFisca**

### POR DENTRO DAS ENTIDADES



**Espaço CDER/RS**

### NOTÍCIAS



**Noticias CREA-RS**



Para a realização das amostras foram utilizados corpos de prova de alumínio Liga 6061, com diâmetro de 20 mm e espessura de 5 mm. As amostras foram submetidas a uma preparação metalográfica através de uma sequência de lixas com granulometria de 400# a 4.000#, seguido de um polimento com pasta de diamante de cinco micrometros.

As amostras foram submetidas ao processo de anodização com solução de ácido oxálico 1 mol.L<sup>-1</sup>, à temperatura ambiente, com agitação de cerca de 50 rpm. As amostras foram anodizadas nos tempos de 15 e 30 min. Como parâmetros de anodização foram utilizados 10 V e 20 mA.cm<sup>-2</sup>. Foi utilizado cátodo inerte de platina. O processo de anodização foi definido baseado nos estudos de Choudhary et al. (2015).

No processo de incorporação das nano cargas de prata e selagem, foi usado o processo proposto por Pornnumpa (2019), utilizando solução de nitrato de prata 1 mM.L<sup>-1</sup>, reduzido in situ com solução de carbonato de sódio 1% p/V, em proporção de 3:1. A solução reduzida foi aquecida até 75 °C e foi introduzida a amostra anodizada. Manteve-se aquecimento por 30 minutos, em temperatura num intervalo de 75 °C a 85 °C. Após, a amostra foi retirada da solução, lavada em água corrente e seca com ar frio soprado. O processo foi realizado para cada amostra anodizada individualmente.

Para a caracterização morfológica utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo JEOL-JSM 6510CV com resolução de 129 eV.

Nos ensaios de molhabilidade usou-se a técnica do ângulo de contato pelo método da gota sésil com gotas de 8,3 µL de água da rede de abastecimento público, através de uma agulha de 0,4 mm, com vazão de 2 µL/s, em três regiões distintas de cada amostra. O equipamento utilizado foi um goniômetro modelo OCA 15EC, da marca LabControl.

A nomenclatura das amostras está descrita a seguir.

Controle: Corpo de prova lixado e polido.

AN15: Corpo de prova lixado e polido e anodizado por 15 minutos.

AN30: Corpo de prova lixado e polido e anodizado por 30 minutos.

AN15+AgNP: Corpo de prova lixado e polido, anodizado por 15 minutos com nano carga de prata.

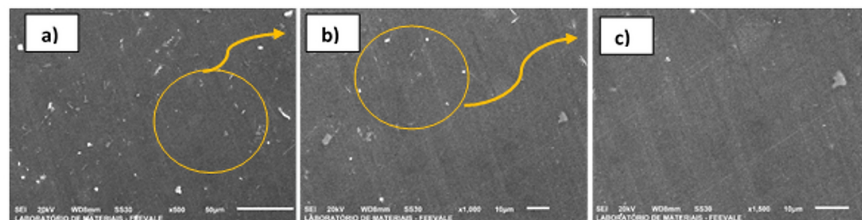
AN30+AgNP: Corpo de prova lixado e polido, anodizado por 30 minutos com nano carga de prata.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise morfológica obtida ao MEV

A Figura 1 mostra as micrografias das superfícies da amostra de alumínio utilizada para controle, após polimento metalográfico.

Figura 1. Micrografias da amostra controle com aumentos (a) 500x, (b) 1000x e (c) 1500x.



Na Figura 1, é possível verificar marcas longitudinais originadas pelo processo de polimento com utilização de lixas, assim como pontos brancos dispersos na superfície, que podem ser resíduos de pasta de diamante utilizada no processo de preparação (KUZNETSOV, 2019). Não se observam porosidades ou indícios da formação de óxidos ordenados induzidos ou nativos na superfície, característico de amostras de alumínio submetidas à preparação metalográfica.

Já nas amostras AN15 e AN30 na Figura 2, verifica-se a texturização da superfície com um aspecto semelhante ao surgimento de óxido; essa camada de óxido texturizada copia a superfície da amostra de forma que, na amostra AN15, ainda se percebe as marcas longitudinais oriundas do polimento, mostrando-se ainda pouco espessa. Na amostra AN30 as marcas de polimento não são mais notadas, graças ao espessamento do filme anódico devido ao maior tempo de anodização. Segundo Sulka e Sępniewski (2009), em condições de anodização próximas aquelas utilizadas no presente estudo, a taxa de crescimento do óxido de alumínio é de cerca de 7,9 mm.h<sup>-1</sup>; assim, estima-se que a amostra AN15 tenha uma espessura de AAO de aproximadamente 1,9 mm, enquanto que a espessura do óxido na amostra AN30 seja perto de 3,9 mm.

O filme gerado nas amostras AN15 e NA 30, porém, não é homogêneo: evidencia-se o surgimento de porosidades ao longo da superfície das amostras. Esses poros parecem ser oriundos da formação do óxido, evidenciando um rompimento localizado do dielétrico pela abertura de canais de descarga (em formato tanto circular quanto de ranhura) (SAH et al., 2011); Os poros têm em média 45 nm de diâmetro, sendo na sua maioria perfeitamente esféricos, e surgem de forma aleatória na superfície das amostras. Embora essas porosidades não sejam exatamente ordenadas, a amostra AN30 demonstra o que parece ser um indicio de organização de nanoporos; ou seja, o tempo de anodização parece contribuir tanto para o surgimento, quanto para o seu aumento a organização, como sugerido por vários autores (BOGATU; 2022).

RAIO X DAS INSPETORIAS



Foco nas Inspetorias

---

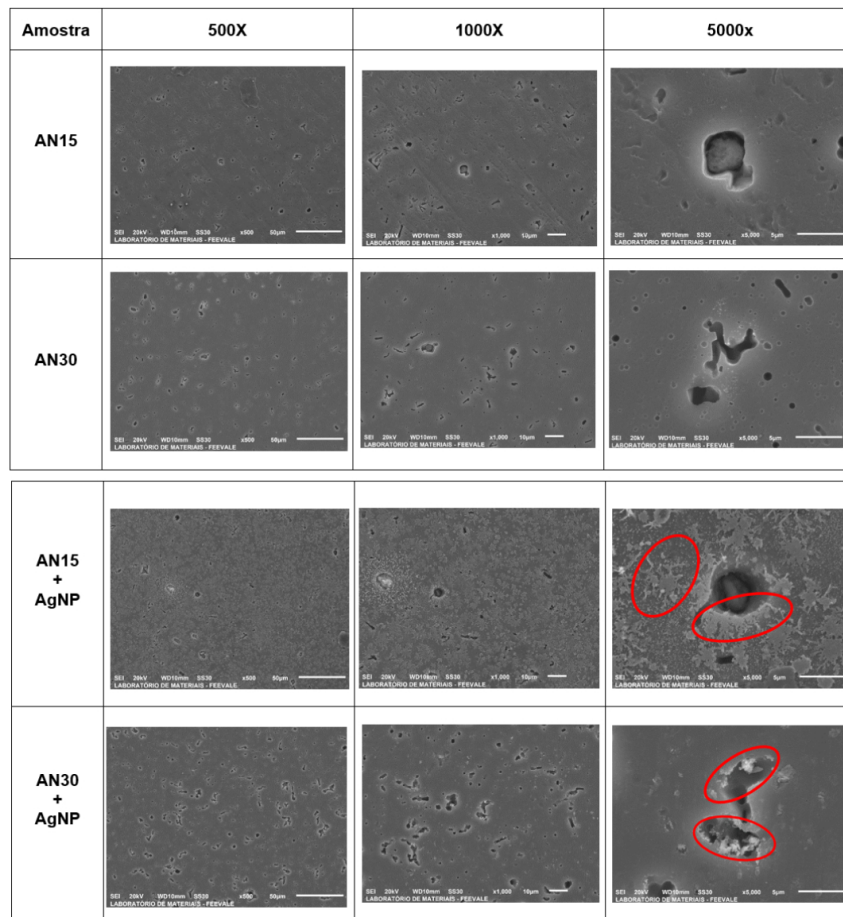


Livros e Sites

CAPA >

Verifica-se também que as amostras AN15+AgNP e AN30+AgNP apresentam diminuição da presença de poros, o que já era esperado, visto que, o processo de incorporação, de AgNP assemelha-se ao processo de colmatagem (selagem) - a hidratação do óxido aumenta seu volume, fazendo que o topo do poro "se feche" (WU, 2018). Áreas de tonalidade mais esbranquiçada, de aspecto levemente pulverulento, em torno das porosidades remanescentes e espalhadas pela superfície como um todo, remete à possível incorporação de prata, conforme Pornnumpa e Jariyaboon (2019). Nesta análise morfológica, verifica-se a viabilidade em obter-se óxido de alumínio anódico (AAO), poroso, através do processo de anodização.

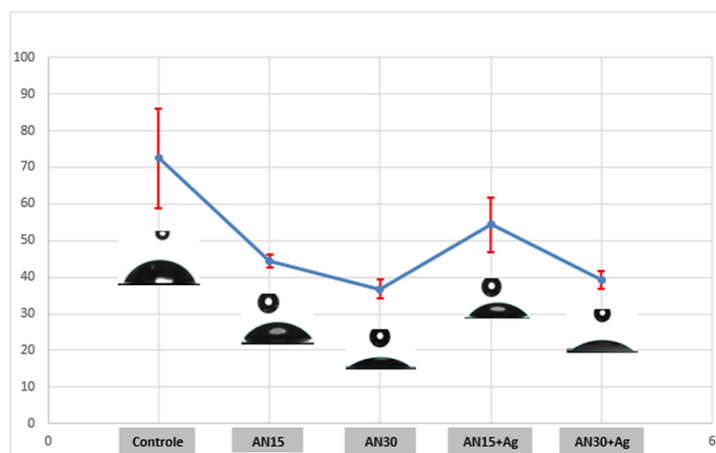
Figura 2. Morfologia da superfície das amostras anodizadas e incorporadas com AgNP.



## ANÁLISE DE MOLHABILIDADE

A Figura 3 compara o comportamento das amostras durante o ensaio de molhabilidade em relação a amostra de controle.

Figura 3. Média e desvio padrão dos ângulos de contato das amostras.



A amostra de controle mostra-se hidrofílica, concordando com outros resultados da literatura para o alumínio polido metalograficamente (RODRIGUES et al., 2017). O desvio padrão alto em comparação às demais amostras denota que a superfície não é homogênea para a tensão de superfície entre a gota e o material sólido, e muito deve-se às imperfeições da superfície como mostrado na Figura 1 (MEV da Amostra Controle).

Nas amostras anodizadas AN15 e AN30, verifica-se o decréscimo na inclinação do ângulo de contato quando comparada com a

nas amostras anodizadas AN15 e AN30, verifica-se o decréscimo na medição do ângulo de contato quando comparada com a amostra controle; este resultado evidencia que após o processo de anodização a superfície alterou suas características iniciais, aumentando o caráter hidrofílico da amostra. O desvio padrão baixo destas amostras se comparado à amostra de controle deve-se, provavelmente, à formação do filme de óxido na superfície, cujo crescimento ocorre de forma homogênea sobre a superfície e tende a diminuir as imperfeições.

A amostra AN30 também apresenta um ângulo de contato levemente inferior à amostra AN15, o que por sua vez pode estar associado à maior espessura de filme de óxido naquela do que nesta amostra. Resultados semelhantes aos descritos neste parágrafo foram também relatados na literatura (RODRIGUES et al., 2017).

O ângulo de contato se eleva nas amostras AN15+AgNP e AN30+AgNP, que indica que o processo de selegam/incorporação de prata reduz a característica hidrofílica devido ao preenchimento da estrutura porosa do óxido. Tal comportamento também pode estar associado à presença da prata, cujo caráter nas superfícies de AAO tende a ser hidrofílico (SINGH, 2016).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos na morfologia da superfície conclui-se que o processo de anodização selecionado foi eficiente, formando um filme de óxido de alumínio anodizado. Foi identificada a texturização da superfície com poros, porém não organizados, de tamanho manométrico bem como a efetividade do processo de incorporação da prata. No entanto, a incorporação não ocorreu a forma de nanopartículas de prata (AgNP), mas sim distribuída homogeneamente sobre toda a superfície, num processo que se assemelha à dopagem superficial.

Quanto à molhabilidade conclui-se que as amostras com adição de nanopartículas de prata aumenta a hidrofobicidade das amostras em relação às amostras sem incorporação de nanopartículas de prata, o que indica que o processo de selegam/incorporação de prata reduz a característica hidrofílica devido ao preenchimento da estrutura porosa do óxido.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CNPq, entidade do governo brasileiro focada na formação de recursos humanos. Os autores também agradecem ao apoio financeiro de agências brasileiras: Capes, Fapergs e Finep.

## REFERÊNCIAS

- BOGATU, Nicoleta Simionescu -; CHIRIAC, Roxana. Electrochemically obtained Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoporous layers with increased anticorrosive properties of aluminum alloy. **Journal of Materials Research And Technology**, v. 17, p. 2636-2647, mar. 2022.
- CHOUDHARY, R.K. et al. Scratch behavior of aluminum anodized in oxalic acid: Effect of anodizing potential. **Surface & Coatings Technology**, Mumbai, v. 2015, n. 283, p. 135-147, 21 out. 2015.
- KESHARI, Anand Kumar; SRIVASTAVA, Ragini; SINGH, Payal; YADAV, Virendra Bahadur; NATH, Gopal. Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized by *Cestrum nocturnum*. **Journal of Ayurveda and Integrative Medicine**, v. 11, n. 1, p. 37-44, jan. 2020.
- KUZNETSOV, G. V. et al. Droplet Spreading and Wettability of Abrasive Processed Aluminum Alloy Surfaces. **The Korean Institute of Metals And Materials, Korean**, v. 1, n. 1, p. 1-10, maio 2019.
- MENEGHESSO, Eng. Adeval Antônio. Noções básicas sobre processo de Anodização do Alumínio e suas Ligas: parte 1. **C&P: Conjuntura e Planejamento**, Bahia, v. 11, n. 1, p. 36-38, 2006.
- PORNNUMPA, Nattapon; JARIYABOON, Manthana. Antibacterial and Corrosion Resistance Properties of Anodized AA6061 Aluminum Alloy. **Engineering Journal**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 171-181, 8 ago. 2019. **Faculty of Engineering**, Chulalongkorn University.
- RODRIGUES, S. P. et al. Water and oil wettability of anodized 6016 aluminum alloy surface. **Applied Surface Science**, v. 422, p. 430-442, 2017.
- SAH, Santosh Prasad et al. Dielectric breakdown and healing of anodic oxide films on aluminium under single pulse anodizing. **Corrosion Science**, S.L., v. 53, n. 5, p. 1838-1844, fev. 2011.
- SINGH, Udai B.; YADAV, R. P.; PANDEY, Ratnes K.; AGARWAL, D. C.; PANNU, Compesh; MITTAL, A. K.. Insight Mechanisms of Surface Structuring and Wettability of Ion-Treated Ag Thin Films. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 120, n. 10, p. 5755-5763, 4 mar. 2016.
- SULKA, Grzegorz D.; STĘPNIOWSKI, Wojciech J.. Structural features of self-organized nanopore arrays formed by anodization of aluminum in oxalic acid at relatively high temperatures. **Electrochimica Acta**, v. 54, n. 14, p. 3683-3691, maio 2009.
- TANG, Shaoheng; ZHENG, Jie. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: structural effects. **Advanced Healthcare Materials**, v. 7, n. 13, p. 1701503, 29 maio 2018.
- TNS COMPETENCE IN NANOTECHNOLOGY (Brasil). Prata: o antimicrobiano usado há centenas de anos: prata antimicrobiana. Prata antimicrobiana. 2017.
- WU, Yinghao; ZHAO, Wenjie; YU, Jingjing; XUE, Qunji. Influence of the Self-Sealing Layer on the Corrosion of Anodic Aluminum Oxide Films. **Acs Applied Nano Materials**, v. 1, n. 9, p. 5142-5147, 10 set. 2018.



DOWNLOAD DO ARTIGO

0 comentários



Deixe sua mensagem

© 2022 CREA-RS. Todos os direitos reservados.