

# IMPRESSÃO ELETROQUÍMICA 3D DE PEÇAS METÁLICAS

**Rodolfo Lucas Bortoluzzi**<sup>1\*</sup> (PG), **Almir Spinelli**<sup>1</sup> (PQ).

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis, Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas -CFM, Departamento de Química.

Palavras Chave: Impressão eletroquímica, manufatura aditiva metálica.

## Introdução

A produção de peças metálicas é crítica para muitas indústrias. As tecnologias atualmente disponíveis para a produção por manufatura aditiva 3D, como a fundição por feixe de elétrons (*electron beam melting*) e a sinterização direta de metais a laser (*direct metal laser sintering*) não são capazes de produzir peças em alumínio (Al) devido às elevadas temperaturas de fusão de seus óxidos. No caso do ferro (Fe), a produção de pós com granulometria abaixo de 400 mesh demanda processos com altos custos energéticos. Nestes casos, a fabricação metálica via tecnologia aditiva torna-se inviável frente às tecnologias tradicionais<sup>(1)</sup>.

Neste trabalho buscamos contribuir com o desenvolvimento, consolidação e ampliação do uso da manufatura aditiva metálica. Particularmente, no desenvolvimento da impressão eletroquímica 3D por obtenção controlada de filmes de Al e Fe.

A recente obtenção de filmes de alumínio com o uso de líquidos iônicos profundamente eutéticos (*deep eutectic solvent*), possibilitou a produção de filmes com espessura e adesão adequadas pelo uso da eletrodeposição de alumínio utilizando um líquido iônico relativamente barato e com baixa toxicidade: cloreto de colina<sup>(1)</sup>. Os experimentos com ferro foram conduzidos com o eletrólito suporte Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (P.A.) 0,50 mol L<sup>-1</sup>. O pH foi ajustado para pH 3,30 com adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,50 mol L<sup>-1</sup><sup>(3)</sup>. O complexo Fe(III)EDTA foi obtido dissolvendo quantidades equimolares de Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (P.A.) e Na<sub>2</sub>EDTA (P.A.) na solução do eletrólito suporte<sup>(3)</sup>.

Uma impressora REP-RAP<sup>(4)</sup> foi utilizada para a construção de um protótipo de uma impressora capaz de utilizar uma cabeça de impressão eletroquímica. O software livre SKETCHUP foi utilizado para a modelagem 3D e o software livre CURA foi utilizado para controlar o protótipo e tratar as imagens tridimensionais.

Os experimentos com Al foram conduzidos em cloreto de colina/ureia (1:1 mol/mol) a 95 °C. A concentração de cloreto de alumínio foi de 10% (m/m). A solução foi mantida sob agitação durante 24 horas antes dos experimentos. A corrente de 250 mA e a temperatura de 92 ± 5 °C foram mantidas durante a impressão. O cátodo onde ocorreu a eletrodeposição consistiu de um eletrodo de grafite planar de 10 cm<sup>2</sup>. A altura do cátodo em relação ao ânodo foi mantida em 2 mm.

Os experimentos com ferro foram realizados a temperatura de 50 ± 5 °C. O cátodo onde ocorreu a eletrodeposição consistiu em um eletrodo de grafite planar de 10 cm<sup>2</sup>. Foi mantido um potencial controlado de -1,4 V (Ag/AgCl (KCl<sub>sat</sub>)) entre o cátodo e o eletrodo de referência. A altura do cátodo em relação ao ânodo foi mantida em 4 mm durante todo o processo.

Em ambos os casos a solução foi constantemente renovada mantendo-se um fluxo aproximado de 1,0 L min<sup>-1</sup> através de um ânodo confeccionado com uma agulha anestésica com diâmetro interno de 130 ± 4,3 µm. O volume das amostras produzidas foi utilizado para o cálculo de sua densidade por simples pesagem.

## Resultados e Discussão

Utilizado o procedimento descrito foi possível a obtenção de três peças de alumínio e outras três peças de ferro. Os dados da Tabela 1 mostram os resultados relativos às densidades médias obtidas e às velocidades médias de deposição metálica para os dois grupos de três experimentos.

Tabela 1: Média dos dados de três experimentos de impressão eletroquímica 3D de Alumínio e Ferro.

| Amostra                           | Alumínio | Ferro  |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Massa / g                         | 2,8189   | 5,1961 |
| Volume impresso / cm <sup>3</sup> | 1,293    | 0,678  |
| Densidade / g cm <sup>-3</sup>    | 2,18     | 7,66   |
| Tempo / h                         | 12       | 12     |
| Deposição / µg s <sup>-1</sup>    | 65,254   | 30,070 |

## Conclusões

Esta pesquisa preliminar demonstra a viabilidade da impressão eletroquímica 3D de metais. Outros estudos ainda devem ser conduzidos com o objetivo de aumentar a velocidade de eletrodeposição. No entanto peças especiais com geometria extremamente complexa podem ser produzidas com este novo método.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro através de bolsa de doutorado, e ao Programa de Pós-Graduação em Química da UFSC.

<sup>1</sup> Huynh, T. Environment and Pollution, 3, 4; 2014;

<sup>2</sup> Zhang, K. Q. Physics Letters A, **2001**, 286, 2001;

<sup>3</sup> Juzeliunas E. Electrochimica Acta, **1998**, 43, 1691.

<sup>4</sup> <http://reprap.org/>