

ELETRODEPOSIÇÃO DE REVESTIMENTOS DE LIGAS METÁLICAS CONTENDO COBRE E COBALTO EMPREGANDO UM ELETRÓLITO AMBIENTALMENTE AMIGÁVEL

T.M de Souza^{1*}, L.F. de Senna¹ e D.B.Lago¹

¹Laboratório de eletroquímica e corrosão/UERJ

R. São Francisco Xavier, 524 - 1º andar - Sala 1006 A - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20550-900 *thais_chemi@hotmail.com

RESUMO

Ligas Cu-Co foram eletrodepositadas sobre aço carbono, sob agitação, a partir de banho contendo íons Co(II) e Cu(II), nas concentrações de 0,1 e 0,02 mol L⁻¹, respectivamente, além de tartarato de sódio 0,5 mol L⁻¹, como agente complexante, com finalidade anticorrosiva. Quatro densidades de correntes foram escolhidas (1,5, 5, 15 e 40 A m⁻²) para a produção dos revestimentos, tendo como objetivo avaliar a sua influência na eletrodeposição da liga. Os depósitos foram caracterizados por absorção atômica por chama, impedância eletroquímica, polarização potenciodinâmica e microscopia eletrônica de varredura. O aumento da densidade de corrente, entre 5 e 40 A m⁻², levou à formação de filmes menos uniformes, uma elevação no teor de cobalto no depósito e um decréscimo na eficiência anticorrosiva do revestimento. Porém, o filme produzido em 1,5 A m⁻² mostrou-se não homogêneo, com regiões de fases distintas e sem comportamento anticorrosivo.

Palavras-chave: eletrodeposição, cobre, cobalto, liga, tartarato de sódio.

INTRODUÇÃO

Ligas de Co-Cu com alto teor de cobalto pode ser utilizado para fins catalíticos ⁽¹⁻³⁾, enquanto que aquelas com menor teor desse elemento, depositadas sobre substratos de platina ou de silício, encontram aplicações devido à sua possível utilização em sistemas de armazenamento de dados e como sensores ^(4,5). Vários estudos mostram que a composição, as propriedades morfológicas, estruturais e magnéticas dos filmes de Cu-Co eletrodepositados podem ser alterados em função dos parâmetros de deposição: pH do eletrólito, potencial de deposição e espessura do filme ^(6,7). Trabalhos anteriores de nosso grupo de pesquisa mostraram que ligas de cobre e de zinco, contendo maiores

teores cobalto, foram promissoras contra a corrosão, apresentando microestrutura refinada e pequenos tamanhos de grão ^(8,9).

Porém, a produção de revestimentos de ligas metálicas por eletrodeposição é muito mais complexa que a de um único metal, pois exige a redução simultânea de todos os íons metálicos na superfície do eletrodo. Para isso, normalmente são empregados agentes complexantes, que são capazes de aproximar os potenciais dos metais que constituem a liga. Complexantes a base de cianeto eram bastante utilizados; porém são tóxicos, entrando então em desuso ao longo dos anos, dando lugar a estudos com banhos eletrolíticos ambientalmente favoráveis. Ao longo dos anos, banhos a base de glicinato de sódio, citrato de sódio, sorbitol ou pirofosfato de potássio têm sido estudados, com produção de revestimentos de qualidade comparável àqueles produzidos a partir de banhos de cianeto ⁽⁹⁻¹²⁾.

Há estudos relatando o efeito de eletrólitos mistos de citrato de sódio/tartarato de sódio na eletrodeposição de ligas Cu-Ni, em substrato de platina ^(13,14), pois o tartarato de sódio também tem se mostrado promissor e não agressivo ao meio ambiente ^(14,15,20). O tartarato de sódio também foi estudado na busca de um novo material a base de cobre para a conversão de energia solar ⁽¹⁵⁾.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da densidade de corrente aplicada na produção do revestimento de ligas Cu-Co, usando tartarato de sódio como agente complexante. Os revestimentos produzidos foram caracterizados por diferentes técnicas como, espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), polarização potenciodinâmica (PP), espectroscopia de absorção atômica por chama e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

MATERIAIS E MÉTODOS

Ensaio de eletrodeposição

Os ensaios de eletrodeposição galvanostática de ligas de Cu-Co sobre aço carbono foram realizados em duplicata, a temperatura ambiente (25°C), e usando

300 rpm de agitação. Para isso, empregou-se a célula eletrolítica apresentada na Figura 1, contendo um sistema de três eletrodos: uma rede cilíndrica de platina como o contra-eletrodo, uma placa de aço carbono (área exposta de $4,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) como o eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência de sulfato mercurioso saturado (ESS).



Figura 1 – Célula eletrolítica de três eletrodos utilizada nos ensaios

O eletrodo de trabalho foi previamente polido com lixas d'água com granulometria de 100 a 600 mesh e posteriormente desengordurado em solução contendo 40 g/L de NaOH e 0,5 g/L de lauril sulfato de sódio, a 80°C por 10 minutos. A composição do eletrólito foi de 0,1 mol L⁻¹ de CoSO₄·7H₂O, 0,02 mol L⁻¹ de CuSO₄·5H₂O e 0,5 mol L⁻¹ de Na₂C₄H₄O₆·4H₂O. Essa composição foi escolhida com bases em trabalhos obtidos para ligas de cobre em banhos anteriormente usados pelo nosso grupo de pesquisa ⁽¹³⁾. Os valores de pH (ajustado com NaOH 4 mol L⁻¹) e de condutividade da solução empregada apresentaram valores de 8,3 e 11,7 mS/cm, respectivamente.

Os depósitos foram produzidos utilizando um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 302N nas seguintes densidades de corrente selecionadas: 1.5 Am⁻², 5 Am⁻², 15 Am⁻² e 40 Am⁻². As condições utilizadas levaram em consideração a Lei de Faraday ⁽¹⁶⁾, sendo o tempo de deposição calculado pela Equação (A) ⁽¹⁷⁾ para uma massa teórica de 5 mg.

$$t = \frac{mZ}{\mu i} \quad (\text{A})$$

Onde t = tempo de ensaio (s), m = massa do depósito, Z é referente aos elétrons transferidos ($Z=2$ nesse caso), $F= 96500$ C (Constante de Faraday), μ = massa molar média dos elementos formadores da liga e i = corrente.

Os teores dos elementos formadores da liga foram obtidos, após dissolução dos depósitos em ácido nítrico 10 % v/v, por espectrometria de absorção atômica por chama (*Perkin-Elmer AAnalyst 300*).

Caracterização eletroquímica dos revestimentos

Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e polarização potenciodinâmica (PP) foram realizados, em duplicata, para verificar a resistência à corrosão dos revestimentos. O eletrólito utilizado nesses ensaios foi uma solução de NaCl 0,5 mol L⁻¹ e foi empregada uma célula eletroquímica contendo três eletrodos, onde o eletrodo de trabalho foi o substrato de aço carbono revestido com a liga Cu-Co, o eletrodo de referência foi de calomelano saturado (ECS) e um fio de platina atuou como contra-eletrodo.

Nos ensaios de EIE, foi utilizada uma faixa de frequência de 10⁵ Hz a 10⁻³ Hz, com uma amplitude de 10 mV. Para os ensaios de polarização potenciodinâmica, a faixa de potencial aplicada foi de -1,0V_{ECS} a + 1,0V_{ECS}, com velocidade de varredura de 1 mVs⁻¹. Os ensaios foram realizados utilizando o potenciostato Autolab modelo PGSTAT302N e todos os ensaios eletroquímicos foram feitos após estabilização do sistema em seu potencial de circuito aberto.

Os ensaios de EIE foram simulados através de circuitos elétricos equivalentes, utilizando o *software* NOVA 1.10 Metrohm Autolab. O valor da capacitância da dupla camada elétrica (C_{DCE}) foi calculado a partir do elemento de fase constante (EFC), através da Equação (B):

$$C_{DCE} = (EFC)^{\frac{1}{N}} \times R_{tc}^{\left(\frac{1}{N}-1\right)} \quad (B)$$

Caracterização morfológica:

A análise morfológica dos revestimentos produzidos foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM G510 LV (IQ/UERJ), em alto vácuo, detector SEI, tensão de 20kV, com aumentos de imagens de 5000X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de eletrodeposição

Os revestimentos produzidos foram aderentes à superfície do eletrodo de trabalho e apresentaram coloração variando do cinza escuro ao rosa, dependendo da densidade de corrente aplicada, conforme apresentado na Figura 2. Esse resultado mostra que o aumento desse parâmetro pode favorecer a deposição de cobalto na liga.

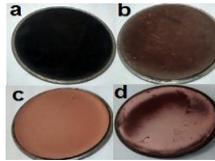


Figura 2 – Depósitos produzidos com diferentes densidades de corrente:
a) 40 A m^{-2} ; b) 15 A m^{-2} ; c) 5 A m^{-2} e d) $1,5 \text{ A m}^{-2}$

Na Figura 2d é observado que a amostra produzida em $1,5 \text{ A m}^{-2}$ apresenta uma mancha escura, provavelmente resultando em uma superfície não homogênea.

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos teores de Cu e Co nos revestimentos obtidos nas densidades de corrente estudadas. Observa-se que a deposição de cobalto aumenta para maiores valores de densidade de corrente, conforme já sugerido pela Figura 2. Sendo o cobalto o metal menos nobre na liga, sua deposição é favorecida com o aumento da densidade de corrente. Na Tabela 1 também são apresentados os valores de eficiência de deposição para cada experimento, e verifica-se que esta variável decresce com o aumento da densidade de corrente e, conseqüentemente, com o aumento do teor de cobalto na liga, exceto para a densidade de corrente de $1,5 \text{ A m}^{-2}$. Observa-se ainda que a amostra produzida em $1,5 \text{ A m}^{-2}$ apresenta maiores teores de cobalto que aquela produzida em 5 A m^{-2} . Possivelmente, esse fato está relacionado com a região mais escura observada na Figura 2d. Porém, como a técnica utilizada determina o teor total dos elementos na superfície, não é possível ainda confirmar essa suposição.

Tabela 1 – Média dos teores de Cu e Co dos revestimentos produzidos em duplicata e eficiência de deposição.

Am^{-2}	Teor de Cu %/m/m	Teor de Co %/m/m	Eficiência de deposição %
------------------	---------------------	---------------------	------------------------------

1,5	96,2	3,8	46
5	98,8	1,2	65
15	87,4	12,6	62
40	71,2	28,8	39

O agente complexante usado, tartarato de sódio (Figura 3A) possui duas regiões propícias à doação de elétrons. Em meio básico, os ânions tartarato podem quelar os íons Cu^{2+} e/ou Co^{2+} da solução, dando origem ao complexo de bistartarocuprato (II) – $[\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2]^{4-}$ ou bistartarocobaltato (II) - $[\text{Co}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2]^{4-}$ ⁽¹⁸⁾ (Figuras 3B e 3C, respectivamente).

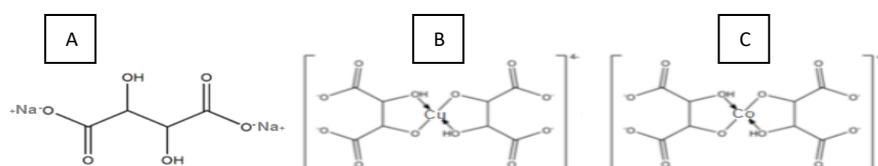


Figura 3 – A: Tartarato de sódio ($\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$); B: Complexos de cobre com tartarato de sódio $[\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2]^{4-}$ e C: Complexo de cobalto com tartarato de sódio $[\text{Co}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2]^{4-}$

O baixo teor de cobalto depositado nos revestimentos provavelmente ocorreu devido à formação de complexos mais estáveis de $[\text{Co}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2]^{4-}$, o que deve ter desfavorecido a redução de íons Co^{+2} , facilitando a deposição de ligas com maiores teores de Cu. Esse resultado não era esperado, pois o agente complexante é usado justamente para aproximar os potenciais de redução dos dois metais⁽¹¹⁾. Assim, o ideal seria que o tartarato de sódio complexasse mais o íon do elemento mais nobre (Cu^{+2}) facilitando assim a deposição do cobalto.

Caracterização eletroquímica dos revestimentos (Ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica – EIE e Polarização Potenciodinâmica – PP)

Os diagramas de Nyquist para os diferentes revestimentos obtidos e para o aço carbono, em meio de NaCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, são apresentados na Figura 4.

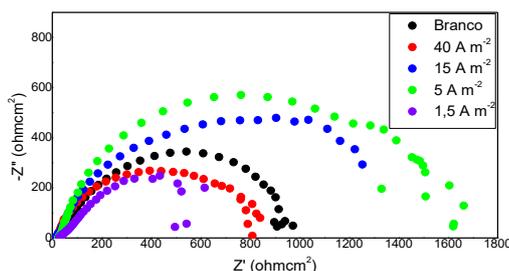


Figura 4- Diagramas de Nyquist para os revestimentos Cu-Co em diferentes densidades de corrente e para o aço carbono, em meio de NaCl 0,5 mol L⁻¹

Considerando que os diâmetros dos arcos capacitivos no diagrama de Nyquist (Figura 4) indicam maior resistência do revestimento à transferência de carga, observa-se que apenas dois dos revestimentos, produzidos em 5 e 15 Am⁻², apresentaram arcos capacitivos maiores, em comparação com aquele obtido para o ensaio em branco (substrato de aço carbono nu). Esses resultados sugerem que tais revestimentos seriam protetores, dificultando a corrosão do substrato. Já para os filmes obtidos em 1.5 e 40 Am⁻², o tamanho dos arcos capacitivos indica que estes revestimentos não apresentaram uma resistência à corrosão satisfatória.

Para melhor interpretar os resultados obtidos a partir da técnica de EIE, estes foram simulados utilizando modelos de circuitos elétricos equivalentes, onde os dados referentes à resistência de transferência de carga (R_{tc}) e capacitância da dupla camada elétrica (C_{DCE}) são obtidos ⁽¹⁹⁾. A Figura 5 ilustra o circuito utilizado para simular os dados de EIE para o ensaio branco e para os revestimentos de Cu-Co, onde R_e representa a resistência do eletrólito, R_{tc} é a resistência à transferência de carga, e EFC representa o elemento de fase constante, associado com a capacitância da dupla camada elétrica. O ajuste da simulação foi considerado bom para um valor de erro menor que 1% ⁽²⁰⁾.

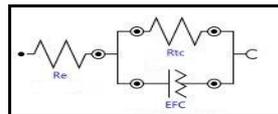


Figura 5 – Modelo de circuito equivalente utilizado para simular os dados de EIE do ensaio branco e para os revestimentos Cu-Co.

Os valores de R_{ct} e de C_{DCE} , obtidos após a simulação dos dados de EIE de todos os ensaios estão apresentados na Tabela 2. Essa tabela também apresenta os valores de N (termo que define o grau de equivalência do elemento de fase constante para um componente capacitivo), obtidos para o ensaio dos revestimentos de Cu-Co. O valor de C_{DCE} apresentado na Tabela 2 foi calculado a partir da Equação B, apresentada na seção de Materiais e Métodos.

Tabela 2 - Valores de R_{ct} e de C_{DCE} obtidos a partir da simulação dos dados de EIE para o aço carbono e revestimentos Cu-Co em meio de NaCl 0,5 mol L⁻¹

Amostras	R_e (Ω)	R_{tc} (Ω cm²)	C_{DCE} (μF cm⁻²)	N
Branco	6,31	960,4	$1,59 \times 10^{-3}$	0,746
$I = 40$ A m⁻²	6,11	646,8	$1,12 \times 10^{-1}$	0,624
$I = 15$ A m⁻²	5,50	1332,8	$3,45 \times 10^{-2}$	0,846
$I = 5$ A m⁻²	5,41	1670,9	$7,26 \times 10^{-3}$	0,792
$I = 1.5$ A m⁻²	5,89	588,0	$1,94 \times 10^{-1}$	0,601

Os valores observados na Tabela 2 confirmam o que foi visto no diagrama de nyquist da Figura 4, pois os revestimentos de Cu-Co nas densidades de corrente 5 e 15 A m⁻² apresentaram maiores valores de R_{tc} , indicando que o filme formado na superfície do substrato de aço carbono dificultou o processo de transferência de carga. Nessas condições, notou-se ainda menores valores de C_{DCE} para estes filmes, em comparação com os demais depósitos (1,5 e 40 A m⁻²), o que demonstra que esses depósitos apresentam uma menor tendência a oxidação.

A Figura 6 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica anódicas e catódicas obtidas para as ligas de Cu-Co e aço carbono em NaCl 0,5 mol L⁻¹, nas mesmas condições utilizadas para os experimentos de EIE, anteriormente apresentados. É possível observar que as curvas de polarização para as ligas Cu-Co em 5 e 15 A m⁻² encontram-se deslocadas para potenciais menos negativos e menores valores de densidade de corrente de corrosão, em comparação com as curvas obtidas para os revestimentos produzidos em 1,5 e 40 A m⁻². Esse resultado corrobora o ensaio de EIE, confirmando também que nessas condições há um melhor comportamento anticorrosivo do revestimento. Isso significa que revestimentos de liga Cu-Co com maiores teores de Cu favoreceu a produção de filmes protetores. A exceção ocorreu no caso do depósito obtido na menor densidade de corrente aplicada (1,5 A m⁻²), o qual se mostrou, pouco protetor. Isso pode estar relacionado, provavelmente, à produção de um revestimento não homogêneo, como sugere a Figura 2d.

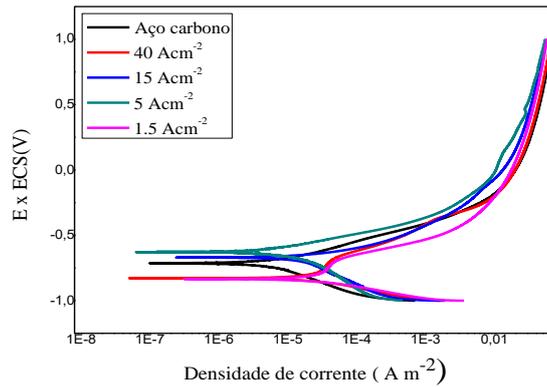


Figura 6 - Curvas de polarização para os revestimentos Cu-Co e para o aço carbono em meio de NaCl 0,5 mol L⁻¹.

Assim, os resultados de polarização potenciodinâmica confirmam o que foi visto nos ensaios de EIE, evidenciando que somente os revestimentos produzidos em 5 e 15 A m⁻² atuaram como um filme protetor. Pelos resultados de eficiência de corrente catódica (Tabela 1) também pode ser verificado que os depósitos com resultados anticorrosivos menos satisfatórios (40 A m⁻² e 1,5 A m⁻²) apresentaram baixos valores de eficiência, originando, possivelmente, depósitos pouco espessos e porosos, não protetores a corrosão. Assim, é provável supor que estes revestimentos sejam porosos, não sendo capaz de evitar a aceleração do processo corrosivo no meio.

Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias obtidas para as superfícies dos revestimentos de ligas Cu-Co, produzidos, a partir das densidades de corrente escolhidas, são apresentadas na Figura 7, com um aumento de 5.000X.

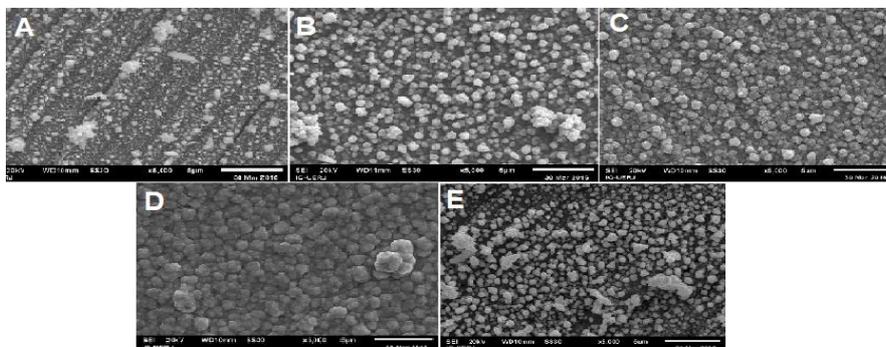


Figura 7 – Microscopia eletrônica de varredura com aumento de 5.000: a-40I, b-15I, c-5I, d-1.5I região clara, e-1,5I região escura.

Na Figura 7 é possível perceber que na densidade de corrente de 40 A m^{-2} (depósito com menor porcentagem de cobre, 71,2%Cu e 28,8%Co m/m), os grãos têm uma morfologia dendrítica, encontrada em outros trabalhos na literatura onde a resistência à corrosão foi prejudicada ⁽²¹⁾. Esse tipo de morfologia sugere uma baixa aderência do revestimento à superfície ⁽²²⁾. Além disso, é possível notar as marcas do polimento do substrato, confirmando a baixa espessura do filme. Em menores valores de densidades de corrente, grãos já de forma arredondada são observados. Contudo, em 15 A m^{-2} (Figura 7B) o revestimento produzido mostrou grãos superpostos e aparentemente menos aderentes, o que não foi encontrado naquele obtido em 5 A m^{-2} (Figura 7C), onde a topografia se mostrou mais regular. Esse resultado reafirma que essa densidade de corrente produziu uma superfície mais adequada para a proteção à corrosão, como foi visto nos ensaios eletroquímicos. Por outro lado, as variações morfológicas verificadas nas Figuras 7C e 7D para as regiões clara e escura, respectivamente (referência Figura 2D), do revestimento obtido em $1,5 \text{ A m}^{-2}$ confirma a existência de não uniformidade no depósito. As diferenças encontradas nos resultados de microscopia eletrônica de varredura confirmam a grande influência do parâmetro densidade de corrente na produção do eletrodepósito.

CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi possível observar que a densidade de corrente aplicada influenciou no teor dos metais depositados da liga. Os resultados obtidos também decorreram da diferença de complexação do tartarato de sódio com os íons de cobre (II) e cobalto (II).

Em maiores densidades de corrente, verificou-se um aumento na deposição do cobalto, não ultrapassando os 30 % m/m. Comparando os revestimentos entre si, observou-se que o aumento de cobalto na liga diminuiu a capacidade anticorrosiva dos revestimentos. Além disso, baixos valores de densidade de corrente produziram ligas não homogêneas, que se tornam ainda menos protetoras. Dentre as densidades de corrente utilizadas, somente duas produziram revestimentos protetores (5 e 15 A m^{-2}), em comparação ao aço carbono não revestido.

REFERÊNCIAS

- (1) ENDOH, E., OTOUMA, T., ODA, Y., New rancy nickel composite-coated electrode for hydrogen evolution. *J. Hydrogen Energy* 12 473, 1987.
- (2) VERMEIREN, P., LEYSEN, R., VANDERBORRE, H., Study of hydrogen evolving reaction in alkaline medium at nickel and cobalt based electrocatalysts. *Electrochim. Acta* 30 1253, 1998.
- (3) MOHAMED, A.E., RASHWAN, S.M., KAMEL, M.M. Electrodeposition of Co–Cu alloy coatings from glycinate baths, *J. Appl. Electrochem.* 33 1085–1092, 2003
- (4) AFSHAIR, A., DOLATI, A.G., GHORBAIN, Electrochemical deposition and characterization of Fe–Zn alloys, *Mater. Chem. Phys.* 77, 352, 2002.
- (5) LEITH, S.D., WANG, W., SCHWARTZ, D.T., Characterization of $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ ($0.10 < x < 0.95$) Electrodeposition from a Family of Sulfamate-Chloride Electrolytes. *J. Electrochem. Soc.* 145 2827, 1999.
- (6) KARAAGAC, O., KOCKAR, H., ALPER, M., MURSIDE, H., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 324, 3834–3838 Balikesir, Turkey, 2012.
- (7) ANTÓN, R.L., M.L. Fdez-Gubieda, A. García-Arribas, J. Herreros, M. Insausti. Preparation and characterisation of Cu–Co heterogeneous alloys by potentiostatic electrodeposition. *Materials Science and Engineering A335* (94–100), 2002
- (8) GARCIA, J. R., do LAGO, D. C. B., SENNA, L. F., Electrodeposition of Cobalt Rich Zn-Co alloy Coatings from Citrate Bath, *Materials Research*. 17(4): 947-957, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.
- (9) de LIMA, T.G., ROCHA, B.C.C.A., BRAGA, A.V.C., do LAGO, D.C.B., LUNA, A.S., SENNA, L.F. Response surface modeling and voltammetric evaluation of Co-rich Cu–Co alloy coatings obtained from glycine baths. *Surface & Coatings Technology* 276, 606–617, 2015.
- (10) FINAZZI, G. A., de OLIVEIRA, E. M., CARLOS, I. A. Development of a sorbitol alkaline Cu–Sn plating bath and chemical, physical and morphological characterization of Cu–Sn films *Surface and Coatings Technology*, 187, 377– 387, 2004.
- (11) FERREIRA, F.B.A, SILVA, F.L.G, LUNA A.S. et al, Response surface modeling and optimization to study the influence of deposition parameters on the electrodeposition of Cu–Zn alloys in citrate medium *J Appl Electrochem*, Rio de Janeiro, Brasil, 37:473, 2007
- (12) SENNA, L.F.; DÍAZ, S.L.; SATHLER, L. Electrodeposition of copper–zinc alloys in pyrophosphate-based electrolytes. *Journal of Applied Electrochemistry*, v.33, p.1155–1161, 2003.
- (13) SENNA, L.F. de; DÍAZ, S.L.; SATHLER, L. Eletrodeposition of copper-zinc alloys in pyrophosphate-based electrolytes. *J. Appl. Electrochem.* v.33, 12 p. 1155-1161, 2003.
- (14) MELO, L. C.. de LIMA, CORREIA, A. N. Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Bloco 940, Campus do Pici, Fortaleza-CE 60455-960, Brazil

- (15) ANUAR, K., ZAINAL, Z., SARAVANAN, N., e ASIKIN, N. Published in Fizyko-Khimichna Mekhanika Materialiv, Vol. 44, No. 2, pp. 115–117, March–April, 2008. Original article submitted, April 27, 2006.
- (16) HAN, C.; LIU, Q.; IVEY, D. G. Nucleation of Sn and Sn–Cu alloys on Pt during electrodeposition from Sn–citrate and Sn–Cu–citrate solutions. *Electrochimica Acta*. v. 54, p. 3419–3427, 2009.
- (17) TICIANELLI, E. A.; GONZALEZ, E. R. *Eletroquímica: Princípios e Aplicações*. 2a ed. Edusp, Sao Paulo, 2005.
- (18) <http://www.fcencias.com/2014/10/16/teste-de-fehling-laboratorio-online>. Acessado dia 16/03/2016 - 16:14.
- (19) CARVALHO, L.A.D.; ANDRADE, A.R.D.; BUENO, P.R. Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em ânodos dimensionalmente estáveis. *Quim. Nova*, v.29, n. 4, p. 796-804, 2006.
- (20) SILVA, P.S. Avaliação de biocidas no controle da corrosão microbiologicamente induzida do aço carbono 1020 por bactérias redutoras de sulfato. 2015. 147f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- (21) KARAAGAC, O., ALPER, M., KOCKAR, H. Characterisations of CoCu films electrodeposited at different cathode potentials. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* v.322 p.1098–1101, 2010
- (22) SILVA JR., J.C.S. Estudo de eletrodeposição de ligas Cu-Sn em meio de citrato de sódio. 2013. 143f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ELECTRODEPOSITION ALLOYS METAL COATINGS CONTAINING COPPER AND COBALT USING AN ELECTROLYTE ENVIRONMENTALLY FRIENDLY

ABSTRACT

Cu-Co alloys were electrodeposited on carbon steel, stirring from bath containing Co (II) and Cu (II), in concentrations of 0,10 and 0,02 mol L⁻¹, respectively, besides addition of sodium tartrate 0.5 mol L⁻¹, as a complexing agent with anti-corrosion purpose. Four current densities were chosen (1.5, 5, 15 and 40 A m⁻²) for the production of coatings, and to evaluate its influence on the alloy electroplating. The deposits were characterized by atomic absorption flame, electrochemical impedance, potentiodynamic polarization and scanning electron microscopy. The increase in current density between 5 and 40 A m⁻² resulted to the formation of less uniform films, an increase in cobalt content in deposit and a decrease in corrosion coating efficiency. However, the film produced in the 1.5 A m⁻² was shown to be inhomogeneous, with regions of distinct phases and without anti-corrosive performance.

Keywords: electroplating, copper, cobalt, alloy, sodium tartrate.