

Estudo eletroquímico comparativo do aço ISO 5832-9 em diferentes meios de interesse biológico

Comparative electrochemical study of 5832-9 stainless steel at different media of biological interest

Ruth Flavia Vera Villamil
Jaimes

Universidade do Grande ABC
UniABC
E-mail: ruthflavia@uniabc.br

Mónica Luisa Chaves de
Andrade Afonso

Instituto Tecnológico e Nuclear, ITN
E-mail: mochaves@sapo.pt

Sizue Ota Rogero

Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
E-mail: sorogero@ipen.br

Celso Antonio Barbosa

Villares Metals S.A. E-mail:
celso.barbosa@villaresmetals.com.br

Alexandre Sokolowski

Villares Metals S.A. E-mail:
alexandre.sokolowski@villaresmetals.
com.br

Silvia Maria Leite Agostinho

Instituto de Química da
Universidade de São Paulo
E-mail: smlagost@iq.usp.br

Resumo

Foi estudado o comportamento eletroquímico a 37 °C do aço inoxidável ISO 5832-9, em meios de NaCl 0,9 %, de Ringer Lactato e meio mínimo de Eagle (MEM), por voltametria linear e análises da superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia por dispersão de energia (EDS). Foram feitos ensaios mecânicos e testes de toxicidade.

O aço ISO 5832-9 se encontra passivado no potencial de corrosão e não apresenta corrosão por pite nos três meios estudados em toda faixa de potencial investigada, desde o potencial de corrosão até 50 mV acima do potencial de transpassivação. Em meio de MEM, no entanto, as análises por MEV e EDS mostraram que o referido aço, nesse valor mais elevado de potencial, apresentou um comportamento diferente, com perda das inclusões de óxido de manganês.

Os potenciais de corrosão, E_{corr} (potencial de circuito aberto estacionário) bem como os valores de densidade de corrente de passivação, variaram na seguinte ordem:

$$E_{corr, RL} < E_{corr, NaCl} < E_{corr, MEM} \text{ e } j_{MEM} \ll j_{RL} \cong j_{NaCl}$$

No ensaio de citotoxicidade, o aço foi caracterizado como não-tóxico.

Palavras chave: Aço inoxidável ISO 5832-9, implantes ortopédicos, corrosão, meio biológico.

Abstract

The electrochemical behavior of ISO 5832-9 stainless steel at 37 °C in 0.9% NaCl, Ringer Lactate and minimum essential medium (MEM) has been studied, using linear voltammetry, and surface analysis by SEM and EDS. Mechanical and toxicity tests were made. ISO 5832-9 is passivated at corrosion potential (E_{corr}) and it does not present pitting corrosion on the media studied from E_{corr} to 50 mV above the transpassivation potential (E_i). SEM and EDS analysis have shown that the sample previously immersed in MEM presents a different behavior at 50 mV above E_i : the manganese oxide inclusions are absent in the surface. E_{corr} values and passivation current density values j_{pass} changed according to the following.

$$E_{corr, RL} < E_{corr, NaCl} < E_{corr, MEM} \text{ and } j_{MEM} \ll j_{RL} \cong j_{NaCl}$$

The stainless steel was characterized as non toxic in the cytotoxicity assay.

Keywords: ISO 5832-9 stainless steel, orthopedic implant, corrosion, physiological medium.

1. Introdução

É de conhecimento amplo que o titânio e suas ligas são materiais mais resistentes à corrosão em meio biológico do que os aços inoxidáveis e, por essa razão, é um dos materiais escolhidos para implantes ortopédicos em convênios de iniciativa privada. Como a maior parte dos casos de fraturas ósseas é coberta pelo Sistema Único de Saúde (SUS), os implantes tendem a ser de aço inoxidável, devido à sua baixa relação custo-benefício. Esses materiais apresentam, também, boa resistência mecânica e são indicados em implantes temporários, por não apresentarem as características de osseointegração do titânio. Por essas razões, os estudos desses materiais, em meios que simulem o fluido do corpo humano, são, ainda, de extrema importância.

Pesquisas mais recentes [Villamil, 2002,A; Sobral, 2001; Reclaru, 2001; Villamil, 2002,B; Rondelli, 2005; Fini, 2003; Jaimes, 2007, A; Afonso, 2008; Giordani, 2007] mostram que o aço ISO 5832-9 (ASTM F 1586 nos Estados Unidos) apresenta um melhor desempenho em implantes ortopédicos (implantes temporários ou permanentes), quando comparado ao aço inoxidável austenítico ISO 5832-1 (ASTM F 138), utilizado, atualmente, no Brasil, para esse fim. A melhora no desempenho se deve, basicamente, à utilização de nitrogênio em sua composição química, fato que aumenta a resistência mecânica e a resistência à corrosão por pite. Estudos realizados com os dois aços, no Laboratório de Caracterização de Interfaces Eletroquímica (LACIE) do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, em cooperação com a empresa Villares Metals S.A., têm mostrado a grande diferença no comportamento eletroquímico desses materiais.

O aço ISO 5832-9 já é utilizado em larga escala na Europa e nos Estados Unidos, substituindo, em parte, as ligas de titânio e cobalto-cromo-molibdênio. No Brasil, Villamil et al. (2003 A e 2002 B) e Jaimes et al. (2007, A e B) têm verificado a sua alta resistência eletroquímica (testes de corrosão) e biocompatibilidade (através de testes de citotoxicidade). Também, no Brasil, Giordani et al. (2007) têm constatado a sua alta resistência mecânica. Esse aço tem se mostrado muito mais resistente do que os aços convencionais, tanto pelo valor do potencial de pite (Ep), quanto pela ordem de grandeza da sua corrente passiva em meios de NaCl 0,11 mol L⁻¹ a T = 36,5°C e em meio de NaCl 0,15 mol L⁻¹, pH igual a 4,0 e temperatura de 40°C [Jaimes, A]. O aço ISO 5832-9 não apresenta corrosão por pite e os valores da densidade de corrente passiva em meios de NaCl 0,11 mol L⁻¹ a 37°C e de NaCl 0,15 mol L⁻¹ a pH = 4 e 40°C são menores do que os observados para o aço ISO 5832-1. Villamil et al. (2007, B) estudaram o efeito do Nb sobre o comportamento eletroquímico do aço 5832-9 em NaCl 0,11 mol L⁻¹ a 36,5°C. Os autores variaram a concentração de Nb entre 0% e 0,40% e verificaram que o melhor desempenho corresponde ao aço contendo 0,28% de Nb a 37°C.

Esse trabalho, tem como objetivo, estudar o comportamento eletroquímico do aço inoxidável ISO 5832-9, em soluções de NaCl 0,9 %, de Ringer Lactato e de MEM (meio mínimo de Eagle), empregando a voltametria linear, análises da superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia por dispersão de energia (EDS), antes e após os ensaios eletroquímicos e, apresentar testes mecânicos e de toxicidade do material.

A literatura [Villamil, 2002, C] mostra que a solução Ringer Lactato é, freqüentemente, usada, por exemplo, na reposição de líquidos, no caso de pré-eclâmpsia grave, na desidratação, quando acompanhada de quadros de hemorragia, na reposição de perdas plasmáticas, na prevenção do edema pulmonar, em traumatismos cranioencefálicos.

2. Materiais e métodos

A composição química do aço inoxidável ISO 5832-9, em porcentagem em massa, encontra-se na Tabela 1. A amostra usada, nesse estudo, foi obtida de um lote comercial industrial.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a composição da solução de Ringer Lactato e do meio essencial mínimo de Eagle (MEM).

As propriedades mecânicas foram determinadas através de ensaios de tração, conduzidos segundo a norma ISO 6892.

Os eletrodos de trabalho consistiram em discos de aço de área geométrica igual a 0,363 cm² embutidos em teflon (PTFE), fixos a uma haste de latão, os quais foram, previamente, lixados com lixas de carbetto de silício (SiC), de granulometrias 300, 400 e 600 e lavados com água destilada e álcool etílico.

Nos ensaios de MEV/EDS, o tratamento superficial se estendeu até um polimento com pasta de diamante (1 µm), seguido de lavagem da superfície e limpeza com ultra-som. As amostras foram submetidas a um potencial situado 50 mV acima do potencial de elevação da corrente (Ei), para comparar as superfícies corroídas, durante 15 minutos nos meios estudados.

Tabela 1 - Composição química do aço ISO 5832-9 em % em massa.

| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | N | P | S | Nb | PRE * |
|-------|------|------|------|------|-----|------|-------|-------|------|-------|
| 0,015 | 0,33 | 4,09 | 20,7 | 9,94 | 2,5 | 0,32 | 0,014 | 0,005 | 0,28 | 34,1 |

* Valor orientativo calculado conforme a relação: %Cr+3,3x%Mo+16x%N. Ele não é especificado em norma

Tabela 2 - Composição da solução de Ringer Lactato.

| Composição | Concentração /(g/ 100 mL) |
|---------------------|---------------------------|
| Lactato de sódio | 0,30 |
| Cloreto de sódio | 0,60 |
| Cloreto de potássio | 0,03 |
| Cloreto de Cálcio | 0,02 |

Tabela 3 - Composição do meio mínimo de Eagle (MEM).

| Componente | Concentração / mol L ⁻¹ |
|----------------------------------|------------------------------------|
| NaCl | 1,16 x 10 ⁻¹ |
| KCl | 5,36 x 10 ⁻³ |
| CaCl ₂ | 1,80 x 10 ⁻³ |
| Na ₂ HPO ₄ | 8,98 x 10 ⁻⁴ |
| KH ₂ PO ₄ | 8,11 x 10 ⁻⁴ |
| MgSO ₄ | 2,38-2,62 x 10 ⁻² |
| Aminoácidos | 5,5 x 10 ⁻³ |

Os ensaios eletroquímicos foram realizados utilizando um esquema clássico de três eletrodos, um eletrodo de calomelano saturado (ECS), como referência, e um eletrodo de platina com grande área, como contra-eletrodo, além do aço como eletrodo de trabalho. A temperatura de trabalho foi de 37°C. Nesses ensaios, foi utilizado um potenciostato Autolab tipo III/FRA2 acoplado a um microcomputador e ao analisador de impedância.

Os ensaios de citotoxicidade foram realizados de acordo com normas internacionais [ISO 10993-5] e procedimento descrito em trabalhos anteriores [Rogero, 2003, A e 2000,B].

Os extratos obtidos pela imersão das ligas metálicas em MEM foram diluídos em série e colocados em contato com células cultivadas em microplaca de 96 poços. A toxicidade foi verificada pelo método de incorporação do corante vital vermelho neutro, medindo-se a

densidade óptica no final do ensaio, em espectrofotômetro leitor de ELISA em 540nm. Na mesma placa, foram utilizados um controle positivo (solução de fenol 0,02%), um controle negativo (placas de Ti) e um controle de células (correspondente a 100% de viabilidade). A porcentagem de viabilidade celular foi calculada em relação ao controle de células.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 4, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica. Nota-se que a amostra de aço estudada se encontra acima dos limites mínimos de resistência estabelecidos pela norma ISO 5832-9. Esses resultados estão em concordância com os dados apresentados na literatura [Giordani, 2007].

Medidas de potencial de circuito aberto, em função do tempo, foram realizadas com o objetivo de determinar o potencial de corrosão, E_{corr} , isto é, o potencial de circuito aberto “quase estacionário”. Os resultados são mostrados na Tabela 5. Verifica-se que os valores de E_{corr} dependem, significativamente, dos meios estudados, indicando uma composição química diferente das interfaces estudadas e um filme menos protetor em meio de Ringer Lactato.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de polarização potenciodinâmica, a uma velocidade de varredura de 1 mV s⁻¹ para o aço ISO 5832-9, nos três meios. Observam-se valores muito baixos de corrente em uma ampla faixa de potencial indicando que o aço estudado

Tabela 4 - Resistência mecânica à tração do aço inoxidável ISO 5832-9.

| | *L.E.(MPa) | *L.R. (MPa) | *Along (%) |
|---------------------------------------|------------|-------------|------------|
| Dados experimentais | 501 | 820 | 42 |
| Limites mínimos pela Norma ISO 5832-9 | 430 | 740 | 35 |

*L.E.:limite de escoamento, L.R.: limite de resistência à tração e Along.: Alongamento

se encontra passivado. Pode ver-se que, em meio de Ringer Lactato, a elevação da corrente se dá num potencial, menos positivo, sugerindo que o aço se encontra menos protegido nesse meio, o que está em concordância com as medidas de E_{corr} . Os resultados obtidos sugerem que a boa qualidade do filme protetor decresce na ordem MEM > NaCl > RL.

Na Tabela 5, encontram-se os valores de E_i , potencial de elevação da corrente e de j_{pass} , densidade de corrente de passivação, para o aço ISO 5832-9, nos três meios. Observa-se, novamente, que o filme, em meios MEM, é o mais passivante, com valores de densidade de corrente da ordem de $nA\ cm^{-2}$.

Na Figura 2, é apresentada a microestrutura após ataque metalográfico do aço ISO 5832-9 com ácido oxálico a 10 % em massa. Observam-se os grãos autênticos, sendo que, em alguns, há maclas de recozimento. O ataque revelou, também, a presença dos carbonetos de nióbio (NbC) e dos carbonitretos de nióbio Nb(C,N), alinhados na direção da laminação.

Com o intuito de caracterizar o tipo de corrosão que o aço ISO 5832-9 sofre em cada um dos meios, a superfície do aço foi submetida a um ataque electroquímico (aplicação de um potencial 50 mV superior ao potencial de elevação da corrente durante 15 min.), sendo, posteriormente, analisada por MEV (Figura 3). A análise por EDS é apresentada na Tabela 6, para melhor interpretação. Verifica-se que as micrografias, após o ataque em meios

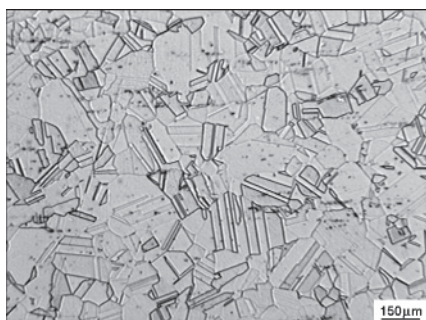


Figura 2 - Microestrutura após ataque metalográfico do aço ISO 5832-9 com ácido oxálico a 10 %.

Tabela 5 - Valores de potencial de corrosão (E_{corr}), da elevação da corrente (E_i) e da densidade de corrente (j_{pass}) para o aço ISO 5832-9, nos três meios estudados.

| Meio | E_{corr} vs SCE / mV | E_i vs SCE / mV | $j_{pass}/mA\ cm^{-2}$ (100 mV) |
|----------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|
| NaCl 0,9 % | -70 ± 12 (5) | 1190 ± 11 (5) | $0,62 \pm 0,87$ (5) |
| Ringer Lactato | -180 ± 23 (5) | 1020 ± 50 (5) | $0,25 \pm 0,34$ (5) |
| MEM | -20 ± 15 (12) | 1340 ± 12 (12) | $0,002 \pm 0,006$ (12) |

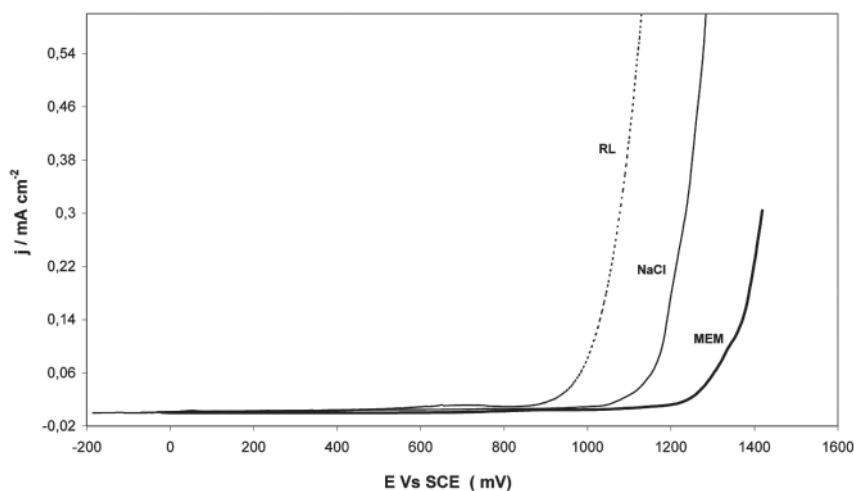


Figura 1 - Curvas de polarização anódica potenciodinâmica do aço inoxidável ISO 5832-9 nos três meios estudados a 37°C e $n = 1\ mV\ s^{-1}$.

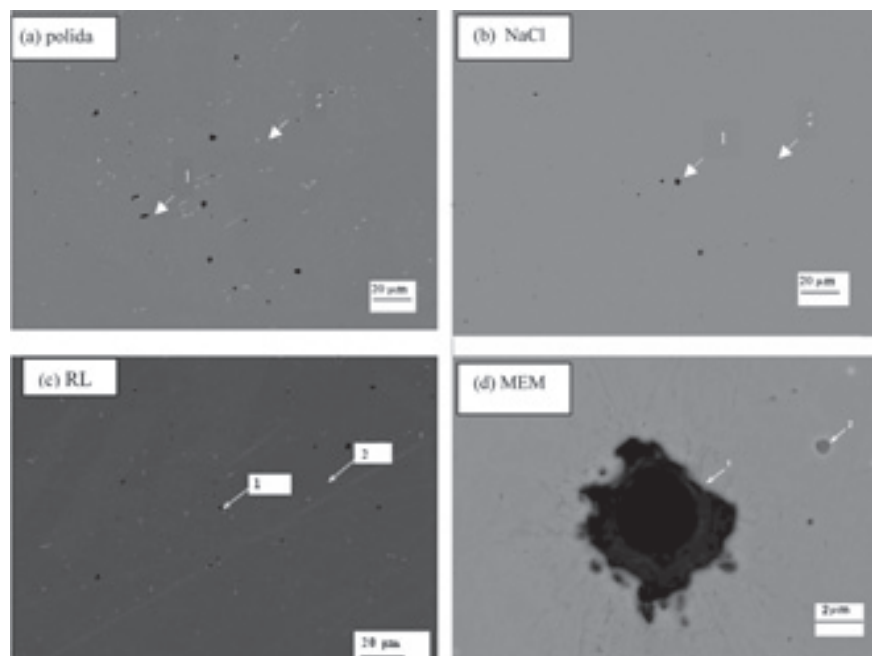


Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (EDS) do aço inoxidável ISO 5832-9. Superfície polida (Figuras 3,a) e após ataque eletroquímico por 15 min num potencial de 50 mV acima do potencial de elevação da corrente: (Figuras 3,b) em meio de NaCl, (Figura 3,c) em meio de RL (Figura 3,d) em MEM.

Tabela 6 - Análise semiquantitativa (EDS) da superfície do aço inoxidável ISO 5832-9 da superfície polida e previamente submetido a um potencial situado 50 mV acima do potencial de elevação da corrente durante 15 minutos nos três meios estudados.

| | Após polimento | | | NaCl | | | RL | | | MEM | | |
|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | M | 1 | 2 | M | 1 | 2 | M | 1 | 2 | M | 1 | 2 |
| Cr | 22.94 | 20.53 | 38.95 | 22.63 | 24.80 | 17.55 | 21.14 | 19.55 | 20.86 | 20.11 | 21.00 | 20.12 |
| Mn | 4.47 | 12.27 | 2.26 | 4.56 | 13.54 | 3.88 | 4.00 | 13.23 | 4.04 | 4.01 | 4.11 | 3.39 |
| Ni | 9.26 | 0.17 | 1.93 | 9.32 | 0.90 | 7.00 | 9.34 | 5.86 | 9.02 | 10.08 | 10.71 | 9.99 |
| Nb | 0.07* | 0.02* | 35.63 | - | - | - | - | - | - | 0.42 | - | 3.13 |
| Si | 0.55 | - | 0.25* | 0.81 | 0.20 | 0.50 | - | - | - | 0.34 | 0.28 | 0.14 |
| S | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.25 | - |
| Mo | 1.70 | - | - | 1.5 | 0.81 | 1.10 | 2.59 | 2.11 | 3.04 | 2.24 | 1.37 | 2.34 |
| O | - | 61.72 | - | - | 48.55 | 22.18 | 2.31 | 2.15 | 1.79 | 3.05 | 1.83 | 4.88 |
| Al | - | 3.04 | - | - | - | - | - | - | - | 0.12 | 0.15 | 0.08 |
| Ti | - | 1.15 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| V | - | - | 0.65 | - | 0.44 | - | - | - | - | - | - | 0.10 |
| Cl | - | - | - | - | 0.16 | 0.01* | 0.03* | 0.03* | 0.06* | 0.16 | 0.22 | 0.10 |
| Mg | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.22 | - | 0.06 |
| Ca | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.02 | 0.02 | 0.07 |
| P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.05 | - | - |
| Fe | 61.02 | 0.99 | 20.34 | 61.18 | 8.24 | 47.78 | 60.35 | 46.74 | 60.72 | 59.18 | 60.06 | 55.60 |

Obs: M: matriz; 1 e 2 regiões indicadas na Figura 3

de NaCl e RL, mostram as superfícies, em sua maior parte, com a composição média semelhante à do aço original, após polimento, indicando uma oxidação generalizada. As regiões assinaladas com 1, tanto para a superfície polida, quanto para as imersas em NaCl e RL, correspondem a inclusões de óxidos de manganês, ainda presentes após o ataque, como comprovam os altos teores de *Mn* e de *O*. No caso da amostra imersa em MEM, o resultado é bem diferente: a região 1, rica em óxido de manganês, não é observada, o teor de *Mn* e de *O* é baixo em todas as regiões analisadas e a composição média da superfície e a composição média das regiões assinaladas são similares. A região na

forma de cratera deve corresponder à saída de uma inclusão, onde se notam íons cloreto (*Cl*), indicando a presença de um sal, produto da oxidação do material metálico. Observa-se, ainda, que o teor de íons *Cl* é significativo em qualquer ponto da superfície, confirmando o ataque generalizado, visualizado, também, pela mudança de cor da solução. O teor observado de *Mg* se deve ao sal presente no eletrólito. É importante salientar que o E_i para o meio MEM foi o mais positivo, favorecendo o ataque da superfície e a “saída” da inclusão (nesse meio, o óxido de manganês não é solúvel). Os cálculos termodinâmicos também indicam uma proximidade do potencial aplicado

com o potencial padrão do par MnO_4^- / MnO_2 (Masterton, 1993). Em outras palavras, pode haver, no caso do meio MEM, oxidação das inclusões de óxido de manganês a íons permanganato. A oxidação da superfície é bem vista a olho nu, porque a solução se torna alaranjada, indicando a oxidação do cromo (III) a cromo (VI).

Na Tabela 7 e na Figura 4, são apresentados os resultados do teste de citotoxicidade. O aço ISO 5832-9 apresentou comportamento semelhante ao controle negativo, ou seja, não mostrou citotoxicidade em nenhuma das concentrações do extrato e as curvas de viabilidade celular estão acima da linha do índice de citotoxicidade ($IC_{50\%}$). O $IC_{50\%}$ significa que há concentração do extrato que causa morte de 50% da população celular utilizada no ensaio. Esse índice é obtido no gráfico, na intersecção da curva de viabilidade celular com a linha do $IC_{50\%}$. Todo o material que apresenta a curva de viabilidade celular abaixo da linha do $IC_{50\%}$ é considerado tóxico. O material que apresenta a curva acima da linha do $IC_{50\%}$ é considerado não-tóxico. Somente o controle positivo mostrou citotoxicidade com $IC_{50\%}$ de 39. Portanto, nesse ensaio, o aço ISO 5832-9 foi caracterizado como não-tóxico.

Tabela 7 - Resultados da porcentagem da viabilidade celular da amostra do aço inoxidável ISO 5832-9 no ensaio de citotoxicidade.

| Concentração do extrato (%) | % Viabilidade celular \pm desvio padrão | | |
|-----------------------------|---|-------------------|-------------|
| | Controle negativo | Controle positivo | ISO 5832-9 |
| 100 | 97 \pm 16 | 0 \pm 0 | 135 \pm 4 |
| 50 | 127 \pm 15 | 30 \pm 9 | 110 \pm 5 |
| 25 | 116 \pm 10 | 71 \pm 10 | 94 \pm 16 |
| 12,5 | 111 \pm 4 | 99 \pm 9 | 85 \pm 3 |
| 3,25 | 108 \pm 12 | 94 \pm 3 | 81 \pm 2 |

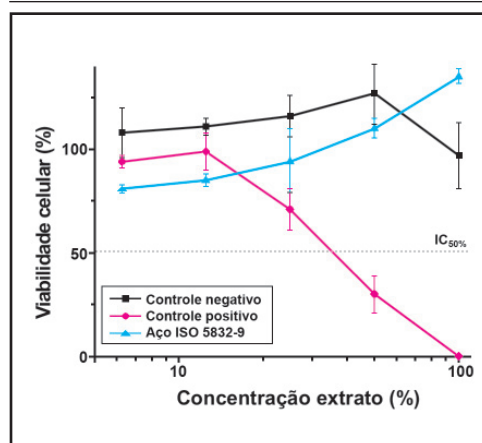


Figure 4 - Curvas de viabilidade celular do aço inoxidável ISO 5832-9 no ensaio de citotoxicidade pelo método de incorporação do vermelho neutro

4. Conclusões

O aço ISO 5832-9 estudado em diferentes meios apresenta o seguinte comportamento:

- Mostra-se passivado nos três meios estudados, com uma faixa de potencial igual ou superior a 800 mV. A ordem crescente de estabilidade nos três meios, é: $E_{RL} < E_{NaCl} < 0,9 \% < E_{MEM}$
- As densidades de corrente de passivação, inferiores a $0,25 \mu A/cm^2$, medidas a um potencial 100 mV mais positivo do que E_{corr} seguem a ordem $j_{MEM} \ll j_{NaCl} < j_{RL}$.
- O ataque eletroquímico a 50 mV acima do potencial de elevação da corrente mostra que os materiais não apresentam corrosão localizada. Em solução MEM, onde o ataque foi feito a potencial mais elevado, verifica-se a perda das inclusões de óxido de manganês, sugerindo destacamento mecânico em virtude da maior oxidação generalizada da superfície metálica ou mesmo oxidação do manganês em virtude do valor de potencial aplicado.
- O referido aço não apresenta toxicidade de acordo com os testes realizados.

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelas bolsas e auxílios concedidos.

6. Referências Bibliográficas

AFONSO, M.L.C.A., VILLAMIL JAIMES, R.F.V., ARÃAS, E.P.G., CAPRI, M.R., OLIVEIRA, E., AGOSTINHO S.M.L. The influence of albumin on the anodic dissolution of chromium present in UNS S31254 stainless steel in chloride environment. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, v. 317, p. 760-763, 2008.

DISEJI, J.A., ESCHBACH, L. Stainless steel in bone surgery. *Injury Int. J. Care Injured*, v.31, S-D2-D6, 2000.

FINI, M., NICOLI ALDINI, N., GIAVERESI, P., BORSARI, V., LENGGER, H., BERNAUER, J., GIARDINO, R., CHIESA, R. CIGADA. A new austenitic stainless steel with negligible nickel content: an in vitro and in vivo comparative investigation. *Biomaterials*, v.24, p.4929-4939, 2003.

GIORDANI, E.J., FERREIRA, J., BALANCIN, O. Propriedades mecânicas e de corrosão de dois aços inoxidáveis austeníticos utilizados na fabricação de implantes ortopédicos. *REM - Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 1, p.55-62, 2007.

ISO DOCUMENT 10993-5. Biological evaluation of medical devices, part 5. Test for cytotoxicity: In vitro methods, 1992.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 5832-9, Implants for Surgery-Metallic Materials-part 9: Wrought high nitrogen stainless steel, 2001.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 6892:1998. Metallic Materials - Tensile testing an ambient temperature.

JAIMES, R. F. V. V., AFONSO, M. L. C. A., AGOSTINHO S. M. L. AND BARBOSA, C. A. Evolução temporal da interfase aço inoxidável P558/solução de cloreto de sódio por espectroscopia de impedância eletroquímica. *REM - Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 1, p.63-68, 2007. A

JAIMES, R.V.V., ANDRADE AFONSO, M.L.C., AGOSTINHO, S. M. L. AND BARBOSA, C. A. Efeito do nióbio no comportamento eletroquímico do aço ISO 5832-9 em MEM por espectroscopia de impedância eletroquímica. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 62. Rio de Janeiro: 2007. CD- ROM.

JAIMES, R.V.V., ANDRADE AFONSO, M.L.C., SOKOLOWSKI, A., ROGERO,

S.O., AGOSTINHO, S. M. L. AND BARBOSA, C.A. Estudo da viabilidade da adição de nióbio ao aço ISO 5832-9 aplicado em implantes ortopédicos. In: INTERCORR, 2008. Recife/PE. CD-ROM. C

MASTERTON, L. W., HURLEY. *Chemistry principles and reactions*. (2. ed.). Harcourt Brace College Publishers, 1993. 468p.

RECLARU, L., ZIEGENHAGEN, R., ESCHLER, P.-Y., BLATTER, A., LEMÂÛTRE, J. Comparative corrosion study of "Ni-free" austenitic stainless steels in view of medical applications. *Acta Biomater*, v.2, p.433-444., 2006.

ROGERO, S. O., HIGA, O. Z., SAIKI, M., CORREA, O. V. AND COSTA, I. Cytotoxicity due to corrosion of ear piercing studs. *Toxicology in vitro*, v.4, p. 497-504, 2000. A

ROGERO, S.O., LUGÃO, A.B., IKETA, T.I., CRUZ, A.S. Teste in vitro de citotoxicidade: estudo comparativo entre duas metodologias. *Materials Research*, v.6, 3, p.317-320, 2003. B

RONDELLI, G., TORRICELLI, P., FINI, M., GIARDINO R. In vitro corrosion study by EIS of a nickel-free stainless steel for orthopaedic applications. *Biomaterials*, v.26, p.739-744, 2005.

SOBRAL, A. V. C., RISTOW, JR. W., D. S. AZAMBUJA, I. COSTA, C. V. FRANCO, *Corrosion Science*, v.43, p.1019, 2001.

TRISSEL, L. A. Handbook on injectable drugs. (ed. Bethesda: American Society of Hospital Pharmacists, 1996.

VILLAMIL, R. F. V., BARBOSA, C. A., SAYEG I.J., JOAQUIM A.C. E AGOSTINHO, S. M.L. Aços inoxidáveis aplicados em implantes ortopédicos: resistência à corrosão por pite do aço ISO 5832-9 em meio de soluções Ringer e Ringer Lactato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS-CBECIMAT, 15. Natal, 2003 A.

VILLAMIL, R.F.V., ANDRADE, A.H.P., BARBOSA, C.A., SOKOLOWSKI, A AND AGOSTINHO, S.M.L. Comparative electrochemical studies of ISO 5832-9 and F 138 stainless steels in sodium chloride, pH = 4.0 medium. US Patent: ASTM STP 1438, WINTERS, G.L., NUTT, M.J. (Eds.), American Society for Testing and Materials, *West Conshohocken*, PA, 2002 B.

VILLAMIL, R.F.V., ARANHA, H., AFONSO, M.L.C.A., MERCADANTE, M.T., AGOSTINHO, S.M.L. Aços inoxidáveis em implantes ortopédicos: fundamentos e resistência à corrosão. *Revista Brasileira de Ortopedia e Traumatologia*, v.37, p. 471-476, 2002 C.

Artigo recebido em 31/08/2009 e aprovado em 19/01/2010.