

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

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

## **Investigação do processo corrosivo do aço carbono SAE 1020 em água da Usina Hidroelétrica de Tucuruí/PA**

Marcos A.C. Berton<sup>a</sup>, Regina S.M. Amaral<sup>b</sup>, Fernando S.C. Azevedo<sup>b</sup>, Leonardo H.L.S. Oliveira<sup>b</sup>, Denis R.A. Fernandes<sup>b\*</sup>, José C. Cardoso Filho<sup>c</sup>, Patricia R. Dalzoto<sup>d1</sup>, Vânia A. Vicente<sup>d2</sup>, Ida C. Pimentel<sup>d3</sup> Paulo R.D. Marangoni<sup>d4</sup>

### **Abstract**

Located in Para State the Tucuruí Hydroelectric Plant (THP) has an important role in the Brazil production of energy. Therefore, the study of processes involving corrosive metal structures in contact with the water generating electricity is essential to maintain the physical integrity of the THP. Electrochemical behavior of carbon steel SAE 1020 installed in corrosion monitoring stations (CMS) was investigated. The CMS were installed in four different points of the cooling system of generating unit in study as follows: before the injection system control products micro-organisms, after the generating unit, after the speed regulator and before an auto-transformer. The electrochemical results showed that the open circuit potential (OCP) reached the range -0.50 to -0.55 V (SCE) after 30 minutes and polarization curves are shifted to anodic regions, subsequently introducing the bactericide the raw water reservoir of THP.

**Keywords:** THP-Tucuruí, corrosion, carbon steel, electrochemical.

### **Resumo**

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT), localizada no estado do Pará, apresenta importante papel na matriz energética brasileira. Por esse motivo, o estudo dos processos corrosivos envolvendo as estruturas metálicas em contato com a água geradora da energia elétrica é imperativo na manutenção da integridade física da UHT. Neste trabalho foi investigado por técnicas eletroquímicas o comportamento do aço carbono SAE 1020 instalado em estações de monitoramento da corrosão (EMC) na Usina Hidrelétrica de Tucuruí. As EMC foram instaladas em quatro diferentes pontos do sistema de resfriamento da unidade geradora em estudo da seguinte forma: uma EMC antes do sistema de injeção de produtos para controle de micro-organismos, uma após a unidade geradora, uma após o regulador de velocidade e uma antes do auto-transformador. Os resultados dos ensaios eletroquímicos mostraram que o potencial de circuito aberto alcança a faixa -0,50 a -0,55V(ECS) após 30 minutos de ensaio e que as curvas de polarização são deslocadas para regiões anódicas, posteriormente a introdução do agente bactericida na água bruta do reservatório da UTH.

**Palavras-chave:** UHT-Tucuruí, corrosão, aço carbono, eletroquímica.

<sup>a</sup> Doutor, Pesquisador Senior, LACTEC

<sup>b</sup> Sistema Eletrobras/Eletronorte – <sup>b1</sup> Eng. Química, Eng. Química, <sup>b2</sup>Eng. Químico, Eng. Químico, <sup>b3</sup>Técnico, técnico, <sup>b4</sup>Eng. Mecânico, Gerente.

<sup>c</sup> Doutor, Prof. Associado – Universidade Federal do Pará.

<sup>d</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR, <sup>d1</sup> Doutora, Prof<sup>a</sup> Adjunta, <sup>d2</sup> Doutora, Prof<sup>a</sup> Adjunta, <sup>d3</sup> Doutora, Prof<sup>a</sup> Associada, <sup>d4</sup> Mestre, Aluno de Doutorado.

## **Introdução**

---

Os trocadores de calor dos extratores e dos radiadores dos sistemas de óleos lubrificantes são importantes equipamentos das usinas hidrelétricas e por esse motivo a integridade física dos mesmos é fundamental para a geração de energia elétrica. A corrosão influenciada microbiologicamente (MIC) e o desenvolvimento de biofilmes nas paredes dos trocadores de calor podem levar a paralisação de uma usina hidrelétrica (1).

O biofilme pode ser considerado como o resultado de processos complexos que envolvem o transporte de moléculas orgânicas e inorgânicas e células de micro-organismos até uma superfície, a adsorção de moléculas nesta superfície (formação de uma camada condicionante) e a fixação inicial das células dos micro-organismos, seguida pela produção de substâncias poliméricas extracelulares, freqüentemente chamadas de lodo ou lama (2).

Na Usina Hidrelétrica de Tucuruí /PA (UHT) é utilizada água bruta do reservatório como fluido refrigerante dos trocadores de calor, que foram construídos em aço carbono e a presença de biofilmes na interface metal/água bruta foi identificada em investigação anterior (3). No intuito de controlar o crescimento de biofilmes nos trocadores de calor das usinas hidroelétricas, é comum a adição controlada de hipoclorito no fluido refrigerante desses equipamentos, porém, essa técnica pode causar mudanças significativas na taxa de corrosão dos trocadores de calor.

Neste trabalho foram projetadas, construídas e instaladas na UHT estações de corrosão (ECs), com o objetivo de investigar o comportamento eletroquímico do aço carbono SAE 1020 em meio de água bruta do reservatório, através de ensaios de polarização.

## **Metodologia**

---

Foram instaladas quatro estações de corrosão (ECs) na unidade geradora 6 (UGH-6) para investigar as taxas de corrosão sobre amostras de aço carbono SAE 1020. Na UGH-6 regularmente é injetado hipoclorito de cálcio como agente bactericida antes da água do reservatório passar pelo sistema de resfriamento das máquinas. Para efeitos comparativos, foram instaladas ECs antes e após o ponto de injeção do agente bactericida, da seguinte forma: 01 EC antes do sistema de injeção de hipoclorito; 01 EC depois dos radiadores do gerador; 01 EC depois dos trocadores de calor do regulador de velocidade e 01 EC antes do trocador de calor do transformador. Todas as ECs instaladas ficaram localizadas na cota 6,20 m. Na Figura 1 está apresentado um desenho ilustrativo da estação de corrosão. Para este trabalho serão apresentados os resultados das ECs antes do sistema de injeção de hipoclorito e após o gerador. As estações de corrosão basicamente podem ser vistas como células eletroquímicas tradicionais de três eletrodos.

As medidas eletroquímicas foram realizadas utilizando um potenciostato/galvanostato CompacStat™ da Ivium Technologies®. As medidas eletroquímicas foram realizadas em intervalos de aproximadamente dois meses. As curvas de polarização foram realizadas aplicando uma varredura de 10 mV/s partindo de um potencial inicial de aproximadamente 300 mV mais negativo em relação ao potencial de circuito aberto até aproximadamente 300 mV mais positivo.

O contra eletrodo foi uma tela de aço inoxidável (malha 2 mm) colocada em duas laterais uma de frente para outra, ambas conectadas eletricamente. O eletrodo de referência utilizado foi o eletrodo de calomelano saturado, posicionado na parte superior da EC e em contato com a EC por uma ponte salina confeccionada com tubos de PVC e completada com nitrato de potássio com concentração de  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ . Para evitar o vazamento da solução da ponte salina, foi utilizada rolha de cortiça, que por ser semipermeável, garante o contato iônico entre a ponte salina e a água de passagem da barragem pela EC ( o eletrólito da célula). Os corpos-de-prova de aço carbono (SAE1020) instalados nas ECs foram de geometria cilíndrica, embutidos em resina epóxi expondo uma área ativa circular plana de  $1,0 \text{ cm}^2$ . Os corpos-de-prova objeto deste estudo foram rotulados como: ACP-3; ACP-12, ACP-39 e ACP-29, ACP-34 e ACP-50. Na Figura 2 está apresentada uma fotografia de um eletrodo de trabalho de aço carbono SAE 1020 utilizado para medidas eletroquímicas.

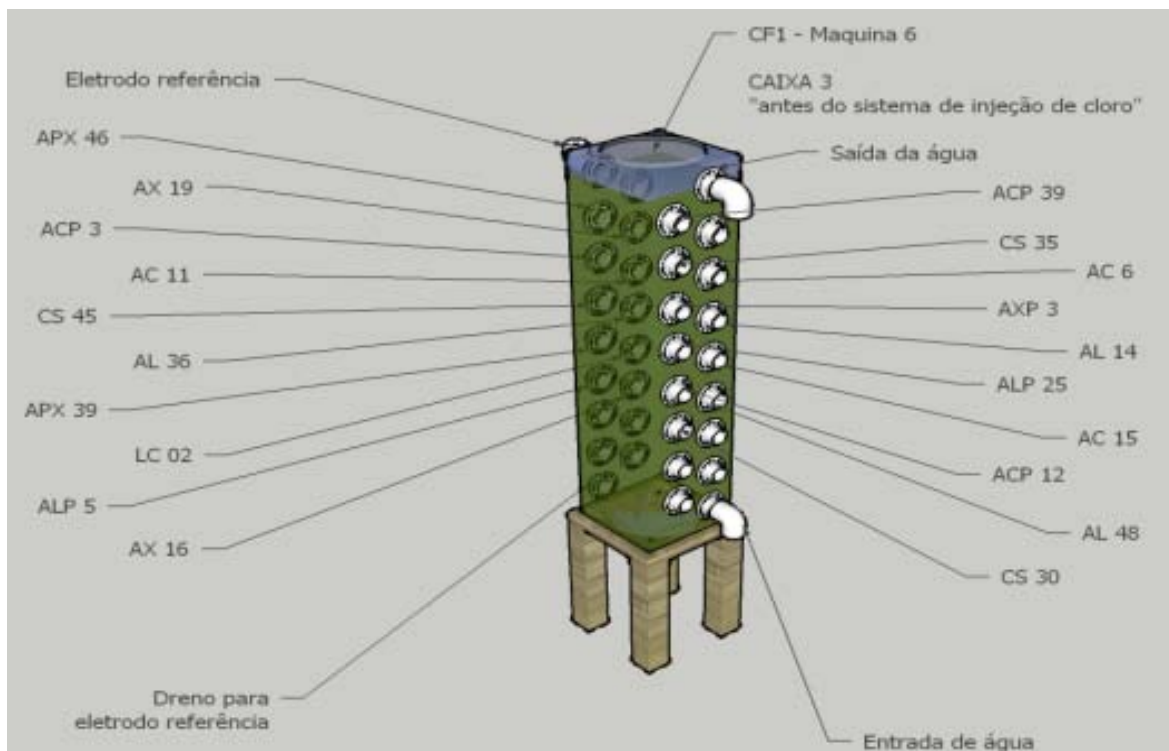


Figura 1 – Desenho ilustrativo de uma EC. PI- 1000751-2



Figura 2 – Fotografia do eletrodo de trabalho de aço carbono (SAE1020) utilizado no estudo.

## Resultados e discussão

### Potencial de Circuito Aberto

A variação do potencial de circuito aberto (OCP) em função do tempo para o aço SAE1020 em meio à água bruta do reservatório da UHT é apresentada na Figura 3. As curvas de OCP foram obtidas in loco para três corpos de prova, fixados em uma mesma estação de corrosão, em um intervalo de tempo  $4,0 \times 10^3$  segundos e com o auxílio de um eletrodo de calomelano saturado.

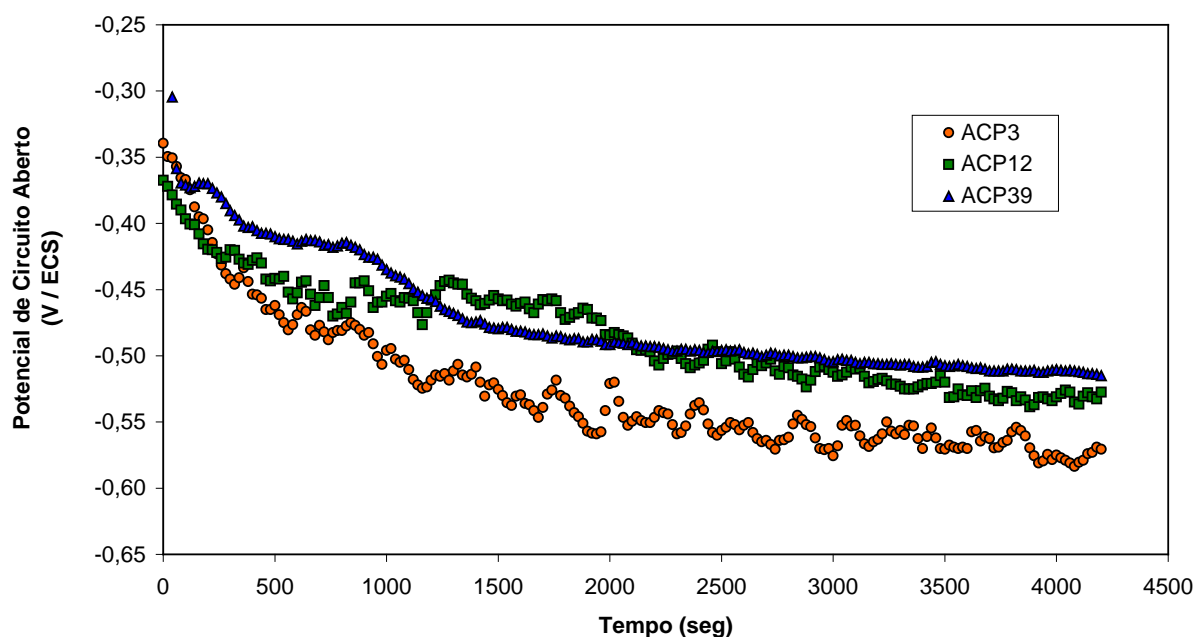
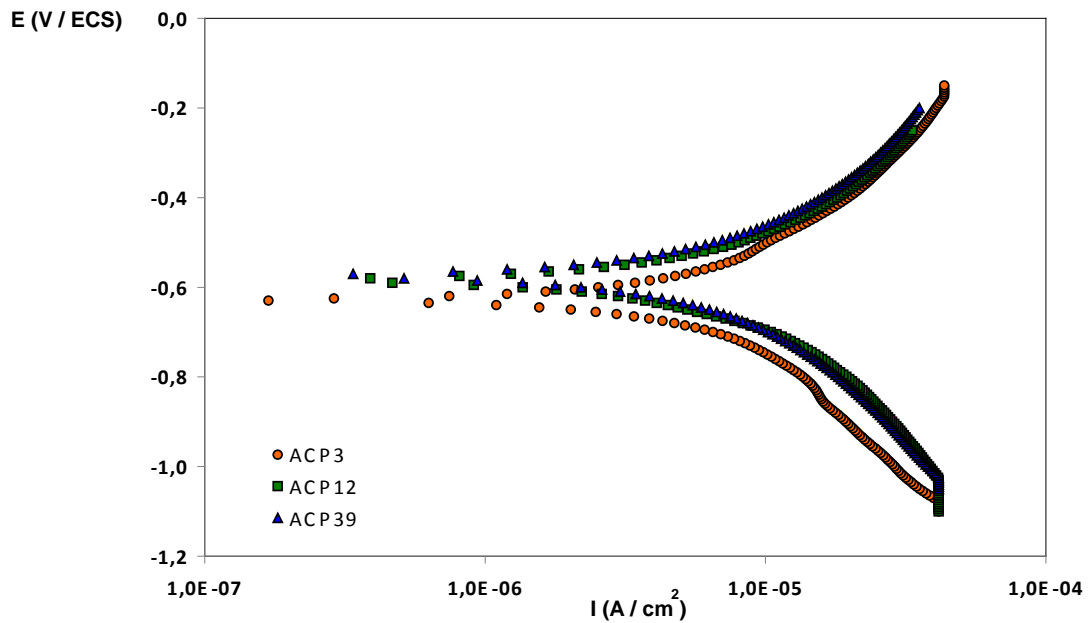


Figura 3 – Curvas potencial de circuito aberto (OCP) versus tempo para três corpos de prova de aço carbono SAE1020 em meio de água bruta do reservatório da UHT.

As medidas iniciais do potencial de circuito aberto (OCP), para os três corpos de prova, ficam próximas a  $-0,35\text{V(ECS)}$  e deslocam-se para uma região catódica na faixa de  $-0,50$  a  $-0,55\text{V(ECS)}$ . Esse comportamento é observado em todos os casos da Figura 3, contudo, a estabilidade do corpo de prova ACP39 é superior aos corpos de prova ACP3 e ACP12. Possivelmente a posição do corpo de prova no interior da estação de corrosão é o principal responsável pela maior ou menor estabilidade do OCP, pois a hidrodinâmica do sistema deverá influenciar de forma bastante significativa nas medidas de OCP.

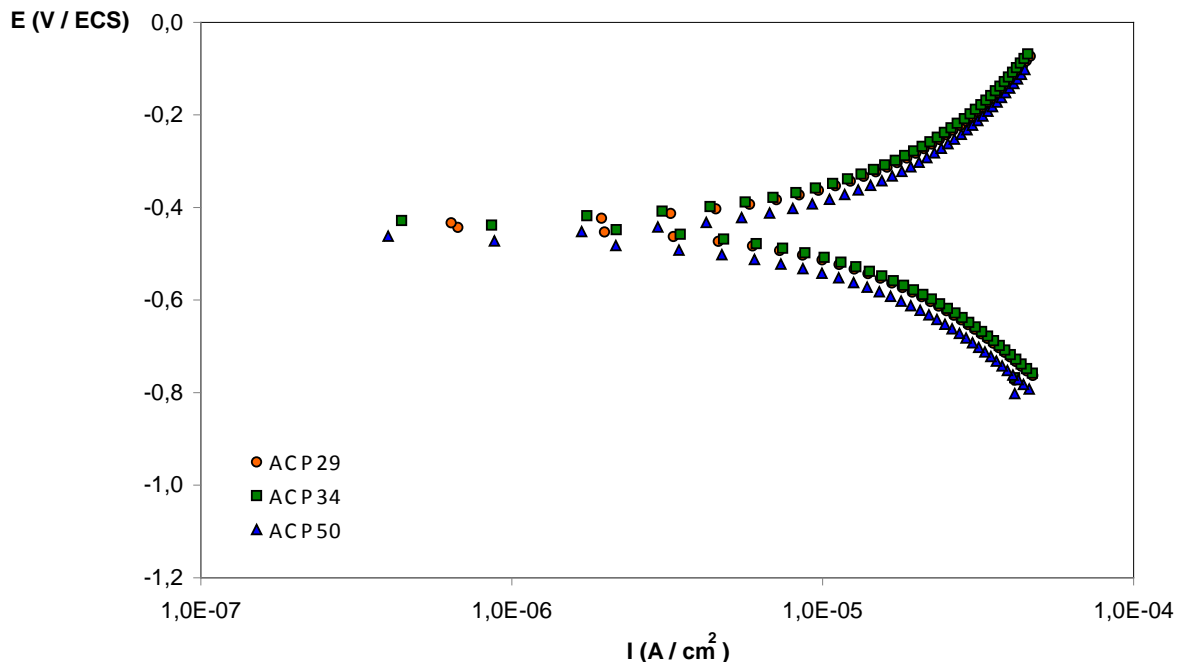
### Curvas de Polarização

As curvas de polarização apresentadas na Figura 4 foram obtidas em meio de água bruta do reservatório da UHT na ausência de agente bactericida na água de refrigeração do sistema de trocador de calor. Os três corpos de prova de aço carbono (ACP3, ACP12 e ACP39) faziam parte de uma mesma estação de corrosão. A Figura 4 mostra que os corpos de prova ACP3 e ACP12 não apresentam mudanças significativas nas curvas de polarização. O corpo de prova ACP3 apresentou um deslocamento desprezível em ambas às curvas no sentido catódico, quando comparado com as duas primeiras curvas.



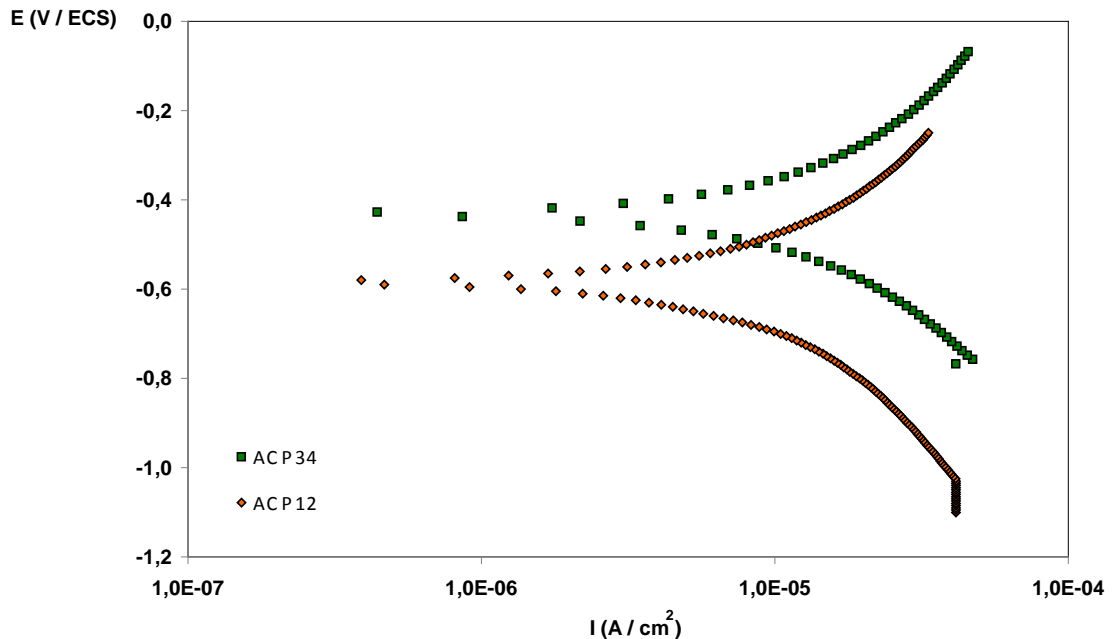
**Figura 4 – Curvas polarização para os corpos de prova ACP3, ACP12 e ACP39 em meio de água bruta do reservatório da UHT, antes da injeção do agente hipoclorito de cálcio na água de refrigeração do trocador de calor.**

Na Figura 5 são apresentadas curvas de polarização obtidas em meio de água bruta do reservatório da UHT na presença de agente bactericida. Os corpos de prova de aço carbono, ACP29, ACP34 e ACP50 estavam localizados em uma mesma estação de corrosão. O diferente posicionamento dos corpos de prova na EC, nesse caso com a presença do agente bactericida, não provocou mudança nas curvas anódicas e catódicas.



**Figura 5 – Curvas polarização para os corpos de prova ACP29, ACP34 e ACP50 em meio de água bruta do reservatório da UHT, após a injeção do agente bactericida na água do sistema de refrigeração do trocador de calor.**

As curvas de polarização dos corpos de prova ACP12 e ACP34, na presença e na ausência do agente bactericida, respectivamente, são apresentadas na Figura 6.



**Figura 6 – Curvas polarização para os corpos de prova ACP12 e ACP34 em meio de água bruta do reservatório da UHT, antes e após a injeção do agente bactericida no trocador de calor respectivamente.**

A presença do hipoclorito na água bruta do reservatório da UTH provocou o deslocamento das curvas de polarização (ACP34) para regiões anódicas, como mostra a Figura 6.

As curvas de polarização e do potencial de circuito aberto mostram que nos sistemas investigados nesse trabalho os processos anódicos e catódicos podem ser representados pelas seguintes reações eletroquímicas (4):



A forma das curvas anódicas e catódicas apresentam poucas alterações quando são comparadas entre si, indicando que a presença do agente bactericida no meio não altera, significativamente, os processos anódicos e catódicos (1) e (2).

## Conclusões

Os resultados dos ensaios eletroquímicos obtidos com a água bruta da UHT, mostraram que estação de corrosão (EC) é uma ferramenta importante para a investigação da corrosão no interior dos trocadores de corrosão.

O potencial de circuito aberto (OCP) do aço carbono (SAE1020), após trinta minutos em meio de água bruta da UHT, apresenta-se numa faixa de potencial de -0,50 a -0,55V(ECS).

As curvas de polarização mostraram que a introdução do agente bactericida na água bruta do reservatório da UTH proporcionou um pequeno deslocamento das mesmas para regiões anódicas.

#### **Referências bibliográficas**

---

- (1) GARCIA, C. M., DA SILVA J. M., TERNES NETO H. J., D'ALKAINÉ C. V. Avaliação do estado quanto à corrosão de condutos forçados de adutoras de usinas hidroelétricas após décadas de uso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE ELETROQUÍMICA 15., 2002 Évora – Portugal. **Anais SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE ELETROQUÍMICA**, 2002. p. 8 - 13
- (2) BEECH, I. B. Corrosion of technical materials in the presence of biofilms - current understanding and state-of-the art methods of study, **International Biodeterioration and Biodegradation**, v 53. p. 177 – 182. Aug. 2004.
- (3) ASSUNÇÃO, J.L., PICANÇO, J.M.M, **Relatório Sistema de resfriamento da Usina Hidroelétrica de Tucuruí/PA**, Regional de Produção e Comercialização de Tucuruí – CTC, 2010.
- (4) ROBERGE, P. R. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1999. p. 327-342