

# CORROSÃO EM REGIÃO DE SOLDA DOS AÇOS ASTM A 285 GRAU C E 516 GRAU 60 SUBMETIDOS À SOLUÇÃO DE LICOR BRANCO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE<sup>1</sup>

O. Regis Junior<sup>2</sup>  
R.C. Parede<sup>3</sup>  
J. M. Silva<sup>4</sup>  
A.J. Zara<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho estudou a corrosão nos aços ASTM A 285 Grau C e 516 Grau 60 utilizados na construção de digestores descontínuos para obtenção de celulose pelo processo Kraft, sujeitos ao licor branco (solução aquosa de NaOH e Na<sub>2</sub>S, numa proporção de 5:2, com pH próximo de 14); que é a solução característica do processo. Tomando como referência o procedimento de soldagem adotado na construção do digestor descontínuo para obtenção de celulose pelo processo Kraft (eletrodos revestidos AWS E 7018). Os corpos de provas de forma cilíndrica foram obtidos pelo processo de eletroerosão por penetração das regiões do cordão de solda (MS), zona termicamente afetada (ZTA) e material de base (MB). Os corpos de provas foram embutidos em resina acrílica. Os ensaios eletroquímicos foram realizados a partir de um potenciostato/galvanostato, marca AUTOLAB, modelo PGSTAT 30; utilizando-se de um eletrodo de Calomelano Saturado (ECS) e um contra-eletrodo de platina com 3,14 cm<sup>2</sup>. As medidas foram determinadas para as temperaturas de 25, 35, 45, 55, 65 e 75 0 C. Inicialmente, foram determinado os potenciais de corrosão segundo a norma ASTM-G 59-91, seguido de polarização anódica (+150 mV vs ECS) em direção a catódicas (-150 mV) com velocidade de varredura 1mV.s<sup>-1</sup>. As taxas de corrosão foram determinadas a partir das resistências de polarização e das constantes de Tafel anódicas e catódicas. Para a temperatura de 750C, obteve-se uma taxa de corrosão de 0,57, 1,17 e 1,85 mma, para o açoASTM A 285 nas regiões da MB, ZTA e MS, respectivamente. Nos ensaios com o aço ASTM A 516, nas mesmas condições, obteve-se os valores de 1,19, 1,33 e 2,43 mma respectivamente. Observando os resultados concluímos que o aço ASTM A 285 apresenta melhor desempenho que o aço ASTM A 516, para o meio e temperaturas analisadas.

**Palavras-chave:** Eletrodo revestido AWS E 7018; Corrosão; Taxa de corrosão.

## CORROSION AT WELD ZONE IN THE STEELS ASTM A 285 GRADE C AND 516 GRADE 60 SUBMITTED TO WHITE LIQUEUR FROM CELLULOSE INDUSTRY

### Abstract

This work aimed to study corrosion at ASTM 285 grade C and ASTM 516 Grade 60 steel used at discontinuous digester construction to obtain cellulose through Kraft process. These steels are subject to white liqueur (NaOH and Na<sub>2</sub>S aqueous solution, in a 5:2 proportion, pH next to 14) that is the process standard solution. The welding procedures adopted at discontinuous digester construction to obtain cellulose through Kraft process (AWS E 7018 shielded metal ) were taken as reference. Cylindrical shape test samples were obtained by electrical-erosion process by penetration of welding section (WS), thermally affected zone (HTZ) and base material (BM). Test samples were imbedded in acrylic resin. Electrochemical essays were undertaken from a potenciostat/galvanostat, AUTOLAB trademark, model PGSTAT 30, using an Saturated Calomel electrode and a 3,14 cm<sup>2</sup> platinum counter-electrode. Measures were adjusted to temperatures of 25, 35, 45, 55, 65 an 75° C. Firstly, were established corrosion potential according to ASTM-G 59-91 rules, followed by anodic polarization (+150 mV vs ECS) toward to cathodic (-150mV) with a scan speed of 1m V.s<sup>-1</sup>. Corrosion rates were established from polarization resistance and anodic/catodic Tafel constants. At 75° C was obtained 0.57, 1.17 and 1.85 mma corrosion rate for ASTM A 285 grade C steel at BM, HTZ and WS region, respectively. In essays with ASTM A 516 grade 60 steel, at same conditions, were obtained the values 1.19, 1.33 and 2.43 mma, respectively. From the results it was brought to a conclusion that ASTM A 285 steel presents better performance than ASTM A 516 grade 60 steel for environment and temperatures analyzed.

**Key words:** Shielded metal AWS E 7018; Corrosion; Tax corrosion.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Prof. Msc. Universidade Tecnológica do Paraná – Campus Ponta Grossa,

<sup>3</sup> Prof. Dr. PIPE – Universidade Federal do Paraná.,

<sup>4</sup> Dr. LACTEC – Instituto Tecnológico do Laboratório Central de Pesquisa e Desenvolvimento,

<sup>5</sup> Prof. Dr. LIMAC - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das fases da fabricação do papel é a produção da pasta de celulose, que é obtida através de um processo denominado polpação, que consiste na separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ ou mecânica. Os dois principais processos alcalinos na produção de pastas químicas são: o Processo Soda e o Processo Kraft ou Sulfato.<sup>(1)</sup>

Na Empresa Iguaçu Celulose, Papel S.A, em Piraí do Sul – PR, o processo Kraft é realizado em digestores descontínuos. Os materiais de construção desses digestores são os aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60. A empresa observou nesses anos de controle um processo de corrosão acentuado, tanto na região de solda como nas paredes do digestor.

O controle da espessura da parede do digestor é realizado através da técnica de ultra-som. Porém, esta técnica tem limitações na medição do valor da espessura na região do cordão de solda e da zona termicamente afetada, devido a geometria destas regiões (formato do cordão e formação de “sulcos” na ZTA, após um ano de exposição ao processo industrial).

Este trabalho tem como objetivo determinar a taxa de corrosão nas regiões do material de base, zona termicamente afetada e região do cordão de solda. dos aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A516 Grau 60 utilizados na construção dos digestores. Para isto, foram utilizados corpos de provas constituídos do mesmo material que é construído o digestor e soldados pelo processo de eletrodo revestido. Os métodos utilizados para a análise da taxa de corrosão foram os de resistência à polarização, onde o corpo de prova foi submetido ao “licor branco”, característico do processo de polpação. Além da inserção de corpos de provas dentro do digestor, para acompanhamento da perda de massa provocado pelo processo de polpação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Procedimento de Soldagem

As soldas de múltiplos passes foram produzidas pelo processo de eletrodo revestido AWS E 7018 com  $\varnothing$  2,5 mm para a raiz e com  $\varnothing$  3,25 mm para o recobrimento. A Especificação dos Procedimentos de Soldagem (ver Tabela1) variaram para o passe de raiz e os de recobrimento, mas não para os materiais.

**Tabela 1** - Especificação dos Procedimentos de Soldagem

Elementos	PASSE DE RAIZ	PASSE DE RECOBRIMENTO
Eletrodo Revestido	AWS E 7018 – ESAB 48.04	AWS E 7018 – ESAB 48.04
Diâmetro:	Diâmetro: 2,5 mm	Diâmetro: 3,25 mm
Corrente	80 A - CC <sup>+</sup>	120 A - CC <sup>+</sup>
Tensão	25 V	25 V
Posição	1 G <sup>1</sup>	1 G <sup>1</sup>
Metal de base	P N <sup>o</sup> 1; <sup>2</sup>	P N <sup>o</sup> 1; <sup>2</sup>
Pós – aquecimento	Não Aplicado;	Não Aplicado
Pré – aquecimento	Não Aplicado;	Não Aplicado
Temperatura entre passes	Não Aplicado	Não Aplicado
Limpeza entre passes	Esmerilhamento e Escova	Esmerilhamento e Escova
Chanfro	Por esmerilhamento	Por esmerilhamento.
Forma do cordão	Reto	Reto
Ensaio não destrutivo	Líquido Penetrante	Líquido Penetrante

Fonte: Regis Junior<sup>(2)</sup>

## 2.2 Determinação da Composição Química das Chapas

A determinação das composições química das chapas dos aços ASTM A 516 Grau 60 e do aço ASTM A 285 Grau C, foram obtidas através de um espectrômetro de emissão ótica marca BAIRD, modelo DV-4. A.

## 2.3 Obtenção dos Corpos de Prova para Determinação da Taxa de Corrosão pela Técnica Eletroquímica

Utilizando o equipamento de eletroerosão por penetração foram retirados corpos cilíndricos das regiões do cordão de solda (MS), da zona termicamente afetada (ZTA) e do material de base (MB) dos corpos de provas que foram submetidos ao processo de soldagem. Estes corpos cilíndricos formam os eletrodos de trabalho (E.T). A área da base destes cilindros é de 0,178 cm<sup>2</sup>; sendo que os corpos cilíndricos não sofrerão qualquer tratamento térmico. Na área oposta à área da base deste cilindro foi soldado um fio de cobre com solda à base de estanho. Logo após, estes corpos cilíndricos foram embutidos em resina acrílica autopolimerizável para facilitar o processo de polimento. Este processo de polimento da superfície do eletrodo de trabalho foi feito em lixas de carvão de silício a partir de uma granulação Mesh 200, passando por granulações sucessivas, até uma lixa com granulação fina Mesh 1200.

<sup>1</sup> 1G- Posição plana – Posição de soldagem convencionalizada pela ASME para chapas. ASME – American Society of Mechanical Engineers – Associação Americana de Engenheiros Mecânicos.

<sup>2</sup> P N<sup>o</sup> 1 – Agrupamento dos metais da soldagem- Código ASME para Caldeiras e Vasos de Pressão – ANSI/ASME BPV- IX.

## 2.4 Medição da Taxa de Corrosão pela Técnica Eletroquímica

Os ensaios de medição das taxas de corrosão foram realizados em um Potenciostato PGSTAT 30 da Marca AUTOLAB. Para este ensaio, utilizou-se uma célula eletrolítica composta de um eletrodo de referência (E.R) de calomelano saturado (ECS), um contra eletrodo (C.E) de platina, um eletrodo de trabalho (E.T) constituído pelo material a ser analisado e a solução de “ licor branco” como eletrólito . As medidas de taxa de corrosão dos aços ASTM A 516 Grau 60 e ASTM a 285 Grau C foram determinadas para temperaturas de 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C e 75°C, sendo acondicionada numa célula termostatizada. As temperaturas foram controladas pela passagem de um fluxo de água pela célula e através de um termostato da marca Brookfield, modelo TC-501. Antes de iniciar os testes para obter os potenciais de corrosão ( $E_{corr}$ ), esperou-se o licor branco atingir a temperatura desejada, mantendo a solução aerada naturalmente. Após isso se imergiu o eletrodo de referência, o eletrodo de trabalho e o contra eletrodo na solução do licor branco. Com todas as ligações elétricas conectadas, iniciou-se a leitura e o acompanhamento do potencial de corrosão com o tempo. Este período de acompanhamento foi de 55 minutos,<sup>(3)</sup> ao fim do qual o valor obtido foi considerado o valor do potencial de corrosão. Após esta medida, iniciou-se a micropolarização cíclica que teve o início da varredura de potencial, partindo do potencial de corrosão no sentido anódico até 12 mV mais positivo que o potencial de corrosão. Logo após, a varredura foi invertida em direção catódica até 12 mV mais negativo que o potencial de corrosão e finalmente retornando ao potencial inicial, isto tudo a uma velocidade de varredura de 1 mV/s. Esse ensaio permitiu determinar a resistência de polarização ( $R_p$ ) para as amostras ensaiadas.

Após o ensaio de micropolarização, iniciou-se a macropolarização partindo do potencial de 150 mV mais anódico que o potencial de corrosão em direção a 150 mV mais catódico que o  $E_{corr}$  a uma velocidade de 1 mV/s. O resultado desta medida permitirá determinar os valores das constantes de Tafel anódica ( $\beta_a$ ) e a catódica ( $\beta_c$ ). Os experimentos para as medidas do potencial de corrosão, da resistência de polarização e das constantes de Tafel anódicas e catódica foram repetidas três vezes para cada região do material e para cada temperatura em estudo.

## 2.5 Análise Microestrutural

Para análise da microestrutura, foram retiradas amostras na seção transversal à direção de soldagem, incluindo a material de base e o metal de solda. As amostras foram embutidas a frio em resina poliéster, polidas em lixas de carbetto de silício a partir de uma granulação 200 Mesh, passando por granulações sucessivas, até uma lixa com granulação fina de 1200 Mesh. Posteriormente, as amostras foram polidas sucessivamente em pasta de alumina e diamante com granulometria de 3 e 1  $\mu\text{m}$ . Após o processo de polimento e a análise da macroestrututura , as amostram sofreram ataque de picral a 4% e nital a 2% e, na seqüência, foram fotografadas no microscópio marca OLYMPUS modelo BX 60.

## 2.6 Ensaio de Dureza

Foram executados ensaios de dureza no sentido transversal à direção de soldagem nos corpos de prova. O ensaio teve início no material depositado, caminhando na direção do material de base. O espaçamento entre as medições foi de 0,3 mm. Os testes foram realizados em um Durômetro Shimadzu com uma carga de 2,942 N, escala HV 0,3 com tempo de aplicação da carga de 15 segundos.

## 2.7 Ensaio de Perda de Massa

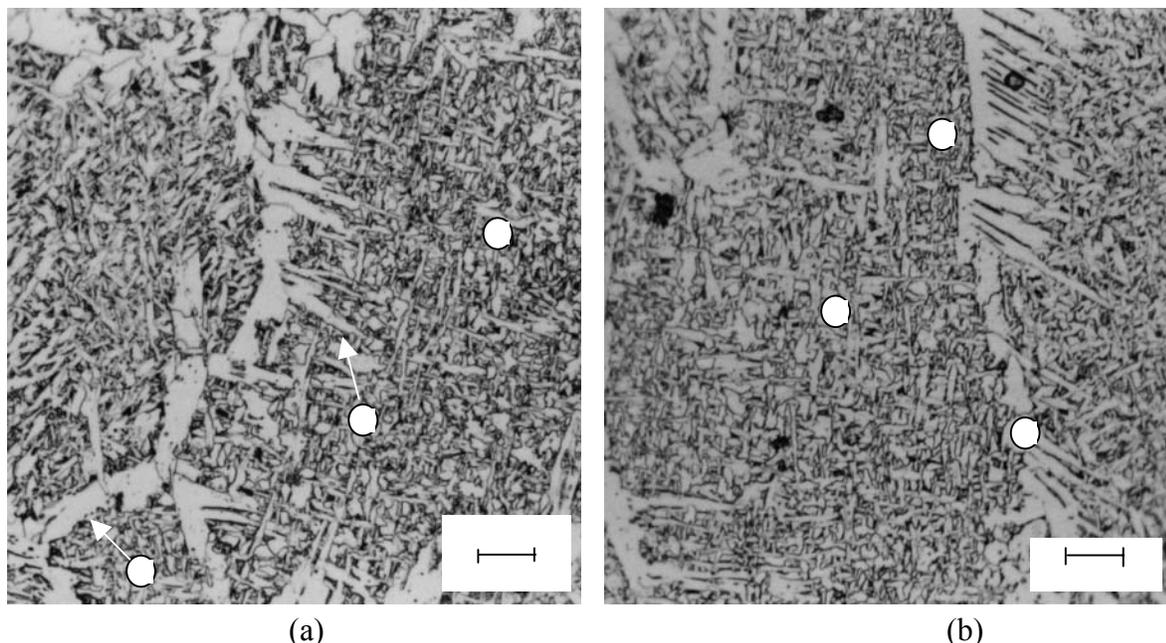
Após o processo de identificação, dimensionamento e limpeza, os corpos foram fixados em um dispositivo, e levados para serem instalados dentro do digestor. Estes corpos ficaram localizados a 3 metros da abertura superior. Após um determinado número de processo de obtenção da celulose dentro do digestor, os corpos de provas foram retirados para a determinação da massa que foi perdida durante este número de processo. Estes ensaios por perda de massa foram realizados segundo a Norma NBR 6210.<sup>(4)</sup>

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise Metalografica das Regiões dos Corpos de Prova Ensaçados

No material de base, aço ASTM A 285 Grau C, determinou-se um tamanho de grão entre os N<sup>o</sup> 8,5 e 9 e um diâmetro médio de grão de 16,11  $\mu\text{m}$ . As porcentagens de perlita e ferrita foram respectivamente 28% e 72%.<sup>(5)</sup> Na região de solda do aço ASTM A 285 Grau C, observou-se a formação de ferrita alotriomorfas de contorno de grão, grãos de ferrita idiomorfas e ferrita Widmanstätten intragranular e ferrita Widmanstätten.<sup>(6)</sup> Na região da ZTA de granulação grosseira, observou-se à presença de ferrita Widmanstätten e supostamente a presença de perlita fina, bainita ou martensita, sendo esta identificação difícil de ser realizada com microscópio ótico. Na região de granulação fina, observou-se a presença de ferrita equiaxial e provavelmente perlita fina. Na região intercrítica, observou-se à presença de ferrita e perlita.<sup>(2)</sup>

No material de base, aço ASTM A516 Grau 60 determinou-se um tamanho de grão entre os N<sup>o</sup> 8,5 e 9 e um diâmetro médio de grão 17,34  $\mu\text{m}$ . As porcentagens de perlita e ferrita que foram respectivamente 28 e 72%.<sup>(5)</sup> Na região de solda, do aço ASTM A516 Grau 60, observou-se a formação de colônias de ferrita acicular, ferrita alotriomorfas de contorno de grão e ferrita Widmanstätten.<sup>(6)</sup> As regiões de granulação grosseira, de granulação fina, e região intercritica apresentaram as mesmas características do aço ASTM A 285 Grau C.<sup>(2)</sup>



**Figura 1**– (a) - Região de solda do aço ASTM A 285 Grau C - Verifica-se a formação de grãos de ferrita idiomórficas e ferrita Widmanstätten intragranular (1) de ferrita Widmanstätten (2) e ferrita alotríomorfas de contorno de grão (3). Ataque picral a 4% e nital a 2%,500 X. (b) Região de solda do aço ASTM A 516 Grau 60.- Observa-se alotríomorfos de ferrita de contorno de grão (1), colônias de ferrita acicular (2) e ferrita Widmanstätten (3). Ataque de picral a 4% e nital a 2%,500 X .<sup>(6)</sup>

## 3.2 Determinação da Taxa de Corrosão

### 3.2.1 Técnica eletroquímica

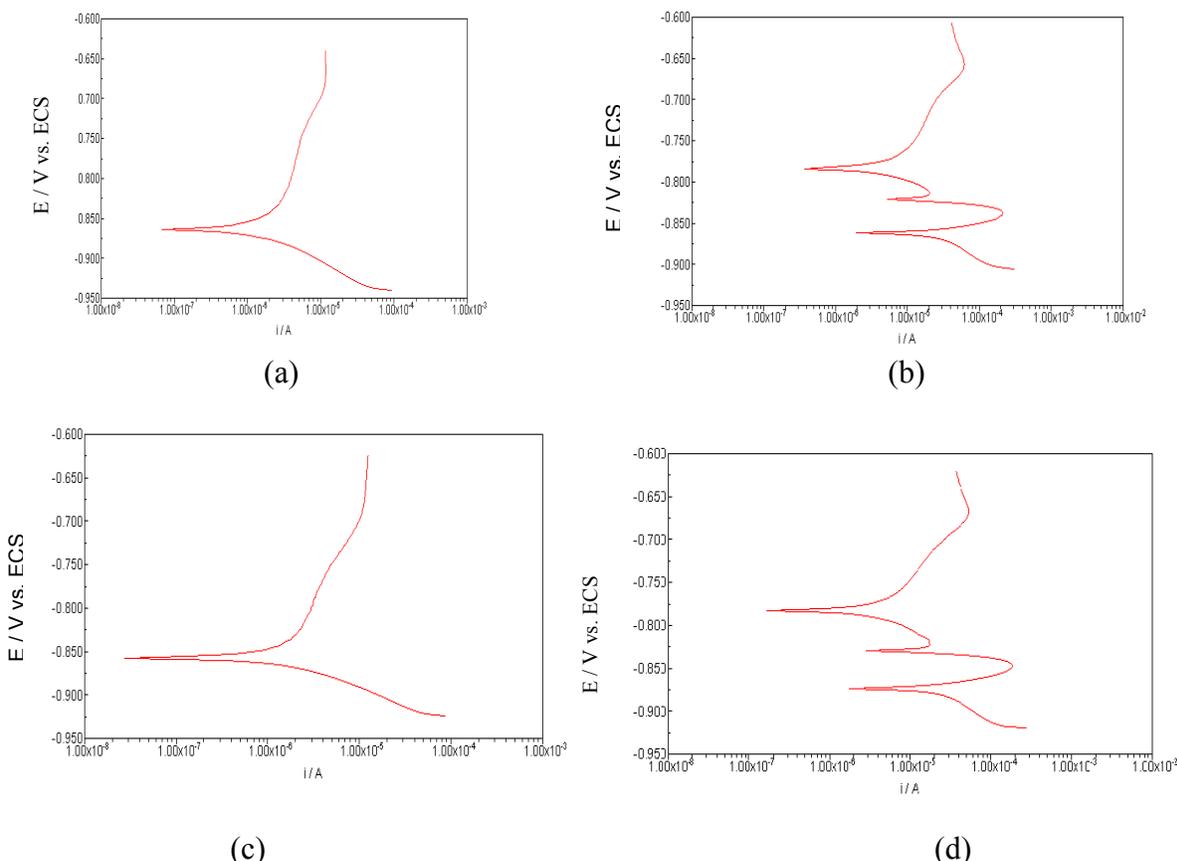
No comportamento do potencial de circuito aberto ( $E_{ca}$ ) dos aços ASTM A 285 Grau C a temperatura de 25°C, se observou que, após a imersão do eletrodo, o potencial inicial em torno de -0,280 V desloca-se rapidamente para valores catódicos de aproximadamente -0,550 V, nos primeiros segundos e permanecendo estável na região correspondente a -0,770V a -0,790V. Comportamento semelhante é observado para temperatura de 75°C. Para o material a 75°C, o potencial inicial encontra-se próximo de -0,150 V, estando deslocado aproximadamente 120mV mais anódico que a 25 °C. Entretanto, observa-se uma queda acentuada para -0,550 V, logo após a introdução do eletrodo na solução, porém a estabilização dos potenciais de circuito aberto é mais rápida e permanecendo próxima de -0,750 V. Este comportamento foi observado para as medidas realizadas a temperatura intermediária entre 25 a 75 °C. Observou-se, também, o mesmo comportamento para os eletrodos da MB e da ZTA. Desta forma é possível constatar que inicialmente o eletrodo sofre a formação de um filme passivante sobre a superfície recém polida, nesta solução de pH elevado, que após 55 minutos atinge uma determinada espessura, estabilizando o potencial de circuito aberto nas regiões mais catódicas, proporcionando maior proteção da região do metal de base, zona termicamente afetada e material de solda. A existência deste filme passivante pode ser observada através das medidas de micropolarização realizadas imediatamente após 55 minutos. Os resultados dos valores da  $R_p$  para as respectivas temperaturas ensaiadas, pelo ensaio de micropolarização, foram obtidos através do software do equipamento.

Uma análise dos resultados demonstrou que os potenciais de repouso médio variaram entre  $-0,611$  a  $-0,872\text{V}$  para as três regiões metálicas estudadas e que não depende, aparentemente, do intervalo de temperatura de ensaio para os dois tipos de aços. A resistência de polarização apresentou-se com valores altos, atingindo valores em Kohm, devido a presença de um filme passivante entre o metal e a interface da solução. Observou-se que, para temperaturas mais baixas, a média da resistência de polarização ( $R_p$ ) da zona termicamente afetada (ZTA) foi inferior até a temperatura de  $55^\circ\text{C}$ , para os aços ASTM A 285 Grau C e 516 grau 60. Observou-se uma diminuição da  $R_p$  para as três regiões com o aumento da temperatura. A partir da temperatura de  $55^\circ\text{C}$ , a região de solda (MS) passa a apresentar menor média de  $R_p$ , para ambos os aços. Como estes aços trabalham a temperatura de  $170^\circ\text{C}$  nos digestores e os ensaios eletroquímicos realizados não permitiram trabalhar nesta temperatura, observou-se que pelos resultados que provavelmente os valores da média da resistência de polarização a  $170^\circ\text{C}$  deverá ser muito menor que a  $75^\circ\text{C}$ , uma vez que à uma queda acentuada na média da  $R_p$  de  $2410$  ohm para  $687$  ohm, para o aço ASTM A 516 Grau 60 num intervalo de  $20$  graus centígrados, ou seja, de  $55^\circ\text{C}$  para  $75^\circ\text{C}$ .<sup>(2)</sup> Embora média da  $R_p$  tenha diminuído para este caso observado, os valores na média do potencial de corrosão manteve-se em torno de  $-0,722$  V, o que, indica a presença do filme sobre a superfície da solda, mantendo de alguma forma uma proteção catódica.

Logo após a micropolarização, com o eletrodo mantido na solução, foi realizado a macropolarização do sistema (Figuras 2a,2b,2c e 2d). Foi realizada uma varredura a  $1$  mV/seg partindo de  $150\text{mV}$  anódico, em relação ao potencial de repouso, até  $150$  mV catódico em relação ao mesmo. O objetivo desta varredura de potencial é determinar as constantes de Tafel anódica ( $\beta_a$ ) e catódico ( $\beta_c$ ).

Observou-se que na região anódica de polarização, para ambos os aços e para as temperaturas ensaiadas, um comportamento semelhante, isto é, constata-se um processo de eletrodo durante a varredura para valores catódico, compreendidos entre  $-0,650$  a  $-0,725\text{V}$ . Logo após, observa-se uma inflexão na região do potencial de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ), dando início à varredura para a região catódica da polarização dos eletrodos. Observa-se que, para a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , as curvas de polarização catódica são semelhantes. Após o potencial aproximado de  $-0,925\text{V}$ , observa-se o aumento da corrente catódica associada ao processo de redução de um ou mais componentes do eletrólito.

Entretanto, para a temperatura de  $55^\circ\text{C}$ , observa-se na região catódica duas inflexões  $-0,825$  e  $-0,875\text{V}$  respectivamente para os aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60. Estas inflexões podem estar relacionadas com transformações dos filmes de passivação sobre a ZTA.



**Figura 2** – (a) Curva de polarização do Aço ASTM A 285 Grau C, ZTA a 25°C. (b) Curva de polarização do Aço ASTM A 285 Grau C, ZTA a 55°C. (c) Curva de polarização do Aço ASTM A 516 Grau 60, ZTA a 25°C. (d) Curva de polarização do Aço ASTM A 516 Grau 60, ZTA a 55°C.<sup>(2)</sup>

Para as curvas de polarização catódica dos aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60 a 25 °C, Figuras 2 (a) e 2 (c), observa-se que na região catódica, a partir de 60 mV em relação ao potencial de corrosão, não define uma reta, visto que para esses potenciais, em torno de -0,910V constata-se um aumento da corrente catódica devido ao processo de redução sobre o filme passivante.

Por outro lado, as regiões catódicas dos aços ASTM A 285 Grau C e 516 Grau 60 a temperatura de 55 °C, observa-se a ausência de uma relação linear, pois nessa região de potencial constata-se os pontos de inflexão associados possivelmente a processos de redução e/ou de transformações no filme passivante.

Desta forma, os coeficientes de Tafel catódicos ( $\beta_c$ ) não poderão ser determinadas a partir das curvas de macropolarização. Para tanto, utilizou-se da aproximação de Stern-Geary, cujo valor é 0,0256 (Equação1).<sup>(7)</sup> Com o valor desta constante e o valor da média das  $R_p$  obtidas nos testes conseguimos determinar a média das correntes de corrosão ( $I_{corr}$ ) para cada ensaio e temperatura (Equação2)

A partir dos valores médios de  $I_{corr}$  para cada material em suas respectivas temperaturas e assumindo o valor do Peso Equivalente do material analisado como sendo 27,9 g/equivalente (considerando somente a presença de ferro), o tempo em segundo no período de 1 ano ( 31536000 seg), densidade do material analisado ( 7,86

g/cm<sup>3</sup>), área de exposição do eletrodo ( 0,178 cm<sup>2</sup> ) e o valor da constante de Faraday (96487 C/equivalente), calculamos o valor da taxa de corrosão média do material para cada região específica e nas suas respectivas temperaturas de ensaio, utilizando a Equação 3, cujos resultados estão expressos na Tabela 2.

$$Coef.deStern-Geary = \frac{\beta_a * \beta_c}{2,3 * (\beta_a + \beta_c)} = 0,0256$$

Equação 1

$$I_{corr} = \frac{0,0256}{R_p}$$

Equação 2

$$Tx.Corrosão = \frac{I_{corr} \times PesoEquivdente \times t}{Densidade \times A \times F}$$

Equação 3

**Tabela 2** – Resultados da taxa de corrosão média dos aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60 em função da temperatura para cada região do material

T (°C)	Região	Aço ASTM A 285 Grau C (mm.ano)	Dispersão	Aço ASTM A 516 Grau 60 (mm.ano)	Dispersão
25	Mat. Base	0,130	0,001	0,146	0,001
	ZTA	0,211	0,003	0,201	0,006
	Solda	0,195	0,002	0,134	0,001
35	Mat. Base	0,139	0,001	0,200	0,002
	ZTA	0,229	0,003	0,248	0,002
	Solda	0,234	0,002	0,173	0,001
45	Mat. Base	0,170	0,001	0,256	0,001
	ZTA	0,297	0,004	0,347	0,002
	Solda	0,292	0,003	0,299	0,004
55	Mat. Base	0,253	0,015	0,497	0,010
	ZTA	0,701	0,024	0,532	0,021
	Solda	0,605	0,016	0,693	0,033
65	Mat. Base	0,548	0,011	0,917	0,023
	ZTA	0,924	0,026	0,836	0,018
	Solda	1,510	0,058	1,127	0,015
75	Mat. Base	0,576	0,010	1,188	0,033
	ZTA	1,170	0,041	1,333	0,045
	Solda	1,854	0,101	2,434	0,151

Fonte: Regis Junior<sup>(2)</sup>

### 3.2.2 Técnica de Perda de Massa

Com os dados da perda dimensional das chapas dos corpos de prova que foram inseridas dentro do digestor, foi possível determinar as taxas de corrosão dos aços ensaiados em mm.a, cujos valores estão apresentados na Tabela 3. Estes valores foram obtidos através de uma extrapolação linear para 2008 processos (nº de ciclos de carga e descarga de um digestor num período de 1 ano). Observa-se que a taxa de corrosão média para o ASTM A 516 Grau 60 é de 0,120 mm.a e para o aço ASTM A 285 Grau C é de 0,100 mm.a, sob condições reais de operação, isto é, a temperatura de 170°C e pressão de 7 Kg/cm<sup>2</sup>. Observou-se que a diminuição da espessura das placas ensaiadas aumenta linearmente com o número de ciclos de carga e descarga na obtenção de celulose, para ambos os aços.

**Tabela 3.** - Resultados da taxa de corrosão pelo método de perda de massa dos corpos de provas dos aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60 submetidos aos processos de obtenção de celulose no interior do digestor.

Peça	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Massa inicial (g)	Número Processos Submetidos	Massa perdida após Processos (g)	Perda de espessura por processos submetidos (mm)	Taxa de Corrosão para 2008 processos (mm.a)
8.1	ASTM A 516 - 60	327.55	1574,4	311	6,7	0,0259	0,167
8.2	ASTM A 516 - 60	338.99	1537,5	635	10,5	0,0393	0,124
8.3	ASTM A 516 - 60	332.34	1520,5	847	12,2	0,0466	0,110
8.4	ASTM A 516 - 60	335.11	1515,7	1169	16,4	0,0621	0,107
8.5	ASTM A 516 - 60	337.94	1519,1	1522	17,5	0,0657	0,087
4.1	ASTM A 285 - C	282.69	1097,3	311	4,9	0,0220	0,142
4.2	ASTM A 285 - C	289.9	1117,7	635	7,2	0,0315	0,100
4.3	ASTM A 285 - C	287.83	1128	847	8,2	0,0361	0,085
4.4	ASTM A 285 - C	292.51	1136,5	1169	11,8	0,0512	0,088
4.5	ASTM A 285 - C	284.11	1110,5	1522	13,7	0,0612	0,080

Fonte: Regis Junior<sup>(2)</sup>

## 4 CONCLUSÕES

- Os aços ASTM A 285 Grau C e ASTM A 516 Grau 60 apresentam na região do cordão de solda e zona termicamente afetada uma microestrutura clássica composta por ferrita acicular, circundada por ferrita de contorno de grão e formação de ferrita Widmanstätten.
- Devido à maior quantidade de manganês no ASTM A 516 Grau 60, este permite uma maior temperabilidade. Com isso a dureza deste aço é superior ao aço ASTM A 285 Grau C.

- O aço ASTM A 285 Grau C, no ensaio de perda de massa realizados com os corpos de prova dentro do digestor, demonstrou uma melhor resistência ao processo de corrosão do que o aço ASTM A 516 Grau 60.
- Também, neste estudo foi observado que a região do cordão de solda é a mais atacada pelo processo de corrosão, seguida da região afetada termicamente e por último a região do material de base. Este processo é observado tanto no aço ASTM A 285 Grau C como no aço ASTM A 516 Grau 60.
- Com tudo o aço ASTM A 285 Grau C, em relação ao aço ASTM A 516 Grau 60, apresenta um melhor desempenho em relação ao processo corrosivo, na obtenção da celulose pelo processo Kraft em digestores descontínuos, para os parâmetros utilizados na Indústria Iguaçu Papel e Celulose S. A, na cidade de Piraí do Sul no Paraná.

## REFERÊNCIAS

- 1 KIYOHARA, S. - **Processo de Cozimento** - Centro Nacional de Tecnologia em Celulose e Papel. SENAI-1999.
- 2 REGIS JUNIOR. O. – **Estudo da Corrosão nos Aços ASTM A 285 Grau C e 516 Grau 60 Utilizados na Construção de Digestores Descontínuos para a Obtenção de Celulose pelo Processo KRAFT.** Dissertação (Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, Paraná, 2004.
- 3 ASTM DESIGNATION: **G 59-91- Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements.** (1994).
- 4 NORMA ABNT - **NBR 6210** , Maio 1987.
- 5 ASTM DESIGNATION: E 112-95 - **Standard Taet Methods for Determining Average Grain Size.** (1995).
- 6 SAMUELS, L. E. – **Light microscopy of Carbon Steels** –ASM International - 1999.
- 7 STERN, M. and GEARY, A.L., **J. Electrochem. Soc.**, 1957, 104,56.