

ESTUDO DA POLARIZAÇÃO DO INCOLOY 800 E DO AÇO AISI 304 EM MISTURA  
DE CLORETOS DE FERRO, NIQUEL e CROMO<sup>(1)</sup>

A.M.Travalloni<sup>(2)</sup>  
L.Sathler<sup>(2)</sup>  
O.R.Mattos<sup>(2)</sup>

RESUMO

Em concentrações crescentes de mistura de cloretos de ferro, níquel e cromo na proporção em que estes metais estão presentes nas respectivas ligas, traçaram-se curvas de polarização com eletrodos estático e rotatório. Foi encontrada uma transição contínua de estados do tipo passivo, ativo-passivo e ativo para o comportamento das ligas nesse eletrólito. Foi constatado que o pH é o fator predominante na fixação do comportamento anódico das ligas.

ABSTRACT

Polarization curves for the Incoloy 800 and for the stainless steel AISI 304 were obtained with static and rotational electrodes. The electrolytes employed showed growing concentrations of mixtures of Iron, Nickel and Chromium Chlorides their proportion being the same as the content of these elements in the respective alloys. The alloys under investigation exhibited a continuous transition behaviour from the passive to the active-passive and to the active conditions. Also, the pH was found the main parameter controlling the anodic behaviour of the alloy.

1. INTRODUÇÃO

É bem conhecido que a solução existente no interior de cavidades de corrosão localizada de ligas Fe-Cr, Fe-Cr-Ni e aços inoxidáveis é concentrada em sais metálicos e apresenta pH ácido (1-8). Entretanto, o comportamento anódico destes materiais em contato com tais soluções prevalece um problema a ser esclarecido.

Pourbaix (9) sugeriu que, para as diferentes formas de corrosão localizada - corrosão por pite, corrosão por crêvice, corrosão sob depósitos, corrosão sob tensão, etc. - ocorrendo em um dado metal ou liga em contato com um dado meio, as características químicas da solução existente no interior da célula de corrosão localizada são aproximadamente as mesmas. Acrescentou ainda que reproduziríamos a solução do interior da cavidade de corrosão localizada em saturando a água pura isenta de oxigênio no sal do metal considerado. Por exemplo, se o meio corrosivo contém cloreto e o metal que corrói é o ferro, uma solução de cloreto ferroso  $FeCl_2$  se formará no interior da célula de corrosão localizada. Assim, no caso do ferro, a preparação de soluções de cloreto ferroso permitirá o estudo de características químicas e eletroquímicas da solução, a polarização do metal no meio, o estudo do efeito de elementos de liga sobre a propagação do ataque localizado, etc.

(1) Contribuição técnica a ser apresentada no 12º SENACOR - Seminário Nacional de Corrosão da ABRACO.

(2) Laboratório de Corrosão "Prof. Manoel de Castro" - COPPE/UFRJ.

Usando o método de estudo proposto por Pourbaix (9) e descrito anteriormente, Fujii (10), Sathler et alii (11) verificaram que, para o ferro em solução saturada em cloreto ferroso, o pH da solução é 3,8, o meio contém  $9,0 \text{ iong.} \cdot 10^{-1} \text{ Cl}^-$  e o potencial de eletrodo de ferro é  $-0,32 \text{ V}_{\text{ehs}}$ . Foi observado ainda que o ferro polarizado anodicamente na solução saturada apresenta transição ativo-passiva (11). Para o Cr em solução saturada de  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Yang e Pourbaix (12) encontraram que a concentração em  $\text{Cr}^{+++}$  é  $2,2 \text{ iong.} \cdot 10^{-1}$ , pH  $-0$  e o potencial de eletrodo  $-0,4 \text{ V}_{\text{ehs}}$ . A polarização anódica do cromo em diferentes soluções de  $\text{CrCl}_3$  (0,001 a 2,29M, pH entre 3,35 e  $-0,06$ ) indicou a ocorrência de passivação do metal. Resultados semelhantes de polarização foram obtidos para o Cr, Mo e alguns aços inoxidáveis em soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{CrCl}_3$ . Estudo semelhante foi realizado por Mattos (13) utilizando um aço do tipo AISI 304 em solução sintética de  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$  similar àquela encontrada por Suzuki et alii (6) no interior de pites deste aço. Por outro lado, Sandoz et alii (4), Suzuki et alii (6), Bogar e Fujii (7) encontraram que os diferentes cátions em solução no interior de pites, crêvices e fissuras de corrosão se encontram na mesma proporção que os constituintes da liga.

O propósito do presente trabalho é o estudo do comportamento anódico da liga Incoloy 800 e do aço inoxidável do tipo AISI 304 em presença de soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$  e de soluções de NaCl. A partir dos resultados tentar-se-a analisar cineticamente a corrosão localizada destes materiais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO EXPERIMENTAL

Neste estudo foram utilizados dois tipos de materiais: uma liga denominada Incoloy 800 e um aço inoxidável AISI 304. A tabela I apresenta a análise química destes materiais.

Tabela I. Análise química dos materiais

Elemento Material	Cr	Ni	Fe	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Co	Ti	N
Incoloy 800	21,40	33,8	42,621	0,03	0,048	0,79	0,14	0,001	0,32	0,04	0,22	0,59	0,0093
Aço AISI 304	18,01	9,04	70,806	0,042	0,78	1,29	0,03	0,002					

O aço AISI 304 foi recebido sob a forma de chapa de 2mm de espessura e o incoloy 800 na forma de tubo de 19,6mm de diâmetro interno e 22,0mm de diâmetro externo. Estes materiais foram ensaiados sem qualquer tratamento térmico.

Os materiais utilizados foram estudados em presença de dois eletrólitos distintos. No primeiro, as soluções foram preparadas pela dissolução de sais de cloreto de ferro, cloreto de cromo e cloreto de níquel em água bidestilada. Nestas soluções, os cátions estão presentes na mesma proporção em que eles se encontram na liga considerada, e o pH é resultante das condições de equilíbrio do sistema. No segundo, as soluções são de cloreto de sódio e o pH é ajustado convenientemente pela adição de HCl. Em ambos os casos, as soluções foram preparadas ao abrigo de ar e mantidas isentas de oxigênio pelo borbulhamento contínuo de nitrogênio purificado.

No caso da preparação das soluções de sais metálicos, foi adicionado pó de ferro ao meio com o objetivo de reduzir os íons férricos presentes como impureza no cloreto ferroso. Estas soluções foram mantidas sob agitação durante aproximadamente 12 horas. Após deposição do ferro metálico no fundo do frasco, a solução foi transferida para a célula de polarização. A concentração dos íons  $Fe^{++}$ ,  $Cr^{+++}$ ,  $Ni^{++}$  e  $Cl^{-}$  foi determinada para cada solução.

A célula eletrolítica utilizada tem a forma de um copo cilíndrico de 500ml de capacidade. Através da tampa de vedação foram colocados o eletrodo de trabalho, contra eletrodo de platina, capilar de Luggin, dispositivos para entrada de solução e para entrada e saída de gás. Os potenciais foram medidos em relação ao eletrodo de calomelano saturado. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente.

Foram preparados dois tipos de corpos de prova: um para funcionar como eletrodo estático e outro como eletrodo rotatório. No primeiro caso, um fio de cobre foi soldado a uma das faces da amostra e o sistema montado em um suporte de vidro fixo com resina polimerizável a frio. Estes corpos de prova apresentavam uma superfície exposta de aproximadamente  $0,3cm^2$ . No segundo caso, a amostra foi montada num cilindro onde a superfície de trabalho de aproximadamente  $0,07cm^2$  se encontrava na seção transversal do cilindro. Os corpos de prova foram polidos, primeiramente, em papel abrasivo até à granulção 600 e, em seguida, em pasta de diamante de  $3\mu m$ . Antes de serem colocados na célula, os corpos de prova foram decapados em solução de  $H_2SO_4$  10% durante 5 minutos, no caso do aço AISI 304 e durante 10 minutos, no caso da liga incoloy 800.

Os ensaios de corrosão foram conduzidos segundo as técnicas potenciocinética (20mV/min) e potenciostática. Em ambos os casos a polarização teve início no potencial de corrosão após este atingir um valor estacionário. Os equipamentos utilizados são aqueles clássicos empregados no estudo de corrosão. O dispositivo de eletrodo rotatório permite estudos com eletrodo girando até 5000rpm e o sistema foi descrito em publicação anterior (14).

### 3. RESULTADOS

As figuras 1 e 2 mostram as curvas de polarização anódica potenciocinética do incoloy 800 e do aço AISI 304, respectivamente, obtidas em diferentes soluções de cloreto de cátions metálicos. Cada solução é identificada pela sua concentração em íons  $\text{Cl}^-$  e pelo pH, sendo que as espécies  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Cr}^{+++}$  e  $\text{Ni}^{++}$  estão presentes na mesma proporção em que elas se encontram na liga. Como pode ser verificado nestas figuras, o potencial a circuito aberto variou de  $-390\text{mV}_{\text{ecs}}$  (pH=2,8) a  $-430\text{mV}_{\text{ecs}}$  (pH=1,0) para o incoloy e de  $-470\text{mV}_{\text{ecs}}$  (pH=4,1) a  $-500\text{mV}_{\text{ecs}}$  (pH=0,7) para o aço AISI 304. Em ambos os casos, observa-se que as curvas se deslocam para a direita com o aumento da agressividade do meio e que algumas curvas apresentam uma inflexão com diminuição de corrente numa faixa estreita de potencial.

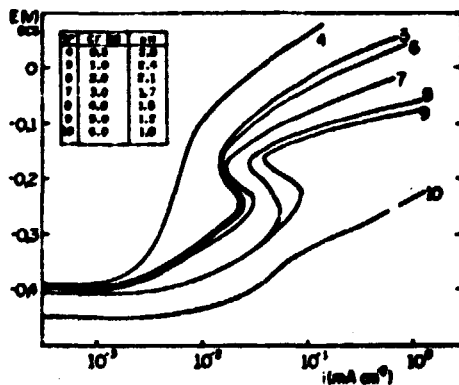


Fig. 1. Efeito da concentração de soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$ . Incoloy 800, eletrodo estático.

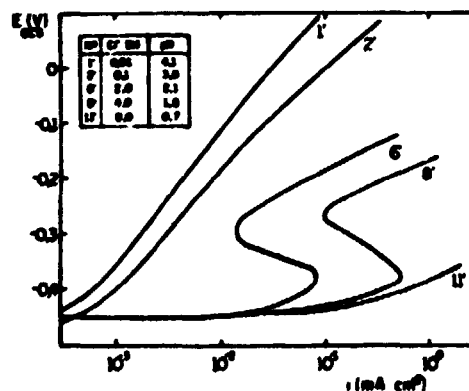


Fig. 2. Efeito da concentração de soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$ . Aço AISI 304, eletrodo estático.

Nas figuras 3 e 4 estão representadas as curvas de polarização do incoloy 800 e do aço AISI 304, respectivamente, obtidas com eletrodo rotatório (rotação constante igual a 1600rpm). Como no caso anterior, observa-se que a corrente cresce com o aumento de concentração da solução e que algumas curvas apresentam valores máximos e mínimos de densidade de corrente.

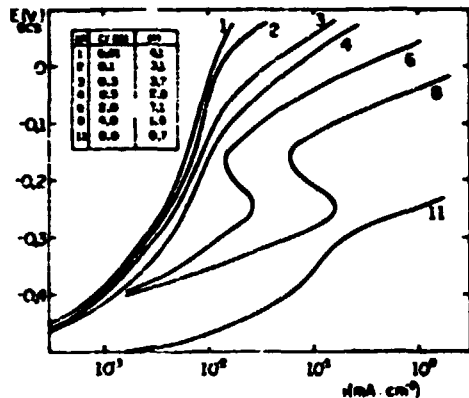


Fig. 3. Efeito da concentração de soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$ . Incoloy 800, eletrodo rotatório (1600 rpm).

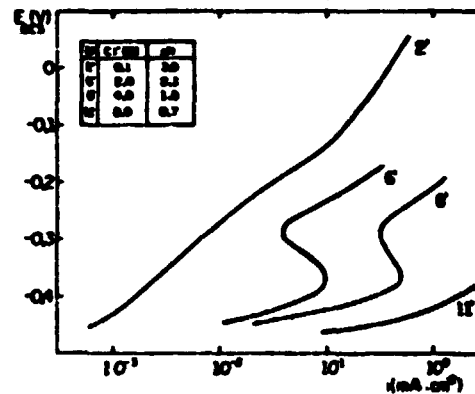
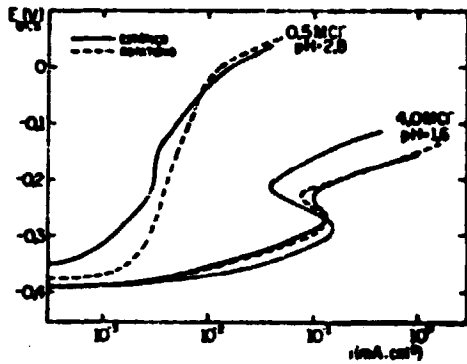


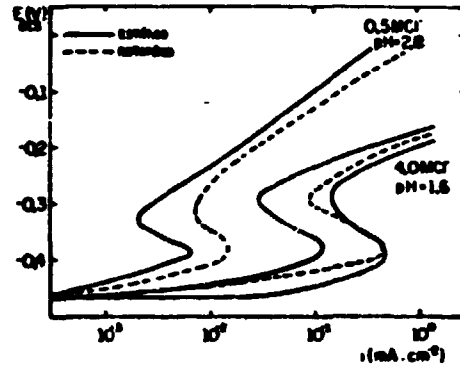
Fig. 4. Efeito da concentração de soluções de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$ . Aço AISI 304, eletrodo rotatório (1600rpm).

Os ensaios em soluções de NaCl foram realizados com o objetivo de verificar o efeito de cátions metálicos no comportamento anódico destes materiais. Para isso foram preparadas duas soluções de NaCl contendo respectivamente  $0,5\text{M Cl}^-$  (pH=2,8) e  $4,0\text{M Cl}^-$  (pH=1,6). As figuras 5 e 6 mostram as curvas de polarização para o incoloy e o aço, respectivamente, obtidas com eletrodo estático e com eletrodo rotatório. A comparação destes resultados com aqueles indicados nas figuras 1 a 4 para o mesmo material, obtidos em meios de igual concentração em  $\text{Cl}^-$  e mesmo pH, mostra que estes materiais têm o mesmo comportamento anódico nos dois eletrólitos.

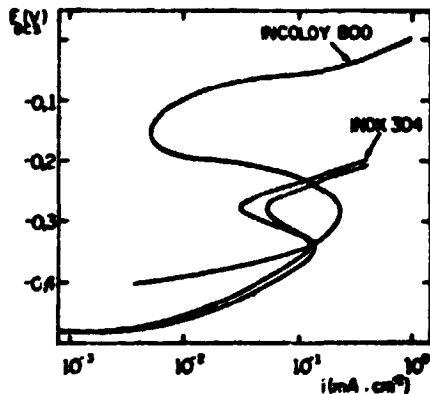
Curvas potencioestáticas do incoloy e do aço foram obtidas em solução de cations metálicos contendo  $4,0\text{M Cl}^-$ , pH=1,5. Cada potencial de eletrodo foi mantido a um valor constante durante aproximadamente 30 minutos, tempo suficiente para estabilizar a corrente. A figura 7 mostra estas curvas onde se observa a ocorrência de inflexão com diminuição de corrente, como nas curvas potenciocinéticas.



**Fig. 5.** Polarização do incoloy 800 em soluções de NaCl+HCl.



**Fig. 6.** Polarização do aço AISI 304 em soluções de NaCl+HCl.



**Fig. 7.** Polarização potencioestática do incoloy 800 e do aço AISI 304 em solução de mistura  $\text{FeCl}_2 + \text{NiCl}_2 + \text{CrCl}_3$  contendo  $4,0\text{M Cl}^-$ ,  $\text{pH}=1,5$ .

#### 4. DISCUSSÃO

As mudanças de concentração e pH que ocorrem nas soluções do interior de cavidades de corrosão localizada afetam profundamente o comportamento anódico do material em contato com o meio. É o que pode ser observado das curvas de polarização do incoloy 800 e do aço AISI 304 em soluções de sais de cloreto de seus principais elementos de liga. Por exemplo, no potencial de  $-300\text{mV}_{\text{ECS}}$  a velocidade de dissolução do incoloy aumentou de duas décadas quando o meio passou da concentração  $0,01\text{M Cl}^-$  ( $\text{pH}=4,1$ ) para  $8,0\text{M Cl}^-$  ( $\text{pH}=0,7$ ), figura 3. O efeito do aumento de agressividade é mais acentuado no aço 304 do que no incoloy (figuras 2 e 4). Esta diferença de comportamento pode ser atribuída

à composição química destes materiais. De fato, além de teores superiores de Cr e principalmente de Ni, o incoloy contém pequenas quantidades de Al, Cu, Co e Ti que devem contribuir para o aumento da resistência à corrosão. O potencial do incoloy a circuito aberto diminuiu de -350 a -460 mV<sub>ecs</sub> com o aumento da concentração da solução. Os íons metálicos formados por dissolução dos sais em água se hidrolizam baixando o pH do meio para valores entre 4,1 (solução contendo 0,01M Cl<sup>-</sup>) e 0,7 (solução contendo 8,0M Cl<sup>-</sup>). Nessa mesma faixa de pH, o potencial de equilíbrio da reação  $H_2=2H^++2e^-$  varia de -483 a -282mV<sub>ecs</sub>, a  $p_{H_2}=1$  atm. Verifica-se, portanto, que a partir de certa concentração (solução 1,0 M Cl<sup>-</sup>, pH=2,4 onde  $E_{corr}=-395mV_{ecs}$ ) o potencial do incoloy passa a ser inferior ao potencial de equilíbrio do hidrogênio (-382 mV<sub>ecs</sub> no pH=2,4). Nestas circunstâncias a liga pode, termodinamicamente, sofrer corrosão com desprendimento de hidrogênio. No caso do aço inoxidável, a variação de potencial a circuito aberto foi menor (-470mV<sub>ecs</sub>, pH=4,1 a -500mV<sub>ecs</sub>, pH=0,7) e apenas o primeiro valor se encontra acima do potencial de equilíbrio do hidrogênio. Resultados semelhantes foram obtidos por Baptista et alii (15) para o incoloy em soluções resultantes de adições de quantidades crescentes de mistura FeCl<sub>2</sub> + NiCl<sub>2</sub> + CrCl<sub>3</sub> em água pura isenta de oxigênio, contendo ferro em pó. Os autores encontraram uma variação de potencial em função do pH de -310mV<sub>ecs</sub> (pH=6,2) a -450mV<sub>ecs</sub> (pH=1,2) com interseção com a linha relativa ao equilíbrio  $H^+/H_2$  em pH de aproximadamente 3,0. Em pH=-0,6 os autores registraram uma elevação de potencial para -370mV<sub>ecs</sub>. Algumas curvas de polarização apresentaram valores máximos e mínimos de densidade de corrente. Este fenômeno foi observado tanto nos ensaios com eletrodo estático como nos ensaios com eletrodo rotatório e mostrou ser independente da natureza dos cátions presentes. Os ensaios potencioestáticos em solução 4,0 M Cl<sup>-</sup> (pH=1,5) também revelaram a ocorrência de máximo e mínimo na curva de polarização. A princípio pensou-se que o fenômeno fosse devido à presença de íons Fe<sup>+++</sup> não reduzidos pelo ferro em pó e que uma vez na superfície do eletrodo poderia se reduzir diminuindo a corrente total. Para verificar esta possibilidade foram realizados alguns ensaios em solução 4,0M Cl<sup>-</sup> (pH=1,6) contendo 1% de íons Fe<sup>+++</sup>. Para o incoloy, eletrodo estático e solução em repouso, a curva apresentou o mesmo comportamento comparado com o ensaio em solução isenta de Fe<sup>+++</sup>, porém a densidade de corrente foi ligeiramente inferior. No caso do eletrodo rotatório o potencial de corrosão mudou bruscamente para -130mV<sub>ecs</sub>, e a curva iniciada neste potencial apresentou densidade de corrente crescente continuamente com o potencial. Para o aço inoxidável, eletrodo estático e solução em repouso, a curva após passar por um máximo apresentou correntes catódicas e só a potenciais da ordem de

+10 mV<sub>ecs</sub> é que voltou a crescer anodicamente. No caso do eletrodo rotatório o potencial de corrosão foi de -100mV<sub>ecs</sub> e a corrente foi sempre anódica e crescente com o potencial. Estes resultados mostram que, de fato, a presença de Fe<sup>+++</sup> no meio pode deslocar a curva para a esquerda mas estes íons não são responsáveis pela ocorrência de máximo e mínimo na densidade de corrente. Por outro lado, verificou-se que o potencial de corrosão é fortemente controlado por difusão da espécie oxidante. Resultados semelhantes foram obtidos por Mattos (13) porém o autor na ocasião relacionou este efeito à reação catódica do hidrogênio. Os resultados presentes mostram que a existência de dois potenciais de corrosão dependentes do transporte estão mais relacionados à reação Fe<sup>+++</sup>/Fe<sup>++</sup> que ao hidrogênio propriamente.

Os ensaios de polarização do incoloy nas soluções de concentração entre 1,0 M Cl<sup>-</sup> (pH=2,4) e 5,0 M Cl<sup>-</sup> (pH=1,2) apresentaram inflexão na curva anódica. Os potenciais correspondentes ao máximo da curva variaram de -230 a -280 mV<sub>ecs</sub> independente da técnica utilizada e da natureza do eletrólito. Os potenciais correspondentes ao mínimo de densidade de corrente ocorreram entre -160 e -180 mV<sub>ecs</sub>, no caso de soluções contendo íons metálicos e entre -210 e -220 mV<sub>ecs</sub> no caso de soluções de NaCl. Para o aço inoxidável, a inflexão na curva foi observada nas soluções 0,5, 2,0 e 4,0 M Cl<sup>-</sup>, pH 2,8; 2,1 e 1,6 respectivamente. O máximo de corrente ocorreu entre os potenciais -350 e -380 mV<sub>ecs</sub> e o mínimo entre -260 e -290 mV<sub>ecs</sub>. Estes resultados mostram claramente que os máximos e os mínimos ocorrem numa faixa estreita e bem definida de potencial, independente da técnica experimental e dos cátions considerados.

No estudo do efeito de Cr e Mo na propagação de corrosão localizada de aços, Yang e Pourbaix (12) encontraram que, em solução 1,36 M CrCl<sub>3</sub> (pH=0,75) os aços AISI 316, 304, 430 e a liga 17Cr - 13Ni - 4,5Mo-N apresentam inflexão na curva de polarização anódica com máximo de corrente ocorrendo no potencial de aproximadamente -230mV<sub>ecs</sub>. Em soluções de mistura FeCl<sub>2</sub> + CrCl<sub>3</sub> a diferentes pH, o fenômeno é observado para a liga 17Cr - 13Ni - 4,5Mo - N e o aço 316 nos pH aproximadamente 2,25 e 1,0. Na solução de pH - 0,6 apenas a liga 17Cr - 13Mo - 4,5Mo - N apresentou inflexão. Nestas soluções o potencial correspondente ao máximo de corrente está compreendido entre aproximadamente -300 e -200mV<sub>ecs</sub>. Os autores encontraram que quando o Mo está presente na liga, a corrente de dissolução anódica a baixos potenciais é sensivelmente reduzida. Este efeito do Mo foi atribuído à formação de MoO<sub>2</sub>, baseado em análises do produto de corrosão do Mo nestes meios e em diagramas E x pH. Com relação ao Cr, os autores encontraram que este metal está passivo numa faixa ampla de potencial a pH superior a 1,8. A pH inferiores, o Cr



ativo a baixos potenciais mas apresenta uma região de passivação a potenciais elevados, mesmo para pH zero.

As curvas de polarização obtidas com eletrodo rotatório (1600rpm) coincidiram satisfatoriamente com aquelas determinadas com eletrodo estático. Este fato sugere que, nestes ensaios, os fenômenos ocorrendo na superfície do eletrodo não dependem do transporte de massa. A velocidade de dissolução do material é definida por características próprias do sistema metal/meio e pelo potencial de eletrodo. A ocorrência de valores máximos e mínimos de densidade de corrente em algumas soluções pode ser devido à formação de produtos de corrosão na superfície do eletrodo que atuam como uma barreira dificultando a dissolução. Estes produtos não foram identificados neste trabalho, entretanto, estudos realizados com outros materiais mostraram que alguns óxidos e sais metálicos podem se formar na superfície do eletrodo em soluções concentradas similares às aquelas existentes no interior de cavidades de corrosão localizada (11 e 12).

##### 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho consistiu no estudo do comportamento anódico do aço inoxidável do tipo AISI 304 e da liga incoloy 800 em presença de soluções de sais de cloreto de seus principais elementos de liga. Os resultados obtidos conduziram às seguintes conclusões:

- Ensaios em soluções de mistura de cloreto de ferro, cloreto de níquel e cloreto de cromo, com os cátions na mesma proporção em que se encontram na liga, indicaram que no interior de cavidades de corrosão localizada do incoloy 800 e do aço AISI 304 as soluções podem atingir concentrações elevadas em Ions  $Cl^-$  o pH extremamente baixo.
- As medidas de potencial do incoloy e do aço inoxidável a circuito aberto indicaram um estado ativo destes materiais em soluções concentradas.
- A velocidade de dissolução destes materiais aumenta sensivelmente com o acréscimo de concentração da solução. Em todos os casos, a corrosão é maior para o aço AISI 304.
- Em soluções apresentando concentrações intermediárias, as curvas anódicas mostraram uma inflexão com valores mínimos de densidade de corrente. Este fenômeno é devido, possivelmente, à formação de produto de corrosão na superfície do eletrodo.
- O comportamento anódico destes materiais não é afetado pelo transporte de massa, exceto nas soluções contendo  $Fe^{+++}$ .

6. BIBLIOGRAFIA

1. M.MAREK e R.F.HOCHMAN, "Stress corrosion cracking of austenitic stainless Steels", Corrosion, 26, p.5-6 (1970).
2. M.H.PETERSON, T.J.LENNOX Jr. e R.E.GROOVER, "A study of crevice corrosion in type 304 stainless steel", Materials Protection, 9, p.23-26 (1970).
3. H.R.BAKER, M.C.BLOOM, R.N.BOLSTER e C.R.SINGLETERR, "Film and pH effects in the stress corrosion cracking of type 304 stainless steel", Corrosion, 26, p.420-426 (1970).
4. G.SANDOZ, C.T.FUJII e B.F.BROWN, "Solution chemistry within stress corrosion cracks in alloy steels", Corrosion Science, 10, p.839-845(1970)
5. Z.SZKLARSKA-SMIALOWSKA e J.MANKOWSKI, "Effect of temperature on the kinetics of development of pits in stainless steel in 0,5N NaCl + 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution", Corrosion Science, 12, p.925 (1972).
6. T.SUZUKI, M.YAMAKA e Y.KITAMURA, "Composition of anolyte within pit anode of austenitic stainless steels in chloride solution", Corrosion, 29,p.18 (1973).
7. F.D.BOGAR e C.T.FUJII, "Solution chemistry in crevices on Fe-Cr binary alloys" NRL Report 7690 - Naval Research Laboratory, Washington,D.C.(1974)
8. J.MONKOWSKI e Z.SZKLARSKA-SMIALOWSKA, "Studies on accumulation of chloride ions in pits growing during anodic polarization", Corrosion Science, 15, p.493 (1975).
9. M.POURBAIX, "Les facteurs électrochimiques de la corrosion sous tension" Rapports techniques CEBELCOR, 118, RT 199 (1971).
10. C.T.FUJII, "Electrochemical and chemical aspects of localized corrosion" Rapports techniques CEBELCOR, 123, RT213 (1974).
11. L.SATHLER,J.VAN MUYLDER, R.WINAND e M.POURBAIX, "Electrochemical behavior of iron in localized corrosion cells in the presence of chloride" Anais do 7º Congresso Internacional em Corrosão Metálica, ABRACO, p.705-718 (1978).
12. WU YANG e A.POURBAIX, "Effect of chromium and molybdenum on the propagation of localized corrosion of steels", Rapports techniques CEBELCOR, 141, RT 262 (1981).
13. O.R.MATTOS, "Estudos do comportamento do aço AISI 304 na solução do interior dos pites desse material", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ (1977).
14. T.M.C.NOQUEIRA, "Estudo sobre a influência do transporte de massa e do ânion sulfato no mecanismo de dissolução anódica do ferro", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ (1984).
15. W.BAPTISTA, L.SATHLER, O.R.MATTOS, "Algumas observações sobre a corrosão do incoloy 800", trabalho aceito para publicação no 12º SENACOR, ABRACO (1985).