

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

## **Influência do potencial catódico sobre as propriedades mecânicas do aço API 5L X80**

Diniz Ramos de Lima Júnior<sup>1</sup>, Magda Rosângela Santos Vieira<sup>2</sup>, Bruna Nayara Pereira da Silva<sup>3</sup>, Ivanilda Ramos de Melo<sup>4</sup>, Cezar Henrique Gonzales<sup>5</sup>, Severino Leopoldino Urtiga Filho

### **Abstract**

API 5L X 80 steels are widely applied in several applications in the oil industry, with higher incidence in the transportation of petroleum and its derivatives. Usually cathodic protection technique is used to corrosion control in these structures. When this type of protection has been utilized intensively, it should generate hydrogen in the environment of the protected structure, it might cause problems of material embrittlement. In this work, we studied the effect of different cathodic protection potential on hydrogen embrittlement of API 5L X 80 steel in synthetic sea water environment. The susceptibility to hydrogen embrittlement was evaluated in uniaxial tensile tests on API 5L X80 steel. The circular section samples remained during tensile testing in the hydrogenated cell by the impressed current cathodic protection, under the same conditions of preloading. After the tensile tests, metallographic analysis and scanning electron microscopy were conducted at the fracture region for evaluation of the microstructure as well as, how occurred the fracture mechanism during the test. The experimental results showed that the potential for cathodic protection has a strong influence on the hydrogen generated in the environment and consequently changes some mechanical properties of the material.

**Keywords:** Steels API 5LX80, oil industry, impressed current cathodic protection, seawater.

### **Resumo**

Os aços API 5L X80 são largamente utilizados em diversas aplicações da indústria petrolífera, com maior incidência no transporte de petróleo e seus derivados. Uma técnica muito utilizada para o controle da corrosão nessas estruturas é a proteção catódica. Quando este tipo de proteção é utilizado de forma intensa, pode gerar hidrogênio no ambiente onde se encontra a estrutura protegida, podendo causar problemas de fragilização no material. Neste trabalho é estudado o efeito de diferentes potenciais de proteção catódica sobre a fragilização por hidrogênio do aço API 5L X80 tendo como meio, água do mar sintética. A suscetibilidade do aço estudado à fragilização por hidrogênio foi avaliada em testes de tração uniaxial, onde os

<sup>1</sup> Mestre, Professor – Instituto Federal de Pernambuco (Campus Caruaru).

<sup>2</sup> Doutora, Professora – Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>3</sup> Mestre – Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>4</sup> Doutora, Pesquisadora – Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>5</sup> Doutor, Professor – Universidade Federal de Pernambuco.

<sup>6</sup> Doutor, Professor – Universidade Federal de Pernambuco.

corpos-de-prova de seção circular continuaram a ser hidrogenados durante o ensaio de tração numa célula de proteção catódica por corrente impressa acoplada à máquina de ensaios, nas mesmas condições de carregamento prévio, também realizada numa célula de proteção catódica por corrente impressa. Após os ensaios foram realizadas análises metalográficas na região da fratura para avaliação das condições do ensaio sobre a microestrutura do material, assim como, microscopia eletrônica de varredura na região da fratura para identificação do mecanismo de fratura ocorrido. Os resultados experimentais mostraram que o potencial de proteção catódica possui forte influência sobre o hidrogênio gerado no meio e consequentemente nas mudanças de algumas propriedades mecânicas do material estudado.

**Palavras-chave:** Aços API 5LX80, Indústria Petrolífera, Proteção Catódica por Corrente Impressa, Água do Mar.

## **Introdução**

---

Com o desenvolvimento industrial, a utilização de instalações metálicas enterradas ou submersas, tais como oleodutos, gasodutos, adutoras, navios, plataformas de petróleo, tanques de armazenamento, dentre outras, tem sido cada vez mais frequente.

Em consequência, os problemas com corrosão e integridade estrutural aumentaram em grandes proporções, sendo cada vez mais requerido o desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas técnicas para o seu combate e controle.

O aço API 5L X80 é utilizado em diversos setores da indústria petrolífera, sendo notório o destaque na fabricação de tubulações para transporte de petróleo e seus derivados. Estas estruturas metálicas passam geralmente situações adversas com relação à temperatura e à agressividade do meio.

O processo de corrosão eletroquímica que se dá na presença de um eletrólito, muitas vezes é controlado através do mecanismo de proteção catódica, que pode gerar hidrogênio, o qual ao penetrar na estrutura do material pode ocasionar a fragilização do mesmo. O processo de fragilização de um material metálico acarreta aumento nas tensões internas, podendo ocasionar geração e propagação de trincas, levando o material ao colapso.

Diante da atualidade e necessidade de pesquisas voltadas ao entendimento do processo de fragilização causada pelo hidrogênio em materiais metálicos utilizados em fluidos aquosos agressivos da indústria de petróleo, como a água produzida remanescente que pode propiciar a liberação de hidrogênio na presença de corrente de proteção.

Neste trabalho é estudado o efeito de diferentes potenciais sobre a fragilização por hidrogênio do aço API 5L X80, quando submetido à proteção catódica, em água do mar sintética.

## **Metodologia**

---

Para este trabalho um tubo de aço API 5L X80 foi utilizado para confecção dos corpos de prova e posterior realização de ensaio. Esse tubo foi fabricado por laminação controlada sem resfriamento acelerado (TMCP – Thermomechanical controlled process). A composição química fornecida pelo fabricante está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1- Composição química do aço API 5L X80 fornecida pelo fabricante.**

<b>C</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>
0,03	0,004	0,0059	0,028	0,17	0,016	0,013	0,026
<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Mo</b>	<b>B</b>	<b>Ca</b>
0,159	1,72	0,014	0,008	0,065	0,192	0,0001	0,003

Para a confecção dos corpos de prova para realização do ensaio de tração com hidrogenação, o tubo de aço API 5L X80 foi cortado no sentido transversal ao sentido de laminação utilizando uma serra de fita com sistema de refrigeração. Em seguida, as amostras retiradas foram pré-usinadas em um torno mecânico convencional e logo após levados para torno CNC (Comando Numérico Computadorizado), para obtenção das dimensões e tolerâncias especificadas na norma ASTM E8M. Os corpos de prova finais estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1- Corpos de prova usinados em torno CNC.**

Com o intuito de se evitar a saída do hidrogênio retido no corpo de prova durante o ensaio de tração, foi desenvolvida uma célula de proteção catódica por corrente impressa para ser acoplada na máquina de ensaios. Com a fabricação desta célula foi possível que os corpos de prova continuassem a ser hidrogenados durante os testes de tração assistido por hidrogênio, nas mesmas condições do carregamento prévio.

A figura 2 apresenta o dispositivo fabricado para realização do ensaio de tração.



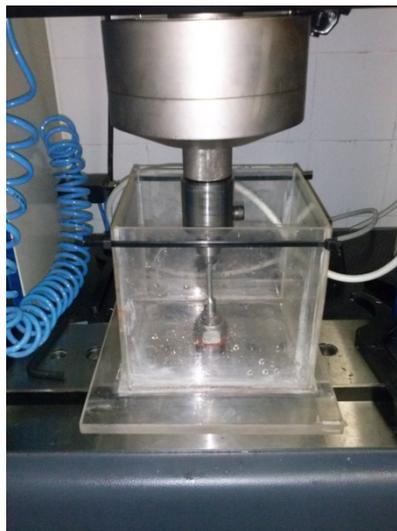
**Figura 2- Montagem da célula de proteção catódica na máquina de ensaios.**

Para investigação do efeito de diferentes potenciais utilizados neste estudo sobre a fragilização do aço API 5LX80, por hidrogênio, foram utilizados dois sistemas de proteção catódica por corrente impressa com potencial de proteção de  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$  e  $-1300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$  durante 24 horas, tendo como eletrólito água do mar sintética seguindo a norma ASTM D1141.

Para realização do ensaio de tração assistido por hidrogênio foi acoplado à máquina de ensaios a célula de proteção catódica.

A Figura 3 apresenta a montagem da célula de proteção catódica na máquina de ensaios. Os testes foram realizados em uma máquina EMIC modelo DL-10000, com célula de carga com capacidade de 100 kN e controle por meio do software TESC Versão 3.04. A célula de carga utilizada para este ensaio possui certificado de calibração e a taxa de deformação utilizada foi de 0,1 mm/min.

Vale ressaltar que antes do início do ensaio de tração os corpos de prova ficaram 10 minutos na célula de proteção catódica acoplada à máquina de ensaios com o intuito de compensar o tempo de traslado até a máquina.



**Figura 3- Sistema de proteção acoplado na máquina de ensaios.**

## Resultados e discussão

As curvas tensão *versus* deformação do aço API 5L X80 carregado com hidrogênio nos potenciais de  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$  e  $-1300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ , obtidas nos ensaios de tração, estão mostradas na Figura 4.

Como era de se esperar, os resultados mostram que o aço ensaiado diminuiu a sua capacidade de deformação na medida em que o potencial catódico se torna mais negativo e a produção de hidrogênio aumenta. Dessa forma, são disponibilizados mais átomos de hidrogênio para solubilizar no reticulado e gerar processos de degradação. Os índices de fragilização do aço para cada condição de ensaio mostram que no caso do potencial de  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ , a deformação foi aproximadamente 57% superior ao do potencial de  $-1300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ .

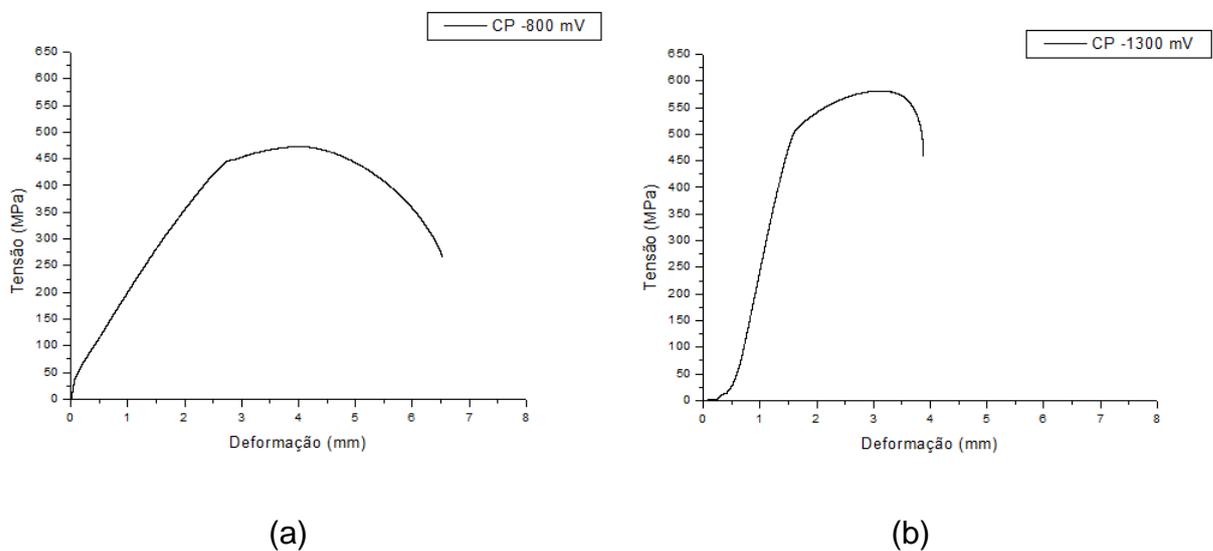
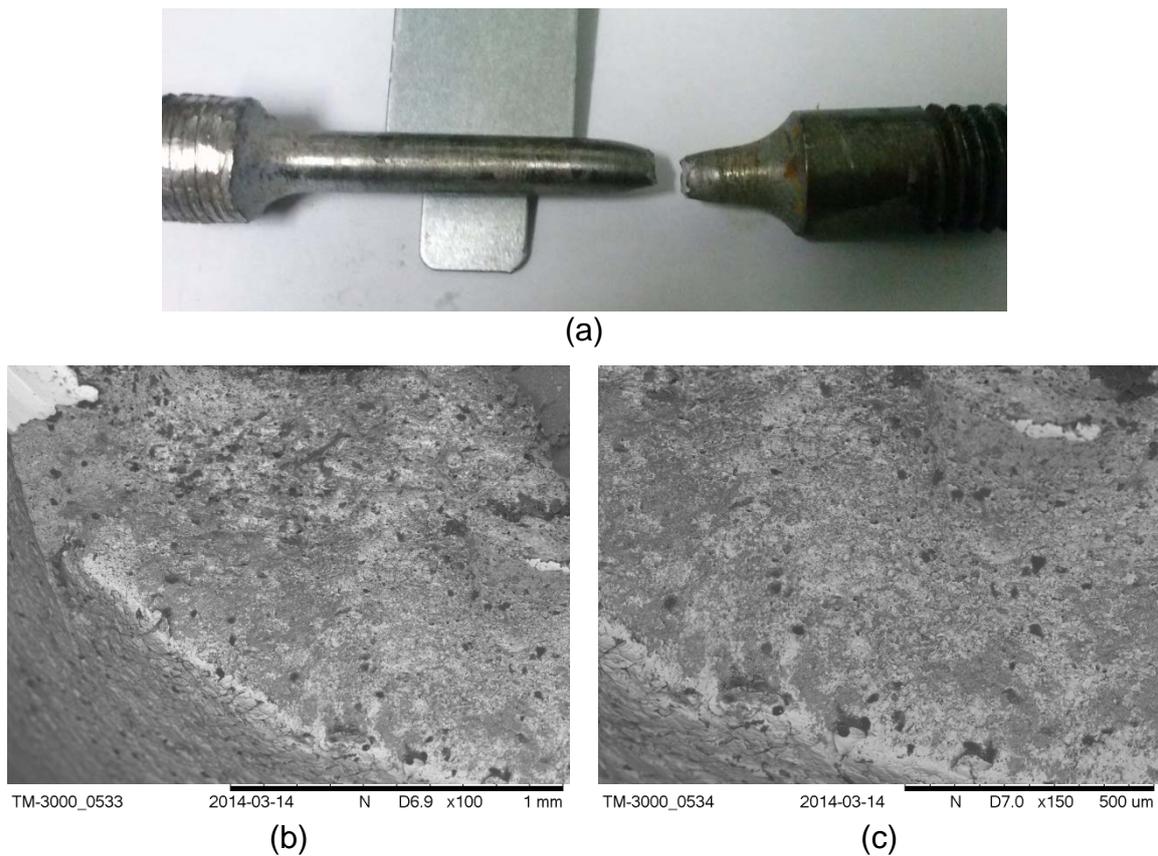


Figura 4- Gráficos tensão *versus* deformação. (a) Potencial  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$  e (b) Potencial  $-1300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ .

A Figura 5 mostra imagens da região fraturada do corpo de prova hidrogenado no potencial de  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ . Pode ser observada uma zona de estrição em (a), que permite determinar que a fratura foi do tipo dúctil. Em (b) e (c) se encontram imagens da superfície de fratura da região próxima a borda do corpo de prova, obtidas no microscópio eletrônico de varredura, onde é possível observar que o modo de fratura é dúctil. Esta região foi escolhida porque, em termos de processos de fragilização por hidrogênio, é a que sofre os efeitos do hidrogênio com maior intensidade, e onde podem ser encontradas as causas da perda de ductilidade, embora muito pequena.

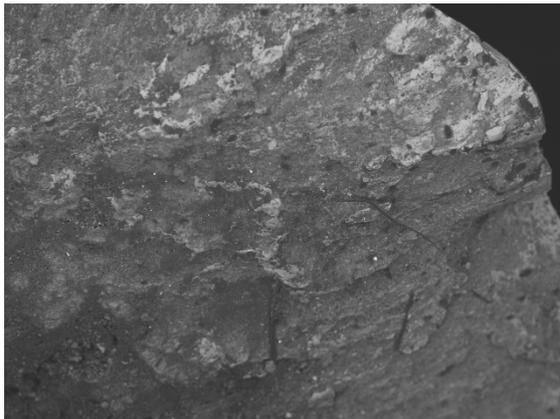


**Figura 5- Imagens da região da fratura do corpo de prova hydrogenado com potencial de -800 mV. (a) Fratura no corpo de prova, (b) Microscopia eletrônica de varredura com aumento de 100x e (c) Microscopia eletrônica de varredura com aumento de 150x.**

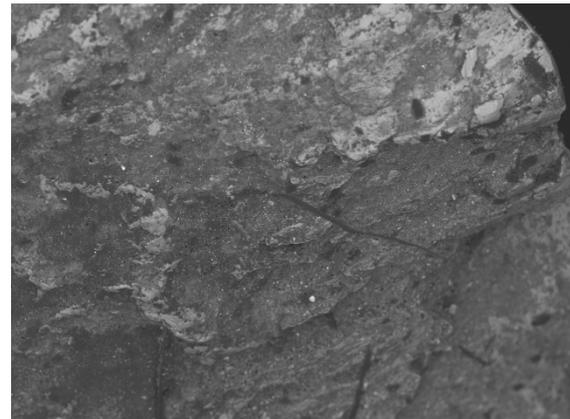
A Figura 6 mostra imagens da região fraturada do corpo de prova hydrogenado no potencial de  $-1300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ , onde também podem ser observadas as mesmas características, porém mais acentuadas, do corpo de prova hydrogenado no potencial de  $-800 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ . A zona de estrição é quase imperceptível como mostrado em (a). Em (b) e (c) são apresentadas imagens da superfície de fratura da região próxima à periferia do corpo de prova, obtidas no microscópio eletrônico de varredura, onde é possível observar que o modo de fratura na superfície é frágil, como resultado do elevado grau de fragilização sofrido pelo material na parte externa.



(a)



TM-3000\_0537 2014-03-14 N D7.4 x100 1 mm



TM-3000\_0538 2014-03-14 N D7.4 x150 500 um

(b)

(c)

**Figura 6- Imagens da região da fratura do corpo de prova hidrogenado com potencial de -1300 mV. (a) Fratura no corpo de prova, (b) Microscopia eletrônica de varredura com aumento de 100x e (c) Microscopia eletrônica de varredura com aumento de 150x.**

## Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram a forte influência do potencial catódico na capacidade de deformação do material ensaiado. Percebeu-se que na medida em que o potencial catódico se torna mais negativo ocorre uma maior produção de hidrogênio tendo como consequência uma perda de ductilidade do material.

## Referências bibliográficas

ASTM D1141-98-R08. Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water. **American Society for Testing Materials**, New York, 2008.

ASTM E8/E8M-11. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. **American Society for Testing Materials**, New York, 2011.

ANDERSON, T.L. Fracture Mechanics: **Fundamentals and Applications**. Boca Ratón: CRC, 1995.

ARAÚJO, B.A.; TRAVASSOS, G.D.; SILVA, A.A.; VILAR, E.O.; CARRASCO, J.P.; ARAÚJO, C.J. Characterization of Hydrogen Embrittlement in API 5L X60 and API 5L X80 Steels. Key **Engineering Materials**, v. 478, p. 34-39, 2011.

ARAÚJO, B.A.; FREITAS, V.L.; TRAVASSOS, G.D.; VILAR, E.O.; CARRASCO, J.P.; SILVA, A.A.; ARAÚJO, C.J. Estudo da Fragilização pelo Hidrogênio no Aço API 5L X60 em Diferentes Taxas de Deformação. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS**, 5, 18-22 out. 2009, Fortaleza, Brasil. Anais do V PDPETRO, Fortaleza: ABPG, 2009, p. 01-06.

MACHADO, R. S., ALTENHOFEN, A., CORRÊA, M. B., STROHAECKER, T. R. Avaliação da Tenacidade à Fratura de Um Aço de Alta Resistência na Presença de Proteção Catódica em Água do Mar Sintética. (UFRGS).