

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA MONITORAMENTO “ON LINE” DO HIDROGÊNIO PERMEADO EM AÇO CARBONO.

José Roberto P. Rodrigues¹ (Unicamp), Célia Marina de A. Freire² (Unicamp), Margarita Ballester³ (Unicamp)

^{1,2}UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, DEMA, C.P. 6122, Rua Mendeleiev, 200 Barão Geraldo
Campinas, S.P. CEP: 13083-970, e-mail:jroberto@fem.unicamp.br , e-mail:celia@fem.unicamp.br

³Instituto de Física "Gleb Wataghin", Laboratório de Hidrogênio e-mail:bmarga@terra.com.br

Um dos grandes problemas encontrados em refinarias de petróleo é o controle da deterioração nas estruturas dos aços das unidades que compõe o processo de refino de petróleo. Esta deterioração está relacionada a mecanismos envolvendo a penetração de hidrogênio no aço e corrosão sob tensão. A presença do hidrogênio na estrutura de aços, mesmo em pequenas quantidades, pode provocar modificações de suas propriedades mecânicas. Os danos relacionados ao hidrogênio em refinarias, tem como implicações imediatas a redução da disponibilidade de plantas industriais, aumento dos custos de parada por reparos e substituições, além dos riscos potenciais às pessoas, ao meio ambiente e às instalações, considerando o caso limite de não detecção de processos de falha em serviço. Em refinarias de petróleo este fato é muito importante, uma vez que os equipamentos operam em meios corrosivos, que levam à geração de hidrogênio atômico sendo este absorvido pelas paredes internas dos equipamentos levando a danificação destes. A detecção do hidrogênio atômico, por sensores de hidrogênio, é uma das formas de monitoramento mais eficientes utilizadas no momento permitindo o controle do processo de deterioração e aumentando a vida útil dos vasos e dutos. O modelo proposto consiste na colocação da superfície metálica em contato com um dispositivo constituído de uma célula eletroquímica, que através das medidas de impedância eletroquímica da interface metal/solução pode-se detectar o hidrogênio que se difundiu através da estrutura metálica. Os resultados obtidos mostram que a técnica de E.I.E pode ser usada para detectar a presença de hidrogênio permeado na superfície de aços.

Palavras-chave: Hidrogênio, Impedância Eletroquímica, Sensor de hidrogênio, Corrosão

1. INTRODUÇÃO

A permeação do hidrogênio através do metal ocorre em máquinas, equipamento, tubulações, ou outros equipamentos metálicos, utilizados na indústria de petróleo, refinarias, indústrias químicas, indústrias petroquímicas, unidades para produção, bombeamento, transporte e armazenamento de petróleo e gás, tanques, máquinas, e equipamentos que trabalham com hidrogênio, ou substâncias químicas que podem gerar hidrogênio, e indústrias nucleares, provocando, na maioria das vezes a destruição catastrófica do item sob permeação (Ponte, 2002), (Silva, 2002).

O hidrogênio interage com a maioria dos metais por uma série de mecanismos, resultando em modificações nas propriedades mecânicas que levam a fraturas frágeis e altamente danosas. O aparecimento do hidrogênio nos metais pode ocorrer durante o processamento e fabricação ou posteriormente, em serviço (Panasyuk VV, 2000).

Como é bem conhecido pelos usuários e técnicos da área de corrosão, danos estruturais são causados, em muitos casos, pela inclusão de hidrogênio em estruturas metálicas, sendo este hidrogênio gerado por meios ácidos que contêm prótons livres (cátion H^+), por processos químicos que conduzem à formação de prótons, por formação de hidrogênio atômico (H^0), ou até mesmo por gás hidrogênio (H_2), adsorvido na estrutura metálica. Estas condições são freqüentemente encontradas nos meios líquidos e gasosos que circulam por uma refinaria de petróleo, indústria química ou petroquímica etc (Correia, 1999)

Apesar do hidrogênio ser um átomo muito pequeno, ele possui um efeito fragilizante nos metais e ligas metálicas. Isto se deve ao fato de que este elemento químico quando presente na estrutura dos metais, mesmo em pequenas quantidades, tende a segregar em defeitos e atingir concentrações localmente elevadas o que proporciona um elevado potencial de fragilização. Citam-se como exemplos de locais preferenciais para a segregação do hidrogênio: discordâncias, vazios, falhas de empilhamento, maclas, partículas de segundas fases (ex: Al_2O_3 , NaI , TiC), porosidade, entre outros (Arrantes, 1992), (Rodrigues, 2002) e (Costa, 1992)

O hidrogênio atômico, eventualmente formado na superfície do aço em contato com estes meios, pode penetrar na parede do aço e ficar retido em inclusões ou descontinuidades como hidrogênio molecular gerando tensões que provocam trincas e corrosão. O presente trabalho constitui – se no estudo da viabilidade da aplicação de uma nova forma de monitoramento *on-line* da presença do hidrogênio no processo de corrosão predominante nas indústrias químicas, refinarias de petróleo etc., sendo o objetivo desse trabalho compor um sistema de monitoramento da corrosão mais eficiente, em termos de tempo de resposta e sensibilidade, usando como

ferramenta a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica. Uma das vantagens da aplicação deste método de monitoramento seria a possibilidade de acionar medidas de controle em tempo real, antes mesmo que ocorresse permeação de quantidade considerável de hidrogênio pela estrutura do material.

2. ESTADO DA ARTE

Um dos grandes problemas encontrados em refinarias de petróleo é o controle da deterioração nas estruturas dos aços das unidades que compõe o processo de refino de petróleo e indústrias químicas. Esta deterioração está relacionada a mecanismos envolvendo a penetração do hidrogênio no aço, cujo aparecimento durante operações normais de serviço tem origem nas reações de corrosão ou reações químicas inerentes ao próprio processo. (Rodrigues *et al*, 2003), (Thomason, 1984) e (Fofano, 1999).

O controle das diferentes formas de deterioração de materiais em instalações industriais tem sido considerado como um objetivo de grande relevância, não apenas econômico mais também para elevação dos níveis de segurança de trabalho e de controle. O desenvolvimento de novas tecnologias de monitoramento cada vez mais sensíveis e rápidas traz impactos importantes do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança.

A detecção da penetração do hidrogênio, por sensores de hidrogênio, é uma das formas de monitoramento mais eficiente utilizadas no momento permitindo o controle do processo de deterioração, aumentando a vida útil dos vasos de processo.

Um grande esforço tem sido feito no momento para obter um sensor de hidrogênio com tempo de resposta curto, de fácil instalação, com pouca manutenção, e que forneça resultados precisos e exatos, com integração para sistemas de processamento de dados e, é claro, com o menor custo possível, uma vez que o processo de deterioração que ocorre em plantas de processamento contínuo necessita de uma ação corretiva rápida (Bovankovich, 1994).

Os sensores para hidrogênio permeado em estruturas metálicas desenvolvidos até agora podem ser classificados em 4 grupos principais: sensores de pressão, sensores de vácuo, sensores eletroquímicos e sensores de células combustíveis (Maul, 2001).

2.1. O modelo proposto

A procura por sensores cada vez mais eficazes continua, motivada pelas limitações ainda existentes nos modelos disponíveis e pela grande incidência de problemas associados à entrada de hidrogênio nos metais, em diversas indústrias, como as de petróleo (Azevedo *et al.*, 1999)

As pesquisas atualmente não só têm procurado melhorar os sensores já existentes (principalmente os eletroquímicos), como também desenvolver sensores baseados em novos princípios de funcionamento. O modelo consiste na colocação da superfície da chapa metálica em contato com um eletrólito (solução) e na detecção do hidrogênio que fica adsorvido nesta interface, que foi produzido na face oposta da chapa e que se difundiu através da estrutura metálica. Esta detecção é feita através de medidas de impedância eletroquímica. Esta metodologia é a base do funcionamento do dispositivo para detecção de hidrogênio com aplicação nas indústrias de processos de transformação, tais como, indústrias químicas e petroquímicas, bem como nas que utilizam trocadores de calor, detecção, neste último caso, do hidrogênio produzido nas reações de corrosão.

O equipamento proposto tem grandes possibilidades de superar as desvantagens dos sensores e processos em uso atualmente. Esse equipamento, é composto de um sistema de monitoramento da corrosão mais eficiente, em termos de tempo de resposta e sensibilidade, que os sistemas conhecidos, usando como ferramenta a espectroscopia de impedância eletroquímica.

Uma das vantagens da utilização deste método e dispositivo de monitoramento é a possibilidade de acionar medidas de controle em tempo real, antes mesmo que ocorra a permeação de quantidade considerável de hidrogênio pela estrutura dos aços. Entre outras vantagens pode-se citar a facilidade de instalação deste tipo de sensor que pode ser instalado no material sem a necessidade de abrir uma janela de inspeção, isto por ser um método não destrutivo. Outra vantagem é que a detecção de hidrogênio pode ser feita em um tempo curto, entre 2 ou 3 horas, evitando os danos no material pela ação do hidrogênio.

Tal equipamento é constituído de uma célula eletroquímica basicamente composta de uma cavidade para colocação da solução eletrolítica em formato essencialmente cilíndrico, um corpo do dispositivo (PVC) um eletrodo, um ímã, disposto circundando a célula, elementos de vedação entre a superfície a ser monitorada, e uma fonte de tensão de alimentação do dispositivo, um Microcomputador, um detector de reposta de frequência, e uma interface da superfície a ser medida/monitorada. Sendo esta uma forma construtiva não restritiva. Para sua utilização o dispositivo, ou célula, após a fixação, do mesmo, na parede da tubulação (ímãs e anéis de vedação) ou da parede de um tanque (metálico), que se deseja monitorar aplica um sinal e o valor do ângulo de fase da impedância metal / solução será registrado via eletrônica. Para um dado metal, através de uma curva de calibração, obtida previamente em laboratório. Através da comparação dos dados e da curva de calibração será possível relacionar o valor do ângulo de fase com o fluxo de hidrogênio. Um programa computacional calculará

o fluxo e emitirá um alerta quando o fluxo de hidrogênio for superior a um valor pré - fixado. Este valor já é de conhecimento de cada tipo de indústria e depende tanto do processo como do material.

2. MATERIAL E MÉTODO EXPERIMENTAL

O material utilizado nos experimentos desse trabalho foi o aço do tipo ASTM 516 Grau 60, fornecido pela REPLAN (Refinaria do Planalto Central – Paulínia /SP). Esse aço é utilizado na construção de vasos das unidades de craqueamento catalítico em refinarias de petróleo (comumente do tipo AISI 516) e também em equipamentos na indústria de geração de energia elétrica e na indústria química. A composição química (% em peso) do aço ASTM 516 Gr 60 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química (% em peso) do aço do tipo ASTM 516 G 60.

ELEMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% em peso)
C	0,27
Mn	0,894
P	0,019
S	0,008
Si	0,176
Cr	0,037
Ni	0,017

As amostras foram obtidas a partir de uma chapa de aço com a composição apresentada na Tabela 1, a seguir, essa chapa foi cortada em tiras com dimensões aproximadas de 265mm de comprimento, 60 mm de largura e 6mm de espessura. Este foi o material “como recebido” com 6mm de espessura. Parte dessas tiras foram subsequentemente laminadas a quente até uma espessura de 1,30mm tendo sido posteriormente recozidas e lixadas até 1200 mesh de SiC chegando a diferentes espessuras que variaram entre 0,27 a 1,0 mm resultando no material “laminado e recozido”. Vale salientar que essas amostras “como recebida” e “laminada e recozida” foram lavadas em acetona, enxaguadas com água deionizada e secadas com ar quente para serem analisadas posteriormente.

As medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica em função do tempo, foram feitas usando-se um analisador de frequência modelo SI 1255 da SOLARTRON, acoplado a um Potenciostato/Galvanostato modelo 273 da EG&G PRINCETON APPLIED RESEARCH e um PARSTAT modelo 2273 da EG&G PRINCETON APPLIED RESEARCH acoplados a um PC com periféricos. As medidas de impedância foram realizadas usando-se uma célula eletroquímica do tipo (Devanathan, 1963) Essa célula foi desenvolvida no Laboratório de Estudos da Corrosão e Desenvolvimento de Revestimento – LEC&DR, com o intuito de poder realizar ensaios em amostras como recebido. Na Figura 1 é apresentada uma foto da célula eletroquímica dupla usado no monitoramento do hidrogênio.



Figura 1. Modelos de células eletroquímica do tipo Devanathan testados durante as medidas de impedância eletroquímica.

Essa célula eletroquímica permitiu a exposição de uma área de aproximadamente 3 cm², limitada por um “O - ring”, sendo composta por dois compartimentos, um denominado catódico onde há geração eletrolítica de hidrogênio atômico e outro compartimento anódico preenchido com solução de NaOH (0,1N) onde há a detecção

do hidrogênio após sua difusão através da amostra metálica que separa os dois compartimentos. Após o tempo de estabilização obtido com base nos resultados dos ensaios de permeação do hidrogênio (Rodrigues, 2004), foram levantados espectros de impedância eletroquímica à temperatura e pressão ambientes, para o sistema sem hidrogenação e com hidrogenação, as amostras do aço ASTM 516 Grau 60 foram analisadas em numa única frequência 1,0Hz e também para uma faixa entre 10^2 e 10^{-2} Hz, sendo a amplitude de sinal de tensão de 10 mA e a temperatura ambiente de $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Tais amostras foram submetidas a testes de impedância eletroquímica após 7 hs de imersão, numa solução de NaOH (0,1N) sendo a amostra o eletrodo de trabalho, a platina (Pt) o contra eletrodo e o eletrodo de referência o calomelano saturado (SCE). O acompanhamento das medidas, foram feitas procedendo-se à hidrogenação na interface de entrada solução/metal e realizando medidas de impedância na interface de saída metal/solução.

3. RESULTADOS

Na Figura 2 estão agrupadas as Curvas obtidas nos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica na forma de diagramas de Bode-Módulo e Bode-Fase para as amostras do aço ASTM 516 Grau 60 na interface de saída metal/solução.

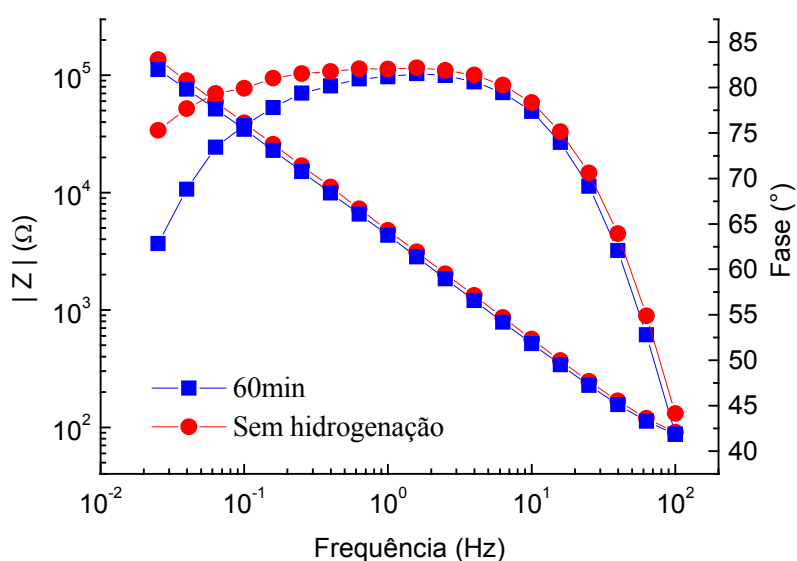


Figura 2. Diagrama Bode fase e Bode $|Z|$ na interface de saída metal/solução para a amostra laminada - recozido do aço ASTM 516 Grau 60 com 0,65mm, em solução de NaOH (0,1N). Fluxo de hidrogênio = 0,2 mA/cm².

Observa-se no diagrama de Bode Fase da Figura 2 uma variação no ângulo de fase com o tempo de hidrogenação na faixa de frequência 10^{-2} a 10^0 Hz. Entretanto pelo diagrama de Bode $|Z|$ pouco se pode dizer a respeito, pois os resultados se apresentam muito próximos.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram os diagramas de Bode fase, obtidos na interfase de saída metal/solução para varias espessuras da amostras do aço ASTM 516 Grau 60, “laminada-recozida” e “como recebido” para o sistema sem hidrogenação e com hidrogenação, correspondentes a tempos de 5, 15, 20, 30, 60, 90 e 150 minutos, a temperatura ambiente foi de $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$. Com tempo de imersão de 12hs em solução de NaOH (0,1N).

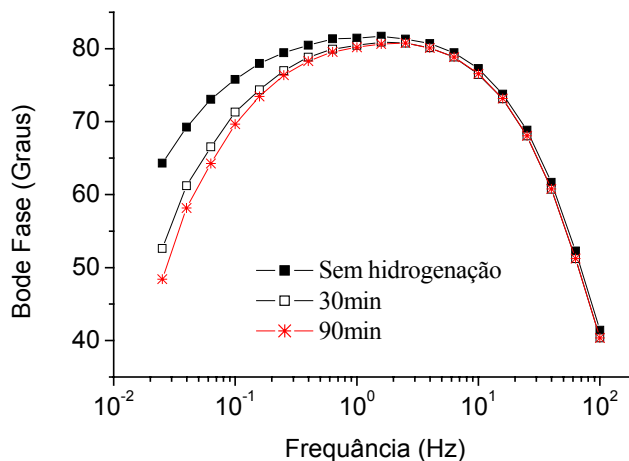


Figura 3. Diagramas Bode fase na interface de saída metal/solução para a amostra “laminada – recozida” do aço do tipo ASTM 516 Grau 60 com : espessura =0,50mm e Fluxo de hidrogênio = 0,5 mA/cm² .

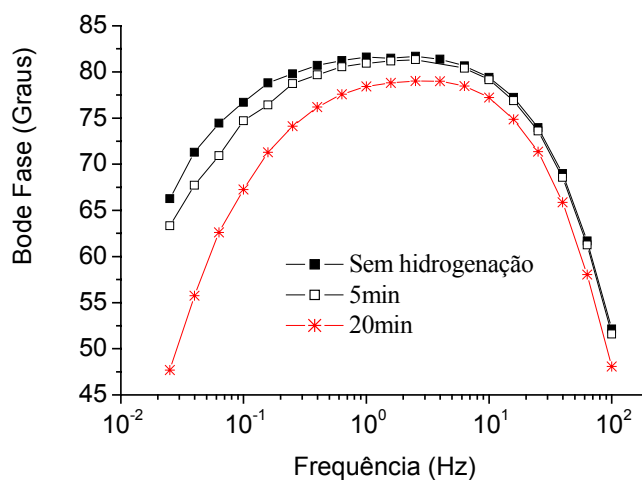


Figura 4. Diagramas Bode fase na interface de saída metal/solução para a amostra “laminada – recozida” do aço do tipo ASTM 516 Grau 60 com: espessura = 0,90mm e Fluxo de hidrogênio = 0,2mA/cm².

Nos diagramas das Figuras 3, 4 e 5 observa-se que o ângulo de fase varia em função do tempo de hidrogenação, para ambos os casos; sendo que a faixa de frequência onde se observa essa variação é de 10^0 até 10^{-2} Hz. O que comprova a mudança no fluxo de hidrogênio na interface de saída metal/solução. Na Figura 5 observa-se que o hidrogênio é identificado com 60 min de hidrogenação, sendo que a produção de hidrogênio foi realizada a partir da eletrolise usando como fonte de corrente a bateria automotiva, passando a se estabilizar com 150 min de hidrogenação, tempo esse suficiente para que se atinja o valor máximo de hidrogênio difusível no material. Vale salientar que este tempo de resposta da presença de hidrogênio é bem menor do que o tempo de detecção por outros métodos usados nas refinarias de petróleo. O mesmo pode ser observado nos resultados da Figura 6, onde a partir de 20min o hidrogênio é detectado. Constatou-se a partir desses resultados que as respostas em tempo de detecção do hidrogênio absorvido para essas duas formas de hidrogenação são rápidas. Em outras palavras, o sistema mostrou ser bastante reversível e de resposta rápida em relação às variações do fluxo de hidrogênio

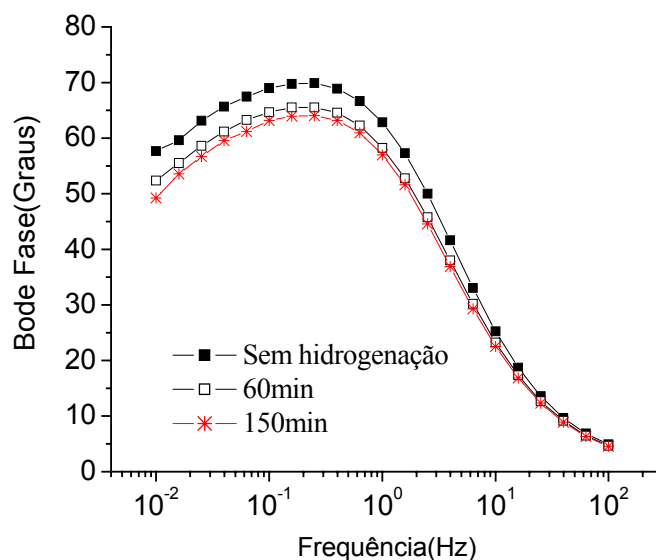


Figura 5. Diagramas Bode fase para a amostra como recebida do aço ASTM 516 Grau 60 com 6mm de espessura em solução eletrolítica de NaOH (0,1N). Fonte de corrente: Bateria automotiva. Fluxo de hidrogênio = $0,7\text{mA}/\text{cm}^2$

Na Figura 6 são apresentados os resultado para as medidas do sinal de hidrogênio para uma única frequência 1,0Hz usando o PARSTAT modelo 2273 da EG&G PRINCETON APPLIED RESEARCH, com fonte de corrente a partir de um Bateria automotiva e contra eletrodo de platina..

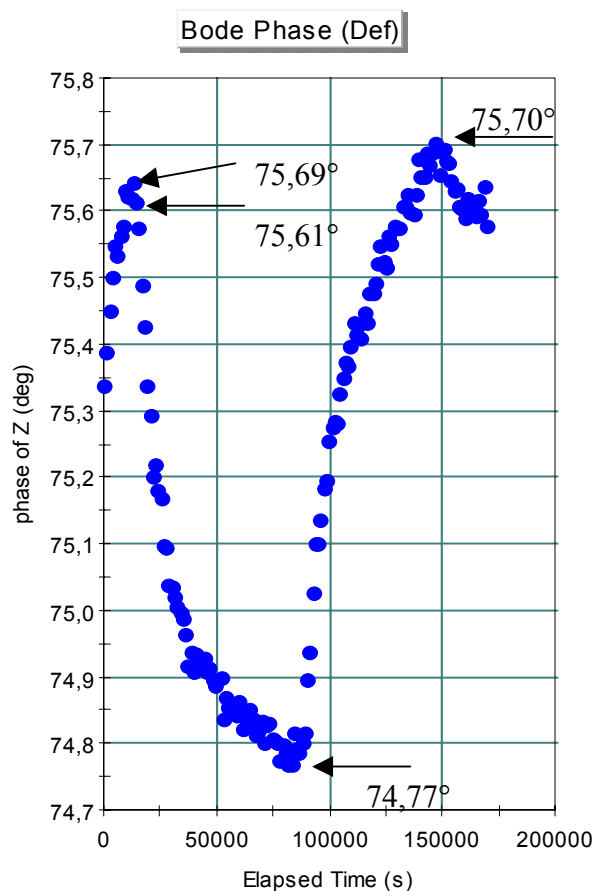


Figura 6. Diagramas Bode fase para a amostra do aço ASTM 516 Grau 60 com 6mm de espessura em solução eletrolítica de NaOH (0,1N). Fonte de corrente: Bateria automotiva, 12V. Fluxo de hidrogênio de $1\text{mA}/\text{cm}^2$ Frequência fixa de ,0Hz e tempo de medida de 20min.

Observa-se no gráfico da Figura 6 que o sistema sem hidrogenação representado na faixa $75,34^{\circ}$ a $75,69^{\circ}$ não apresenta nenhum sinal da presença do hidrogênio, entretanto com a produção de hidrogênio atômico é verificado após 20 min de hidrogenação a presença do hidrogênio atômico na fase $75,61^{\circ}$ no compartimento de detecção da célula eletroquímica ou seja interface de saída essa identificação ocorre com o aumento do fluxo de hidrogênio essa fase passa a $74,77^{\circ}$ porém com o aumento do tempo de hidrogenação o fluxo diminui elevando a fase para $75,70^{\circ}$ essa mudança se deve a alguns fatores como uma possível combinação do hidrogênio com outro para formar hidrogênio molecular na superfície interna do aço bem como na interface de entrada metal / solução de NaOH 0,1N. Estes resultados mostram a possibilidade de se detectar o hidrogênio atômico que se difunde através da amostra do aço (Rodrigues, 2004). Com base nos resultados já obtidos foi desenvolvido um novo método para detecção do hidrogênio difundido através de chapas metálicas, por medidas de impedância eletroquímica da interface metal/ solução. Esta metodologia é a base de funcionamento do dispositivo para detecção de hidrogênio ver figura 7.

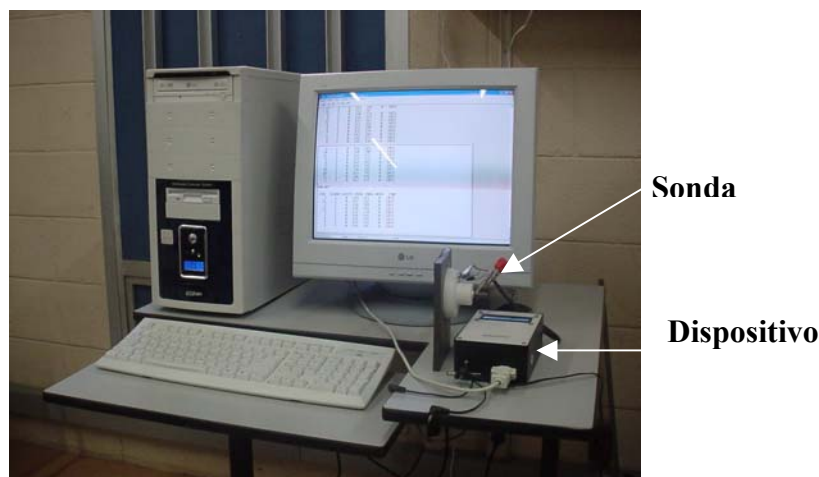


Figura 7. Dispositivo para detecção do hidrogênio difundido através de chapas metálicas, por medidas de Impedância eletroquímica da interface metal / solução.

Na Figuras 8 são apresentados os resultados obtidos com o dispositivo onde a cada 1 segundo é realizada uma medida que gera um conjunto de dados. Após a obtenção das medidas experimentais o conjunto de dados foi tratado com o objetivo de obter a curva da resposta do sensor.

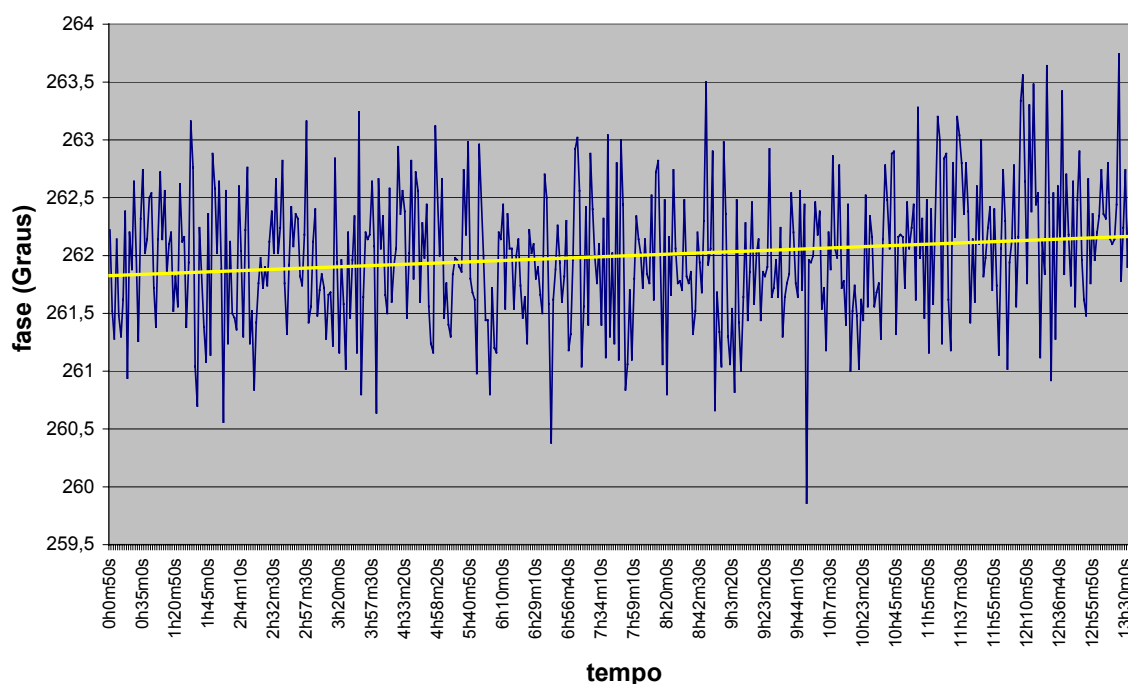


Figura 8 - Gráfico da resposta do sensor de hidrogênio, ângulo de fase da impedância em função do tempo

4. CONCLUSÃO

Os ensaios eletroquímicos mostraram que é possível a detecção do hidrogênio difundido através de superfícies metálicas por medidas do ângulo de fase da impedância da interface metal/solução a uma frequência fixa. A frequência escolhida para estas medidas foi de 1 Hz, levando em consideração a variação do ângulo de fase nesta frequência e a operação do circuito eletrônico. Os tempos envolvidos no processo de detecção para espessuras do aço de até 6mm são da ordem de 20 a 60 min. Estes resultados mostram que o dispositivo pode ser utilizado para detectar o hidrogênio produzido em reações de corrosão.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio do Laboratorio de Hidrogênio do IFGW/UNICAMP, da REPLAN pelo fornecimento do material. Ao CNPq pela bolsa concedida no projeto CTPetro processo nº550203/2005-2 bem como a FAPESP pelo projeto PIPE Fase I processo nº 04/09110-4. Este trabalho esta sendo desenvolvido no laboratório de Estudo da Corrosão e Desenvolvimento de Revestimentos – **LEC&DR**, maiores informações no site: www.fem.unicamp.br/~celia.

6. REFERÊNCIAS

- ARANTES, D. R. “**Sobre a Hidretação e a Difusão de Hidrogenio em Eletrodos de No Microcristalino e Nanocristalino**”. Depto. de Física, UNICAMP, tese (Doutorado), abril de 1992.
- AZEVEDO, C.; BEZERRA, P. S. A.; ESTEVES, F.; JOIA, C. J. B. M.; MATTOS, O. R. Hydrogen Permeation Studied by Electrochemical Techniques. **Electrochimica Acta.**, n. 44, p. 4431-4442. 1999.
- BOVANKOVICH, J.C. “On-line Corrosion Monitoring for Process Plant Control”. **Material Performance** . p. 57-60. nov 1994.
- FONDEUR, F.; MOZHL, T.A. e WILDE, B.E. The effect of palladium on hydrogen absorption and mobility in AISI 4130 Steels, **Corrosion Science**, v. 28, n. 5, p. 461-470. 1983.
- CORREA, L.A. Process for metering hydrogen permeated in a metallurgical structure, and apparatus thereof, Patent, File#CRI 005 United States Patent Office and International Application PCT/BR 00/00131. **Processo de Medição de Hidrogênio Permeado em Estrutura Metalúrgica e Aparelho Correspondente**, INPI PI9905430-2 (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) de 01/02/99. 1999.
- COSTA, G. F., Sobre os Efeitos do Hidrogênio em Aços. **CBCIMAT 10** item 1177 - Águas de Lindóia - SP - 1992
- DEVANATHAN, M.A.V. e STACHURSKI, Z. A technique for the evaluation of hydrogen embrittlement characteristics of electroplating baths, **J. Electrochemical Soc.**, v. 110, n. 8, p. 886-890. 1963.
- FOFANO, S. **Avaliação de técnicas eletroquímicas na monitoração de corrosão por sulfetos em sistema de água de resfriamento industrial**. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Paraná.
- MAUL, A.M.; PONTE, H.A.; CORRÊA, L.A., “Avaliação de sensores bimetalicos para a detecção e medição de hidrogênio permeado através de estruturas metálicas”, **Anais do 1º Encontro dos Programas de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás Natural do Paraná** (PRH/ANP 10 e 24), Curitiba, 2001.
- PANASYUK VV, ANDREYKIV OY, GEMBARA OV. Hydrogen Degradation of Materials Under Long-term Operation of Technological Equipament. **Int J. Hydrogen Energ** 25: (1) 67-74 JAN 2000.
- PONTE, H.A.; SILVA, P.R.; FOFANO, S., “Estudo de Aplicação de Técnica Eletroquímica para Monitoramento da Corrosão em Unidades de FCC”, **Anais do 6º COTEQ**, Salvador, 2002.
- PROENÇA, M.B., **Deterioração de Aço em Refinarias de Petróleo e seu Controle por Impedância Eletroquímica**, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998, 180p Tese(Doutorado).
- RODRIGUES, J. R.P., **Monitoramento da Presença de Hidrogênio Atômico na Superfície de Aço Carbono Através da Espectroscopia de impedância Eletroquímica**. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004 79p Tese (Doutorado).
- RODRIGUES, J.R.P., Freire, C.M. BALLESTER, M., “Avaliação das condições de monitoramento do hidrogênio no aço ASTM 516 Grau 60” **XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais** –Natal/RN 09 a 13 de Novembro de 2002.
- RODRIGUES, J. R. P. ; FREIRE, C. M. A. ; BALLESTER, M. et al. “Monitoramento da Presença de Hidrogênio no Aço ASTM 516 G 60 Usado em Unidades de Craqueamento Catalítico em Refinarias de Petróleo”. Hotel Resoti Santini; Florianópolis; **7 Conferência sobre tecnologia de equipamentos**, 2003.
- SILVA, P. R.. Estudo da influência de propriedades dos filmes de polissulfeto de ferro no comportamento eletroquímico do aço em unidades de craqueamento catalítico de petróleo, **PIPE-PRH24**, UFPR. p. 193, 2002.

THOMASON, W.H. Corrosion monitoring with hydrogen probes in the oilfield, **Materials Performance**, v. 23, n. 5, p. 24-29. 1984.

A SENSOR DEVELOPMENT FOR DETECTION OF PERMEATED HYDROGEN THROUGH STEEL FOILS

One of the biggest problems found in petroleum refineries is the deterioration control of steel structures at petroleum refining process units. This deterioration is related to mechanisms involving hydrogen penetration in steel and stress corrosion. Even in small amounts hydrogen can modify significantly the steel mechanical properties. Several procedures have been developed to control structural damages such as surface protective layers or control of conditions of corrosive media in contact with steel. The main problem here is how to measure in a safe, economically viable way and mainly, in the smallest possible time, the hydrogen formation close to a corrosion surface, in order to use control procedures to avoid damages. Great effort has been made to obtain a hydrogen sensor with short answer delay, easy installation, little maintenance, that provides precise and exact results, integrated to data processing systems and, of course, with low cost. The proposed model consists of an electrochemical cell in contact with the metallic surface. The hydrogen permeated through the metallic foil is detected in the cell by measuring the interface electrochemical impedance at a fixed frequency. The results show that the permeated hydrogen can be detected 3 hours after its production.

Keyword: hydrogen, hydrogen sensor, electrochemical impedance, corrosion

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.