

INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE UM MACROINDENTADOR PORTÁTIL PARA AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DUTOS

Francisco Francelino Ramos Neto

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
francisco@mecanica.ufu.br

Flávia Cristina Cardoso

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
flavia_uvu@yahoo.com.br

Alcimar Barbosa Soares

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
alcimar@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
ltm-sdfranco@ufu.br

Vera Lúcia Donizeti S. Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
vlfranco@ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Cenpes – RJ
mtp@cenpes.petrobras.com.br

Resumo: A obtenção de propriedades mecânicas de dutos metálicos de condução de petróleo é de fundamental importância no que se refere à otimização de sua utilização. Este fato torna-se mais relevante quando se trata de linhas, cuja documentação não é precisa ou inexistente. Convencionalmente, a obtenção destas propriedades é realizada através de ensaios destrutivos tais como tração, impacto e fadiga. Todavia, a macroindentação, recente metodologia aplicada na determinação das propriedades mecânicas de materiais metálicos, surge como: uma boa alternativa. O ensaio de macroindentação tem a vantagem de ser não-destrutivo e poder ser realizado “in-situ”, ou seja, na própria estrutura da peça. A macroindentação instrumentada é um ensaio baseado em múltiplas indentações no mesmo local de penetração. Assim, com o monitoramento constante da carga e da profundidade de indentação, determina-se uma curva característica do ensaio. Da correlação entre os pontos desta curva e equações-modelo obtém-se propriedades mecânicas, tais como: o limite de escoamento, o limite de resistência, a dureza e tensões residuais. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento da interface entre diversos elementos de instrumentação e controle de um equipamento de macroindentação. Os dispositivos de controle e instrumentação utilizados correspondem a um controlador do atuador linear e sensores de carga e de deslocamento acoplados a um condicionador de sinais. Desta forma, o atuador é responsável pela aplicação contínua da força enquanto a célula de carga e o sensor de deslocamento monitoram de forma precisa, a carga e a profundidade de indentação, respectivamente. O sistema é conectado a um computador portátil e as diversas rotinas computacionais inicializam a comunicação com os dispositivos de “hardware” e permitem a realização do ensaio de forma totalmente automatizada, bem como monitoram todas as condições inseguras da operação do equipamento.

Palavras-chave: Instrumentação, controle, macroindentação, propriedades mecânicas, dutos.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da integridade de qualquer estrutura metálica é importante tanto para garantir que falhas não ocorrerão durante a vida de seus componentes quanto para avaliar o tempo de vida da estrutura. De maneira a obter a integridade destas estruturas submetidas a acidentes ou condições de serviço severas, é requerido o conhecimento das propriedades mecânicas do material para uma avaliação (Haggag, *et al.* 1990).

A obtenção das propriedades mecânicas em dutos de condução de gás natural e óleo que não possuem uma documentação é de fundamental importância tanto para a caracterização do material quanto para a otimização de sua utilização, ou seja, aumento da sua capacidade de transporte de forma segura (Haggag, *et al.* 1990).

Através de ensaios convencionais como de tração, impacto e fadiga é possível a obtenção das propriedades mecânicas de um material. Todavia, estes ensaios denotam, impreterivelmente, a destruição dos corpos de prova subtraídos da estrutura da peça.

As propriedades mecânicas de um material, no entanto, podem ser obtidas através de modernos ensaios de macroindentação. Dada a configuração do ensaio e a reduzida região perturbada durante a indentação, estes ensaios permitem que os testes sejam realizados na própria estrutura da peça. Assim, a macroindentação é um ensaio que visa medir a resistência à penetração de um material e a correlação dos eventos de deformação com teorias de elastoplasticidade, permitem o acesso à diversas propriedades mecânicas do material.

Quando este ensaio é realizado com o monitoramento das variáveis (deslocamento e carga), diz-se Macroindentação Instrumentada. A partir da utilização de penetradores esféricos, Ramos Neto *et al.*, (2002) definem o ensaio como Indentação Esférico-instrumentada. (IEI). O ensaio é baseado em múltiplas indentações, no mesmo local de penetração, na superfície metálica utilizando uma esfera como objeto de penetração. Na Figura 1 estão representadas as deformações plástica (h_p), elástica (h_e) e total (h_t).

A partir deste ensaio é obtida uma curva da profundidade de indentação pela carga aplicada (Figura 2). Através da correlação entre tensão-deformação induzida e equações-modelo, pode-se determinar propriedades mecânicas do material analisado, tais como: limite de escoamento, limite de resistência, dureza e tensões residuais (Haggag *et al.*, 1989; Ramos Neto *et al.*, 2002; Mathew *et al.*, 1999).

Para a obtenção das curvas de carga *versus* profundidade, foi desenvolvido um equipamento portátil que, acoplado a estrutura do duto, permite a realização dos ensaios de macroindentação (Ramos Neto *et al.*, 2002).

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento da interface entre os diversos elementos de instrumentação e controle do equipamento. Estes elementos que foram adquiridos do mercado são mostrados na Figura 3.

Assim, a partir do aparato eletro-eletrônico em sintonia com o sistema de gerenciamento (microcomputador), foram desenvolvidas diversas rotinas computacionais de monitoramento e controle do ensaio.

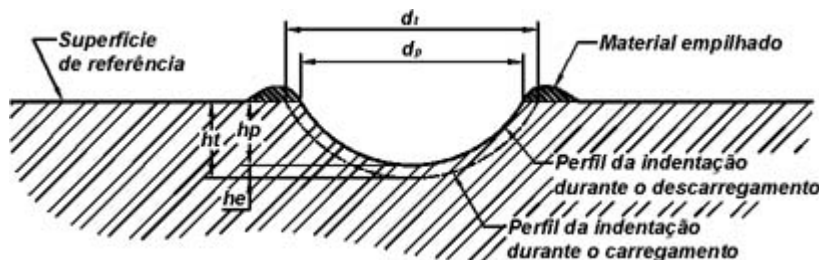


Figura 1 – Perfil de indentação típico produzido por um penetrador esférico

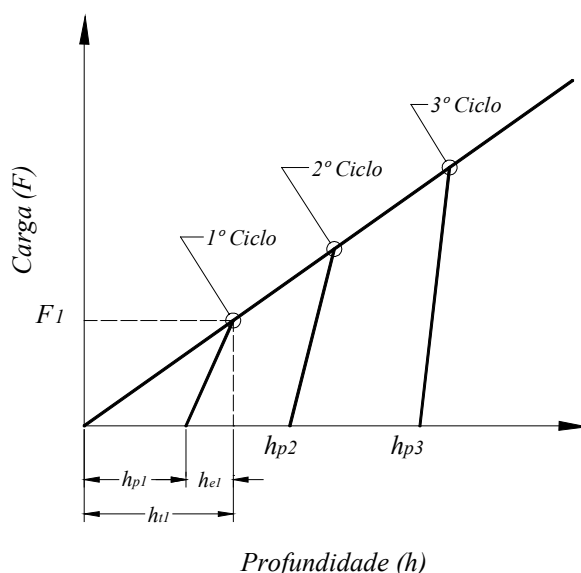


Figura 2 – Representação gráfica da relação entre carga e deslocamento do indentador, observando alguns ciclos de indentação

2. SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

O desenvolvimento do sistema de ensaio por macroindentação portátil demanda uma interligação entre os vários dispositivos de controle e monitoramento, em tempo real, de grandezas do ensaio. Os elementos de aquisição da posição e velocidade do penetrador bem como a carga aplicada são mostrados na Figura 3. A implementação lógica e funcional do sistema é dada pelos diagramas de *hardware* e *software* mostrados nas figuras 4 e 5, respectivamente.

O atuador linear é responsável pelo posicionamento do penetrador e pela aplicação da carga de indentação. Para que a velocidade, aceleração e deslocamento, dentre outros parâmetros para o motor, sejam controlados utiliza-se um driver com conexão para porta serial (COM1) como interface com o microcomputador.

Como as grandezas de deslocamento e carga de indentação devem ser monitoradas durante o deslocamento do penetrador utilizam-se sensores de carga e de deslocamento juntamente com um condicionador de sinais responsável pela aquisição e digitalização destes sinais e envio dos mesmos para o computador através da porta paralela (LPT1).

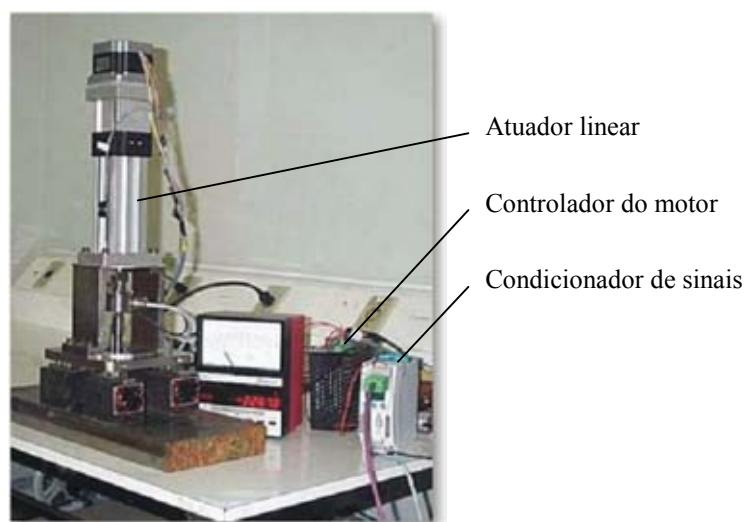


Figura 3 – Macroindentador portátil desenvolvido e seus periféricos

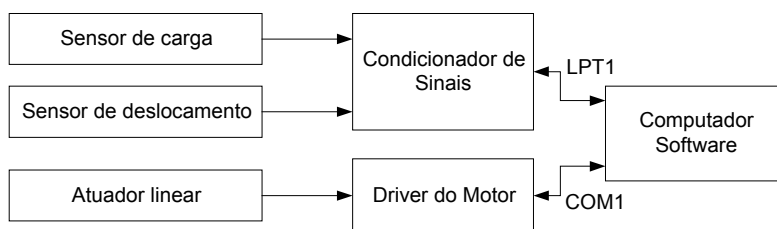


Figura 4 – Diagrama representativo do *hardware* do equipamento de macroindentação desenvolvido

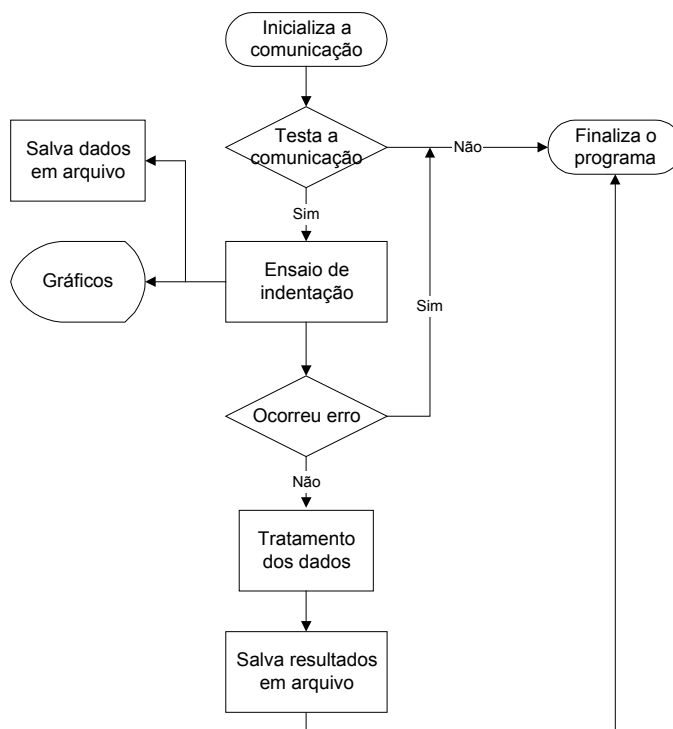
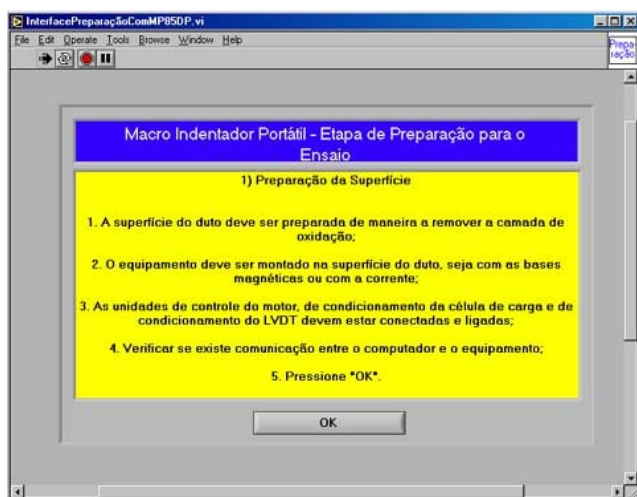


Figura 5 – Diagrama representativo do *software* do equipamento de macroindentação.

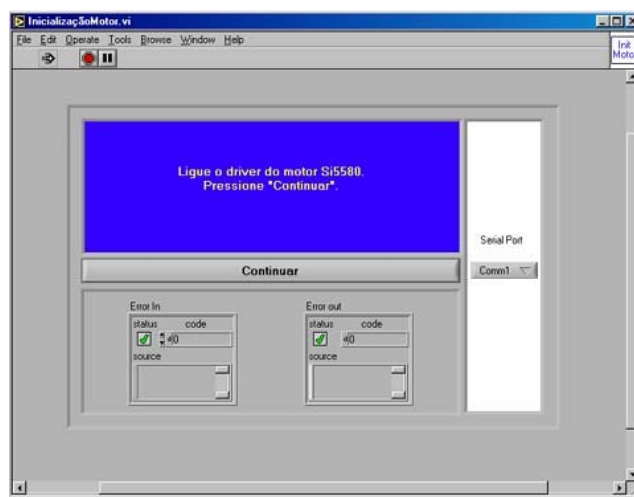
O software de controle, aquisição e tratamento dos dados foi implementado utilizando o LabVIEW 6 e é dividido em três etapas: 1) inicialização da comunicação entre o computador e os dispositivos de *hardware* (condicionador de sinais e controlador do motor); 2) ensaio de indentação e 3) análise dos dados para a determinação das propriedades mecânicas.

Uma vez implementados os protocolos de comunicação, inicializa-se a mesma para verificação do funcionamento dos dispositivos. Após esta etapa inicia-se o ensaio com a definição de parâmetros como velocidade de carregamento, porcentagem de descarregamento, passo de deslocamento, máxima carga a ser aplicada, quantidade de ciclos de indentação. Durante o processo de indentação o gráfico característico do ensaio é mostrado, possibilitando o acompanhamento em tempo real das grandezas monitoradas. A partir dos dados obtidos do ensaio, é possível determinar as propriedades mecânicas do material analisado.

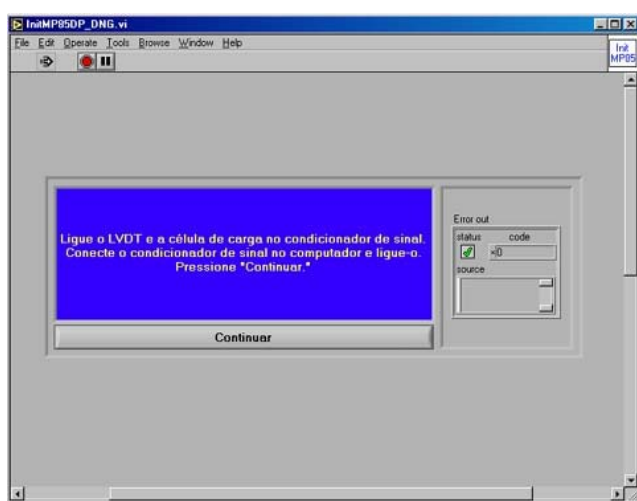
A Figura 6 mostra as principais interfaces criadas para tornar o ensaio simples e de fácil operação. Todas as instruções para o operador são exibidas de forma seqüencial na tela no monitor de vídeo. Neste caso, uma preocupação constante foi a manutenção da segurança operacional do sistema. A etapa referente ao processamento dos dados obtidos do ensaio para obtenção das propriedades encontra-se em fase final de desenvolvimento.



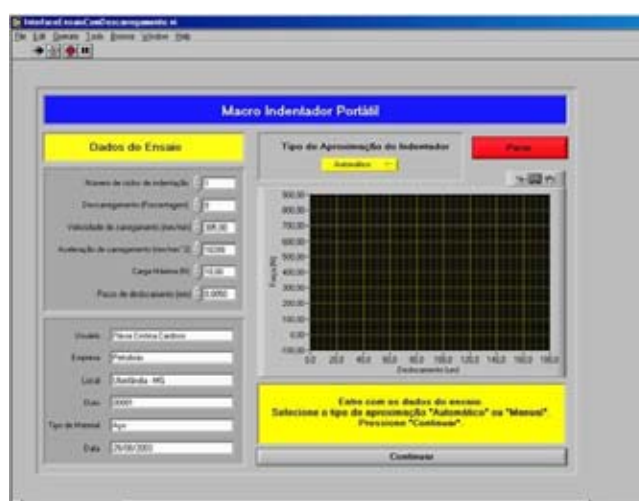
(a)



(b)



(c)



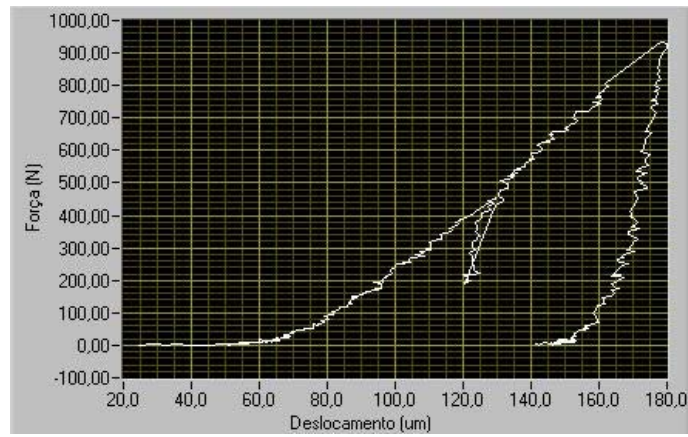
(d)

Figura 6 – Interface das etapas do ensaio de indentação: (a) preparação para o ensaio, (b) inicialização da comunicação entre controlador do motor e microcomputador, (c) inicialização da comunicação entre condicionador de sinais e microcomputador e (d) ensaio de indentação.

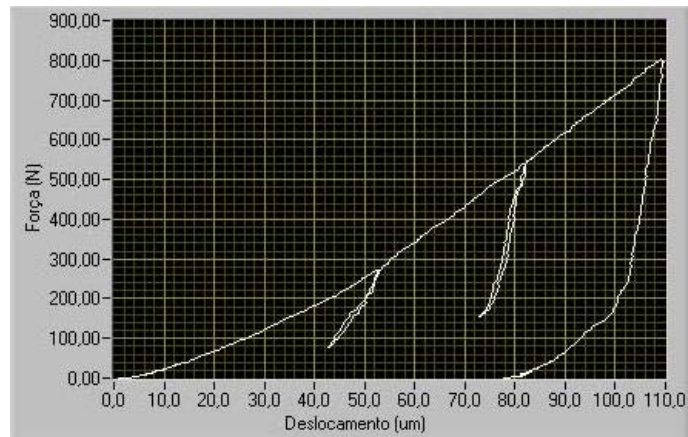
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim, a partir do equipamento instrumentado, foram realizados alguns ensaios de indentação. Os resultados gráficos são mostrados na Figura 7. Nota-se que, durante os ensaios de indentação preliminares problemas como rigidez do equipamento e ruído nos sinais aquisicionados, foram detectados (Figura 7-a). Assim, ajustes no tratamento dos sinais e na estrutura do equipamento, conduziram à melhorias significativas nos resultados (Figura 7-b e c).

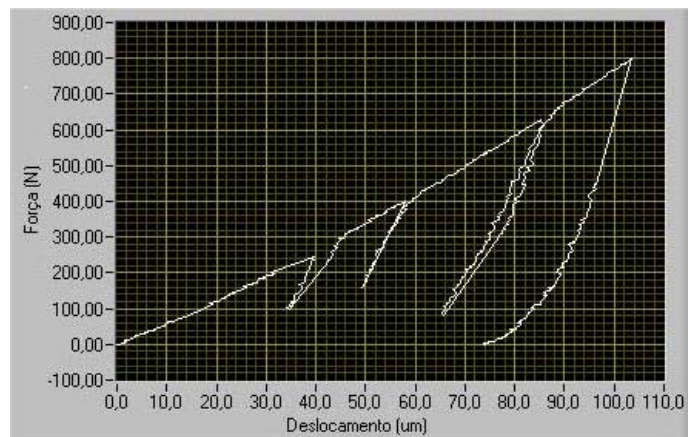
Comparando-se estes resultados com a Figura 8, nota-se que os ciclos de carregamentos parciais se assemelham muito aos resultados obtidos por Mathew *et al.*, (1999).



(a)



(a)



(b)

Figura 7 – Ensaios de indentação realizados após a implementação dos procedimentos de carregamentos parciais: (a) ensaio preliminar, (b) ensaio com três ciclos e (b) ensaio com 4 ciclos.

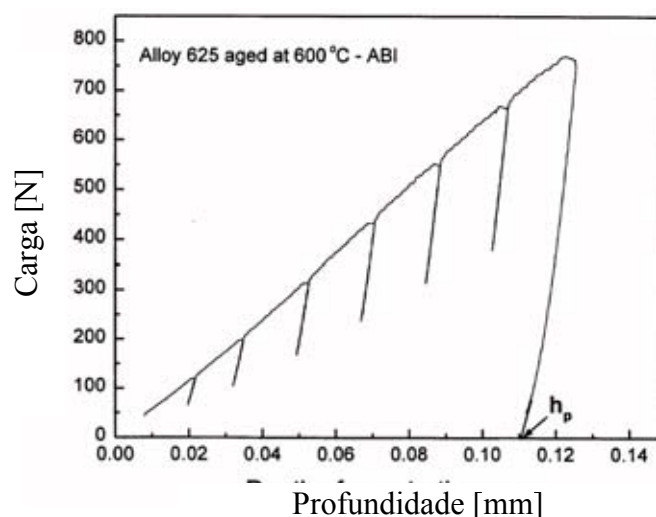


Figura 8 – Curva característica de carga *versus* profundidade obtida por Mathew *et al.*, (1996) em ensaio de macroindentação.

4. CONCLUSÕES

Foram desenvolvidos procedimentos de controle do equipamento de macroindentação descrito acima. Estes procedimentos tornaram possível a execução de ensaios com ciclos de carregamento e descarregamento requeridos na avaliação das propriedades mecânicas via macroindentação.

As diversas etapas do *software* desenvolvido asseguraram a integridade dos diversos dispositivos empregados. Assim, na ocorrência de alguma operação insegura, o sistema automaticamente interrompe o sistema e gera um evento de aviso ao operador.

As curvas obtidas nos testes iniciais mostram-se muito semelhante às encontradas na literatura. Todavia procedimentos de ajuste e calibração dos instrumentos ainda são requeridos.

Atualmente o sistema encontra-se em fase de ajustes na velocidade de indentação e na precisão dos dados adquiridos. Outras estratégias de controle do ensaio ainda deverão ser testadas visando a otimização do ensaio.

5. REFERÊNCIAS

- Haggag, F. M., “In-situ Nondestructive Measurements of key Mechanical Properties of Oil and Gas Pipelines”, Residual Stress Measurement and General Nondestructive Evaluation, ASME PVP-Vol. 429, 2001, pp. 99-104.
- Haggag, F. M., Nanstad, R. K. e Hutton, J. T., “Use of Automated Ball Indentation to Measure Flow Properties and Estimate Fracture Toughness in Metallic Materials”, Applications of Automation Technology to Fatigue and Fracture Testing, ASTM 1092. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, pp. 188-208.
- Haggag, F. M., Wong, H., Alexander, D. J., e Nanstad, R. K., “The use of Field Indentation Microprobe in Measuring Mechanical Properties of Welds”, 2nd International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, 1989, pp. 843-849.
- Mathew, M.D., Murty, K.L., Rao, K.B.S., Mannan, S.L., “Ball Indentation studies on the effect of aging on mechanical behavior of alloy 625”, Materials Science and Engineering A264 (1999) 159-166.
- Ramos Neto, F. F. e Franco, S. D., “Avaliação de Propriedades Mecânica em Dutos Através de Ensaios de Macroindentação Instrumentada”, Anais do V Seminário de Pós-Graduação da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INSTRUMENTATION AND CONTROL OF A PORTABLE INDENTATION EQUIPMENT FOR EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PIPES

Francisco Francelino Ramos Neto

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
francisco@mecanica.ufu.br

Flávia Cristina Cardoso

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
flavia_uvu@yahoo.com.br

Alcimar Barbosa Soares

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
alcimar@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
ltm-sdfranco@ufu.br

Vera Lúcia Donizeti S. Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
vlfranco@ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Cenpes – RJ
mtp@cenpes.petrobras.com.br

Abstract. *Obtaining mechanical properties in oil pipelines is important to evaluate its operating conditions, especially when there is no documentation of their mechanical properties or if it is not accurate. Generally, destructive tests like tensile, impact and fatigue tests are performed to measure mechanical properties. However, the ball indentation, a new technique applied to obtain mechanical properties of metallic materials, appears as a good alternative. The ball indentation test has advantages because it is nondestructive and can be performed in-situ (in the structure of the pipe). The instrumented indentation is based on multiples tests in the same place of penetration. Thus, the indentation load-depth data are measured continuously and a typical test curve is gotten. From the correlation between the points of this curve and some semi empirical relations, mechanical properties like yield strength, hardness, ultimate tensile strength and residual stress can be evaluated. This work has as objective the development of the interface between many elements of instrumentation and control of a indentation equipment. The control and instrumentation devices used correspond to a driver of a linear actuator and displacement and load sensors connected to a signals conditioner. The actuator is responsible for the continuous application of load while the load cell and the displacement sensor measure accurately, the load and the depth of indentation, respectively. This system is connected to a portable computer and some computational procedures initialize the communication with the hardware devices and allow the accomplishment of the test totally automated, as well as monitor all the unsafe conditions of the equipment's operation.*

Keywords: *Instrumentation, Control, ball indentation, mechanical properties, pipes.*