

# MAPEAMENTO DA PERDA DE ESPESSURA POR CORROSÃO EM TUBO DE AÇO UTILIZANDO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO ULTRASSÔNICO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE IMERSÃO *BUBBLER*

**Juliana LOPES (1); Igor RIBEIRO (2); Cláudia FARIAS (3); Ygor Tadeu SANTOS (4); Moisés OLIVEIRA (5)**

(1) IFBA, Rua Emídio dos Santos, s/n, (71) 2102-9423, e-mail: [jlopes@ifba.edu.br](mailto:jlopes@ifba.edu.br); (2) IFBA, e-mail: [igorrs@ifba.edu.br](mailto:igorrs@ifba.edu.br); (3) IFBA, e-mail: [cfarias@ifba.edu.br](mailto:cfarias@ifba.edu.br); (4) IFBA, e-mail: [ygartadeu@ifba.edu.br](mailto:ygartadeu@ifba.edu.br); (5) IFBA, e-mail: [moises@ifba.edu.br](mailto:moises@ifba.edu.br)

## RESUMO

O ensaio ultrassônico consiste em uma técnica não destrutiva utilizada na avaliação da integridade estrutural de materiais ou equipamentos industriais e, por meio do processamento digital dos sinais coletados permite a visualização tridimensional do objeto inspecionado, o que facilita a localização e o dimensionamento de discontinuidades. Entre os vários métodos de ensaio ultrassônico, a técnica de imersão apresenta vantagens com relação à homogeneidade no acoplamento e eliminação de turbulências sônicas. Neste trabalho foi realizada inspeção ultrassônica, utilizando a técnica de imersão *Bubbler*, em um trecho de tubo de aço carbono fim de identificar, quantificar e visualizar a perda de espessura não uniforme simulada por desgastes mecânicos. Os resultados apresentados sob forma de gráfico tridimensional e valores estatísticos permitiram realizar avaliação primária da integridade estrutural do corpo de prova inspecionado.

**Palavras-chave:** Ensaio não destrutivo ultrassônico, imersão, mapeamento de corrosão

## 1. INTRODUÇÃO

O principal meio de transporte utilizado em empresas petrolíferas são os dutos, devido a vantagens com relação ao volume de produto que pode ser transportado e aos custos. Porém, estão expostos a fatores que podem levá-los a falha, sendo a corrosão um dos agentes principais, causando perdas de espessura nas suas paredes, que podem provocar a rupturas e vazamentos que acarretam grandes prejuízos financeiros, sociais e ambientais (CABRAL,2007).

A partir daí observa-se a grande importância de monitorar com frequência a integridade estrutural dos dutos. Um meio de inspeção muito utilizado para a monitoração desse meio de transporte é a inspeção por ultrassom, que é uma técnica não destrutiva de avaliação de falhas. Neste trabalho foi realizada inspeção ultrassônica em tubo de aço carbono, com diâmetro externo de 8” (219 mm), utilizando uma variação da técnica convencional de ensaio por imersão, chamada técnica *Bubbler*.

Os sinais adquiridos passaram por rotina computacional implementada para gerar a visualização tridimensional do corpo de prova, que facilitou o mapeamento perda de espessura por corrosão.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Corrosão em Dutos

Segundo Cabral (2007), os dutos exercem um papel fundamental no transporte, e devido ao aumento de produção e consumo no Brasil, sua demanda vem aumentando significativamente. O aumento no consumo de dutos se deve às várias vantagens que este tipo de transporte apresenta com relação ao volume de fluido transportado e ao baixo custo quando comparado a outros tipos de transporte (balsas, trens, caminhões, entre outros).

Embora os dutos de transporte de óleo e gás sejam seguros e eficientes, estão sujeitos a diversos tipos de defeitos, dentre os quais se destaca o defeito por corrosão, principalmente perdas de espessura e pites, por ser o que mais provoca falhas nesta estrutura, representando também uma ameaça ao meio ambiente, à empresa que o utiliza e a sociedade em geral (CABRAL,2007).

Nessas condições, a utilização de um sistema de inspeção confiável para avaliar as condições do duto se faz necessária para garantir seu bom funcionamento e evitar acidentes através da identificação e do mapeamento de possíveis defeitos existentes.

Para Rocha (2005), existem inúmeras técnicas de inspeção e monitoramento de dutos, e dentre elas, a ultrassônica apresenta vantagens como: não exigir remoção da camada externa de tinta e possibilitar o registro das medições encontradas.

## 2.2. Ensaio Não Destrutivo Ultrassônico por Imersão

O ensaio por ultrassom é um método não destrutivo de inspeção no qual um feixe sônico percorre o material a ser inspecionado para a detecção de defeitos. O som refletido pelas interfaces é utilizado para detectar e dimensionar as descontinuidades (ANDREUCCI, 2008).

No ensaio por imersão convencional, Santin (2005) afirma que o acoplamento é feito através de um líquido, geralmente a água, no qual tanto o cabeçote quanto o corpo de prova se mantêm imersos. O teste por imersão apresenta várias vantagens com relação a homogeneidade do acoplamento, velocidade de inspeção, possibilidade de controlar e direcionar o feixe sônico e adaptabilidade para automação, sendo principalmente interessante o deslocamento do campo próximo para fora a região de inspeção.

### 2.2.1. Técnica *Bubbler* de Inspeção Ultrassônica

A técnica *Bubbler* é uma técnica de inspeção ultrassônica por imersão não-convencional, onde o feixe sônico é projetado no corpo de prova através de uma coluna d'água parcialmente fixa ou em fluxo, localizada em um suporte com altura adequada para garantir que seja usada somente a região do feixe sônico que é de interesse, reduzindo ruídos e turbulências, conforme mostrado na Figura 1. A direção do feixe é perpendicular a superfície, percorrendo um caminho em linha reta (ASTM, 2001)

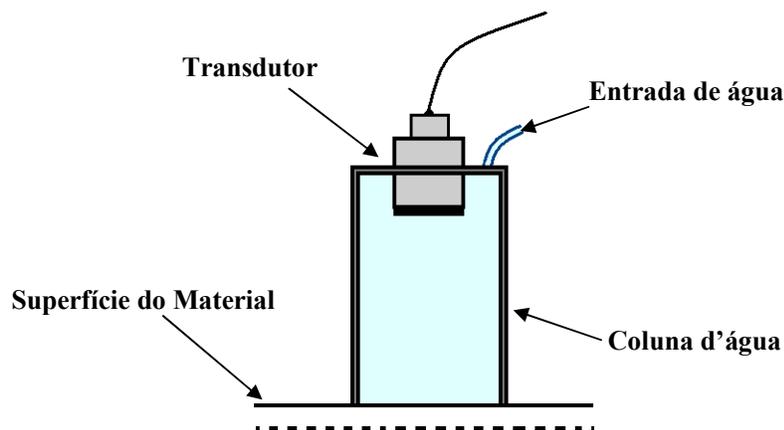


Figura 1 – Representação da Técnica *Bubbler*

### 2.2.2. Modos de Visualização

Durante a aquisição de sinais ultrassônicos dois parâmetros fundamentais são registrados: a amplitude e o tempo de trânsito do pulso no domínio do tempo, que é diretamente relacionado à distância da descontinuidade que provocou a reflexão do feixe através da Equação 1:

$$D = V \times t \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde D é a distância da descontinuidade até a superfície de incidência do feixe, V é a velocidade do som no material e t é o tempo que o feixe levou para percorrer tal distância.

Uma vez obtidos, esses parâmetros podem ser exibidos através de diferentes modos de visualização, conforme descrito por Santin (2005):

- A-Scan: É, basicamente, um gráfico de amplitude *versus* tempo, onde a linha horizontal representa o tempo decorrido enquanto as deflexões verticais representam a amplitude dos ecos.
- B-Scan: Apresenta o gráfico tempo *versus* distância. Um dos eixos corresponde ao tempo decorrido e o outro, a posição do transdutor ao longo de uma linha na superfície da peça, a partir da sua posição inicial. Mostra a seção transversal da peça, e o perfil da espessura é visto diretamente na tela.
- C-Scan: Os parâmetros são exibidos em um gráfico que mostra uma vista em planta plana da peça, com a dimensão das discontinuidades existentes.

### 2.3. Filtragem Digital

Em processamento de sinais, o filtro é utilizado para remover partes indesejadas do sinal, como ruídos, ou extrair informações relevantes. De acordo com Rosa (2005), na filtragem digital, um processador, que pode ser um computador de uso geral, é utilizado para executar cálculos numéricos sobre os valores amostrados de sinal.

Os filtros digitais podem ser classificados por sua resposta ao impulso em dois tipos: Tipo FIR (resposta ao impulso finita) e IIR (resposta ao impulso infinita), segundo Restivo (2008). Filtros do tipo FIR são lineares e invariantes no tempo. A Equação 2 representa o filtro FIR matematicamente para sinais discretos, como descrito em Sampaio, (1998).

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n-k]h[k] \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde  $y[n]$  é a saída e  $h[n]$  é a resposta ao sistema cuja entrada é  $x[n-k]$ .

Filtros passa-faixa permitem a passagem de sinais com uma determinada faixa de frequência, atenuando sinais com frequências em outro intervalo. Em um sinal passa-faixa ideal, para frequências que estão na faixa determinada, o ganho é unitário, ou seja, o módulo do sinal de saída é igual ao de entrada, enquanto em sinais com frequências pertencentes a outro intervalo, o módulo de saída é completamente atenuado (MUSSOI, 2004).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Corpo de Prova e Equipamentos

Como corpo de prova foi utilizado trecho de tubo de 300 mm de comprimento, diâmetro externo de 8'' (219 mm), sem costura, em aço A53 (composição: C-0,25%; Mn-0,95%; P-0,05%; S-0,045%; Cu-0,4%; Ni-0,4%; Cr-0,4%; Mo-0,15%; V-0,08%) (ASTM, 2002). Os tubos normatizados de acordo com a ASTM-A-53 representam a maior parte das tubulações de aço carbono das instalações industriais brasileiras (TELES, 2005).

A região inspecionada apresentava perdas de espessura e trincas de forma a simular defeitos de corrosão, sendo artificialmente inseridos por desgastes em suas paredes, feitos por torno mecânico, como esquematiza a Figura 2.

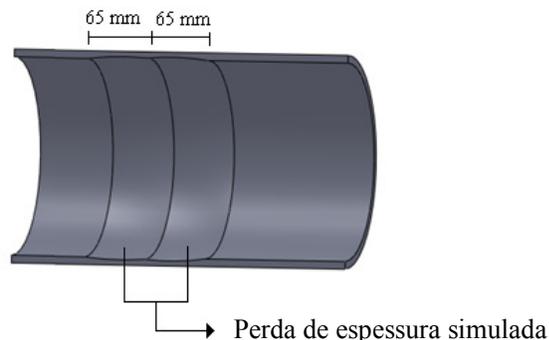


Figura 2 – Seção transversal do corpo de prova

Para a realização do ensaio foi confeccionado um suporte de *nylon*, com base magnética, 77 mm de altura, local próprio para a instalação do transdutor, garantindo precisão em seu posicionamento, e reservatório para a coluna d'água, conforme projeto da Figura 3:

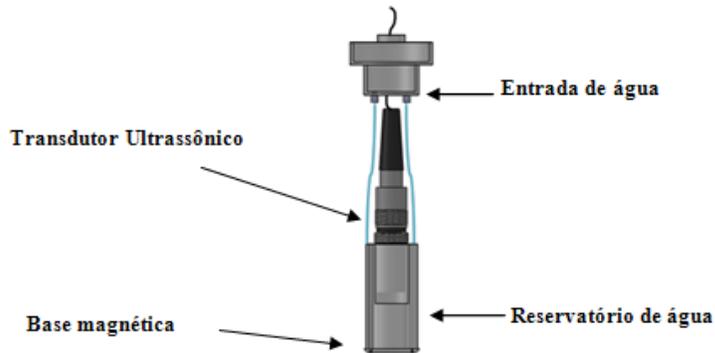


Figura 3 – Projeto do suporte do transdutor ultrassônico e reservatório de água

O aparelho de ultrassom utilizado é da Krautkrämer®, modelo USM 25, como gerador de pulso. Foi utilizado também um osciloscópio digital Tektronix®, modelo TDS 2024-B, com frequência de amostragem de 250 MHz. O transdutor ultrassônico utilizado é da marca Olympus Panametrics®, modelo NDT V-326, de frequência central nominal 5 MHz, com cristal de 0.375'' (9,525 mm) de diâmetro.

### 3.2. Ensaio Ultrassônico

Na realização do ensaio, o suporte foi conectado a uma fonte de água externa, garantindo que a parte da coluna d'água perdida por possíveis vazamentos seja reposta por um fluxo contínuo de água. A coluna d'água localizada no interior do suporte agiu como acoplante, transmitindo o feixe ultrassônico para a superfície do material. A base magnética garantiu que o suporte tivesse uma melhor fixação sobre a malha de inspeção, fazendo com que o transdutor se mantivesse sobre o ponto a ser inspecionado.

A aquisição dos sinais ultrassônicos foi feita através de varredura manual no corpo de prova, em malha semi-cilíndrica, de 300 mm de altura, com passo de 10 mm totalizando 558 sinais, conforme a configuração da Figura 4.

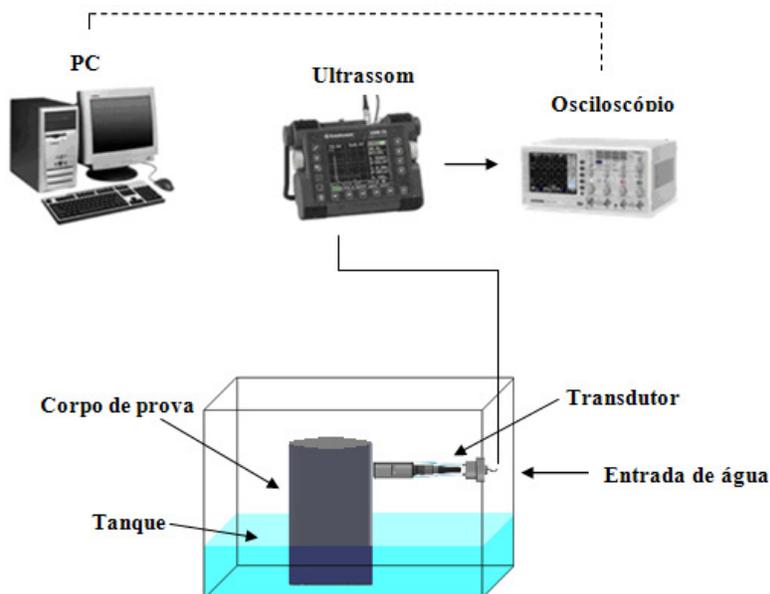


Figura 4 – Esquema de inspeção

### 3.3. Processamento Digital dos Sinais

Os sinais aquisitados passaram por um filtro digital do tipo passa-faixa de ordem 48, e faixa de frequência de 4 a 6 MHz. Após a filtragem, esses sinais foram postos em rotina elaborada para determinação de espessura, através do Matlab®.

Por meio da subtração entre dois ecos de fundo consecutivos, é possível se obter o tempo de percurso da onda sônica do material, e através dele e da velocidade do som no aço carbono (5920 m/s), encontra-se a distância percorrida através da Equação 1.

Em casos onde a rotina computacional não conseguiu identificar os ecos de fundo para determinação da espessura, o tempo de percurso da onda sônica foi substituído pelo tempo do ponto consecutivo na direção radial da malha do duto.

### 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Observa-se, através da Figura 5, que os ruídos entre os ecos nos sinais ultrassônicos foram diminuídos pelo filtro digital utilizado.

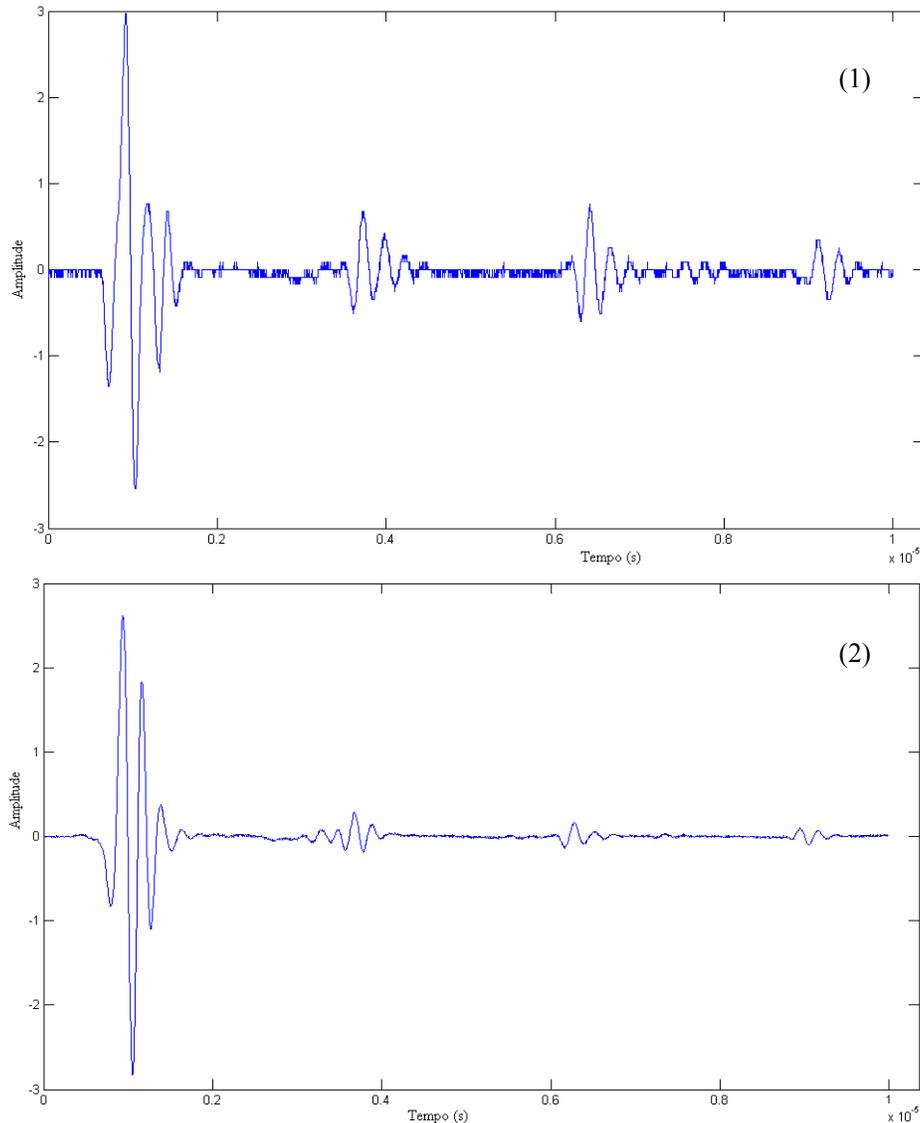
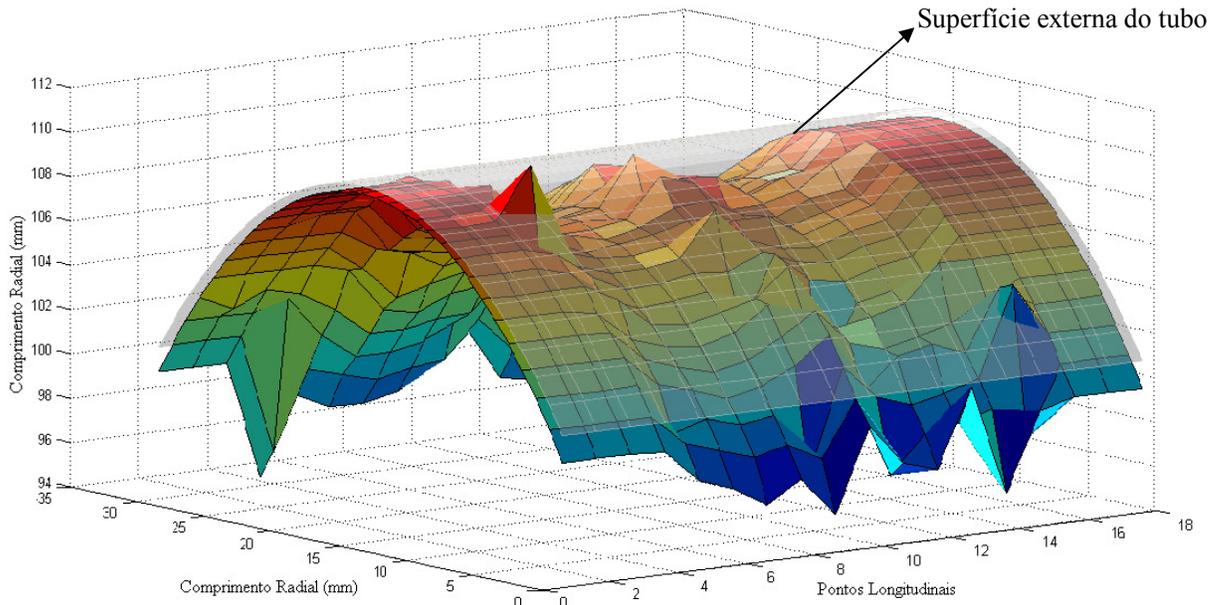
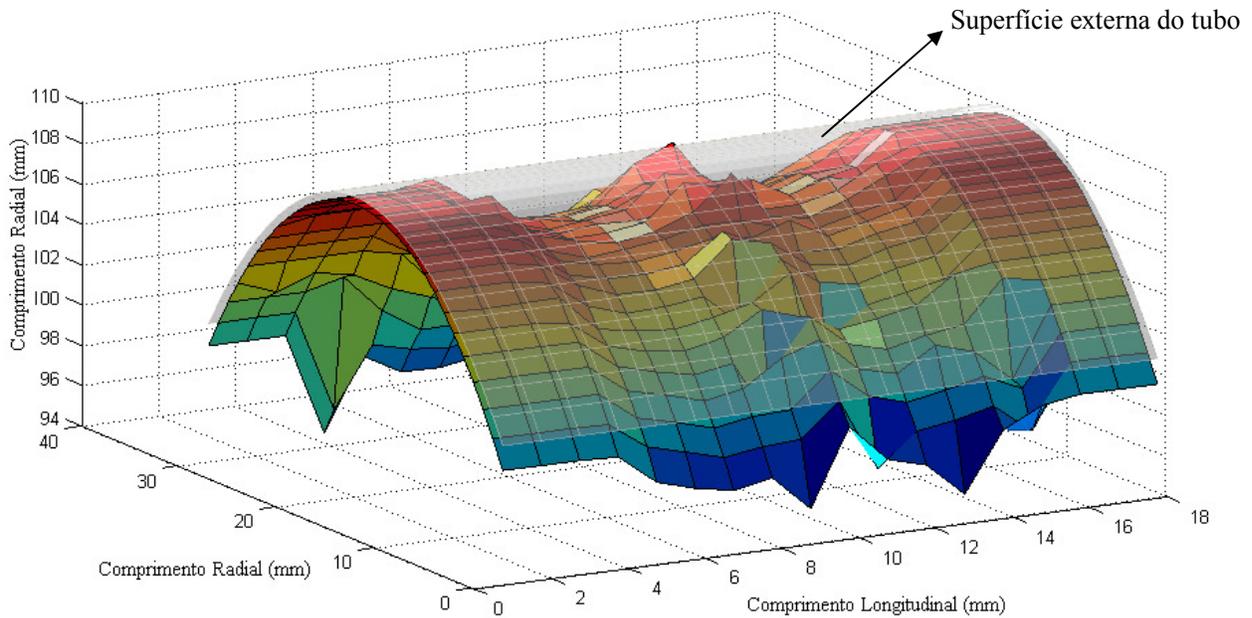


Figura 5 – Comparação entre sinal ultrassônico não filtrado (1) e filtrado (2).

A visualização tridimensional do corpo de prova foi gerada a partir da rotina computacional implementada para determinação de espessura, a partir de sinais filtrados e não filtrados. Na figura 6, é possível ver a imagem 3-D do corpo de prova gerada a partir de sinais não filtrados, e na figura 7, a partir de sinais filtrados, possibilitando comparação. Dos 558 sinais coletados e filtrados, 2,1% foram considerados sinais espúrios na determinação dos valores de espessura.



**Figura 6 – Visualização tridimensional do corpo de prova a partir de sinais não-filtrados**



**Figura 7 – Visualização tridimensional do corpo de prova a partir de sinais filtrados**

## 5. CONCLUSÕES

Perdas de espessura em dutos em funcionamento não são apenas defeitos, são uma ameaça para o ambiente e para a sociedade. Reconhecer e medir tais perdas é uma boa forma de prevenir acidentes.

A comparação das imagens tridimensionais geradas a partir de sinais filtrados e não filtrados permitiu assegurar que a aplicação dos filtros digitais apresentou uma imagem com menor discrepância entre os valores do perfil de espessura para o mapeamento de corrosão no tubo inspecionado.

Na visualização tridimensional do tubo através de rotina computacional implementada para determinação de espessura, a partir de sinais filtrados, somente em 2,1% dos casos a espessura não pode ser determinada, o que representa um número relativamente baixo de erros, que foram provenientes de dois fatores principais: dificuldade de coleta dos sinais em regiões de quina, está nítido na imagem que os pontos localizados nesta região são os menos homogêneos, e posicionamento manual do sensor ultrassônico, que por ser impreciso, pode ter provocados erros de aquisição de sinais.

Conclui-se que a inspeção pela técnica Bubbler de imersão cumpriu o objetivo de identificar e dimensionar perdas de espessura em tubos de aço carbono, apresentando resultados satisfatórios.

## 6. AGRADECIMENTOS

À FAPESB, pelo apoio financeiro; à APEVIS Ltda., pela confecção dos corpos de prova; ao IFBA, pela infraestrutura; ao GPEND, pelo auxílio técnico.

## REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. **Aplicação Industrial: Ensaio por Ultra-som**. Ed. Set., 2008

ASTM INTERNATIONAL E-1001 – 04, **Standard Practice for of Discontinuities by the Immersed Pulse-Echo Ultrasonic Method Using Longitudinal Waves**, *In Annual Book of ASTM Standards*, Volume 03.03, 2004.

ASTM INTERNATIONAL A 53/A 53 M-02, **Standard Specification for Pipe, Steel and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless**, *In Annual Book of ASTM Standards*, Volume 01.01, 2002.

CABRAL, H. L. D. **Desenvolvimento de ferramentas computacionais para modelagem e análise automática de defeitos de corrosão em dutos**. 2007. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

CARNEVAL, R. O., SOARES, S. D., FRANZOI, A. R., CARVALHO, J. F. A., PEIXOTO, D. G., CURVELO, E. F., ROCHA, D. V., LOBATO, J. B. L. **Avaliação de Pigs magnéticos com a técnica de ultra-som automatizado**. Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, abr/jun 2000.

COSTA, F. A. **Geração Automática e análise de modelos de dutos com defeitos causados por corrosão**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004

HOPKINS, P., **Training Engineers in Pipeline Integrity**. Western Regional Gas Conference, Arizona, EUA, 2002.

KENNEDY, J. L. **Oil and gás pipeline fundamentals**, PennWell Publishing Company, 1993

MUSSOI, F. L. R., ESPERANÇA, C. G. **Resposta em frequência de filtros passivos**, CEFET-SC, Florianópolis, 2004.

RIBEIRO, I. S., FARIAS, C., SANTOS, Y., SILVA, L., LOPES, J. **Ensaio não destrutivo ultrassônico por imersão em duto utilizando filtragem digital**, IV CONNEPI, 2009.

ROSA, V. S. **Uma ferramenta para a geração otimizada de filtros FIR paralelos com coeficientes constantes**, 2005, Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SAMPAIO, R., CATALDO, E., RIQUELME, R. **Introdução à análise e ao processamento de sinais utilizando o MATLAB**, Agência Espacial Brasileira, Rio de Janeiro, 1998.

SANTIN, J. L. **Ultra-som: técnica e aplicação**. 2 ed. Curitiba: Artes Gráficas e Editora Unificado, 2003

TELLES, P.C.S. **Tubulações industriais**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.