

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

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

## **Monitoração Da Corrosão Em Dutos E Tubulações Industriais Através De Sensores Permanentes De Ondas Guiadas - PIMS**

**Francisco C. R. Marques<sup>1</sup>, Rafael W. F. Santos<sup>2</sup>**

### **Abstract**

The Ultrasonic Guided Waves has been much discussed around the world as it constitutes a tool with great potential for solving a number of technological gaps that exist today in the inspection and monitoring of corrosion, especially in parts of difficult access in pipes and ducts. As a result, Petrobras has made efforts to assess and embedding of this method in their regular activities. One of its initiatives was the installation of permanent sensors for monitoring corrosion in an 8" pipeline, located in the River Urucú Base operated by Petrobras Amazon Business Unit. The inspection of this pipeline by PIG, due to operational constraints, implies the partial reduction of production in the region, with a considerable loss of profits. It was then decided to dig 9 trenches with 20 meters length each, where the pipeline segments in there has been inspected by guided wave inspection, and revealed the good conservation status of the segments inspected. The next step was to install the permanent sensors in all these passages, which will be monitored periodically without the need of physical access to pipeline surface. This paper discusses the details of the installation of these sensors and the results achieved.

### **Resumo**

O método das Ondas Guiadas Ultrassônicas - Guided Waves - tem sido muito discutido em todo o mundo por se constituir numa ferramenta com grande potencial para resolução de uma série de gargalos tecnológicos hoje existentes na inspeção e monitoração de corrosão, principalmente em trechos de difícil acesso em tubulação e dutos. Em função disso, a Petrobras tem envidado esforços para a avaliação e implantação deste método em suas atividades regulares. Uma de suas iniciativas foi a instalação de Sensores Permanentes para a monitoração da corrosão em um gasoduto 8", localizado em sua Unidade de Negócios do Amazonas, na Base do Rio Urucú. A inspeção por PIG deste gasoduto, devido a limitações operacionais, implica na redução parcial da produção da região, com um lucro cessante considerável. Decidiu-se então pela escavação de 9 valas, com 20 metros de comprimento cada uma, onde foi feita inspeção por ondas guiadas, sendo constatado o bom estado de conservação dos trechos inspecionados. A seguir, foram instalados sensores permanentes em todos esses trechos, que serão monitorados periodicamente sem a necessidade de acesso físico a superfície do gasoduto. Este trabalho aborda os detalhes da instalação dos referidos sensores e os resultados alcançados.

**Palavras-chave:** MONITORAÇÃO, ONDAS GUIADAS, SENSORES PERMANENTES.

<sup>1</sup> Consultor Sênior - PETROBRAS

<sup>2</sup> Engenheiro de Equipamentos – PETROBRAS

## 1. Introdução

O método das ONDAS GUIADAS ULTRASSÔNICAS – Guided Waves tem se constituído num tema de discussão recorrente em todos os recentes congressos e seminários, nacionais e internacionais, tanto de corrosão quanto de ensaios não destrutivos, por se constituir numa ferramenta com grande potencial para resolução de uma série de gargalos tecnológicos hoje existentes na inspeção, principalmente, de tubulações e dutos, em trechos de difícil acesso (tubovias, dutos enterrados, revestidos, etc...).

Após uma primeira etapa de testes realizados no Brasil em 2003, cujos resultados ficaram muito abaixo das expectativas geradas até então, o método das ondas guiadas passou por uma série de desenvolvimentos, tanto nos seus programas informatizados de controle – software – quanto no equipamento para aquisição de dados – hardware. Estes desenvolvimentos justificaram uma nova bateria de testes, realizada a partir de novembro de 2006, que veio a reabilitar esse método no Brasil em virtude dos resultados obtidos. Esses resultados comprovaram a viabilidade da utilização do método das ondas guiadas para a detecção e localização de áreas corroídas através da associação destas com níveis mínimos de variação da seção reta transversal dos componentes tubulares que as contém, aliada ao acesso à distância de regiões de interesse muitas vezes inacessíveis a grande maioria dos outros métodos não destrutivos, somando-se a isso uma produtividade sem paralelo com estes. Atualmente a utilização desse método vem se consolidando no Brasil, com a Petrobras demandando ao mercado a contratação de serviços de inspeção de tubulações industriais e dutos através do mesmo.

Outras possibilidades de utilização do método das ondas guiadas, além da convencional, vêm sendo desenvolvidas, podendo ser citadas:

- Inspeção e monitoração da corrosão em dutos submarinos, com a aquisição de dados se dando através da instalação de sensores fixos ou por ROV – Veículo Operado Remotamente (Figura 1);
- Inspeção interna de tubos de permutadores de calor e caldeiras;
- Inspeção e monitoração de superfícies planas de equipamentos através de tomografia (Figura 2);
- Detecção de trincas em tubulação;
- Monitoração de sedimentos internos às tubulações;
- Monitoração da corrosão em dutos enterrados através da instalação de PIMS – Sistemas de Monitoração Permanentemente Instalados.



Figura 1

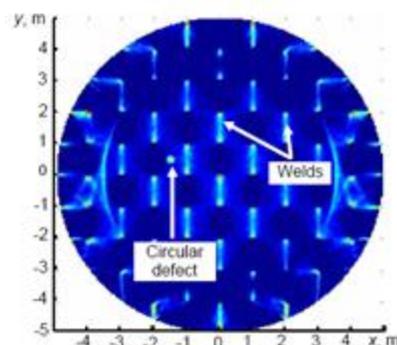
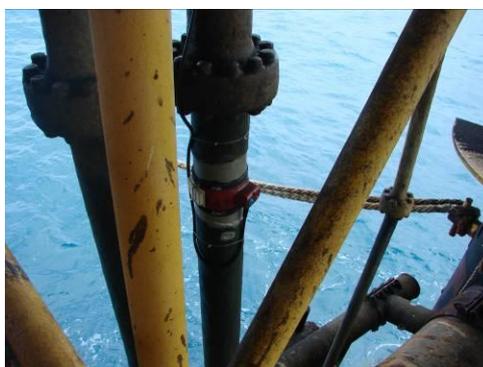


Figura 2

O desenvolvimento da tecnologia para monitoração de corrosão em dutos e tubulações por PIMS de ondas guiadas tem sido objeto de atenção especial por parte de companhias petrolíferas, operadoras de plantas de processo e dutos, tanto no Brasil, com a Petrobras, quanto no exterior, onde se destacam os trabalhos de pesquisa e testes de campo realizados pela British Petroleum – BP, no Alasca e Mar do Norte. Isso se deve ao seu potencial para resolver alguns desafios tecnológicos relacionados a essa atividade, como por exemplo:

- Monitoração em tubulações onde a velocidade e a severidade do processo de desgaste não estão plenamente identificadas;
- Monitoração do desgaste em risers marítimos em regiões de difícil acesso (Figura 3);
- Monitoração da evolução do desgaste em áreas corroídas previamente identificadas por inspeção com PIG inteligentes em dutos enterrados;
- Monitoração do desgaste em dutos onde, por razões diversas, não é possível a passagem de PIG de inspeção.



**Figura 3**

Este trabalho apresenta os detalhes da instalação e operação de um sistema de monitoração de desgaste por ondas guiadas no gasoduto instalado na região produtora de petróleo da Petrobrás localizada na Amazônia, conhecida como base do Rio Urucu.

## **2. Descrição do método de ondas guiadas - Guided Waves**

### **2.1 – Princípios do método**

As técnicas ultra-sônicas (US) convencionais usadas para detectar perdas de espessura ao longo de elementos tubulares se baseiam na introdução de um feixe sônico através da seção transversal dos tubos, perpendicularmente ao seu comprimento, utilizando-se de transdutores normais (90°). Neste caso, a região examinada fica limitada à dimensão do feixe sônico sobre a mesma.

O método das ondas guiadas, diferentemente das citadas acima, consiste na introdução do feixe sônico, por meio de um colar de transdutores, ao longo do comprimento dos tubos, onde suas seções transversais acabam servindo como uma guia, obtendo-se desta forma uma maior região examinada (vide Figura 4).



**Figura 4**

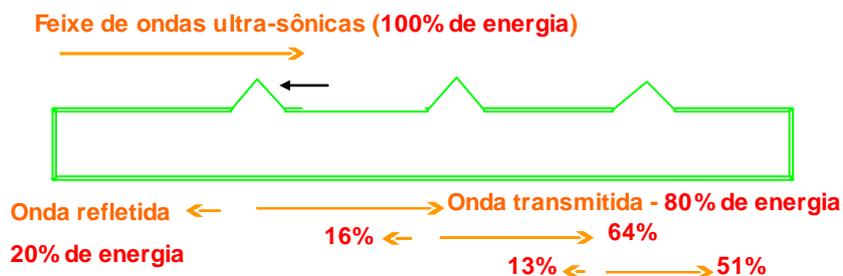
Ao contrário do ultra-som convencional, as ondas guiadas são ondas de baixa frequência e grande comprimento de onda, o que permite a elas um longo alcance.

A ocorrência de alterações na seção transversal dos tubos, devidas à perda de espessura, soldas circunferenciais, conexões, grandes amassamentos, entre outras de mesma magnitude, que ocasionem mudança na impedância sônica, faz com que parte do feixe seja refletido de volta aos transdutores (vide Figura 5).



**Figura 5**

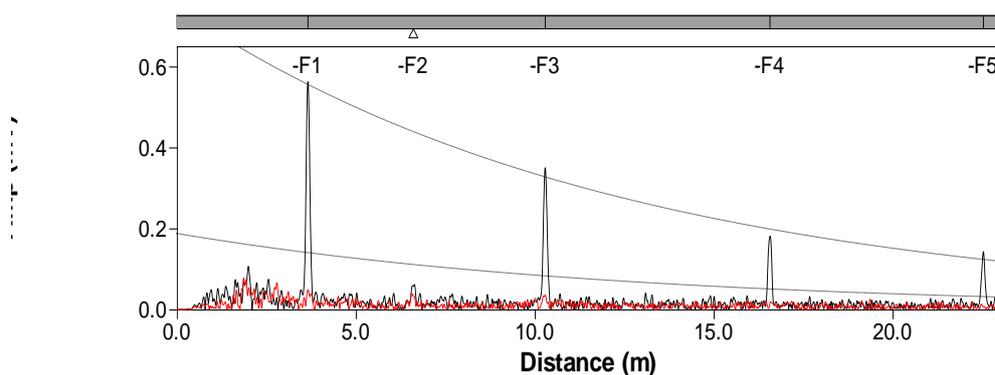
Para facilitar a compreensão do comportamento da onda ultra-sônica ao longo da seção transversal do tubo quando se defronta com as citadas alterações, a figura 6 apresenta um esquema abordando a ocorrência de múltiplas soldas circunferenciais ao longo do comprimento examinado.



**Figura 6**

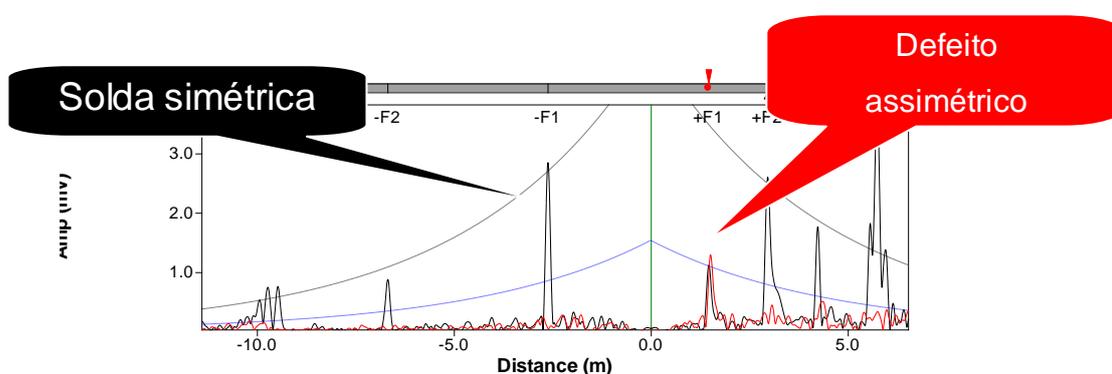
O feixe de ondas ultra-sônicas ao defrontar-se com a primeira solda tem uma parte defletida de volta ao transdutor e outra maior prossegue seu curso até defrontar-se com a segunda, onde tem outra fração menor do feixe defletida, e assim sucessivamente. Cada reflexão provoca um sinal na tela cuja amplitude é diretamente proporcional ao tamanho do defletor e inversamente proporcional à distância deste até o transdutor (Figura 7).

Devido a esta característica, soldas e flanges são usados como referência para determinar a localização de áreas específicas, sendo a amplitude de suas respectivas reflexões correlacionada com uma escala de distância.



**Figura 7 – Diagrama representativo das deflexões do feixe sônico**

Quando o defletor tem configuração simétrica, isto é, uniforme ao longo da circunferência, tal como uma solda circunferencial, o feixe sônico é defletido simetricamente, sendo caracterizado pelo traço em preto que aparece no diagrama da figura 8. Quando o defletor tem configuração assimétrica, isto é, não uniforme ao longo da circunferência, tal como um defeito localizado, o feixe sônico é defletido assimetricamente, sendo caracterizado pelo traço vermelho do diagrama abaixo, sendo sua amplitude proporcional ao grau de assimetria ao longo do diâmetro do tubo.



**Figura 8**

A espessura remanescente do tubo não deve jamais ser dimensionada pelo método das ondas guiadas, pois este se aplica somente à varredura qualitativa.

Para dimensionar as áreas defeituosas é necessário o emprego de um método complementar como, por exemplo, medição de espessura por ultra-som ou inspeção visual.

## 2.2 - Aplicabilidade

Este método é aplicável, principalmente, para a avaliação de trechos inacessíveis de tubulação ou de difícil acesso por outros métodos de inspeção, tais como:

- Tubovias (Figura 9);
- Tubulações isoladas termicamente (Figura 10);
- Tubulações altas de difícil acesso; (Figura 11);
- Penetração em paredes (Figura 12);
- Travessia de estradas de dutos encamisados (Figura 13);
- Tubos enterrados (Figura 14);



**Figura 9**



**Figura 10**



**Figura 11**



**Figura 12**



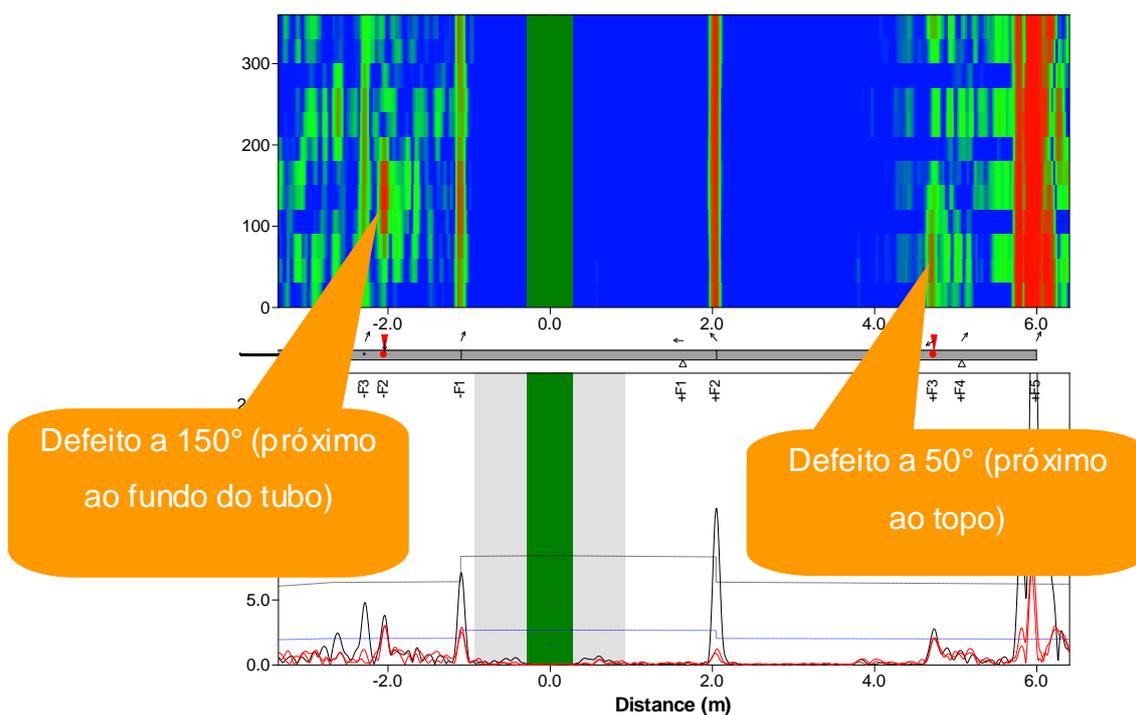
Figura 13



Figura 14

### 2.3– Desempenho do método

- Capacidade de detecção – usualmente o menor defeito detectável corresponde a uma perda de seção transversal da ordem de 5% mas houve casos em que perdas da ordem de 1% foram detectadas em tubos em muito bom estado geral; perda de 1% da seção transversal em um tubo de 3” corresponde a um defeito em meia parede com 5 mm de diâmetro.
- Alcance do feixe sônico para efeitos de varredura – em condições ideais, até 200 metros de tubo podem ser varridos em cada direção a partir do colar de transdutores montado em uma simples locação; o alcance padrão para tubos instalados acima do solo é de até 50 metros em cada direção; em tubos enterrados o alcance é de até 20 metros em cada direção, que é aumentado quando o tubo é encamisado;
- Faixa de diâmetros abrangida – de 75” até 3/4”, com a utilização de colares de transdutores especiais;
- Apresentação de resultados – registros permanentes em tempo real, podendo até ser apresentados no modo C-Scan sobre seções planejadas de tubos, o que permite a localização circunferencial do defeito (Figura 15);



**Figura 15 – Resultado C-SCAN com tubo planificado**

## 2.4 – Principais vantagens

- Permite inspeção em serviço.
- Uma cobertura de 100% da área de interesse é rapidamente examinada.
- Um acesso limitado à área de interesse é requerido.
- Boa sensibilidade para defeitos pequenos apesar da baixa frequência de onda.
- Método é igualmente sensível para defeitos através da espessura quanto para mudanças (aumento e diminuição) na seção transversal dos tubos.

## 2.5 – Limitações

- As condições gerais do tubo afetam sobremaneira o desempenho e o alcance do método.
- Diâmetro, espessura, detalhes geométricos construtivos dos tubos tais como suportes, conexões, curvas, e flanges influenciam no alcance do método.

- Também influenciam o alcance: densidade e viscosidade do fluido contido na tubulação (água, óleo, petróleo, gás, ar); tipo (concreto, resina asfáltica) e condições físicas (aderência) do revestimento, se existente; meio envolvente da tubulação (areia, terra, lama).
- Interferências magnéticas e ruídos externos altos, tal como os provenientes de compressores, afetam o desempenho.

## 2.6 – Equipamento típico

O equipamento típico utilizado num exame por ondas guiadas é constituído basicamente de um colar de transdutores, que pode ser rígido (Figura 16) ou inflável (Figura 17), um computador portátil, que operacionaliza o programa (software) de controle, e um console instrumentado, que provê a comunicação entre o programa e o colar de transdutores (Figura 18).



**Figura 16** – Colar rígido



**Figura 17** – Colar inflável



**Figura 18** – Equipamento completo para ondas guiadas

### 3. Instalação de PIMS por ondas guiadas em gasoduto na base do Rio Urucu

#### 3.1 – Gênese da necessidade

Em função de limitações operacionais, a inspeção interna do gasoduto por PIG implicaria na redução drástica de sua pressão de operação, que por sua vez acarretaria na redução da produção da região a 50% por alguns dias, com um lucro cessante na casa das dezenas de milhões de dólares.

O PID – Plano de Integridade de Dutos determinava que todos os dutos de responsabilidade da Petrobras deveriam ser inspecionados por PIG inteligente em intervalos de 5 anos, o que neste caso não pode ser cumprido, em função do exposto no parágrafo anterior, estando esta inspeção vencida há mais de 5 anos. A passagem de PIG está prevista para daqui a 3 anos, sincronizada com uma parada total da planta, programada anteriormente, a qual se daria independentemente da situação em tela. Dessa forma, estaria minimizado o lucro cessante em função da inspeção do duto.

Considerando a idade do duto, mais de 10 anos, e que nunca se havia feito uma inspeção interna no mesmo para avaliar sua condição de conservação, estava caracterizada uma condição de incerteza para levá-lo a operar por mais 3 anos, no mínimo, sem que nenhuma ação mitigadora fosse considerada. Em função dessa premissa, decidiu-se por fazer uma inspeção parcial do duto através do método das ondas guiadas, seguida da instalação de um sistema de monitoração através da instalação de sensores permanentes baseados no mesmo princípio.

#### 3.2 – Operações realizadas

Conforme pode ser visto no item 2.6, os sistemas de ondas guiadas utilizam um colar de transdutores que deve ser acoplado ao redor da superfície externa da linha sob investigação. Dessa forma foram providenciadas escavações com 20 metros de comprimento cada em nove regiões diferentes ao longo do gasoduto, sendo inclusive retirado todo o revestimento do gasoduto nos trechos escavados (Figura 19). A escolha das regiões a serem escavadas foi realizada considerando-se os trechos mais prováveis de ocorrência de problemas de corrosão interna (“mais altos” e “mais baixos”), portanto não sendo feita de maneira aleatória.



**Figura 19** – Imagens de algumas das regiões do gasoduto escavadas.

Antes da instalação dos PIMS foi seguido um procedimento padrão de se realizar a inspeção por ondas guiadas em cada trecho escavado para determinação do melhor posicionamento do colar de monitoração nas suas respectivas valas. Adicionalmente, também foi realizada inspeção com medidor de espessura em 100% da superfície do gasoduto em duas das nove valas abertas. A figura 20 mostra uma imagem obtida durante a inspeção por ondas guiadas em um dos trechos escavados.



**Figura 20** - Imagem obtida durante a inspeção por ondas guiadas.

Normalmente os colares de monitoração por ondas guiadas são posicionados próximos a indicações caracterizadas como corrosão moderada a severa, entretanto, como os resultados das inspeções realizadas não identificaram nenhuma indicação deste tipo, foi determinado que os colares de monitoração em cada vala seriam instalados em posições que os sinais das soldas circunferenciais encontradas pudessem ser claramente identificados após o novo enterramento dos trechos. Como descrito anteriormente, sinais derivados de soldas circunferenciais são importantes para se realizar a calibração da sensibilidade de detecção do sistema. A figura 21 mostra imagens obtidas durante e após a instalação dos colares de monitoração por ondas guiadas em duas das nove regiões escavadas. Em destaque é mostrada a “caixa de coleta”, a qual permite que os dados de ondas guiadas sejam coletados a qualquer momento após o re-enterramento dos trechos escavados.



**Figura 21** - Imagens obtidas durante e após a instalação dos colares de monitoração por ondas guiadas. Em destaque (círculo e seta) é mostrada a caixa de coleta dos dados.

Os resultados mostraram que em cada região do gasoduto escolhida poderão ser monitorados cerca de 15 metros, indicando que 135 metros do gasoduto estão sob monitoração.

### **Conclusões**

---

Pelo que pode ser depreendido pelos resultados alcançados, o método de ondas guiadas comprovou seu potencial para utilização na inspeção e monitoração de seções tubulares tais como trechos de dutos, linhas de processo, risers, entre outros, ainda que em nosso ponto de vista sejam necessários outros testes específicos para avaliar, principalmente, a sensibilidade e confiabilidade dos resultados para a detecção de trincas.

Considerando o afirmado no parágrafo anterior, a Petrobras pretende implantar o método em suas atividades regulares de inspeção e monitoração, obtendo-se o ganho de avaliar o nível de corrosão em trechos de difícil acesso a um custo competitivo.

### **Referências bibliográficas**

---

- 5.1 - Marques, F.C.R.. Ondas Guiadas Ultrasônicas (guided waves) -Avaliação de bateria de testes em risers (dutos) rígidos. IV PANNDT. Buenos Aires, 2007.
- 5.2 – Santos R.W.F., Marques F.C.R., Carneval R.O.. Ondas Guiadas Ultrassônicas – Testes Realizados. COTEQ 2009.
- 5.3 – Santos R.W.F., Santos M., Gonçalves O.C., Lacerda E.P.. Comparação de Resultados de Inspeção por Ondas Guiadas e Pig Ultrassônico em Duto de Diesel. COTEQ 2009.