IBP1127_05

COMPARAÇÃO DO RESULTADO DE 3 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO COM PIGS INSTRUMENTADOS EM UM MESMO OLEODUTO DA BACIA DE CAMPOS

Aldo Renato Franzoi [1], Sergio Ibajé Oliveira Bueno[2], Claudio S. Camerini[3], Carla Marinho[4], Fabiana Nazario[5], Miguel Freitas[6], Jean Pierre von der Weid[7]

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP
Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na ***Rio Pipeline Conference & Exposition 2005***, realizada no período de 17 a 19 de outubro de 2005, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da ***Rio Pipeline Conference & Exposition 2005***.

Resumo

O oleoduto PPG-1/PGP-1 interliga as plataformas de Pargo e Garoupa na região de produção da Bacia de Campos. A plataforma de Garoupa trata o óleo proveniente de Pargo e de suas satélites para em seguida transferir ao continente o óleo enquadrado com teor de água inferior a 1%, porém, há mais de 10 anos o oleoduto PPG-1/PGP-1 transferiu óleo com teor de água acima de 20%. Em 2001, foi realizada a primeira inspeção com pig instrumentado MFL com fluxo longitudinal, visando localizar e dimensionar as perdas metálicas, obtendo-se como resultado a constatação de um forte processo corrosivo na geratriz inferior. Este tipo de defeito, uma vez que disperso em quase toda a extensão, é de difícil dimensionamento pela técnica MFL. Desta forma foi prescrita uma nova inspeção, agora com um pig ultra-sônico (US), visando aprimorar os resultados da primeira corrida. De posse destas duas avaliações foi confirmado o laudo de corrosão severa e consolidada a decisão de substituição do duto. Devido ao fato deste tipo de corrosão ser comum em dutos que conduzem petróleo cru, o CENPES (Centro de Pesquisas Leopoldo Miguez de Mello da PETROBRAS) vem desenvolvendo tecnologias no sentido de detectar e quantificar este defeitos. Neste contexto, surgiu então a oportunidade de utilizar um protótipo recém construído pelo CENPES em conjunto com a PUC-Rio/CETUC, e testá-lo neste duto. Assim, uma terceira inspeção foi realizada, onde o novo sistema foi testado em um duto com evidente corrosão na geratriz inferior e os resultados obtidos pelo protótipo, puderam ser comparados aos dois sistemas mais tradicionais de inspeção de dutos existentes no mercado.

Abstract

The PPG-1/PGP-1 crude pipeline links Pargo and Garoupa plataforms at the Campos Basin. Garoupa process the crude removing water and transferring it to the coast. During 10 years this pipeline had operated with more than 20% of water. In 2001, the pipeline was surveyed with a MFL pig. The results showed internal corrosion in almost the entire 22 inches pipeline concentrated on its bottom part (channeling corrosion). This type of indication has a high difficult on sizing using MFL tools. The logistic to replace the damaged pipeline was started but before that, the pipeline was surveyed with a US pig to improve the sizing of all defects. The results of the US pig confirmed the MFL report and were decided to keep all tasks in order to replace the corroded segment.

At that time, a new inspection pig was under development on PETROBRAS Research Center in cooperation with PUC-Rio/CETUC. It was decided run this tool in that pipeline to compare its results against the two most common methods used for pipelines inspections.

[1] Engenheiro Metalúrgico- PETROBRAS
[2] Engenheiro Metalúrgico- PETROBRAS
[3] MSc, Engenheiro Metalúrgico- PETROBRAS
[4] Engenheira Metalúrgica e de Materiais - PETROBRAS
[5] Técnica Mecânica—PETROBRAS
[6] M.Sc. Engenheiro Eletrônico – PUC-Rio
[7] Ph.D. Físico – PUC-Rio

1. Introdução

A plataforma de Pargo (PPG-1), situada no pólo nordeste da Bacia de Campos (BC), processa o petróleo de seis plataformas satélites além da sua produção própria. O Oleoduto PPG-1/ PGP-1 22” escoa a produção do petróleo processado em Pargo para Garoupa (PGP-1). Está localizado a uma profundidade de água na faixa de 100 a 120 metros. Possui importância estratégica para o escoamento da Área Nordeste da Bacia de Campos, escoando em torno de 450 m3/h de óleo tratado.

Originalmente, este duto era não pigável, sendo que no ano de 2000, foram realizadas diversas adaptações mecânicas, permitindo o uso de pigs, tanto de limpeza como instrumentados [2] O duto foi então limpo e inspecionado com pig MFL, e o laudo da ferramenta resultou na decisão de substituição de 16 km de duto, devido à corrosão interna na geratriz inferior. Como este laudo indicava um significativo investimento de reposição do duto, decidiu-se por uma segunda inspeção para confronto de resultados. É importante ressaltar aqui, que as correlações para validação de corridas de pigs instrumentados, que são usualmente aplicadas em dutos terrestres, não são aplicáveis com facilidade no contexto de um duto submarino.

A corrida seguinte com o pig ultra-sônico confirmou o estado de corrosão generalizada, dimensionando perfeitamente os defeitos registrados. Com o resultado destas duas inspeções deu-se prosseguimento às atividades de substituição do trecho danificado.

Este duto recém inspecionado por pigs que utilizam as duas principais técnicas de inspeção, tornou-se então um cenário ideal para teste de uma nova técnica que está em desenvolvimento: o pig palito. Com este sistema foi realizada então a terceira inspeção no duto, antes de sua total desativação. Os resultados preliminares desta nova técnica são apresentados e comparados com os resultados das inspeções MFL e US.

2. Limpeza

Antecedendo as inspeções com pigs instrumentados, foram realizados os procedimentos de limpeza do duto.

Um grande volume de resíduos foi carreado na passagem dos pigs, causando eventualmente perturbações ao processo da plataforma de destino. A existência de um vaso de pressão imediatamente ajusante do recebedor de pigs para amortecer "*slugs*" e armazenar detritos que são carreados pelo fluxo, foi de importância fundamental, visto que existia percentual considerável de água e grande quantidade de resíduos no duto.

Os parâmetros normalmente acompanhados nas passagens de pigs são as pressões e as vazões. Os resíduos removidos foram caracterizados basicamente como sulfato de bário e estrôncio. A característica levemente radioativa dos resíduos demandou a monitoração da radiação nas ocasiões de abertura do recebedor e a utilização de EPI especiais pelo pessoal de apoio. A figura 1 apresenta os pigs de limpeza utilizados.



Figura 01 – Pigs de limpeza utilizados na operação de limpeza.

3. Etapas Finais da preparação para a Inspeção com pig MFL

Em abril de 2003 foi realizada a inspeção com pig instrumentado magnético. Embora um grande número de passagens de pigs de limpeza tenha sido realizado, existia grande expectativa e dúvida sobre a qualidade da limpeza alcançada. Era necessário checar se a quantidade de resíduos remanescentes comprometeria a qualidade dos dados aquisitados pelo pig de inspeção devido ao volume e a alta dureza dos resíduos. Mesmo com a passagem dos pigs de limpeza mais agressivos ainda persistia a dúvida.
A inspeção geométrica não indicou nenhum segmento incrustado, indicando a adequação do procedimento de limpeza. Mesmo assim, após a passagem do pig geométrico foram executadas algumas passagens adicionais de pigs de limpeza incluindo um pig de limpeza magnética. Finalmente o pig MFL foi lançado, tendo chegado ao final do duto sem maiores problemas, validando o procedimento de limpeza utilizado.

4. Resultados da Inspeção com pig MFL

Os resultados da inspeção com pig MFL indicaram corrosão extensa na geratriz inferior, com um grande acúmulo de defeitos. A empresa de inspeção relatou dificuldades em dimensionar as descontinuidades, em função da grande quantidade de defeitos aglomerados na geratriz inferior e a suspeita da presença de resíduos metálicos no interior do duto.
Tims et al [1] apresentam um caso em que a presença de resíduos metálicos gerou falsas interpretações da ferramenta de inspeção magnética. O caso em questão era de um gasoduto submarino que acabou sendo substituído indevidamente em função da presença destes resíduos.
Após discussão inicial, foi entregue uma lista preliminar das perdas metálicas mais significativas. Existiam alguns defeitos de grande intensidade em toda extensão do duto, concentradas na geratriz inferior. Embora o duto operasse com pressões baixas e tivesse tubos com aço API 5L X60, uma análise técnica levando em conta as taxas de corrosão e a resistência remanescente dos tubos, recomendou a troca de 16 km do duto.

5. Etapas Finais da preparação para a Inspeção com pig Ultra-sônico

Para garantir o sucesso na operação de passagem do pig US foram tomadas as seguintes medidas: reduzir a temperatura do petróleo para no máximo 60º C, garantir homogeneidade do petróleo sem fase água, passagem de três pigs de limpeza (bidirecional com escovas, magnético e placa), estudo da logística de movimentação do pig no lançador e recebedor de pig, controle da velocidade de deslocamento do pig através da vazão de exportação em torno de 1 m/s. Seguidos os procedimentos acima tudo transcorreu dentro do previsto.

6. Resultados da Inspeção com pig Ultra-sônico

O relatório apresentou descontinuidades internas generalizadas do tipo perda de massa localizadas na geratriz inferior, entre as posições 4 e 8 horas. No trecho inicial do duto, a corrosão não é muito severa, aumentando a criticidade a medida que aumenta a distância em relação ao ponto zero do duto [3].

De forma geral os resultados foram qualitativamente semelhantes ao do pig MFL, com menor número de defeitos mapeados e com a profundidade um pouco menor. Uma análise da vida remanescente do duto, considerando os parâmetros que governam o processo corrosivo e a resistência remanescente do duto, indicou que o trecho comprometido poderia operar ainda por alguns anos. Considerando-se, que a troca de um duto sempre demanda um tempo significativo, foi mantida a recomendação inicial de troca de 16 km do duto, com um custo aproximado de UDS 15 milhões.

Os resultados globais das inspeções com pig MFL e US são mostrados nas figuras 02 e 03, onde se pode observar uma semelhança na distribuição longitudinal e circunferencial das

descontinuidades. Ambas estão concentradas entre a posição horária de 04:00h e 08:00h e entre os quilômetros 2 e 16 aproximadamente.

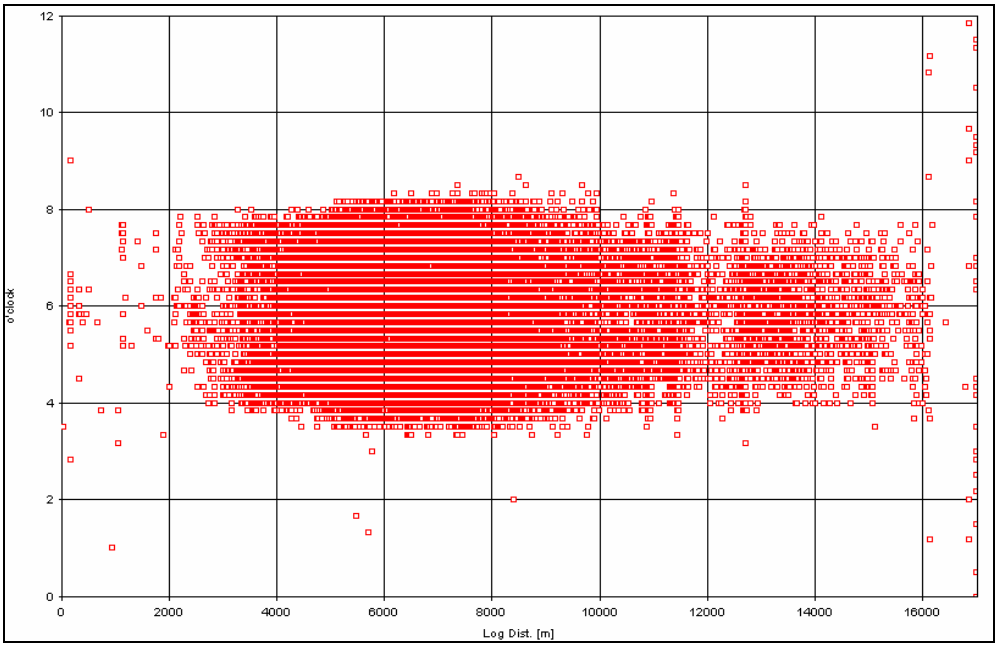


Figura 02 – Distribuição de todas as descontinuidades registradas pelos pig MFL (duto planificado). No eixo vertical está a posição horária das ocorrências. No eixo horizontal, a posição ao longo do duto, em metros.

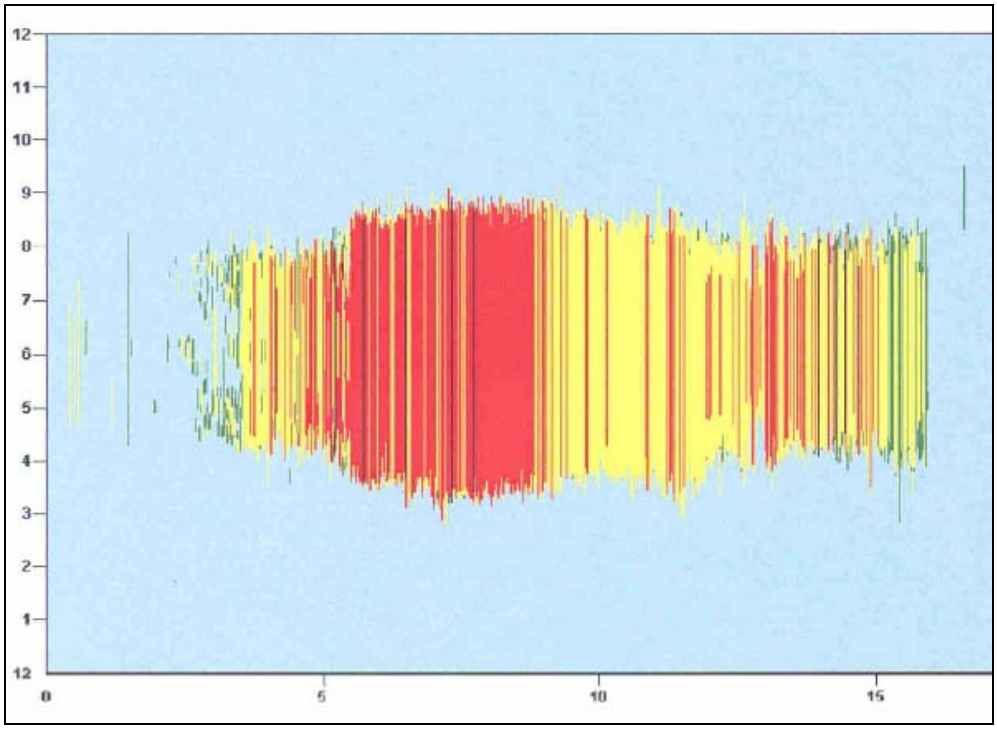


Figura 03 – Distribuição de todas as descontinuidades registradas pelos pig US (duto planificado). No eixo vertical está a posição horária das ocorrências. No eixo horizontal, a posição ao longo do duto, em quilômetros.

7. Processo Corrosivo

O processo corrosivo do oleoduto foi causado por uma combinação de mecanismos associados à deposição de incrustação e a separação da fase de água produzida. O primeiro pode ser comprovado pela grande quantidade de resíduos de sultato de bário retirados durante a operação de limpeza do duto. O segundo pode ser evidenciado pelos anos que o duto operou com grande quantidade de água produzida e baixa velocidade de escoamento, em torno de 0,5 m/s. A figura 04 mostra um desenho esquemático da localização preferencial dos defeitos entre as posições horárias de 04:00 e 08:00 horas.

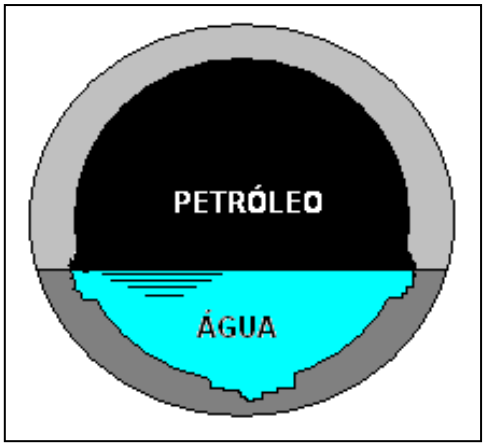


Figura 04 –Interface petróleo/água e regiões propícias à corrosão em escoamento laminar com quebra de emulsão.

8. Inspeção com pig Palito

8.1 Características do protótipo:

O pig Palito – ou Pig Espinho – é um desenvolvimento do CENPES em conjunto com a PUC-Rio [5], especificamente para detectar e quantificar a corrosão interna. No caso da inspeção do duto Pargo-Garoupa, o pig foi constituído de um único módulo, facilitando as operações de logística como transporte, lançamento e recebimento, se assemelhando em muito a um pig geométrico. Outras vantagens seriam a capacidade de se trabalhar com fluido multifásico e em uma faixa de velocidade superior a 1 m/s, inicialmente prescrita para o pig ultra-sônico. A figura 5 apresenta o pig palito em fase final de montagem, antes da inspeção do duto.



Figura 5 – Pig palito montado para a inspeção, com 250 sensores, dois hodômetros. A eletrônica e as baterias foram alojadas internamente ao pig.

As características principais da ferramenta estão apresentadas abaixo:

Resolução transversal: É dada pela razão entre o perímetro interno do duto e o número total de apalpadores. No caso em questão, o protótipo possuía 250 sensores, distribuídos uniformemente pelo perímetro, dando portanto 22"/250 = 7 mm de resolução transversal;
O menor defeito observável é dado pelo diâmetro do apalpador (palito), pois é necessário que o mesmo penetre no defeito. No caso do protótipo, este valor foi 2 mm;
O maior defeito capaz de não ser observado depende da probabilidade de passar entre dois apalpadores. Considerando a separação dos apalpadores e seu diâmetro, este valor no protótipo foi de 5 mm. Pode ser diminuído com o aumento do número de sensores.
Resolução longitudinal: É definida pela taxa de amostragem e pela velocidade da ferramenta. Tomando-se como exemplo a velocidade de 1 m/s e a taxa de 512 Hz usada no protótipo, tem-se a resolução longitudinal em 2 mm.
Calibração: Cada sensor foi calibrado individualmente de modo a inserir no software de aquisição de dados a curva real de resposta de cada sensor, correlacionando ângulo do apalpador com a tensão gerada no sensor angular.
Validação: A ferramenta foi testada em de laboratório utilizando defeitos simulados em um duto de 20 m de extensão.

8.2 Comparação entre pig MFL e pig Palito:

Os resultados obtidos com o pig palito foram confrontados com as inspeções anteriores de MFL e de ultra-som. A comparação com o MFL se mostrou difícil, uma vez que os campos de fuga de defeitos próximos entre si, interagem uns com os outros, dificultando a resolução espacial de cada defeito. As "manchas magnéticas" geradas no relatório do pig MFL só podem ser interpretadas pelo operador do equipamento, isto é, pela empresa responsável pelo serviço. De qualquer forma, foi realizada uma comparação grosseira entre os dois sistemas, tendo-se obtido uma boa correlação. Onde o sistema MFL indicou regiões sem defeitos, o mesmo ocorreu com o pig palito. Nas regiões defeituosas indicadas pelo MFL, o mesmo ocorreu com o pig palito, mas não foi possível realizar comparações de profundidade.

8.3 – Comparação entre pig Ultra-sônico e pig Palito:

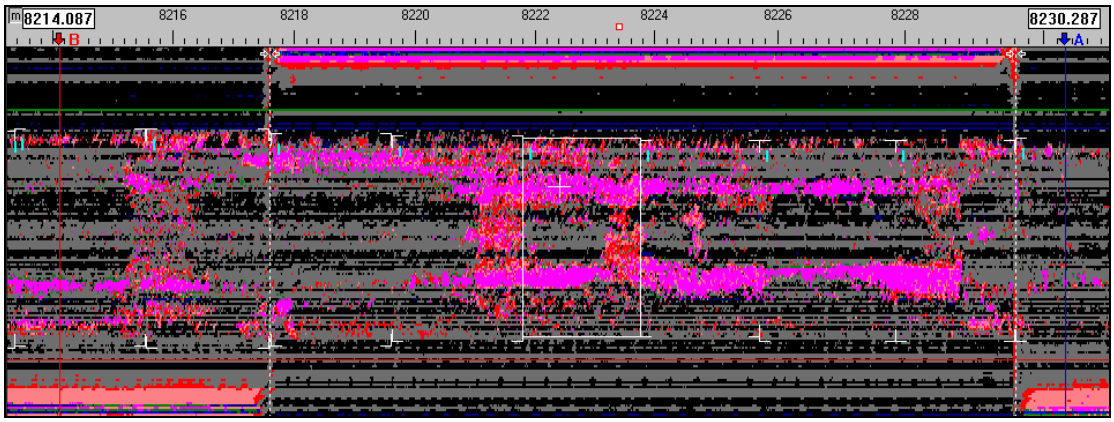
A comparação entre os resultados do pig ultra-sônico e o pig palito foi muito fácil de fazer, uma vez que ambos os sistemas se propõem a indicar diretamente a medida dos defeitos.

Dado que ambas as inspeções contém um número excessivamente grande de dados, a apresentação dos resultados será feita selecionando-se os principais defeitos encontrados, sem contudo deixar de destacar a concordância geral dos resultados da inspeção com ambas as ferramentas.

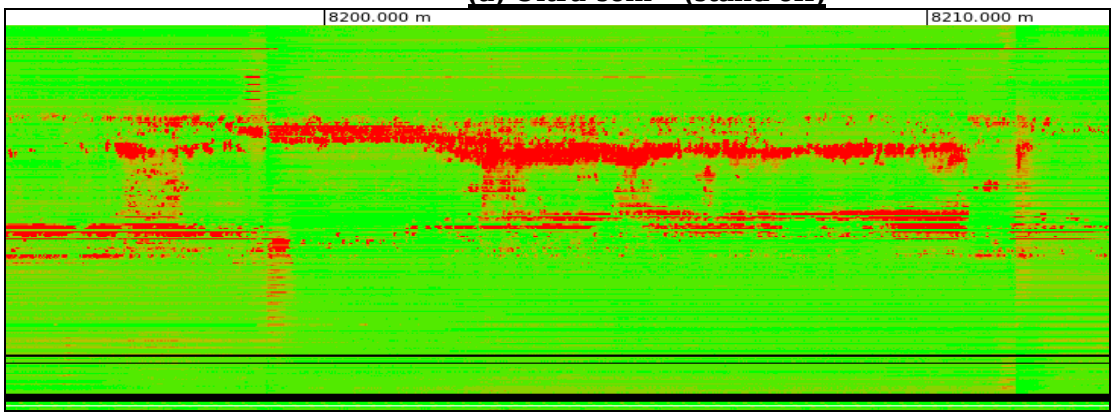
Uma vez que os hodômetros de cada uma das ferramentas indicou distâncias ligeiramente diferentes (16,840 km para o pig Palito e 16,739 km para o Ultra-sônico) foi feita a correlação de soldas de modo a identificar e correlacionar com precisão ponto a ponto as duas inspeções. As imagens de corrosão de cada ferramenta são então comparadas em forma, extensão e profundidade de corrosão. Tanto o programa de visualização de Ultra-som como o do pig Palito, apresentam os sinais na forma de um C-scan, o que facilitou a comparação.

De um modo geral, a análise global da corrida mostrou que os resultados de ambas as ferramentas forneceram imagens de superfícies de corrosão iguais, o que significa que o dimensionamento transversal e longitudinal das duas ferramentas é o mesmo, e que as características de resolução de cada uma das técnicas são equivalentes.

A figura 6 mostra um resultado típico desta comparação, onde se nota claramente a semelhança geométrica da corrosão pelas duas técnicas.



(a) Ultra-som – (stand off)



(b) PIG-Espinho

Figura 6 – Imagens obtidas pelos dois pigs em uma mesma área defeituosa. Nota-se a semelhança "visual" entre as duas imagens.

A figura 7 mostra a correlação das profundidades medidas pelas duas técnicas para um conjunto de defeitos de corrosão. Observa-se uma excelente correlação entre as duas técnicas, sobretudo considerando-se a interferência de ruído e outros fatores nas medidas. O fator de correlação medido neste gráfico é 0,82, indicando que a tecnologia geométrica- pig Palito - tendeu a fornecer valores inferiores às da técnica de ultra-som.

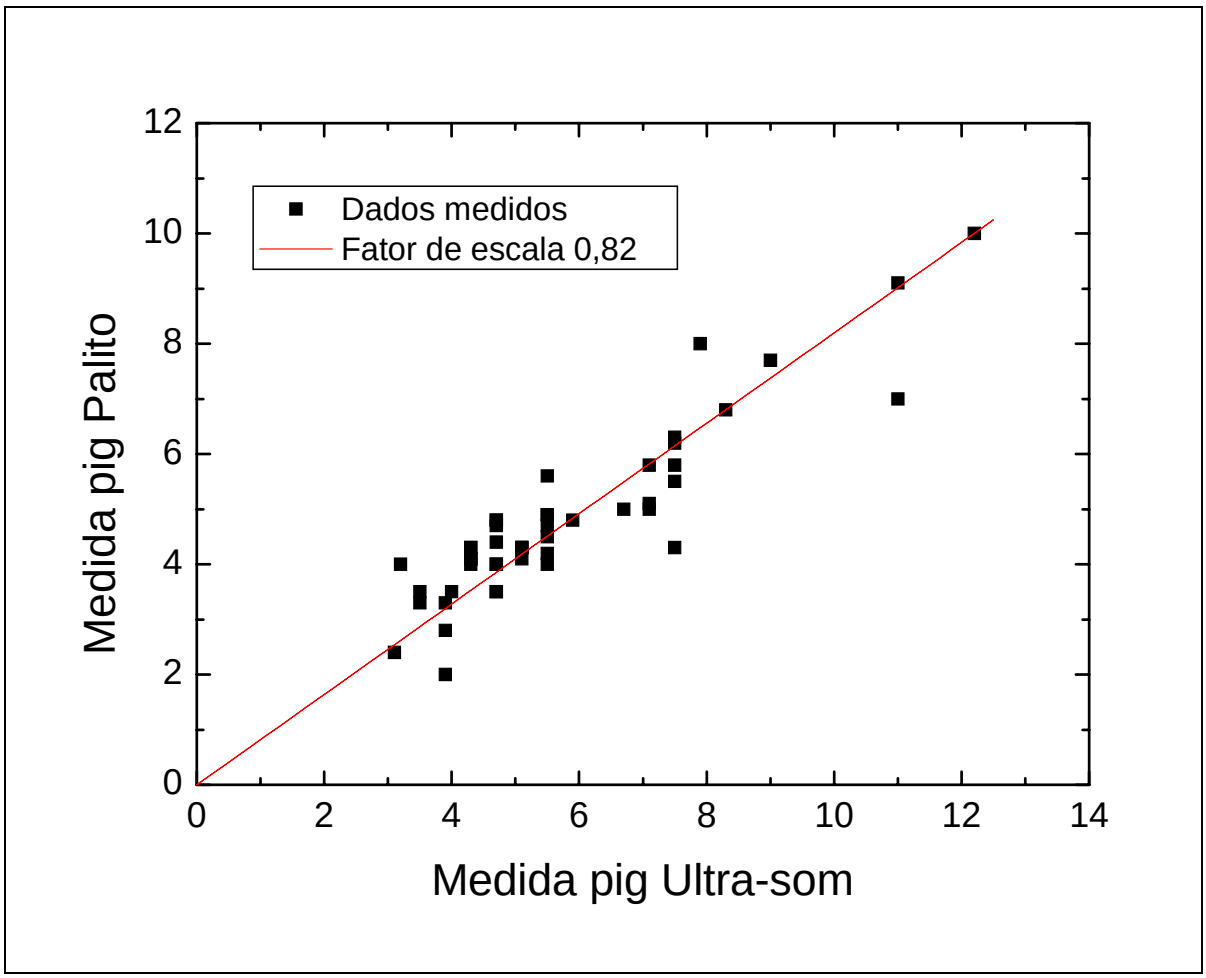


Figura 7 – Correlação entre as medidas de profundidade das corrosões. Pig Palito *versus* pig de Ultra-som.

10. Reparo

O trecho comprometido do duto foi totalmente substituído, recondicionando-o para a operação segura e atualmente este já se encontra em operação normal. Durante as obras para interligação do novo trecho, o escoamento foi transferido para uma monobóia.

11. Conclusões

A passagem dos três tipos de pigs neste duto possibilitou concluir os seguintes pontos relevantes:

a) Existe uma grande dificuldade de dimensionar quantitativamente a profundidade dos defeitos concentrados na geratriz inferior de um duto com “caminho de rato”, devido ao acúmulo de resíduos.
b) Atenção redobrada deve ser dada aos procedimentos de limpeza nestes casos;
c) O pig MFL apresentou maiores dificuldades no dimensionamento dos defeitos, quando comparado com o ultra-sônico e o pig Palito;
d) A tecnologia do pig Palito pode ser utilizada com grande sucesso para avaliação da corrosão interna de dutos. Novas sistemáticas de calibração já estão sendo implementadas, o que implicará num aumento significativo na precisão do dimensionamento da profundidade;
e) A comparação entre as medidas da profundidade dos defeitos entre o pig de ultra-som e o pig Palito mostraram uma boa aproximação, devido a ambas as técnicas serem de leitura direta.

f) Os custos do pig Palito são provavelmente comparáveis a de um pig geométrico e inferiores aos pigs MFL e Ultra-som;
g) Estes resultados estão limitados e uma única inspeção com o pig Palito. Deverão ser executados outros testes e inspeções de campo, onde sejam esperados defeitos de geometria diferente e em outras condições de fluxo, para que se possam analisar mais amplamente as vantagens e limitações em relação a outros pigs.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem a PETROBRAS e a PUC-Rio pela oportunidade de divulgar este trabalho. É importante agradecer e ressaltar aqui, a participação de 32 técnicos que compõe a equipe responsável por este trabalho. Esta equipe congrega as seguintes instituições: PETROBRAS/UN BC, PETROBRAS/CENPES/TMEC e PUC-Rio/CETUC/CIEq.

8. Referências

[1] - TIMS, P., WILSON, O., When is corrosion not corrosion? A decade of MFL pipeline inspection. *Pipes and Pipelines International* - Dez.., 2002.
[2] - FRANZOI, A. R., BUENO, S.I.O., Oleoduto Pargo/Garoupa 22" da Reconstrução à Inspeção: Etapas de Re-Habilitação de Um Duto ao Padrão de Garantia de Integridade Estrutural (IBP404-03). *Rio Pipeline Conference*, Rio de Janeiro, RJ, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás: Out., 2003. –.
[3] - FRANZOI, A. R., MELO, F. S. V., MORAIS, P. R., BUENO, S.I.O., Inspeção com Pig ultra-sônico em oleodutos de águas profundas. IBP 1386 05, Rio Pipeline Conference, Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás: Out., 2005.
[4] – CAMERINI, C.S. at al – Novas ferramentas da inspeção de risers tipo SCRs. IBP 1054 05, Rio Pipeline Conference, Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás: Out., 2005.