IBP1514_07
PIG COBRA PALITO: UM MÉTODO SIMPLES E EFICIENTE PARA A DETECÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE CORROSÃO EM DUTOS
Thiago Salcedo, Jean Pierre von der Weid[2], Miguel Freitas[3], Claudio Soligo Camerini[4], Ricardo Morais[5]
Copyright 2007, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP
Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na ***Rio Pipeline Conference & Exposition 2007***, realizada no período de 2 a 4 de outubro de 2007, 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 2007***.

Resumo

A inspeção de dutos utilizando pigs instrumentados é comum para a avaliação da corrosão interna. No entanto, é encontrada uma vasta quantidade de dutos tidos como "não – pigaveis", não podendo ser inspecionados por pigs instrumentados convencionais, como os pigs magnéticos MFL e ultra-som. Os fatores relevantes que dificultam este tipo de inspeção, especialmente em dutos submarinos, são raios de curvaturas acentuados, diversos acessórios como *manifolds* e válvulas, paredes espessas, escoamento multi-fásico e propriedades acústicas freqüentemente ruins. O pig cobra palito foi apresentado como uma ferramenta capaz de superar diversas limitações encontradas nos pigs tradicionais. Sua característica inédita de montagem em uma estrutura flexível de poliuretano possibilita a inspeção de dutos com grande variação de diâmetros, e é capaz de passar por curvas e derivações de pequeno raio ao longo de sua trajetória. Os sensores palito realizam uma perfilagem dimensional direta, independendo da espessura de parede do duto. Em Julho de 2006, realizou-se uma inspeção pioneira com o Pig Cobra Palito em um duto que apresentava duplo diâmetro e curvas de pequeno raio. Os resultados obtidos nesta inspeção consolidaram a tecnologia do Pig Cobra Palito como boa alternativa tecnológica para perfilagem da corrosão interna em dutos.

Abstract

The inspection of pipelines using instrumented pigs is generally used to evaluate the internal corrosion. However, it's very common to find pipelines with many kinds of obstacles that prevent the use of conventional instrumented pigs, like MFL magnetic pigs and ultrasonic. The relevant factors that make the inspection difficult, especially in submarine pipelines, is the different diameters along the pipeline, small bend radius, equipments installed in the pipeline such as manifolds and valves, wall thickness, multi-phase flux and usually bad acoustic properties. A special pig, named Snake Feeler Pig, was designed to be able to overcome diverse limitations that conventional pigs have. The characteristic of installing the feeler nails into a flexible polyurethane support yielding tool with ultra high tolerance to geometric restrictions and being navigate through curves and geometric accessories with small bend radius is innovative. The feeler-type sensors do the direct dimensional measure of internal corrosion and have no limit of wall thickness to be inspected. On July 2006, a pioneer inspection was made with the Snake Feeler Pig in a submarine pipeline with double diameter and sharp bends. The excellent results of this prototype opened a wide range of opportunities for the Snake Feeler Pig technology of detecting pipeline internal corrosion.

1. Introdução

Os dutos submarinos são tradicionalmente inspecionados com as mesmas tecnologias utilizadas em dutos terrestres. Nas décadas de 80 e 90, os dutos terrestres sofreram no Brasil um forte investimento para adaptá-los à inspeção com pigs instrumentados: retirada de curvas de pequeno raio, instalação de lançadores e recebedores, uniformização de diâmetro, alterações em derivações e a retirada de obstáculos, são os principais exemplos de obras

Mestrando em Engenharia do Petróleo – PUC-RIO / CPTI
[2] PHD, Professor Titular e Pesquisador – PUC-RIO / CPTI
[3] Mestre, Engenheiro Pesquisador – PUC-RIO / CPTI
[4] Mestre, Consultor Técnico – PETROBRÁS / CENPES
[5] Engenheiro de Equipamentos – PETROBRÁS / UN-BC

requeridas para viabilizar a "pigabilidade" do duto. Alguns dutos submarinos receberam o mesmo tratamento, mas estas adaptações não se estenderam a toda a malha, em função de dificuldades tecnológicas e do alto valor dos investimentos. Portanto é comum a existência de dutos submarinos com variações de diâmetro, curvas de pequeno raio, entre outros obstáculos que impedem o uso de pigs instrumentados convencionais. Observando ainda que o aumento da produção de petróleo nos leva para profundidades cada vez maiores, causando o aumento de espessuras e redução de diâmetros nos dutos submarinos.

A principal causa de deterioração de dutos submarinos se deve à corrosão interna, geralmente na geratriz inferior, que ocorre devido à presença de água produzida. A corrosão externa é facilmente evitada pela proteção catódica, enquanto que avarias externas, são identificadas na maioria das vezes pela inspeção visual por *ROVs*. Considera-se então, que o grande foco da inspeção de dutos submarinos de produção de petróleo e gás é a detecção e quantificação da corrosão interna e, em menor grau, de defeitos externos relacionados a ação de terceiros.

Os pigs ultra-som e magnéticos – MFL (*Magnetic Flux Leakage*) - localizam defeitos como amassamentos e perdas de espessuras por corrosão, porém são incapazes de inspecionar dutos com acentuados raios de curvatura, paredes espessas, escoamento multi-fásico e fluidos com propriedades acústicas ruins.

O Pig Cobra Palito é uma inovação tecnológica pioneira na área de pigs instrumentados para a medição de corrosão interna e determinação de defeitos internos no duto e tem como objetivo superar as restrições estruturais de cada duto à passagem do pig. Sua estrutura flexível e tecnologia *mult-size*, permiti a inspeção em dutos com multi-diâmetros e raios de curvaturas acentuados. Os sensores palito realizam uma medição direta por contato na superfície interna do duto, portanto não há limite de espessura de parede do duto e independe do fluido transportado.

O principio de funcionamento e eficácia da ferramenta na detecção de corrosão interna, foram verificados em testes de calibração e inspeções em dutos submarinos da Bacia de Campos. Os resultados foram comparados com outros pigs instrumentados no mercado, obtendo um mesmo nível de precisão das tecnologias tradicionais de medição.

Neste trabalho, serão abordadas as diferentes fases do desenvolvimento, os resultados obtidos em campo, assim como seu funcionamento e seu potencial para o uso futuro.

1. Principio de funcionamento

O primeiro protótipo de Pig Cobra Palito foi projetado para operar em dutos de 8 polegadas. Possuindo 144 sensores palito em uma estrutura de poliuretano flexível, divididos em 12 coroas, com resolução radial de 4,5mm e com precisão de dimensionamento da profundidade +/- 0,4 mm. A figura 1 apresenta uma visão geral da ferramenta.

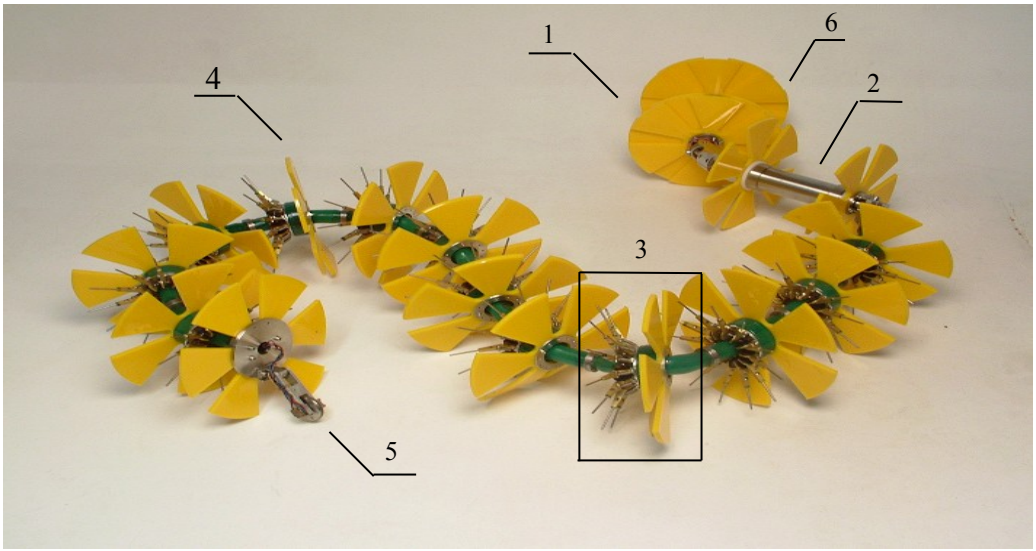


Figura 1 - Pig Cobra Palito (1 - Módulo de bateria, 2- Módulo de eletrônica, 3 - Coroa instrumentada, 4 - Copo centralizador do tipo *butterfly,* 5 - Hodômetro, 6 - Copos vedadores tipo *butterfly*)

Os sensores palito são compostos por transdutores de efeito *Hall* e ímãs. Assim, quando a haste de cada sensor é flexionada ocorre uma variação de fluxo magnético e o transdutor gera um sinal analógico proporcional a esta flexão. O sensor palito foi projetado para ter sensibilidade às mínimas variações de posição angular na haste, medindo com precisão a corrosão interna do duto. A figura 2 apresenta os sensores em sua fase de montagem.

Os discos especiais do tipo *butterfly* projetados para garantir a centralização e navegação do pig em dutos de multi-diâmetros, garantem a inspeção *mult-size*. Estes discos produzem as vedações necessárias para os primeiros

módulos e têm rigidez e flexibilidade suficiente para a sustentação do pig. O Pig Cobra Palito tem característica modular, ou seja, as coroas são intercambiáveis. Todas as coroas são iguais. O operador através de um pequeno hardware (programador), configura cada coroa de acordo com a sua posição no pig. Assim é possível a substituição de qualquer coroa instrumentada, caso seja necessário realizar manutenção durante a operação no campo.

As coroas instrumentadas do Pig Cobra Palito possuem defasagem angular de dois graus entre elas, possibilitando uma distribuição radial completa dos sensores palito no diâmetro interno do duto a inspecionar. A figura 3 apresenta a vista frontal do pig palito, com a distribuição axial dos sensores palito.

Além das vantagens da perfilagem dimensional direta oferecida pelo sensor palito e de inspecionar dutos mult-sizes, o Pig Cobra Palito possui versatilidade nas operações de lançamento e recebimento *offshore*. Sua característica flexível permiti a operação em pequenos espaços em torno do lançador e do recebedor.

Para a análise de dados foi desenvolvido o *software* Rtscan3, que permite a visualização de toda a perfilagem da superfície interna, realizada pelo pig cobra palito. O *software* condiciona todos os dados, corrigindo a defasagem entre as coroas do pig, tornando a imagem clara e de fácil interpretação ao operador da análise dos dados.

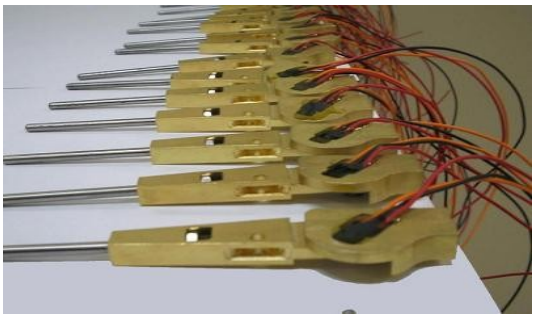
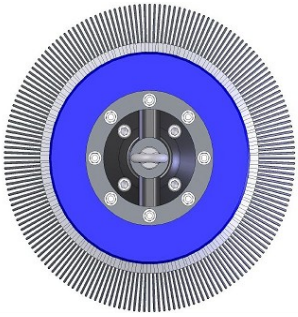


Figura 2 - Sensores palito em sua fase de montagem



F**igura 3 -** Visão frontal do pig palito.

>>>>>>>>>não visualizei estas figuras. A legenda está pobre!

O Pig Cobra Palito é equipado com dois hodômetros que medem a distância percorrida com resolução de milímetros. Um sensor interno ao módulo de eletrônica mede a posição radial do pig, permitindo que o *software* Rtscan corrija qualquer movimento helicoidal da ferramenta. Conjugando as informações de todos os sensores palito, com os hodômetros e o sensor de posição radial, o software Rtscan gera imagens e quantifica toda a perfilagem da superfície interna. A partir disto, é possível a identificação de soldas circunferênciais, longitudinais, corrosão interna com precisão de +/- 0,4 mm, amassamentos e os demais acessórios existentes no duto.

2. Desenvolvimento

Como o pig palito é principalmente utilizado em dutos especiais e normalmente não pigaveis, cada projeto é realizado considerando as especificidades de cada duto. Um caso especial foi o realizado em 2006, em um duto de 8 polegadas, que interliga plataformas na Bacia de Campos, litoral do Rio de Janeiro, Brasil. A partir das características deste duto, definiu-se o número de sensores palito utilizados, o número de módulos, tipo e quantidade hodômetros, tipo e quantidade de copos, tipo de material e estrutura do corpo do pig e a interligação da eletrônica e mecânica entre os módulos.

Os aspectos relevantes para detecção de corrosão por pigs instrumentados é garantir uma resolução longitudinal e radial adequada, determinando a quantidade de sensores, a capacidade de armazenamento de dados e a taxa de aquisição dos mesmos. Assim de acordo com estas premissas e as dificuldades impostas pela inspeção desta linha, foi projetado o Pig Cobra Palito.

A inspeção desta linha implicava na passagem em curvas com raios curvatura com aproximadamente 1,5D em 8 polegadas de diâmetro externo. A forma de como iria se comportar o conjunto mecânico dentro do duto para esta inspeção, foi o ponto inicial deste projeto.

Primeiramente, após simulações em computador do movimento do pig em curvas, os resultados mostraram a inviabilidade do uso de qualquer tipo de estrutura rígida. Convergindo para idéia de uma estrutura de flexível, essa estrutura deveria ser resistente a abrasão, tração, temperatura e pressão. Então foi adotada uma estrutura de poliuretano para ser o corpo do pig. Testes experimentais comprovaram o uso desta estrutura emborrachada como solução adequada. Foram projetados e fabricados diferentes protótipos com características variadas.

A segunda etapa do projeto foi instrumentar a estrutura de poliuretano flexível, com os sensores palito. Desenvolveu-se uma eletrônica compacta para ser embutida dentro de cada coroa e conectores submarinos, assim como todo projeto mecânico de fixação e fiação dos sensores palito. Totalizando 144 sensores palitos ao longo do corpo do pig, proporcionando um resolução radial de 4,5mm com precisão de dimensionamento da profundidade +/- 0,4 mm.

A terceira etapa do projeto foi o projeto e teste de discos e copos. Foram instalados discos especiais do tipo

butterfly para garantir a centralização em dutos de multi-diâmetros, garantindo rigidez e flexibilidade suficientes para a sustentação do pig.

3. Calibração e testes de campo

A operação de calibração do Pig Cobra Palito realizada no campo é requisito básico para aferição da ferramenta. As corridas de calibração foram realizadas nas instalações de ensaio não-destrutivos para pigs no CTDUT e consistiu basicamente em guiar o Pig Cobra Palito dentro de um tubo de 8 polegadas, com um inserto graduado de calibração.

Este inserto, um corpo de prova, é fixado em um rasgo com 1/3 do diâmetro do tubo e tem a forma de uma "escada". Assim conhecendo-se a altura de cada "degrau" dessa escada, pode-se comparar os dados adquiridos pelo o pig através do software de medição. Após a análise dos dados é feito um "ajuste fino" a nível de software de todos os sensores palito. Um polinômio de segundo grau é gerado para aproximação do valor medido ao valor desejado de cada sensor palito.

Uma vez que o inserto não cobre todo o perímetro, é preciso realizar varias "passagens" do pig dentro do tudo para calibrar todos os sensores palito. A figura 4 apresenta o inserto de calibração.

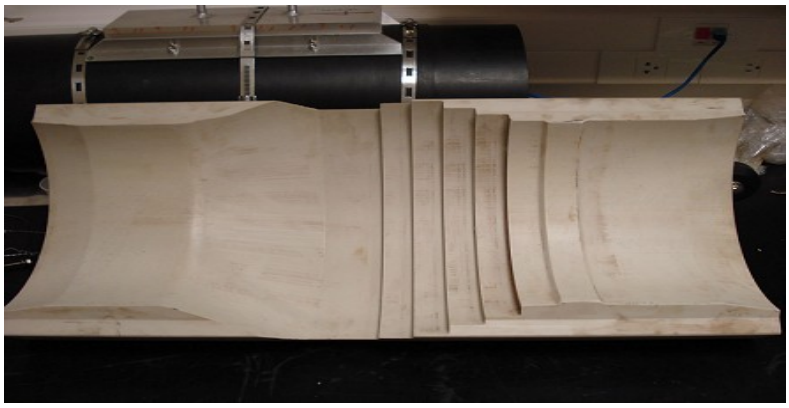


Figura 4 - Inserto de calibração graduado com à "escadinha"

Os testes de campo tiveram o objetivo de calibrar e verificar a precisão da ferramenta. Portanto após a aferição do pig, foram simulados defeitos conhecidos em um tubo reto. Os dados do pig foram confrontados com o mapa de defeitos do tubo e os resultados comprovaram a eficiência da ferramenta. A figura 5 apresenta a imagem da "escadinha"

.

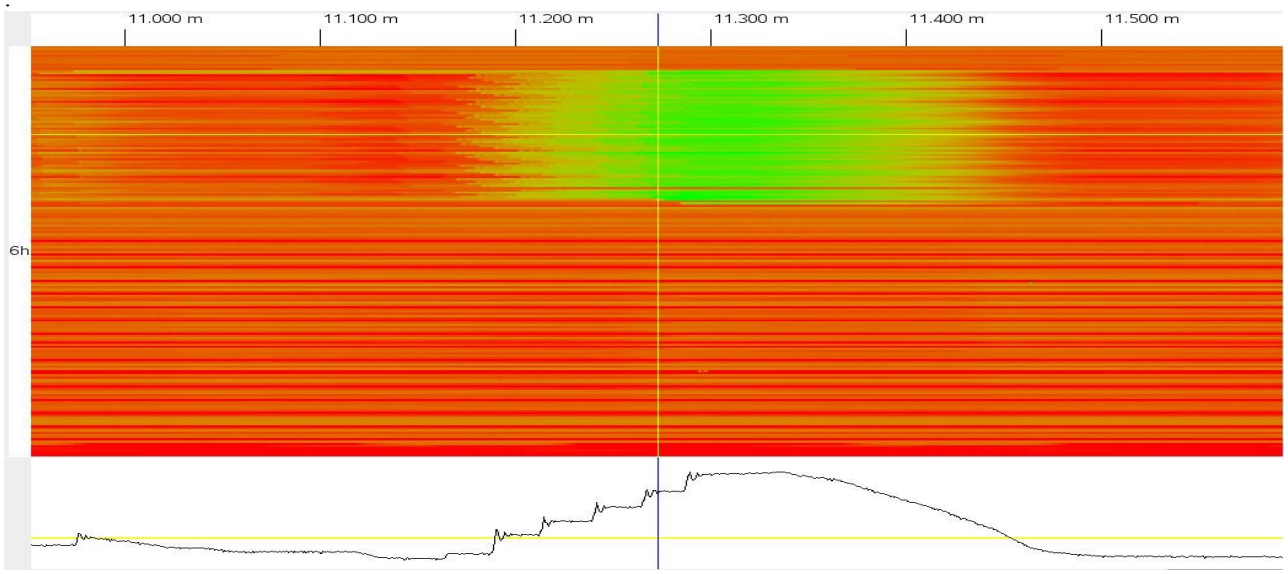


Figura 5 - Imagem no Rtscan3 do teste "escadinha"

4. Inspeção de Campo

A inspeção realizada com o Pig Cobra Palito em julho de 2006 na bacia de Campos teve como objetivo verificar a presença de corrosão interna do trecho rígido de um oleoduto misto, que interliga duas plataformas. Define-se duto misto o duto composto por trechos de linhas flexíveis e trechos de duto rígido de aço. A inspeção desta linha implicava na passagem em curvas com raios de curvatura acentuados, 1,5D em 8 polegadas e tubulações com duplo diâmetro de 8 e 10 polegadas. Além destas características geométricas, uma válvula não totalmente aberta no fundo do mar, configurava o maior desafio de passagem para pigs convencionais.



Figura 6 - Pig Cobra Palito dentro do recebedor

A operação foi bem sucedida, com a integridade física da ferramenta preservada e os dados armazenados na eletrônica foram validados com a visualização dos equipamentos de superfície. Embora as condições do duto fossem propícias à corrosão interna, uma análise detalhada revelou a inexistência de perdas de espessura interna no duto. Alguns dados indiretos mostraram que o Pig Cobra Palito funcionou corretamente, conforme citado abaixo:

- Nos trechos de duto flexível, os sensores sempre perfilaram corretamente o corrugado da camada interna de aço inox.
- Todas as soldas circunferências foram identificadas e quando requerido, quantificadas.
- Procurando eliminar as possibilidades de corrosão uniforme em todo o perímetro, realizou-se a medida do diâmetro do duto em vários pontos. Em todos os casos, o diâmetro medido ficou próximo do nominal.

Algumas ocorrências durante a corrida foram destacadas conforme as figuras 8, 9,10,11 e 12 abaixo.

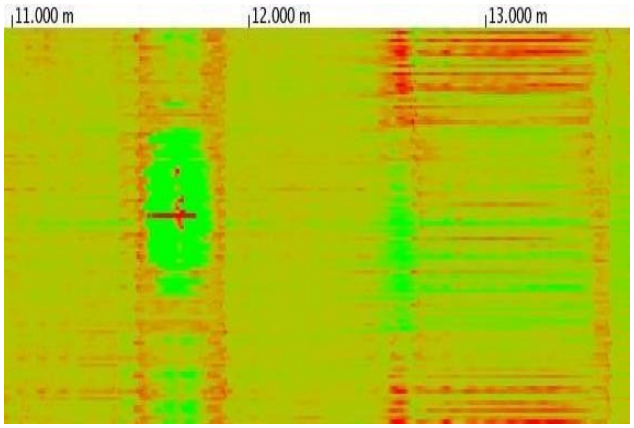


Figura 8 – TE de 8” a 11,63m do lançador



Figura 9 - Foto do TE de 8"

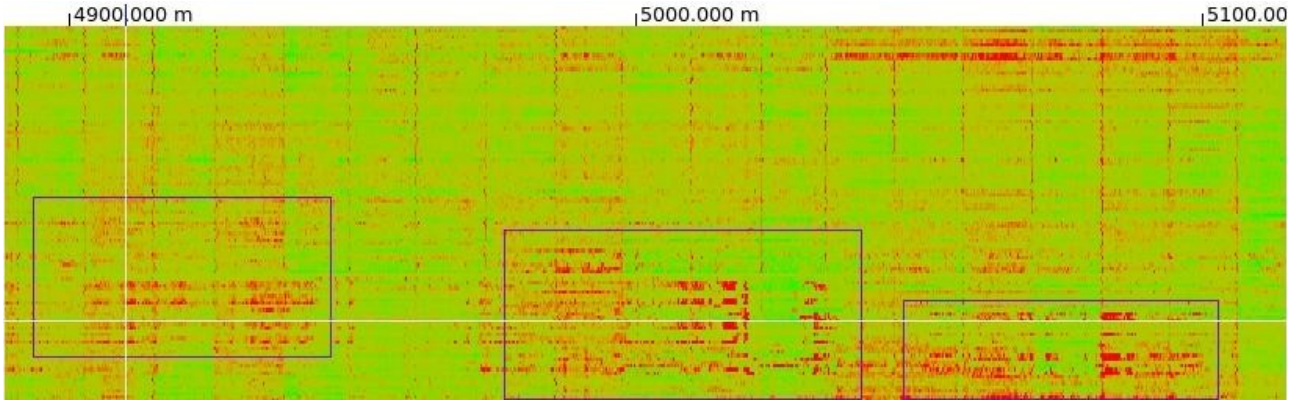


Figura 10 - Trecho com vários depósitos e soldas radiais

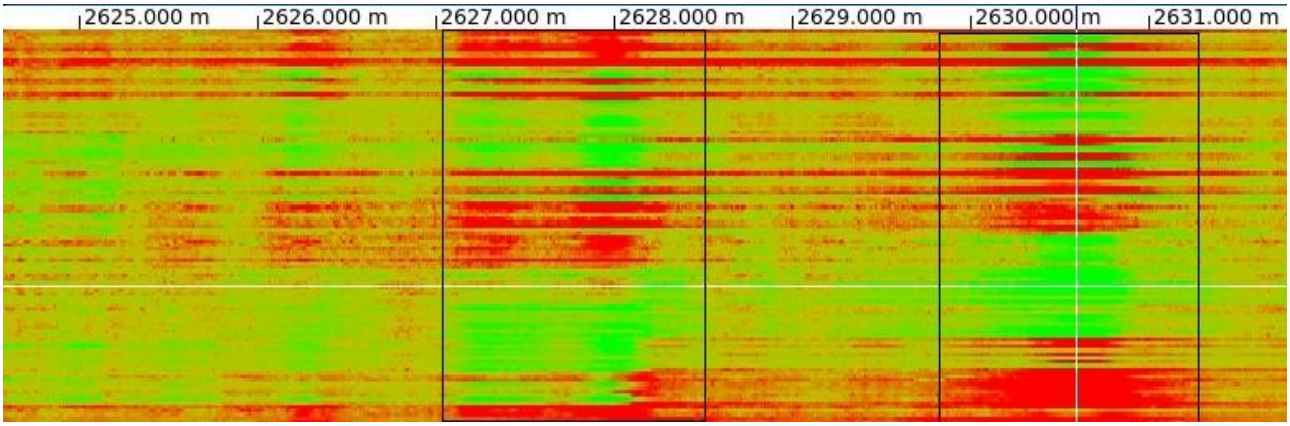


Figura 11 - Amassamentos no encontro com outro duto

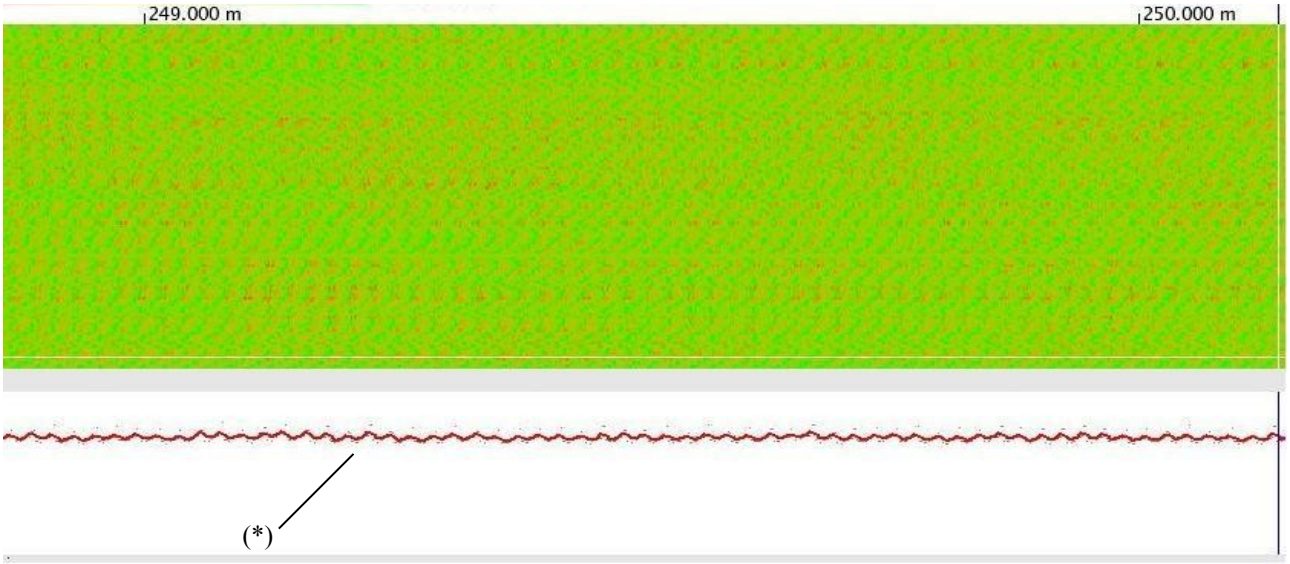


Figura 12 - Corrugado da linha flexível - *(*) Zoom longitudinal em um canal da chapa*

5. Conclusão

Os resultados obtidos na inspeção comprovaram a viabilidade técnica da inspeção em linhas de petróleo com alto grau de restrições. Esta ferramenta de inspeção passou em dutos com raios de curvaturas acentuados, dutos com diâmetros pequenos e *Multi-size*. Conseguiu registrar todos os dados, perfilando com precisão toda a superfície interna do duto.

O método de perfilagem da superfície interna de alta resolução com pigs palito vem apresentando excelentes resultados. Diversas inspeções já foram realizadas, sendo a mais relevante a inspeção com o Pig Palito Cobra aqui descrita. Em todas as inspeções já realizadas, sejam em oleodutos ou gasodutos, os pigs palito se mostram robustos e de alta confiabilidade. Outros desafiantes projetos com o Pig Cobra Palito estão em andamento, em especial a inspeção de gasodutos *multi-size.*

A PETROBRÁS já adota o sistema de perfilagem da corrosão interna via pig palito, como uma das principais ferramentas para integridade de seus dutos, em especial os dutos submarinos de produção.

6. Citações e Bibliografia

ADB-00-02 : Internal Corrosion in Gas Transmission Pipelines
http://ops.dot.gov/regs/notice/advisoryinternalcorrosion082800.htm

Natural Gas Pipeline Rupture and Fire Near Carlsbad,
New Mexico, August 19, 2000. Pipeline Accident Report NTSB/PAR-03/01. Washington, D.C.
http://www.ntsb.gov/publictn/2003/PAR0301.htm

Hazardous Liquid Pipe Failure and Leak, Explorer Pipeline Company, Greenville, Texas, March 9, 2000
Pipeline Acident report NTSB/PAB-01-03, adopted on 7/6/2001
http://www.ntsb.gov/publictn/2001/PAB0103.htm

Feeler Pig – A New Tool for Multi-Size Pipeline Inspection
Claudio CAMERINI, Carla MARINHO, Aldo FRANZOI, Sergio IBAJÉ, Petrobras, Rio
de Janeiro, Brazil Miguel FREITAS, Jean von der WEID, Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil
ECNDT 2006 - Tu.3.1.4