

---

## Introdução

Estruturas tubulares são indispensáveis em quase todos os processos de extração e distribuição de óleo e gás, e representam uma parte crítica na execução dos mesmos. Dessa forma essas estruturas devem atender a normas rigorosas durante a sua fabricação, bem como nas fases de manutenção, o que demanda diversos tipos de inspeções e análises não destrutivas. A grande maioria dos serviços de inspeção é realizada através de PIG's instrumentados, que podem possuir, entre outros, módulos de inspeção por ultrassom, magnéticos e geométricos.

Apesar de serem comprovadamente eficientes, os PIG's são utilizados em tubulações com características específicas, como ser adaptável a instalação de canhões lançadores e recebedores, possuir curvas de raio longo, não possuir obstáculos geométricos ou grandes variações no diâmetro e a necessidade de fluxo na linha por serem sistemas passivos quanto ao seu deslocamento. Quando a tubulação apresenta condições diferentes às apresentadas ela é classificada como não pigável, restando poucas opções para analisar a integridade da mesma.

Esse artigo apresenta as etapas do desenvolvimento de um robô para realizar inspeções detalhadas internamente a tubulações não pigáveis, bem como seus testes em campo e resultados.

## Projeto conceitual

O robô foi desenvolvido com o objetivo de aplicar diversas técnicas de inspeção não destrutivas no interior de tubulações não pigáveis. Para isso, projetou-se um robô modular, de forma a ser facilmente configurável para realizar diferentes tipos de inspeção. Os principais módulos são: módulo de controle, módulo de tração, módulos de inspeção e módulo de visualização. Todos os módulos são remotamente controlados e alimentados eletricamente por um umbilical conectado a uma maleta de controle e visualização.

O módulo de tração é composto por três esteiras defasadas de 120 graus acionadas por motores DC, e por uma estrutura de barras paralelas, tensionada por uma única mola que faz a expansão radial das esteiras, garantindo a tração das mesmas contra a parede da tubulação. Dessa forma, o robô pode se locomover ao longo de sessões multi-diâmetro e também na vertical, uma vez que a força de contato das esteiras é feita por uma mola, e não pelo próprio peso do robô.

Os módulos de inspeção foram projetados para atuar entre dois módulos de tração, pois muitos métodos de análises não destrutivas requerem que o equipamento esteja centralizado no interior da tubulação. Esses métodos são discutidos na sessão seguinte.

## Módulos de avaliações não destrutivas

O robô desenvolvido possibilita a aplicação de diversas técnicas de inspeção, e a possibilidade da visualização interna em tempo real e controlada se torna uma das mais atraentes, uma vez que ferramentas como PIG's não possuem essa possibilidade. Sendo assim uma câmera *pan* (movimentação horizontal) e *tilt* (movimentação vertical) é utilizada na parte frontal do robô para uma avaliação preliminar das condições da tubulação. Uma vez detectada alguma anomalia aparente um método mais refinado de análise visual é empregado. Uma segunda câmera de alta definição com foco a 20mm de distância é então utilizada para uma visão mais detalhada e precisa da área a ser analisada. Essa análise é aplicável principalmente em inspeções de raiz de solda e defeitos por corrosão interna.

Somada à utilização da câmera de alta resolução foi desenvolvido também um método de levantamento de perfil dimensional baseado em visão computacional com projeção laser. Para isso um *software* dedicado reconhece a deformação da projeção laser e relaciona-o com as distâncias relativas entre os pontos da imagem. Essa relação é construída por um processo de calibração onde a técnica de algoritmos genéticos é utilizado para otimizar a função de transferência de uma matriz de imagem para uma matriz de distâncias. Com essa técnica foi possível chegar a uma ferramenta de análise dimensional com incerteza de apenas 0,05mm e pequena o suficiente para ser utilizada em tubulações a partir de 4" e chegando a trabalhar com diâmetros superiores a 24".

Outro método de inspeção amplamente utilizado no mercado é o de medição de espessura por ultrassom. Normalmente essa técnica é aplicada no exterior das tubulações por um técnico, e necessita a remoção de estruturas adjacentes (como flutuadores e linhas auxiliares) para acessar os pontos a serem medidos, o que faz da inspeção interna uma alternativa mais rápida e barata. O grande desafio dessa opção é a utilização de mecanismos de acionamento pequenos o suficiente para operação em tubulações menores como as de 2,5", bem como a transmissão de dados para o exterior das tubulações. O sistema desenvolvido é capaz de operar em tubulações a partir de 2,5", e medir pontos ao longo de toda a seção transversal. A principal vantagem do sistema descrito é o acoplamento pontual no momento da medição, evitando a abrasão do cabeçote durante o deslocamento do robô, o que aumenta a durabilidade do cabeçote e diminui danos a parede interna da tubulação.

### **Testes em operação**

O equipamento foi utilizado em campo durante a fabricação dos *risers* da plataforma P-55 em tubulações de 8", 10" e 12", onde foi utilizado em regime constante de trabalho durante 1 ano. Durante este trabalho foram realizadas inspeções internas de medição de excesso de reforço de solda, profundidade de *grooves* em tubulações específicas e dimensionamento de descontinuidades. Após estes testes, foram realizadas novas utilizações nos projetos Sapinhoá Norte e Cernambi Sul (pré-sal), realizando inspeções remotas visuais e medição de excesso de penetração do reforço da solda, durante a soldagem de *risers* de produção e injeção.

### **Resultados**

O robô pôde ser testado e utilizado por mais de 2 anos e durante este período sofreu algumas melhorias tanto no sistema de medição quanto no de tração. Atualmente ele trabalha em tubulações entre 6" e 14", auto ajustando-se ao diâmetro da tubulação, sem a necessidade de intervenções do operador. Foi desenvolvida uma maleta de controle mais ergonômica para o controle do robô e visualização das imagens. A incerteza do sistema de medição foi reduzida de 0.3mm para 0.05mm. E, os acoplamentos modulares foram otimizados.

Após 2 meses de trabalho, foram inspecionadas 139 tubulações, onde 14% foram reprovadas diretamente e 13% foram enviadas para análise e averiguação técnica da qualidade da soldagem. Como este índice foi alto, a qualificação dos profissionais de soldagem foi revista e após o término das 411 tubulações inspecionadas, houve uma redução considerável no índice de reprovação que passou a ser de 7% e na análise técnica, 9%.

### **Conclusões**

Com o desenvolvimento desta inovadora ferramenta de inspeção foi possível realizar trabalhos em tubulações com alto grau de dificuldade, reduzir o custo e o tempo de fabricação, otimizar as etapas de soldagem, aumentar a precisão das medidas realizadas pelos inspetores, gravar imagens em HD para posterior análise, tudo através de uma tecnologia com desenvolvimento 100% nacional.