



Rio de Janeiro
Section

TERMINAL TECH 2025 SECURITY E SAFETY

27 de outubro de 2025
IBMEC – Campus Centro

Av. Pres. Wilson, 118 - 10º Andar - Auditório - Centro - Rio de Janeiro/RJ

Inspeção de dutos com PIGs inteligentes



Maria Elisa Silva
Engenheira na Centro de
Tecnologia em Dutos - CTDUT



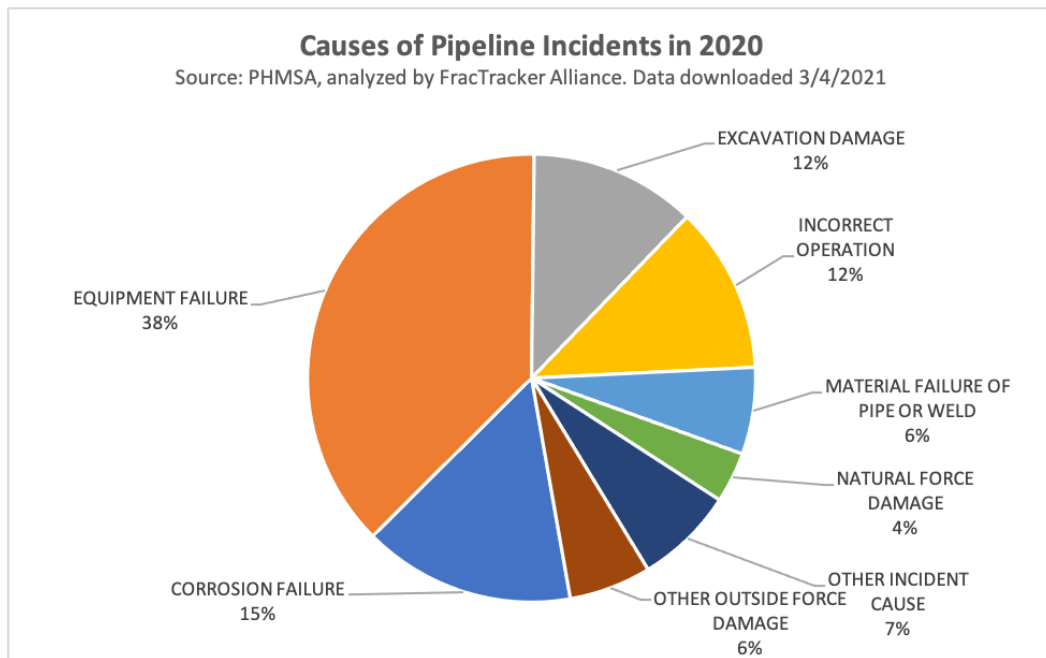
M^a Elisa Silva Castro

Engenheira Mecânica com mais de 14 anos de experiência em Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), com foco no setor dutoviário. Atua desde 2011 no CTDUT – Centro de Tecnologia em Dutos, onde atualmente é Engenheira / Líder de Projetos, responsável pelo planejamento, execução e gestão de projetos.

Possui curso técnico em Mecânica (Faetec), graduação em Engenharia Mecânica (UERJ), especialização em Engenharia de Construção e Montagem de Tubulações Industriais (IPETEC/UCP), especialização em Gestão e Gerenciamento de Projetos (UFRJ) e é mestranda em Montagem Industrial (UFF).

Introdução

Os dutos são o modal mais seguro de transporte de produtos perigosos e têm um importante papel na indústria. No entanto, falhas em dutos podem ter consequências graves, incluindo poluição ambiental, danos patrimoniais e fatalidades.



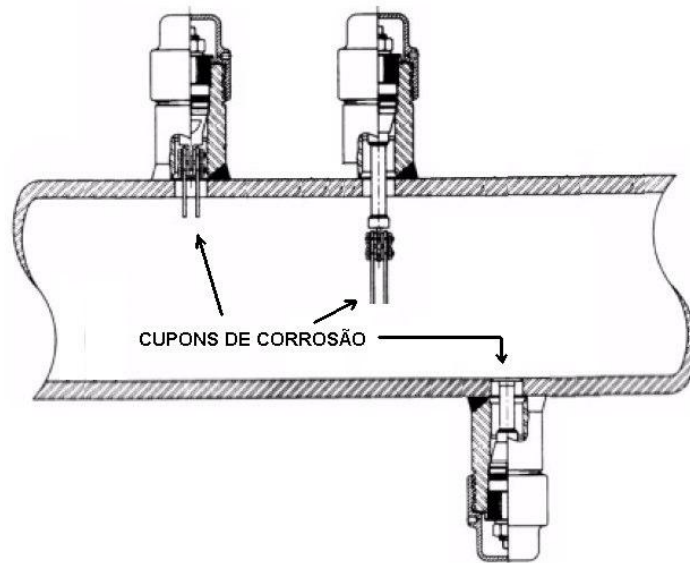
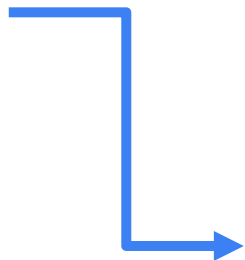
As empresas operadoras precisam assegurar um alto nível de segurança de seus dutos investindo na prevenção de acidentes, em estratégias de mitigação dos seus impactos e também na confiabilidade de seus sistemas operacionais durante todo o ciclo de vida de seus ativos.



INSPEÇÃO

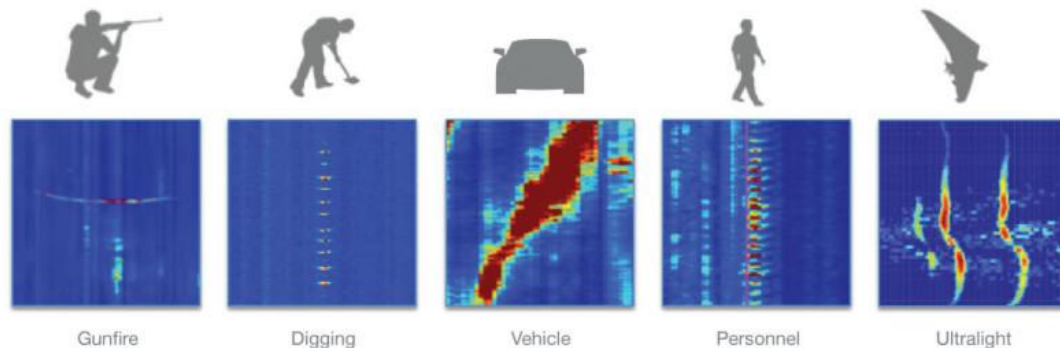
Como inspecionar dutos e faixas?

- Monitoramento com cupons de corrosão
- Fibra ótica
- Satélites
- Drones
- Inspeção “in-line” por PIGs



Como inspecionar?

- Monitoramento com cupons de corrosão
- Fibra ótica
- Satélites
- Drones
- Inspeção por PIGs “in-line”



Como inspecionar?

- Monitoramento com cupons de corrosão
- Fibra ótica
- Satélites
- Drones
- Inspeção “in-line” por PIGs



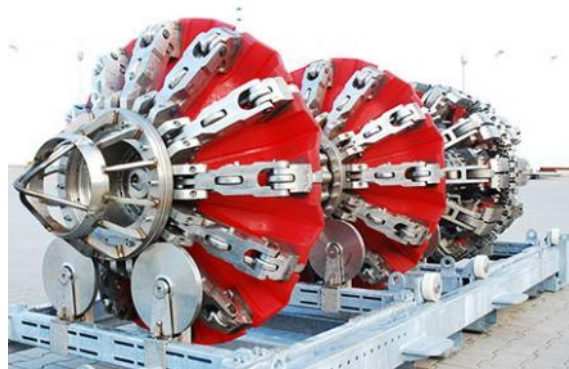
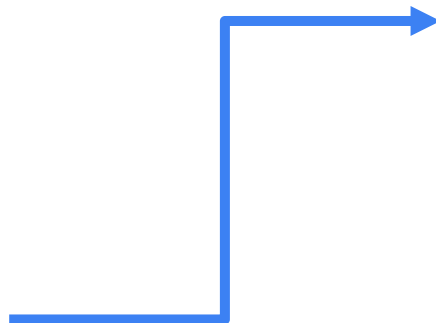
Como inspecionar?

- Monitoramento com cupons de corrosão
- Fibra ótica
- Satélites
- Drones
- Inspeção “in-line” por PIGs



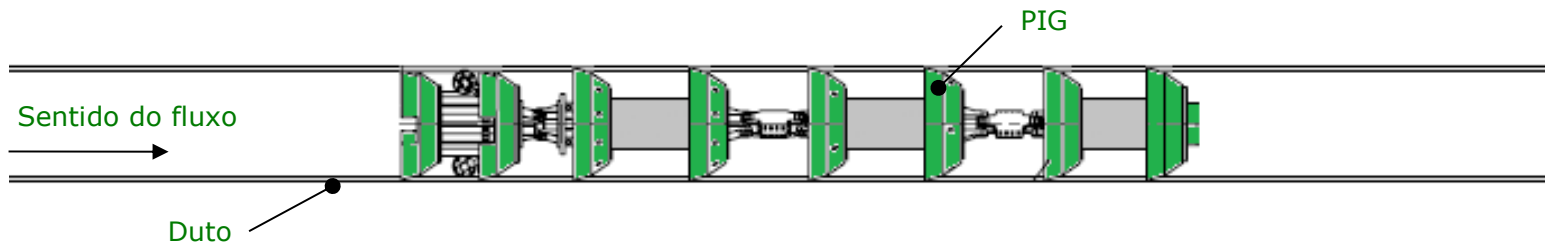
Como inspecionar?

- Monitoramento com cupons de corrosão
- Fibra ótica
- Satélites
- Drones
- Inspeção “in-line” por PIGs



O que é um PIG?

Instrumentos que são inseridos nos dutos e viajam por dentro deles com o fluxo do produto ou por propulsão própria.



- Primeiros oleodutos foram construídos no final do século XIX.
- Após alguns anos de operação, o fluxo diminuía em função do depósito de parafina.
- Inserção de objetos dentro do duto para remover a parafina (Primeiros Pigs):
 - Maço de trapos em forma de bola
 - Maço de couro
 - Bolas de borracha

Origem do nome

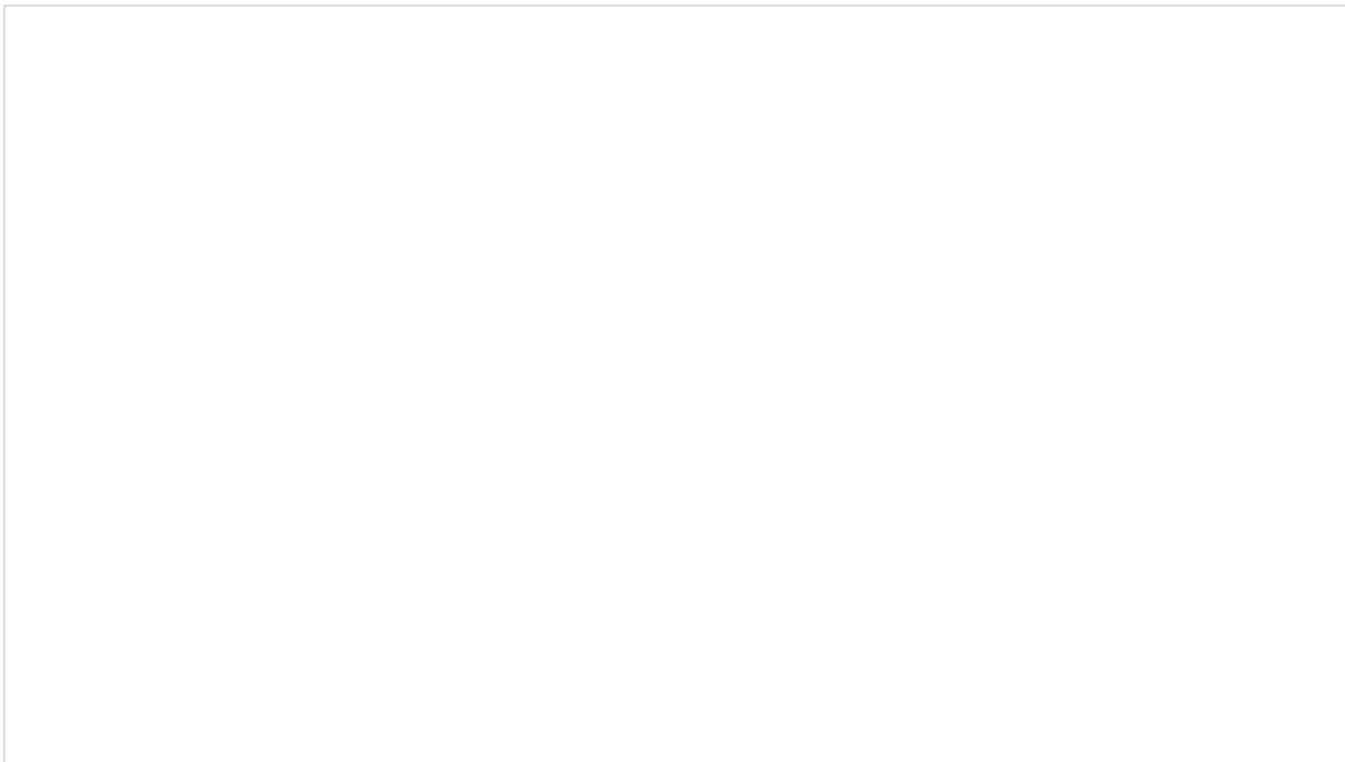
- Emitia som como porco.
- Aparência semelhante ao do porco quando saía do duto.
- Pipeline Inspection Gauge.



Tipos de PIG

- Pigs Utilitários (*Utility Pigs*):
 - Limpeza, separador de bateladas, etc.
- Pigs Instrumentados (*Smart Pigs* / Pigs Inteligentes):
 - Ferramenta de inspeção com múltiplos sensores e eletrônica de bordo.

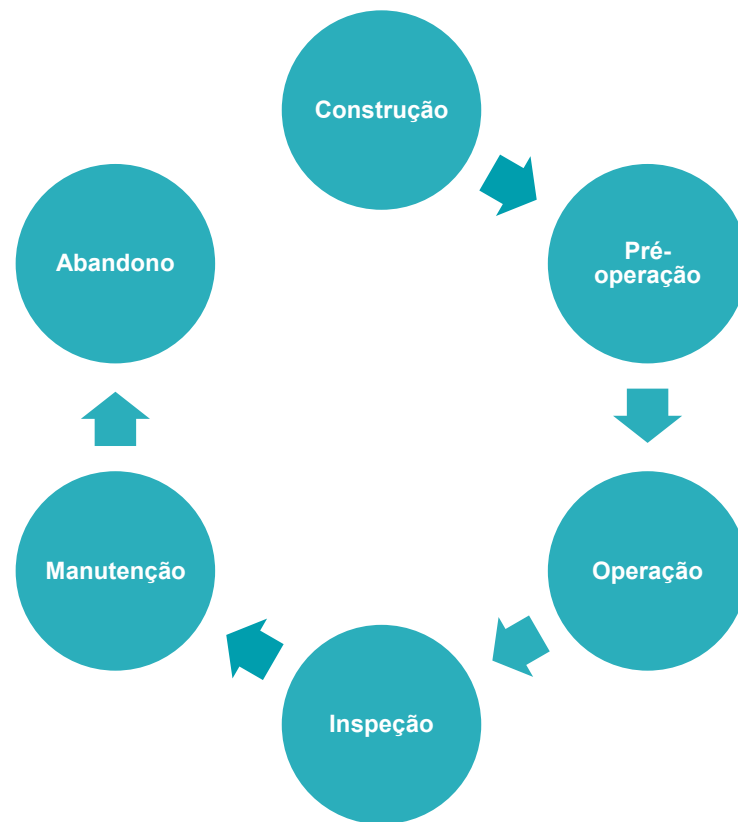




<https://www.youtube.com/watch?v=hk-nq8LMR6I>

Utilização de PIGs

Em todas as fases da vida do duto:





- Remoção detritos oriundos da construção
- Calibração da linha
- Remoção de ar para Teste hidrostático
- Remoção da água após Teste Hidrostático
- Secagem do duto (gasodutos)
- Enchimento produto (pigs c/ gás inerte e produto)





- Limpeza da parede do duto (água, materiais sólidos orgânicos e inorgânicos, etc)
- Remoção de condensados
- Separação de produtos
- Aplicação de inibidores





- **Detecção de danos mecânicos (mossas)**
- **Detecção de perda de espessura**
- **Detecção de defeitos de fabricação**
- **Detecção de defeitos planares (trincas)**
- **Detecção de vazamento**
- **Mapeamento(GPS)**
- **Gradiente térmico**
- **Gradiente de Pressão**



- **Remoção de produto**
- **Isolamento para corte**
- **Pintura interna de duto**
- **Teste hidrostático (remoção de ar e água)**
- **Isolamento para detecção de vazamento**



Normas aplicáveis

- **POF – Specification and Requirements for the Intelligent Pig Inspection of Pipelines**
- **API 1160 – Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines**
- **API 1163 – In-Line Inspection Systems Qualification Standard**
- **N-464 Petrobras – Construção e Montagem e Condicionamento de Duto Terrestre**
- **N-505 Petrobras – Lançador e Recebedor de PIG**

Linhas pigáveis

O primeiro passo é avaliar se o duto é pigável (pode receber passagem de PIGs).

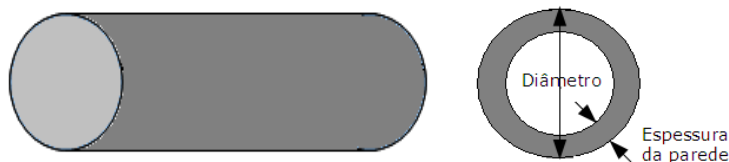
Verificar:

- Lançador e Recebedor
- Válvulas
- Tees e derivações Y
- Variações de espessura e diâmetro
- Condições operacionais: velocidade, pressão, fluxo e temperatura.
- Limites típicos:
 - Temperatura até 60 °C
 - Pressão até 150 kg/cm² (alguns até 350 kg/cm²)
 - Velocidade: 0,5 m/s – 4 m/s
 - Curvas: 1,5D

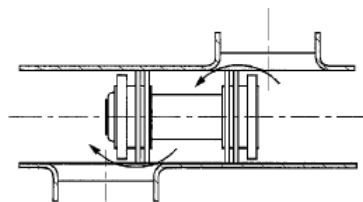
Grandes mudanças de diâmetro e espessura podem tornar a corrida com PIGs inteligentes inviável.

Espessura padrão para MFL com largura = 0,5 pol.

Alcança inspeção de 3/4 pol. com módulos magnéticos de alta potência.

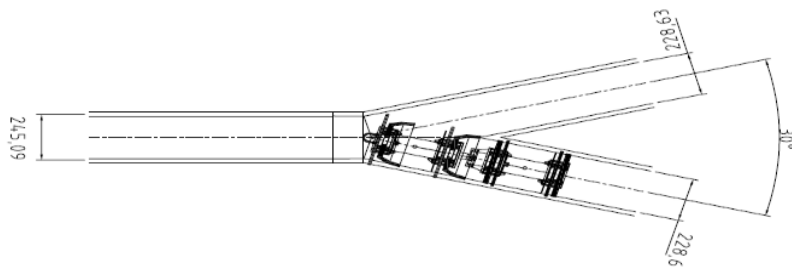


Para garantir a passagem dos Pigs nos ramais, e evitar bloqueios, são instaladas grades.



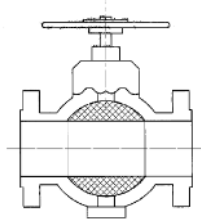
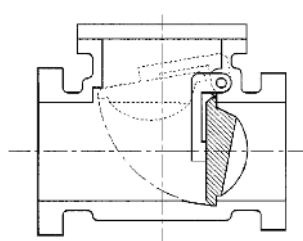
Pig preso entre dois 'Tês'

Para a passagem de Pigs em derivações Y, seu primeiro módulo deve ser avaliado para garantir uma vedação e evitar bloqueio por by-pass.



É muito importante determinar o diâmetro interno e a passagem total das válvulas de linha.

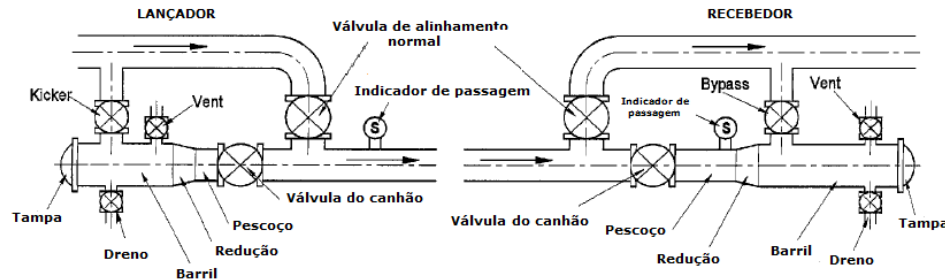
As válvulas de retenção geralmente ficam presas na posição aberta.



Lançadores e Recebedores de PIG:

Os lançadores e recebedores devem ser adequados ao comprimento dos PIGs que inspecionarão a tubulação. As ferramentas podem ser adaptadas para projetos especiais.

Manobras adequadas de lançamento e recebimento são vitais para manter a integridade dos PIGs e garantir uma inspeção bem-sucedida.



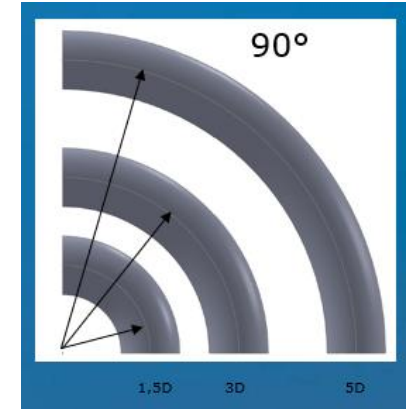
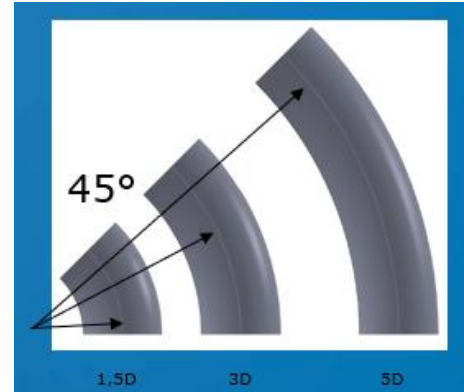
Configuração Básica e terminologia para canhões lançadores e recebedores de Pig.



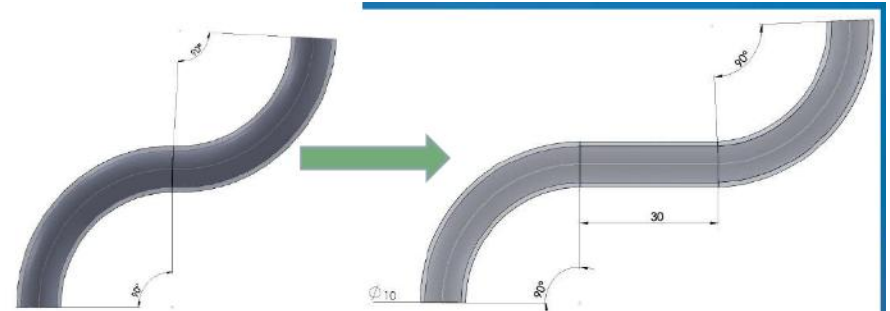


Curvas

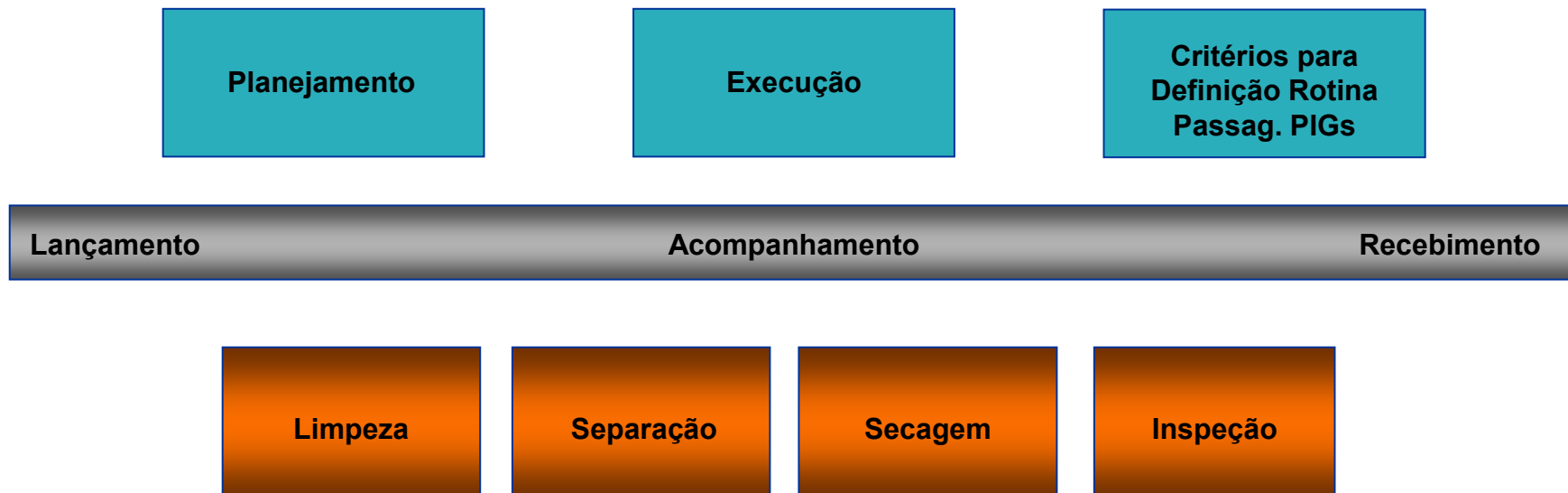
Os PIGs geralmente conseguem passar por curvas com raio $\geq 1,5D$ - 90° .



Os PIGs também passam por curvas back-to-back, mas uma seção 3D reta entre os cantos é recomendada.



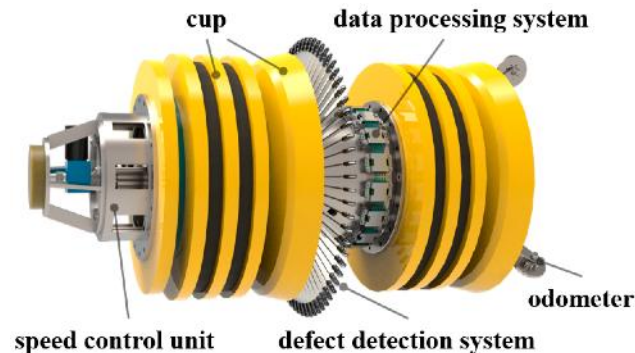
Operação com PIG



PIGs Inteligentes (Smart PIGs)

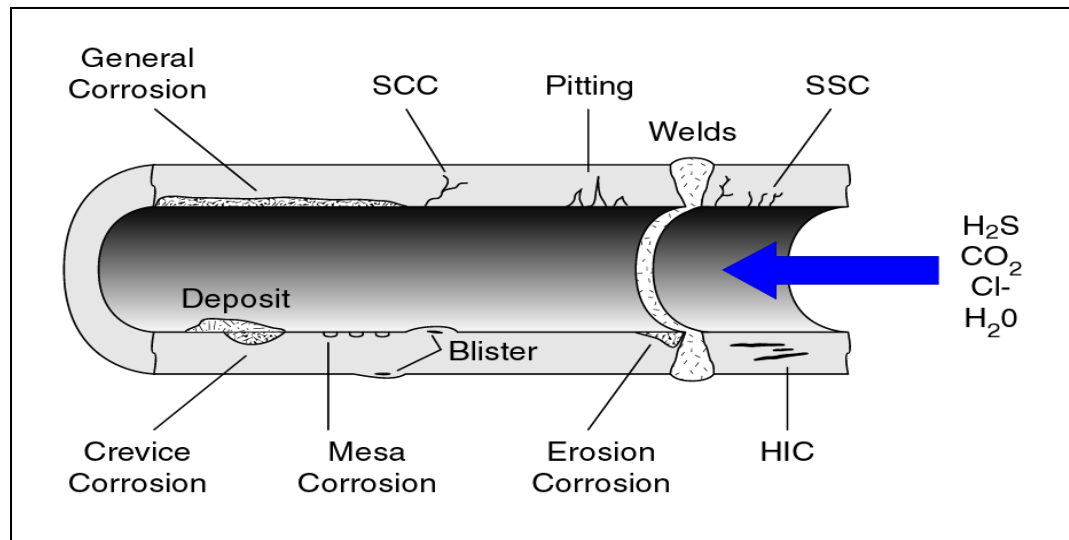
Os Smart Pigs são ferramentas normalmente compostas por:

- Cápsula eletrônica para registro de dados;
- Cápsula de bateria para alimentar sensores e componentes eletrônicos;
- Sensores e odômetros;
- Copos para vedação e suporte;
- Transmissor para detecção.



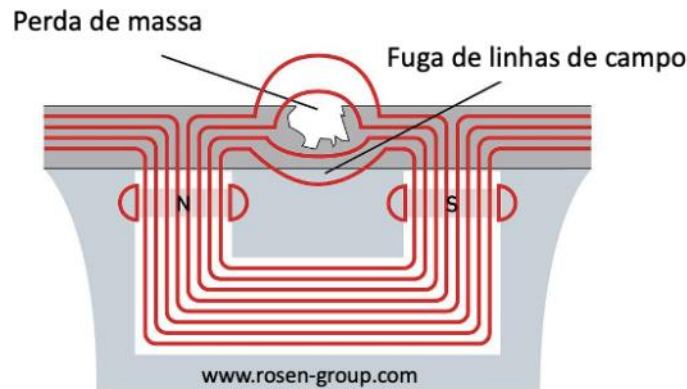
Funções:

- Geometria;
- Corrosão;
- Trincas;
- Inercial (Mapeamento);
- Detecção de Vazamentos.



Tecnologias de Inspeção:

- MFL – Magnetic Flux Leakage
- UT – Ultrassom
- DMC – Differential Magnetic Coil
- RFEC – Remote Field Eddy Currents
- PEC – Pulsed Eddy Currents



PIG Geométrico



- Pig Instrumentado para detectar e medir a geometria interna da tubulação.
- Eles utilizam sensores de ângulo dentro ou fora dos copos da tubulação que se desviam ao passar por restrições.
- Eles passam por restrições de até 25% e curvas de 1,5D.
- Verificação da passagem de outras ferramentas, como MFL e UT.
- Inspeção de tubulações durante construção e operação onshore/offshore.

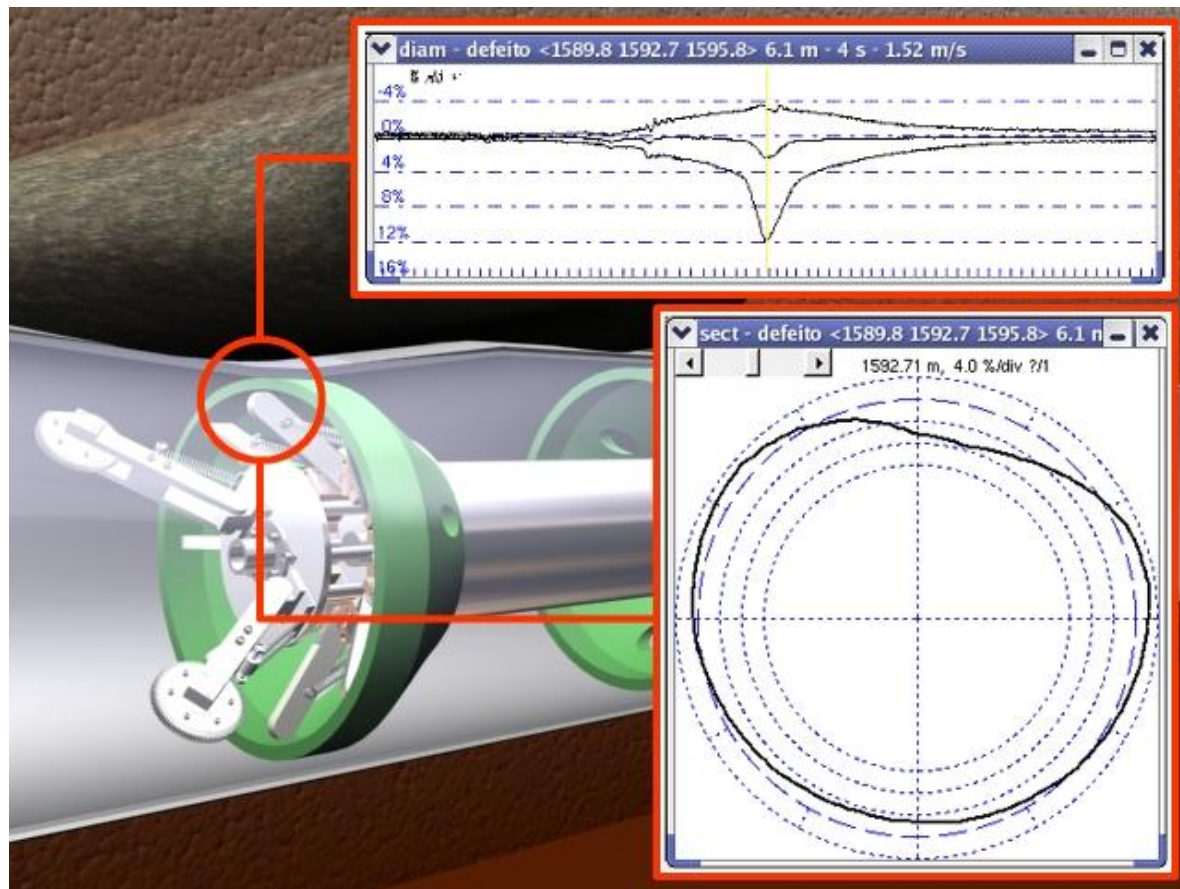
Indicações Geométricas:

- Ovalização
- Amassado
- Amassado com Ovalização
- Perfuração
- Alterações de Espessura
- Soldas Circunferenciais
- Válvulas
- Tê...



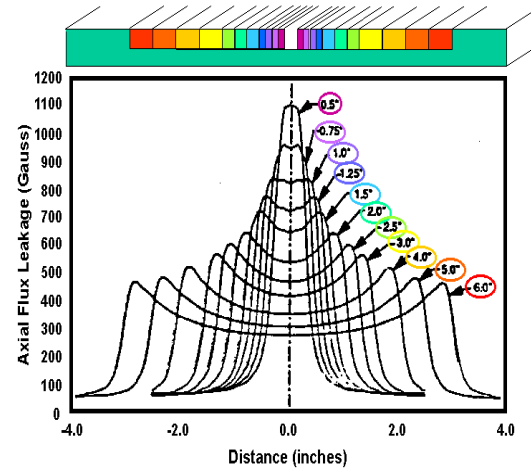
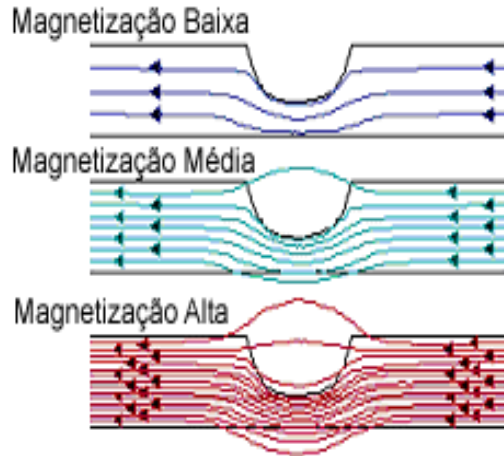
Exibição do sinal:

- Sensores Individuais
- Vista em Corte
- Vista do Diâmetro



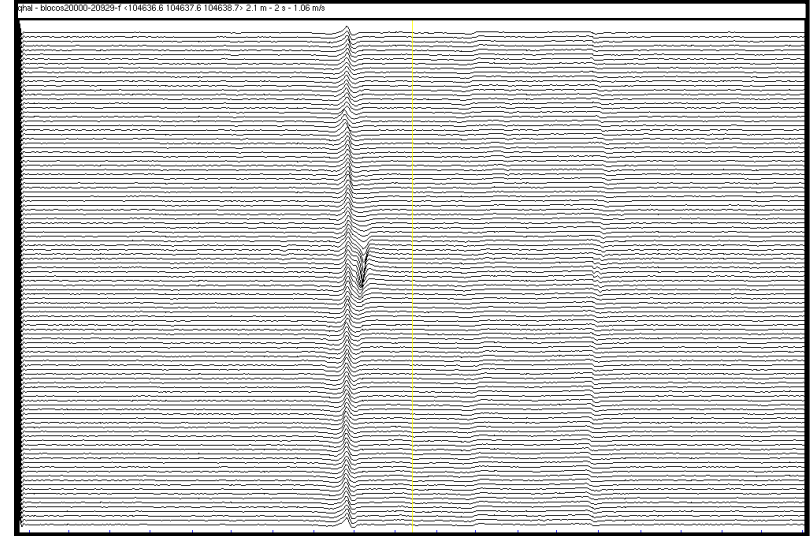
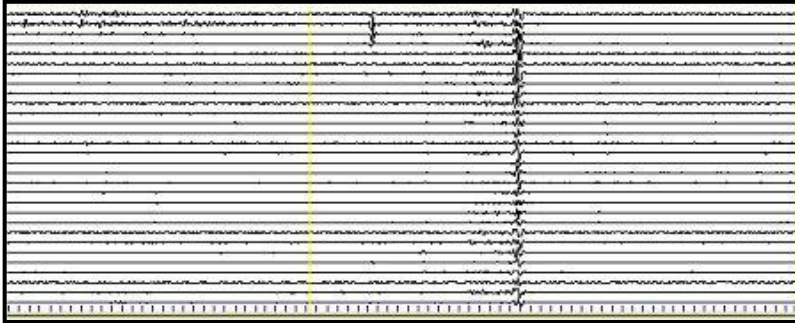
PIG MFL – Magnetic Flux Leakage

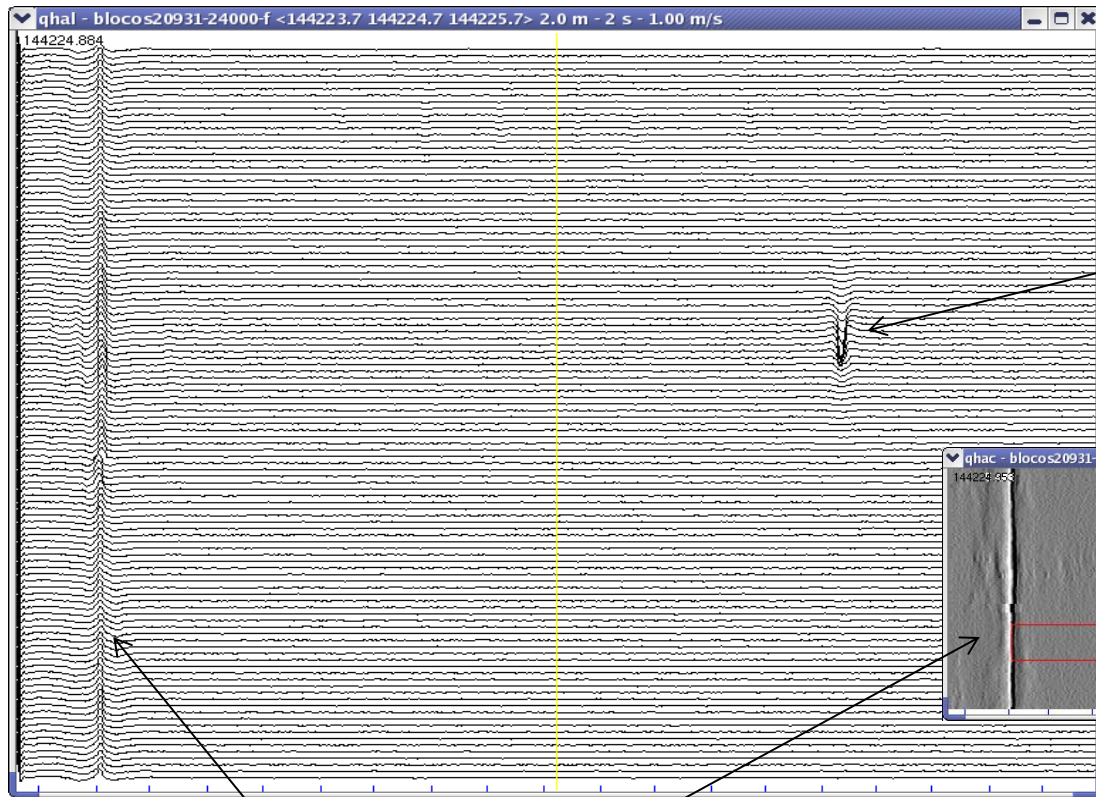
- A parede do tubo deve estar magneticamente saturada para que exista um campo de vazamento.
- O campo de vazamento varia com a geometria da perda metálica.



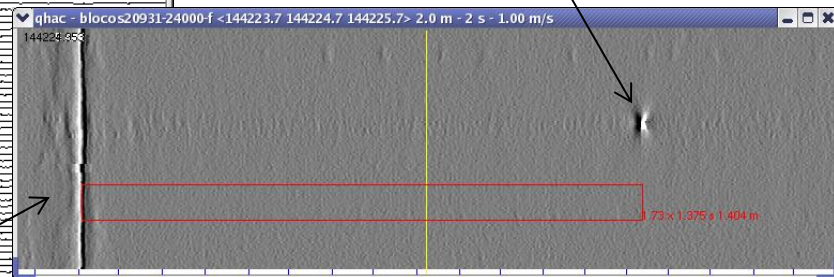
MFL Alta resolução Sensores a cada 7-10mm

MFL Baixa resolução Sensores a cada 40-150mm

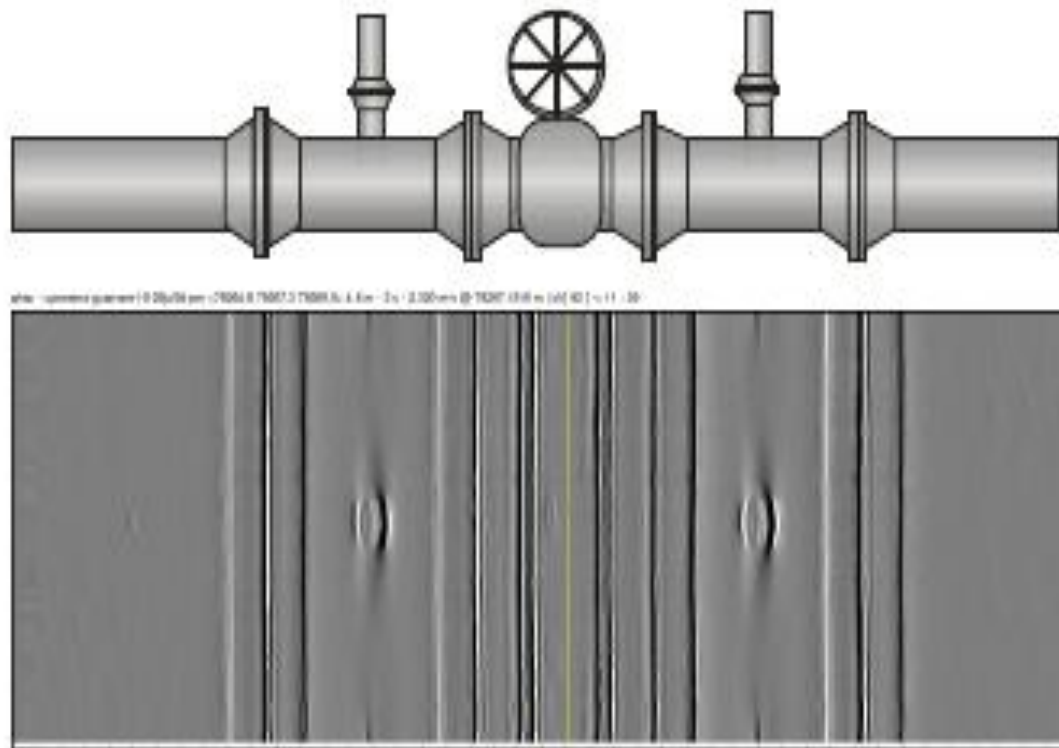




Corrosão



Solda circunferencial



Área de válvulas

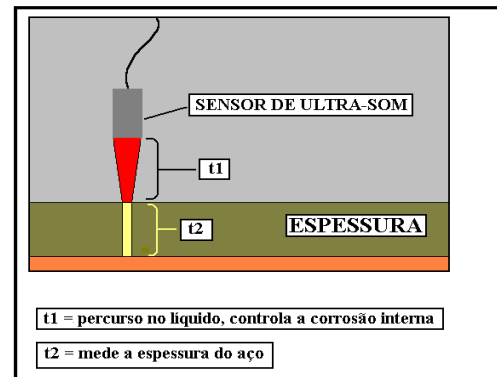
PIG UT – Ultrassom

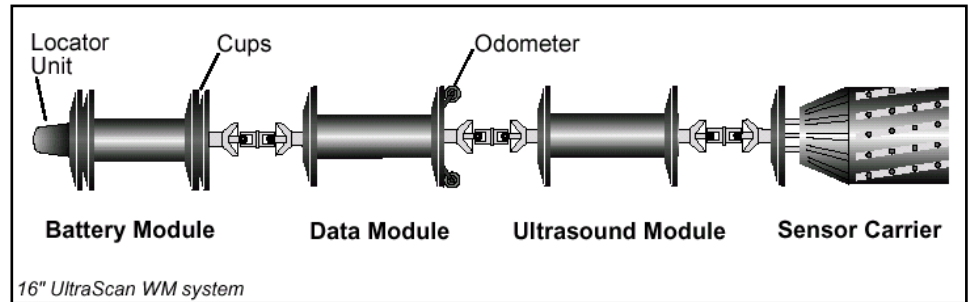
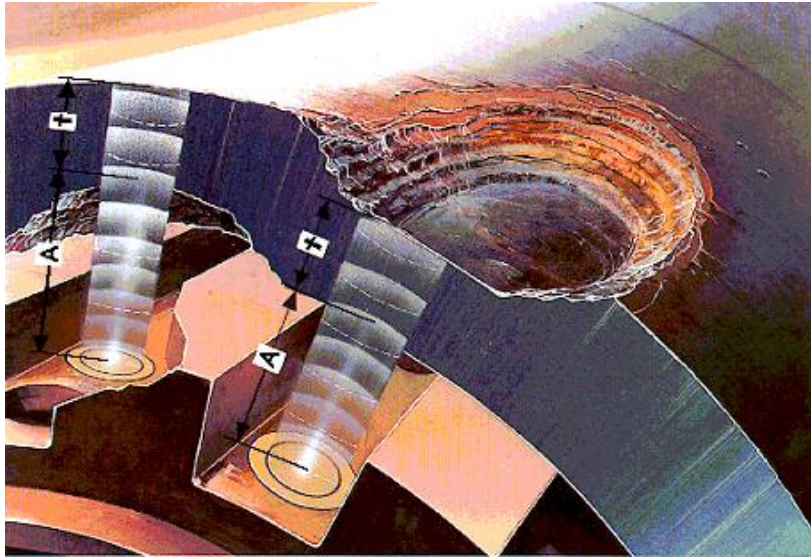
PIG Instrumentado para detecção, dimensionamento, discriminação (interna e externa) de perdas metálicas, através da técnica de Ultrassom.



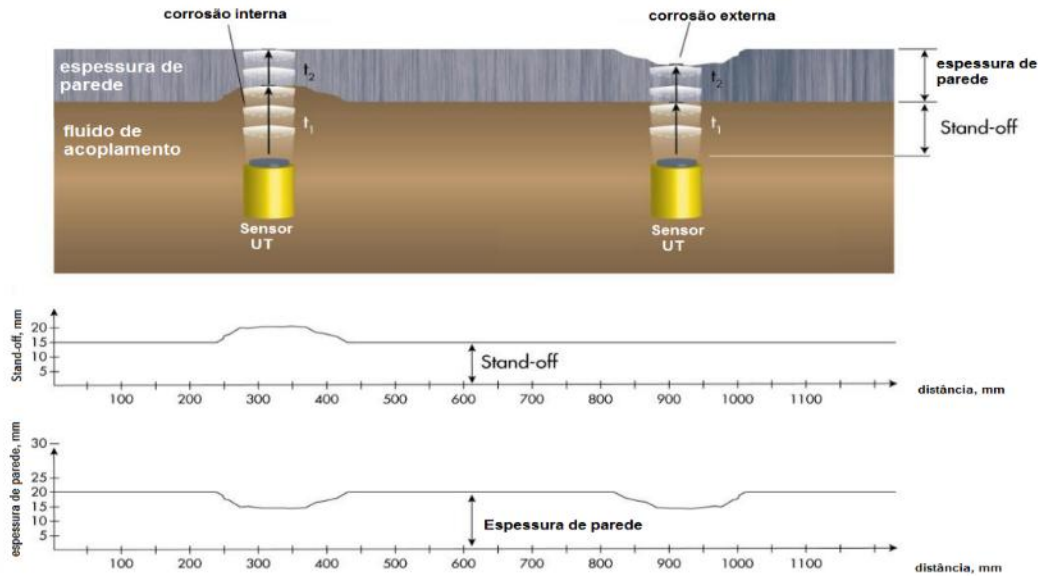
Um sensor ultrassônico emite sinais perpendiculares à superfície interna do tubo e recebe ecos das superfícies interna e externa (t_1 e t_2).

- **Requer um meio líquido para transmissão.**
- **Medição direta de perda de metal.**





Princípio de medida

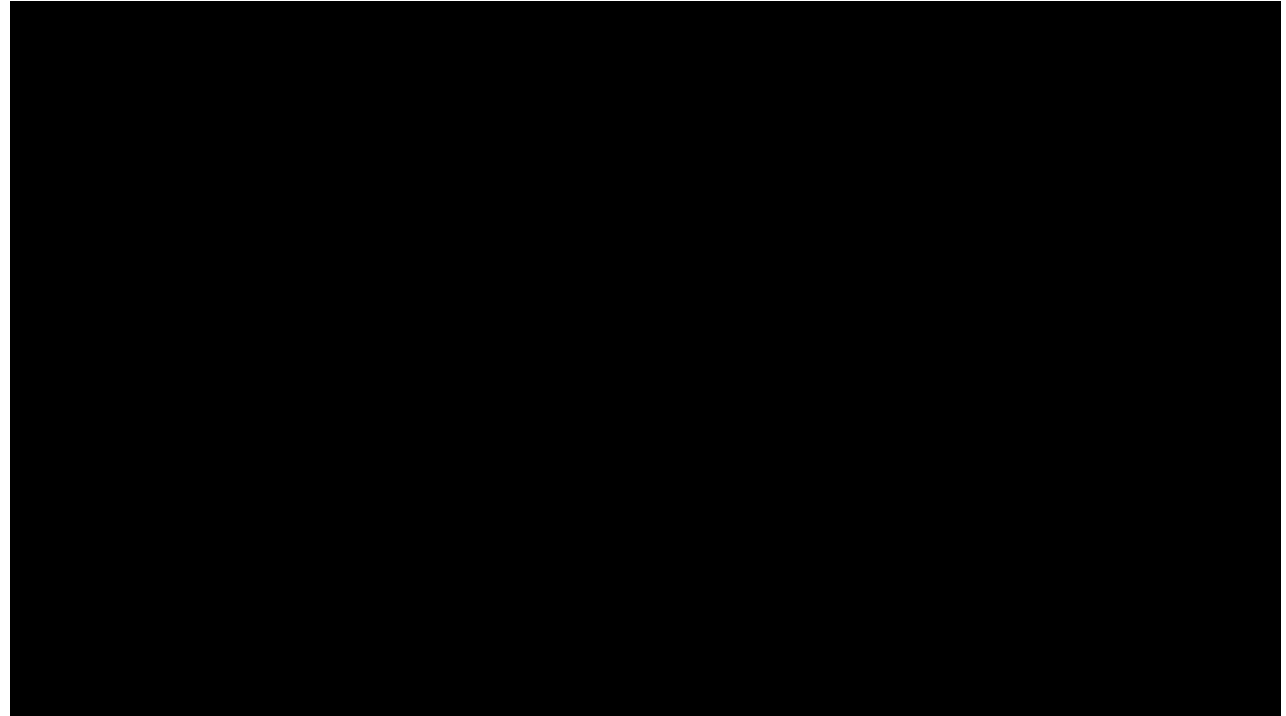


Exibição do sinal:

- Melhor desempenho em baixas velocidades
- Utilize preferencialmente líquidos com baixa atenuação ultrassônica.
- Evite o uso de produtos pesados: óleo bruto pesado, óleo bruto lubrificante, etc.
- O resultado depende de uma boa limpeza interna.
- Especificações típicas:
 - Precisão de medição: $\pm 0,2$ mm;
 - Precisão de profundidade: $\pm 0,4$ mm;
 - Precisão de largura e comprimento: ± 10 mm



ART (Acoustic Resonance Technology)



<https://www.youtube.com/watch?v=hwTminlbExs>

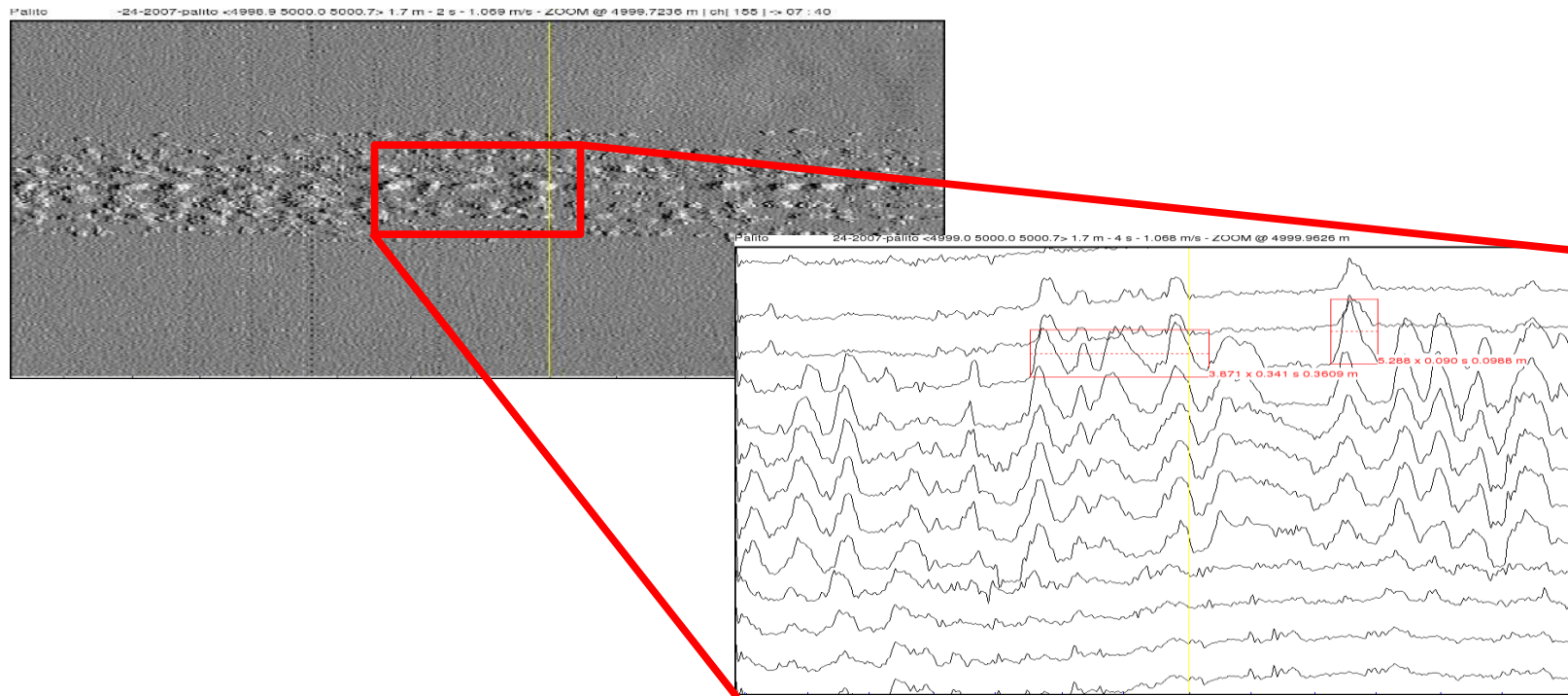
PIG Palito

PIG Instrumentado para detecção e dimensionamento de perda de metais, através de contato direto com a parede interna da tubulação.



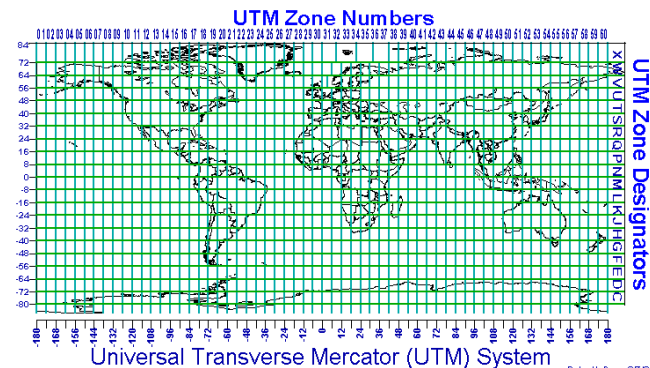
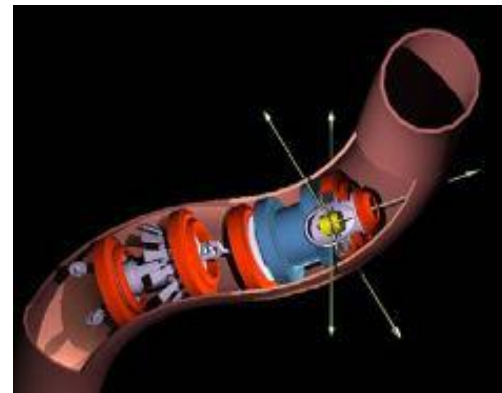
- Inspecciona tubulações com corrosão interna generalizada;
- Tubos com múltiplos diâmetros;
- Tubos com restrições de geometria;
- Espessuras maiores que 2,5 cm;
- Limitações com MFL e UT.

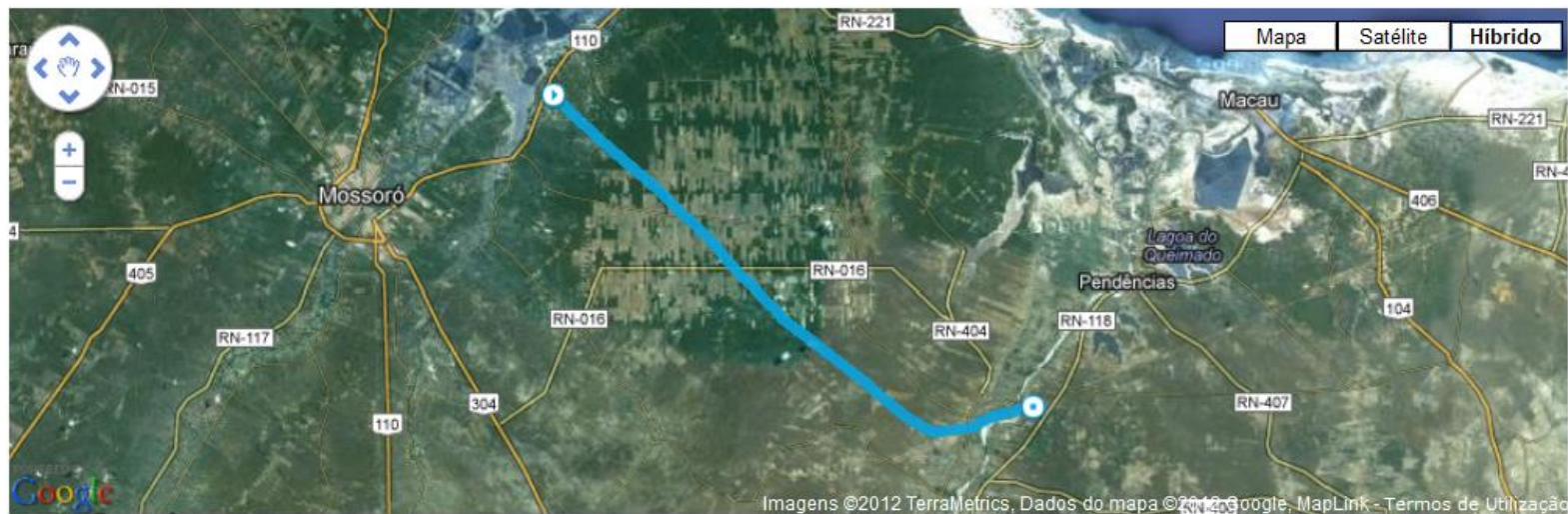
Corrosão generalizada



PIG Inercial (Mapping)

- Mapeamento de dutos com coordenadas geodésicas
 - Latitude, Longitude – UTM
- Alguns dutos mais antigos têm pouca informação sobre seu traçado.
- Detecção de movimento do duto em comparação com a rota original.
 - Movimento e deslizamentos
- Correlação com relatórios de Geometria e Corrosão.
 - Localização de anomalias com coordenadas geodésicas.





PIG detector de vazamento

- Pig instrumentado com sensores de pressão ou acústicos para detecção de vazamentos:
 - Por pressão diferencial
 - Por ruído de vazamentos



OBJETIVO DA INSPEÇÃO	Tipos de Pig Instrumentado								
	Geo	MFL	UT	Inercial	Perfil Temp e Pres.	Umbilical	UT - Trincas	MFL - Trincas	Vazamento
AMASSAMENTOS	X								
MOSSAS	X								
OVALIZAÇÃO	X								
GAUGE, ENTALHES, SULCOS		X	X			X			
DOBRAMENTO (BUCKLE)	X								
EROSÃO INTERNA		X	X			X			
TRINCAS							X	X	
RAIOS DE CURVATURA	X			X					
CORROSÃO INTERNA		X	X			X			
CORROSÃO EXTERNA		X	X			X			
FALHAS NO REVESTIMENTO ISOLANTE TÉRMICO					X				
VALORES DE PRESSÃO E TEMPERATURA					X				
MUDANÇA DE TRAÇADO				X					
PEQUENOS VAZAMENTOS									X
EMPOLAMENTO	X		X						
ACESSÓRIOS DO DUTO	X	X	X						

Considerações finais

- A segurança, a eficiência e a capacidade de entrega dos dutos, tal qual outros modais de transporte, demandam planejamento e gestão de riscos.
- As técnicas de inspeção por pig são parte importante das atividades de gestão de integridade de dutos.
- As diferentes técnicas de inspeção possuem características complementares e uma avaliação do histórico de cada duto se faz necessária na seleção das metodologias mais adequadas.



Rio de Janeiro
Section

TERMINAL TECH 2025 SECURITY E SAFETY

27 de outubro de 2025
IBMEC – Campus Centro

Av. Pres. Wilson, 118 - 10º Andar - Auditório - Centro - Rio de Janeiro/RJ