

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

Características das técnicas intrusivas e não intrusivas para monitoração de corrosão interna

Heitor Ruschmann^a, Caio Pissolato^b, Anna Maria Carvalho^c

Abstract

Corrosion is one of the main failure causes on refineries, pipelines and equipments in oil rigs. These failures leads to expensive unexpected maintenance costs and plant shutdowns making the corrosion monitoring very important, mainly the internal corrosion that is related to operating conditions and to equipment integrity evaluation program. The present study presents the main characteristics of the instrumentation used on internal corrosion monitoring, considering the advantages and limitations of each technique, intrusive or non-intrusive as: sensibility, localized corrosion detection, process conditions and recommended installation location. Wire & wireless communication alternatives are presented.

Keywords: corrosion, monitoring, intrusive, non-intrusive, localized.

Resumo

A corrosão é uma das principais causas de falhas em refinarias, tubulações e equipamentos de plataformas de produção de petróleo. Essas falhas acarretam altos custos de manutenção e indisponibilidade da planta, fazendo com que seja de suma importância o monitoramento do processo corrosivo, principalmente a corrosão interna, que está associada às condições operacionais do processo e ao Programa de Avaliação de Integridade de Equipamentos. O presente trabalho apresenta as principais características de instrumentos utilizados na monitoração da corrosão interna, considerando as vantagens e limitações das técnicas intrusivas e não intrusivas como: sensibilidade, detecção de corrosão localizada, condições de processo e locais de instalação recomendados. Alternativas de sistemas de comunicação com fio e *wireless* (*offline* e *online*) serão discutidos.

Palavras-chave: corrosão, monitoramento, intrusivo, não-intrusivo, localizada.

Introdução

A corrosão é uma das principais causas de falhas em refinarias, tubulações e equipamentos de plataformas de produção de petróleo. Essas falhas acarretam altos custos de manutenção e

^a Engenheiro Mecânico – Emerson Process Management

^b Engenheiro de Petróleo – Emerson Process Management

^c MSc, Engenheira Química, Consultora – Emerson Process Management

indisponibilidade da planta, fazendo com que seja de suma importância o monitoramento do processo corrosivo, principalmente a corrosão interna, que está associada às condições operacionais do processo e ao Programa de Avaliação de Integridade de Equipamentos.

As técnicas para monitoramento da corrosão interna em tubulações e equipamentos podem ser classificadas basicamente em técnicas intrusivas e técnicas não intrusivas.

Tradicionalmente, o monitoramento da corrosão interna em tubulações e equipamentos de plataformas de produção de petróleo e refinarias é feito através de técnicas intrusivas, porém, nos últimos anos nota-se a presença cada vez maior de técnicas não intrusivas, especialmente em condições de temperatura e/ou pressões elevadas, para detecção de corrosão localizada, necessidade de maior segurança nas operações e fluidos extremamente corrosivos.

Técnicas de ultrassom e de variação do campo elétrico (Field Signature Method - FSM) tem sido incorporadas em sistemas de monitoramento da corrosão em projetos recentes.

O presente trabalho apresenta as principais características de instrumentos utilizados na monitoração da corrosão interna, considerando as vantagens e limitações das técnicas intrusivas e não intrusivas como: sensibilidade, detecção de corrosão localizada, condições de processo e locais de instalação recomendados. Alternativas de sistemas de comunicação com fio e *wireless* (*offline* e *online*) serão discutidos. A limitação ao FSM como *única técnica* não intrusiva com resultados analisados no presente trabalho se deve ao histórico de fornecimento (mais de 40 unidades já vendidas no Brasil) e acesso aos resultados de equipamentos em funcionamento.

Técnicas intrusivas

Cupom Perda de Massa

É a técnica mais utilizada e amplamente difundida. Consiste basicamente na avaliação da taxa de corrosão através da perda de massa sofrida por corpos de prova inseridos na tubulação ou equipamento a ser monitorado. Esses corpos de prova são feitos geralmente em aço carbono e podem ter formato circular (cupom disco ou *flush*) ou formato retangular (cupom retangular ou *strip*).

Através dos cupons perda de massa, é possível determinar a morfologia da corrosão (localizada e/ou uniforme) e a taxa de corrosão.

A taxa de corrosão é calculada através da gravimetria: diferença das massas do cupom, sendo a massa inicial medida antes da exposição ao meio e a massa final após o período de exposição ao meio. A diferença entre massa final e massa inicial é dividida pelo produto da densidade do metal pela área total exposta e o tempo de exposição.



Figura 1 - Cupons perda de massa do tipo disco e do tipo retangular, com suas respectivas hastes de montagem, fabricados pela Emerson.

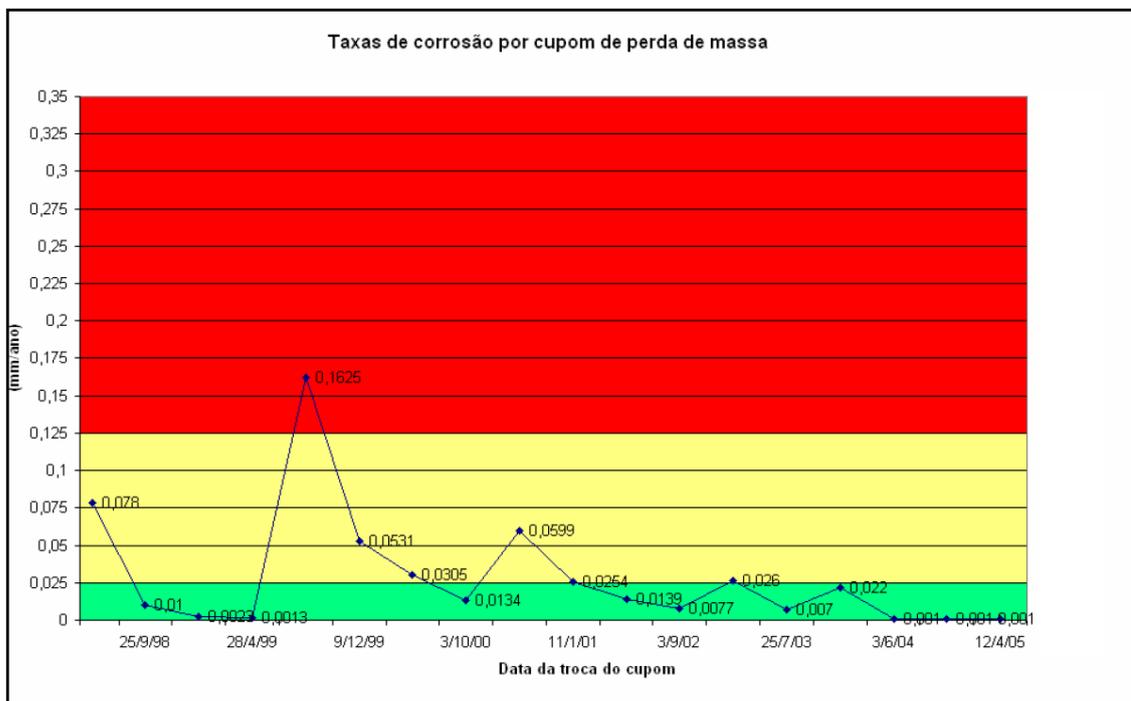


Figura 2 - taxa de corrosão obtida por cupom perda de massa.

Como limitações da técnica, podemos citar:

-Taxa de corrosão calculada é um valor médio para o período de exposição, não sendo possível correlacionar rotinas operacionais com possíveis variações da taxa dentro daquele mesmo período;

- As trocas de cupom devem ser feitas em períodos regulares, de modo que se possa comparar as taxas de diferentes cupons para um mesmo ponto de instalação. Períodos mais curtos de exposição tendem a apresentar taxas mais elevadas, visto que, assim que o cupom é exposto ao meio, a taxa de corrosão tende a ser elevada, até que seja formado uma camada passiva no metal.

Sondas Intrusivas

As sondas intrusivas para monitoração de corrosão interna são de diferentes tipos: sonda de resistência elétrica, sonda de resistência de polarização linear e sonda galvânica – especificadas de acordo com o tipo de fluido.

No presente trabalho serão abordadas apenas as sondas de resistência elétrica, por serem as mais utilizadas e geralmente instaladas em par com o cupom perda de massa. Pode-se dizer que as sondas de resistência elétrica são cupons *online* devido ao seu princípio de funcionamento. Um elemento metálico é exposto ao meio monitorado e em intervalos regulares de tempo, é imposta uma corrente de valor fixo a esse elemento e registrado a resistência a passagem da corrente. Conforme o elemento metálico perde massa, a área para a passagem de corrente (seção transversal) se torna menor, logo a resistência aumenta. Com a variação da resistência é possível inferir a perda de massa e a taxa de corrosão.

Devido ao princípio de funcionamento, faz-se necessário compensar possíveis variações de temperatura durante as medições, já que a temperatura também afeta a resistividade do elemento metálico.

Para compensar essas possíveis variações de temperatura, as sondas de resistência elétrica possuem um elemento de referência, localizado logo atrás do elemento exposto ao meio. Esse elemento de referência é encapsulado de modo que não sofra corrosão. Toda a corrente imposta ao elemento exposto é também imposta ao elemento de referência, sendo que a variação de resistência do elemento de referência se dá exclusivamente devido à temperatura. Deste modo, é possível compensar o efeito da variação de temperatura no cálculo da perda de massa e taxa de corrosão.

As sondas de resistência elétrica apresentam sensibilidade entre 0,001% e 0,01% (dependendo da espessura e projeto do elemento sensor e da instrumentação utilizada).

A grande vantagem das sondas de resistência elétrica em relação aos cupons perda de massa é a possibilidade de acompanhar a evolução das taxas de corrosão em tempo real, via software dedicado a corrosão e correlacionar essas taxas com rotinas operacionais. Os softwares disponíveis no mercado permitem ainda gerenciar com facilidade a condição das sondas e vida útil remanescente.



Figura 3 - sonda de resistência elétrica, fabricada pela Emerson.

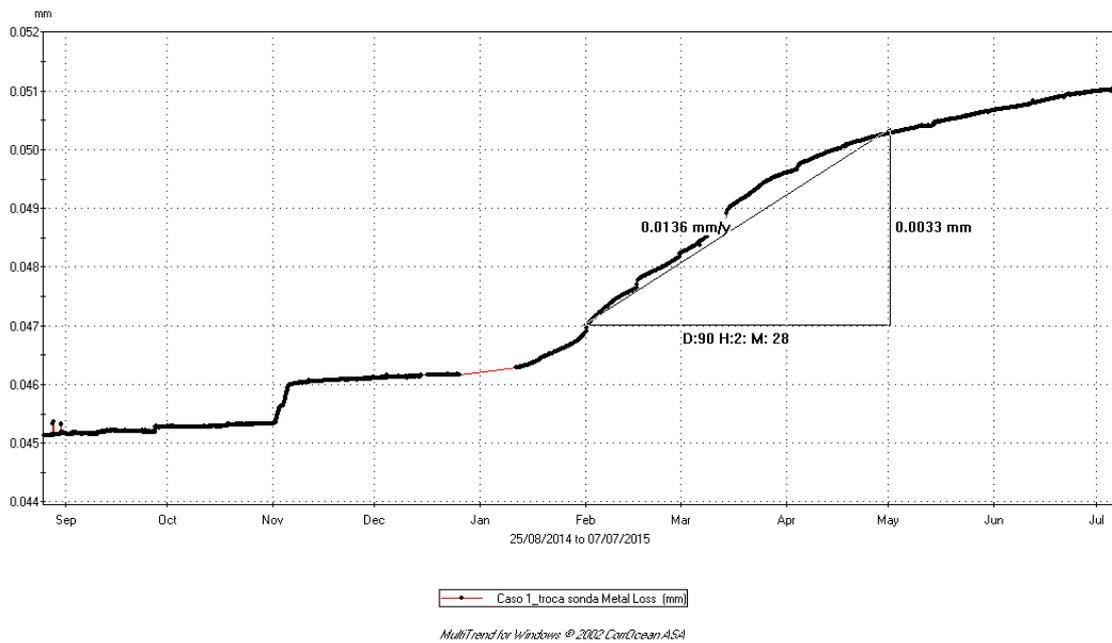


Figura 4 - gráfico perda de massa obtido através de sonda ER, incluindo informação de taxa de corrosão para período determinado de 90 dias, com dados analisados através do software MultiTrend®.

Como limitações da técnica, podemos citar:

- não detecta corrosão localizada;
- dependendo da geometria do elemento sensor, depósitos condutores podem levar a falsas leituras (exemplo: depósito de sulfeto de ferro em sonda com elemento em “S”);
- variações bruscas de temperatura no processo podem levar a leituras ruidosas.

Técnicas não intrusivas

Técnica de Monitoração de Corrosão Interna por Ultrassom

As técnicas não intrusivas baseadas em ultrassom utilizam sensores capazes de emitir e receber feixes de ondas ultrassônicas. A utilização do ultrassom para detecção de perda de metal está baseada na tecnologia pulso-eco. Os transdutores emitem a onda ultrassônica e medem o tempo de trânsito necessário à mesma para sofrer o efeito de reflexão na parede interna do duto e retornar ao transdutor. Os sensores são conectados através de um cabo a um *data logger*, que transmite os dados para um computador, aonde é possível o registro e tratamento dos dados.

Por suas características, a detecção por ultrassom do processo corrosivo é marcadamente pontual ou localizada, ou seja, sua área de atuação é limitada e restrita às cercanias do sensor. O mercado dispõe de diferentes instrumentos para monitoração de corrosão interna utilizando a técnica por ultrassom.



Figura 5 - instrumento baseado em tecnologia ultrassônica Rightrax, fabricado pela GE.

Técnica de Monitoração de Corrosão Interna pela Variação do Campo Elétrico (FSM)

FSM, acrônimo de Field Signature Method, é uma técnica não intrusiva baseada na variação do campo elétrico que vem se popularizando no Brasil nos últimos anos, devido ao seu uso nos projetos mais recentes aonde o monitoramento da corrosão interna por meio de uma técnica não intrusiva é necessário.

O princípio de funcionamento é similar ao de uma sonda de resistência elétrica, porém, ao invés de ter um sensor pontual instalado na tubulação ou equipamento, toda uma seção da tubulação ou equipamento é utilizada como sensor, e as leituras são baseadas no potencial de cada região (V) ao invés da resistência à uma determinada corrente, como ocorre nas sondas de resistência elétrica.

Por ser uma técnica não intrusiva, não existe uma limitação em relação à pressão de trabalho do duto ou equipamento, e é possível monitorar mesmo em situações de alta temperatura (até 500°C). Também por ser uma técnica não intrusiva, permite a monitoração em fluidos tóxicos (H₂S) e extremamente corrosivos (ácidos, etc).

Devido ao princípio de funcionamento, o FSM possibilita mapear toda uma região do duto ou equipamento. Nessa região selecionada, é instalada uma matriz de pinos. O número total de pinos e sua distribuição no duto varia de acordo com a região a ser monitorada. Usualmente, as matrizes tem entre 64 e 320 pinos, podendo abranger toda a circunferência do duto ou apenas geratriz inferior, ou ainda combinações como: fazer toda a circunferência em uma região de solda (zona termicamente afetada (ZTA) e adjacências) e seção de maior comprimento linear na geratriz inferior.



Figura 6 - matriz de pinos sendo instalada, durante a montagem de instrumento FSM fabricado pela Emerson.

Será imposta uma certa corrente elétrica na região aonde a matriz foi instalada, e os diferentes pares de pinos serão monitorados no tocante ao seu potencial elétrico.

A corrente elétrica imposta ao duto/equipamento tende a se distribuir com uma densidade de corrente constante. Logo, regiões que apresentem uma perda de espessura terão seu potencial modificado já que menos linhas de corrente passarão por aquela região.

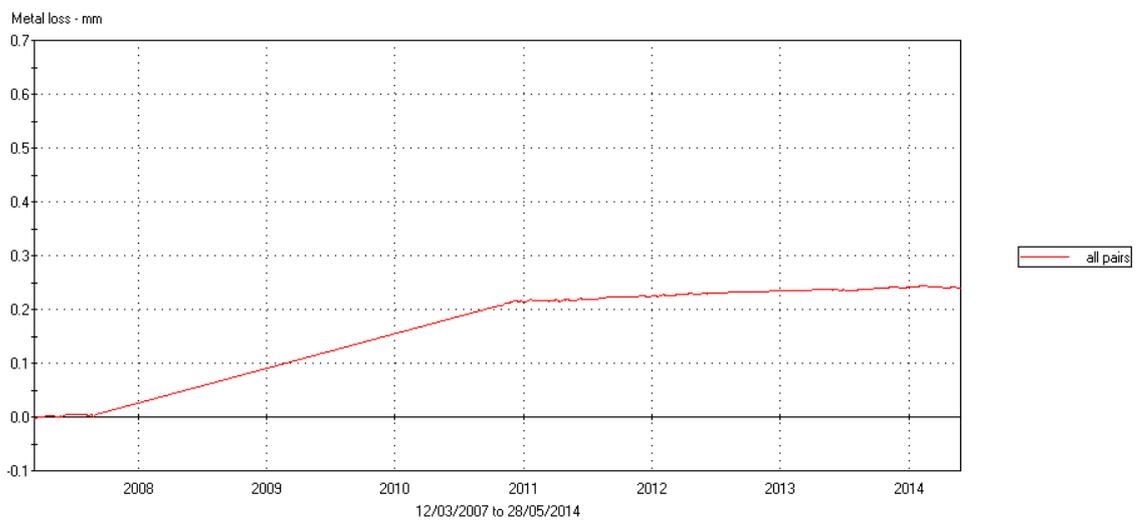
Quanto menor a espessura remanescente, menor a quantidade de correntes passando naquela região, logo maior alteração do potencial elétrico.

As linhas de corrente que se desviam de uma região de menor espessura transitam por uma região adjacente, de espessura maior que a região afetada, logo é possível, através do mapeamento dos diferentes pares de pinos, determinar a região afetada. Ainda considerando o potencial nos pares de pinos, é possível inferir a espessura de metal já consumida.

Com essa técnica, é possível determinar a perda de metal, seja ela uniforme ou localizada, bem como saber exatamente qual a área atacada, dentro da região monitorada.

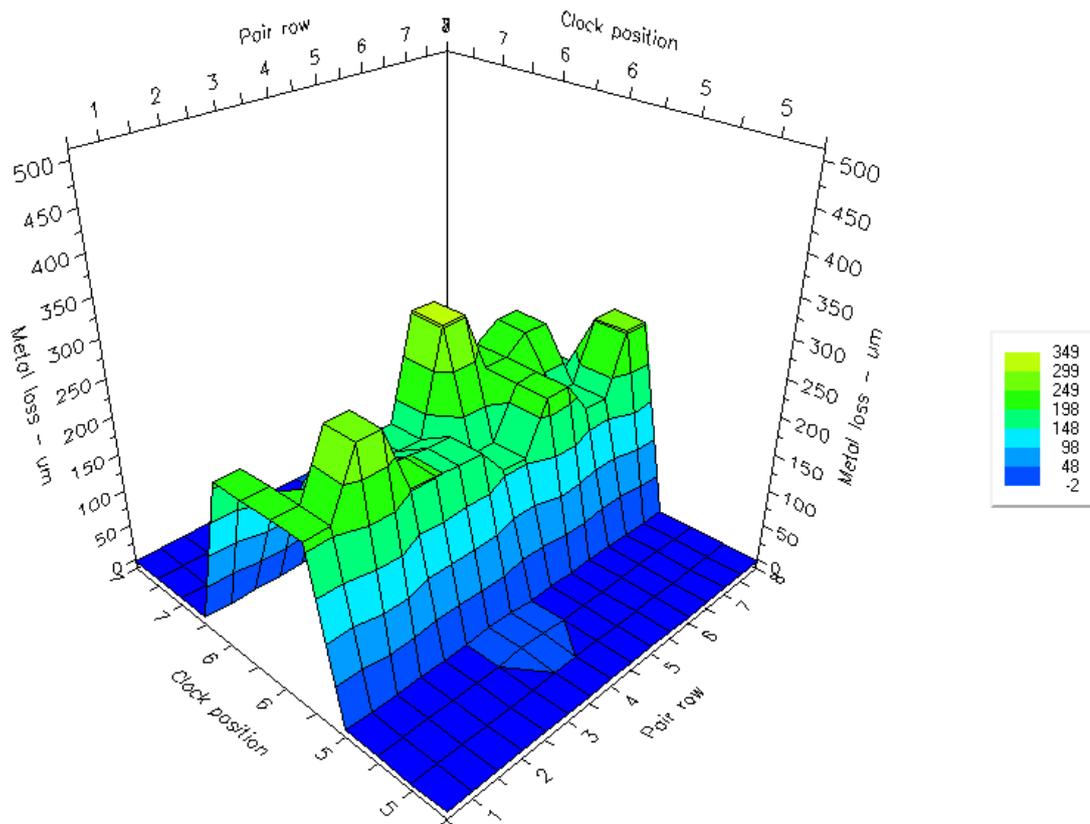


Figura 7 - matriz de pinos sendo finalizada, durante a montagem de intrumento FSM fabricado pela Emerson.



FSMTrend for Windows © 2007 CorOcean ASA

Figura 8 - gráfico XY da perda de massa obtido através de FSM. O valor da perda de massa representada neste gráfico é a perda de massa média para a região monitorada. Dados analisados através do software MultiTrend®.



MultiTrend for Windows © 2002 CorroOcean ASA

Figura 9 - gráfico 3D da perda de massa obtido através de FSM. Fica evidenciada corrosão localizada na geratriz inferior (posição 6 horas). Dados analisados através do software MultiTrend®.

Como limitações da técnica, podemos citar:

- sensibilidade mais baixa, quando comparada à técnica intrusiva, porém com resultados quantitativos conforme descritos nas linhas a seguir.
- maior dificuldade na interpretação dos dados, quando comparada à técnica intrusiva de sondas de resistência elétrica.

Técnicas intrusivas vs não intrusivas

Quanto ao conceito

Pelo princípio de funcionamento das técnicas descritas acima, fica latente a grande diferença de conceito sobre o quê está sendo monitorado: enquanto as técnicas intrusivas fornecem dados sobre a agressividade do fluido num determinado ponto, as técnicas não intrusivas além de possibilitar monitorar a agressividade do fluido também fornecem dados sobre a perda de espessura real medida em uma determinada região, conforme esquemas abaixo.

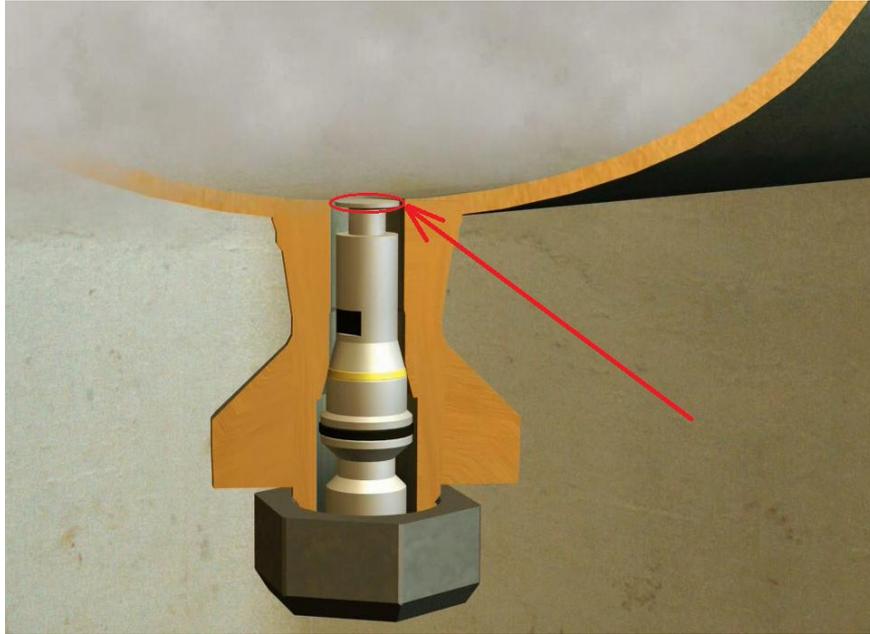


Figura 10 - esquemático representando a monitoração intrusiva (cupom ou sonda), com a região do sensor grafada em vermelho.



Figura 11 - esquemático representando a monitoração não intrusiva por meio de equipamento ultrassônico Rightrax, com a região dos sensores grafadas em vermelho.

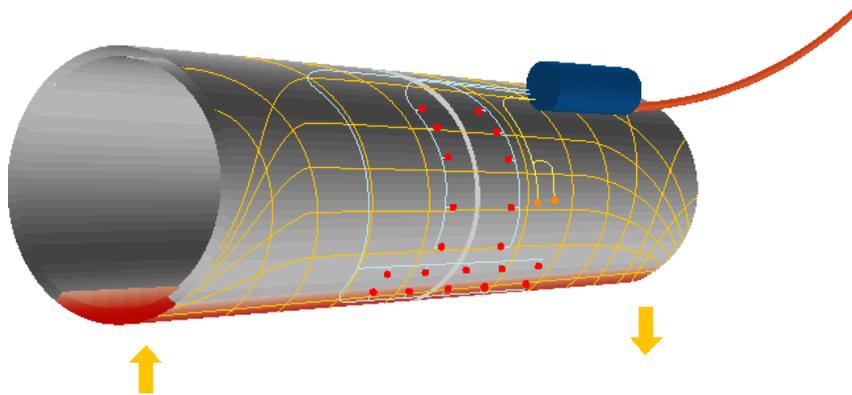


Figura 12 - esquemático representando a monitoração não intrusiva por meio de equipamento de modificação do campo elétrico FSM, com a região monitorada delimitada pelos pontos vermelhos.

Quanto a presença de depósitos

Através dos resultados obtidos no monitoramento intrusivo é possível medir a perda de massa de um cupom ou sonda de resistência elétrica. Porém, o valor obtido não é necessariamente a perda de massa observada na parede do duto ou equipamento naquela mesma seção. Faz-se necessário levar em consideração diferentes fatores relacionados à instalação que está sendo monitorada, dentre os quais podemos citar a formação de depósitos na parede do duto/equipamento: os corpos de prova utilizados no monitoramento por meio de técnica intrusiva são substituídos regularmente – no caso dos cupons, a substituição se deve ao fato de que é preciso retirar o corpo de prova para cálculo dos resultados e, no caso das sondas, a substituição se dá ao término da sua vida útil (consumo total do elemento sensor exposto).



Figura 13 - depósitos formados na superfície de cupom retangular, exposto ao meio por 14 meses.

Logo, a condição encontrada no corpo de prova não é a mesma condição da parede do duto/equipamento monitorado, no tocante à depósitos formados. Esses depósitos que se formam na parede do duto/equipamento podem proteger e retardar a corrosão ou em alguns casos acelerar a corrosão. Como o corpo de prova é substituído em intervalos regulares, não é possível recriar as condições existentes na parede do duto/equipamento, logo o resultado obtido através do monitoramento por meio de técnicas intrusivas é muitas vezes um resultado qualitativo, que indica a tendência em relação ao meio monitorado.

Mesmo quando utilizando sondas de resistência elétrica, em que o tempo de exposição pode ser mais prolongado, não é possível ter certeza de que os depósitos ali formados são os mesmos presentes na parede do duto/equipamento monitorado, de modo que, por meio da técnica intrusiva, não conseguimos contornar o problema em questão.

Adotando técnicas não intrusivas, é possível contornar esse fator, já que nas técnicas não intrusivas todas as características do material e depósitos formados são levados em consideração. A leitura obtida é a perda de massa real da seção monitorada.

Tipo de corrosão detectada (morfologia):

Os cupons perda de massa permitem a caracterização da forma de corrosão (uniforme ou localizada) através da inspeção visual, e ainda quantificação de pites no caso de corrosão localizada.

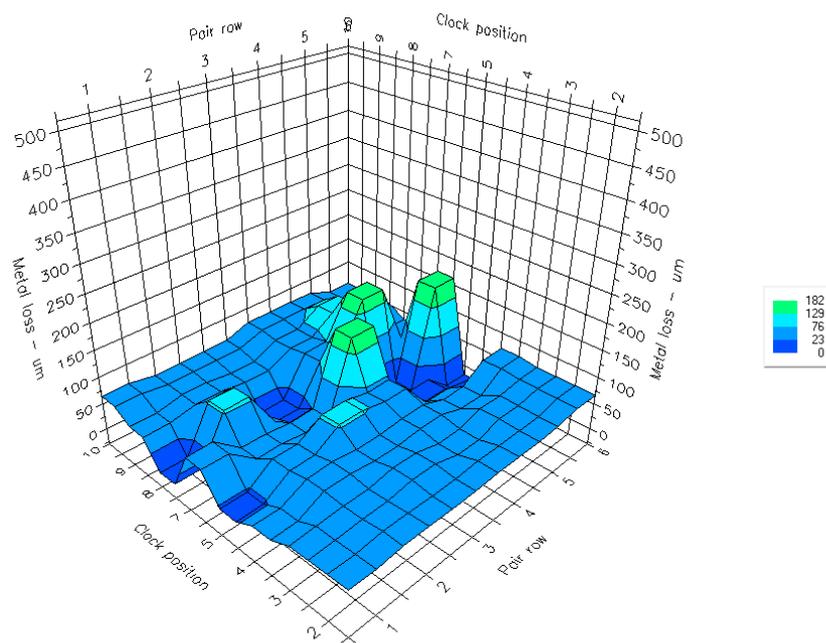


Figura 14 - cupom tangencial com presença de pites, após exposição ao meio.

O mesmo não acontece com as sondas de resistência elétrica. Pelo princípio de funcionamento das sondas, não é possível diferenciar se a taxa de corrosão apresentada se refere a uma corrosão localizada ou uniforme.

No caso de uma corrosão localizada no elemento exposto, a seção transversal do elemento reduz drasticamente e haverá indicação de uma alta taxa de corrosão, e prejuízo da vida útil da sonda.

No caso das técnicas não intrusivas, o FSM permite diferenciar a morfologia da corrosão na área monitorada, através do gráfico 3D, em que a região monitorada é representada de forma planificada ou ainda com gráficos XY de cada um dos pares de pinos. Dessa maneira é possível determinar a área atacada e espessura consumida.



MultiTrend for Windows © 2002 CorOcean ASA

Figura 15 - indicação de corrosão localizada por meio de gráfico 3D em três diferentes áreas de uma matriz monitorada por equipamento não intrusivo FSM. Dados analisados através do software MultiTrend®.



FSM/Trend for Windows © 2007 CorOcean ASA

Figura 16 - indicação de corrosão localizada a partir de 2015 por meio de gráfico XY em pares de pinos de uma determinada matriz monitorada por equipamento não intrusivo FSM. Dados analisados através do software MultiTrend®.

Quanto a Sensibilidade:

O conceito de sensibilidade de uma técnica de monitoramento da corrosão pode ser traduzido como a velocidade em detectar a perda de massa no duto ou equipamento monitorado.

Logo, quanto maior a sensibilidade do instrumento, mais rápido um processo corrosivo pode ser detectado.

Para os cupons perda de massa, em que é necessário levar o cupom para análise em laboratório, não faz sentido falar em sensibilidade. O cupom é, por definição, um método *offline*.

No caso das sondas de resistência elétrica, a perda de massa detectada é no sensor em si, conforme mencionado anteriormente. Apresentam alta sensibilidade, com resolução entre 10 nm e 100 nm, dependendo do modelo de sonda utilizado. As respostas rápidas dessa técnica fazem com que seja a mais indicada em casos que velocidade de resposta seja crucial (exemplo: teste de inibidor de corrosão).

Para sistemas baseados na tecnologia ultra-sônica, a sensibilidade não é tão alta, com resolução declarada entre 10 μm e 100 μm .

Já o FSM tem uma sensibilidade um pouco superior à apresentada pelas técnicas não intrusivas, com sensibilidade em função da espessura do material monitorado – 0,05% a 0,1% da espessura monitorada. Para uma espessura de parede de 10 mm, a sensibilidade fica entre 5 μm e 10 μm .

A sensibilidade para detectar corrosão localizada com o FSM está relacionada ao espaçamento entre pinos da matriz. Geralmente a matriz tem espaçamento de pinos de 3 vezes a espessura do duto na região monitorada. Reduzindo esse espaçamento, aumenta-se a sensibilidade para corrosão localizada, com prejuízo da área total a ser monitorada.

Quanto a operacionalidade das técnicas:

A rotina de operação das diferentes técnicas tem um fator decisivo quando da seleção de qual técnica utilizar em diferentes equipamentos/dutos e sua localização.

Em locais de difícil acesso, é importante selecionar técnicas em que os dados possam ser acessados remotamente. No caso de dutos operando em alta pressão, temperatura ou com meios ácidos, a intervenção para troca e manutenção de sensores intrusivos é indesejável, fazendo com que a escolha seja restrita às técnicas não intrusivas.

Seguem comentários relacionados à rotina de operação para cada uma das técnicas mencionadas:

Cupons perda de massa:

Os cupons, conforme já mencionado, são caracterizados como uma técnica *offline*, sendo necessário uma intervenção para retirada do cupom e posterior análise em laboratório para cálculo da perda de massa e taxa de corrosão. Essa intervenção é feita através de tomadas de acesso, comumente instaladas na geratriz inferior dos dutos.

No caso de dutos enterrados, é necessário a construção de uma caixa de concreto (caixa de inspeção) para que se tenha acesso à tomada de acesso.

Toda a operação de instalação e retirada do cupom é onerosa, principalmente em locais remotos já que envolve a logística de equipamentos e pessoal, e é comum trocas de cupom acontecerem em intervalos irregulares.



Figura 17 - operação de troca de cupom utilizando equipamento do tipo hidráulico.

Sondas de resistência elétrica:

As sondas, assim como os cupons, são instaladas em tomadas de acesso e a operação de instalação, manutenção e retirada segue o mesmo procedimento usado para a troca de cupons, logo os mesmos comentários são aplicáveis.

Os dados provenientes das sondas podem ser armazenados no próprio *logger* (sistema *stand alone*), ou enviados diretamente à uma sala de controle (ver item 4.5). No caso de um sistema *stand alone*, devem ser feitas visitas frequentes ao local da instalação, de modo a descarregar os dados armazenados no *logger* para posterior avaliação no software.

A troca da sonda deve ser feita sempre que a vida útil chegar ao fim (espessura consumida for maior que 50% da espessura nominal), o que geralmente acontece entre 1 ano a 2 anos. Uma alta taxa de corrosão pode abreviar a vida útil da sonda.

Técnicas não intrusivas:

As técnicas não intrusivas tem como característica principal dispensar qualquer visita ao campo após a instalação dos sensores, desde que um sistema de comunicação eficiente esteja disponível. Dutos enterrados, processos com alta temperatura, meios ácidos ou de alta periculosidade podem se beneficiar com técnicas não intrusivas, já que permitem um monitoramento de qualidade e sem expor a equipe de inspeção à riscos por conta de intervenções junto ao sensor.

Quanto a comunicação:

Das técnicas intrusivas, faz sentido falar de comunicação apenas para as sondas de resistência elétrica, visto que cupons perda de massa são essencialmente offline.

As sondas podem ser operadas de maneira offline, sendo os dados coletados de maneira manual, por um operador munido de *handheld*, ou ainda com um *logger*, coletando os dados de maneira automática em intervalo pré-determinado de tempo.

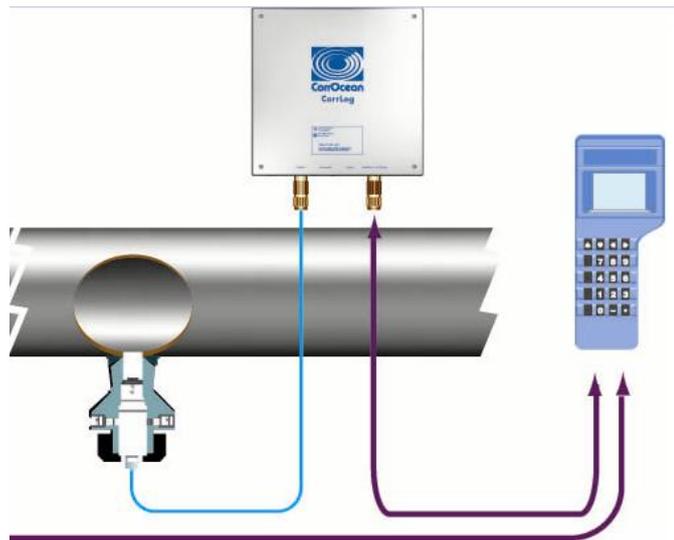


Figura 18 - esquema de logger operando de maneira offline, conectado apenas à sonda. No momento da coleta dos dados para análise, é utilizado um handheld.

As sondas podem ainda ter seus dados enviados a uma sala de controle de maneira automática, através de comunicação 4-20mA, FieldBus ou wireless (padrão wireless HART). A comunicação através de loop 4-20mA é a que tem menos resolução, visto que é um padrão analógico. Nessa modalidade, não é possível obter remotamente informações de diagnóstico (exemplo, saúde da sonda e vida útil), apenas a informação da perda de massa é disponibilizada, e com pouca resolução. Já as comunicações por meio de loop Fieldbus ou via sistema wireless são digitais, com boa resolução. Nessas modalidades, é possível acessar todas as informações de diagnóstico remotamente.

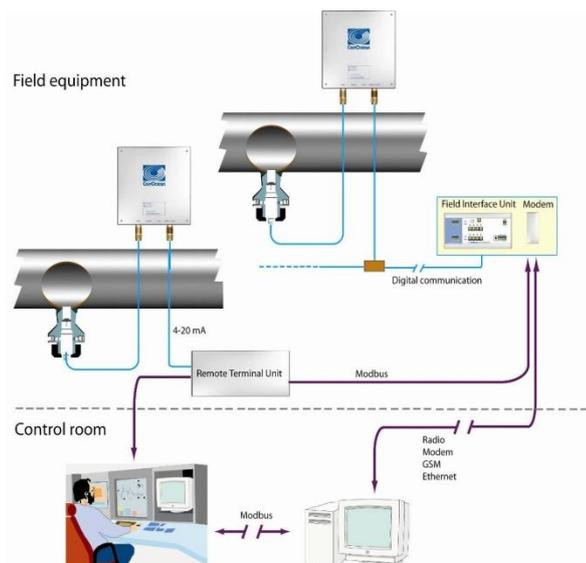


Figura 19 - esquema de comunicação via loop FieldBus.

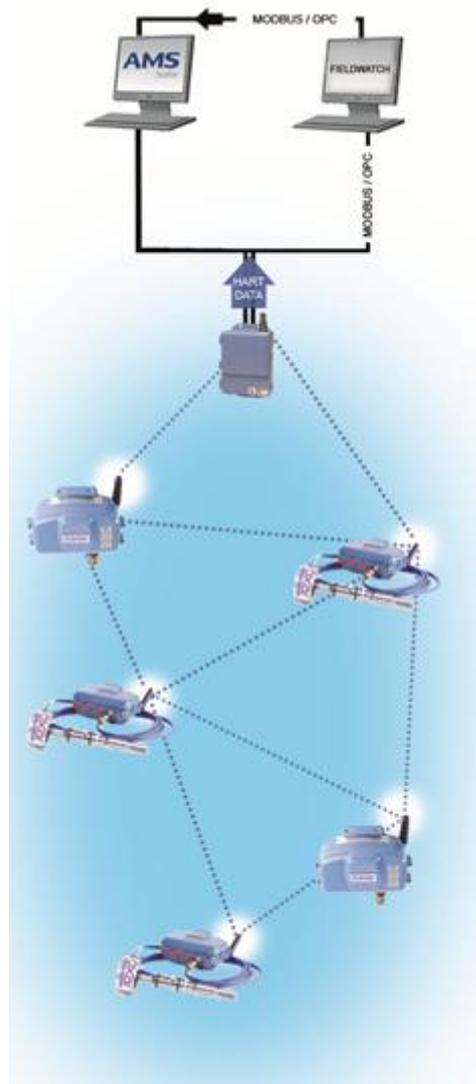


Figura 20 - esquema de comunicação via wireless. Importante ressaltar que cada instrumento funciona como repetidor para os outros instrumentos da rede, facilitando a implementação.

Em instalações remotas, como por exemplo caixas de inspeção localizadas na faixa de dutos, é possível montar sistemas Fieldbus aliados à painéis solares e modems para comunicação GSM ou rádio.

Vale também ressaltar a versatilidade dos recém lançados sistemas wireless, visto que, uma vez instalada uma gateway (equipamento que disponibiliza o sinal wireless para os instrumentos no campo, similar a um roteador de internet), novos loggers podem ser adicionados à rede de maneira automática, sem necessidade de cabeamento ou qualquer outra estrutura física, desde que os pontos novos estejam ao alcance da gateway.

Já as técnicas não intrusivas são geralmente utilizadas em conjunto com um sistema robusto de comunicação.

No caso das técnicas baseadas na tecnologia ultrassônica, pode-se ter a comunicação via cabo, modem ou wireless, sendo essa última limitada à sistemas não-enterrados e curtas distâncias.

No caso do FSM, é possível comunicar via cabo (serial ou TCP/IP), fibra óptica, modem ou ainda utilizar como sistema *stand alone*, aonde as informações são armazenadas no logger (até 500 leituras) para posterior *download* com laptop.



Figura 21 - FSM instalação em local remoto, energizado através de painel solar.

Quanto a temperatura da superfície monitorada:

A temperatura é um fator limitante em sistemas intrusivos de alta pressão, cuja temperatura máxima está limitada em torno de 200°C. Sistemas intrusivos de baixa pressão conseguem operar em temperaturas mais altas, na faixa de 450°C, porém dados provenientes de sondas de resistência elétrica operando nessa faixa de temperatura frequentemente apresentam muitos ruídos e baixa resolução.

Sistemas não intrusivos podem variar em relação a temperatura máxima de monitoramento, dependendo da tecnologia empregada. Para equipamentos com tecnologia ultrassom e cabeçotes convencionais em contato direto com a superfície monitorada, a temperatura máxima fica entre 100°C e 150°C. Sistemas com tecnologia ultrassom, mas com cabeçote deslocado em relação a superfície de monitoramento (exemplo Permasense®) tem seu limite máximo de temperatura aumentado para 600°C. Sistemas baseados na variação do campo elétrico tem como temperatura máxima 500°C.

Quanto ao custo:

Sistemas intrusivos apresentam baixo custo de aquisição, porém o custo para realizar as atividades de troca é alto e existe a necessidade de gerenciar os consumíveis utilizados no monitoramento (cupons, sondas, anéis de vedação, manutenção de ferramentas).

Já sistemas não intrusivos, possuem custo de aquisição alto, porém uma vez instalados, requerem mínima ou nenhuma intervenção para se manterem em funcionamento.

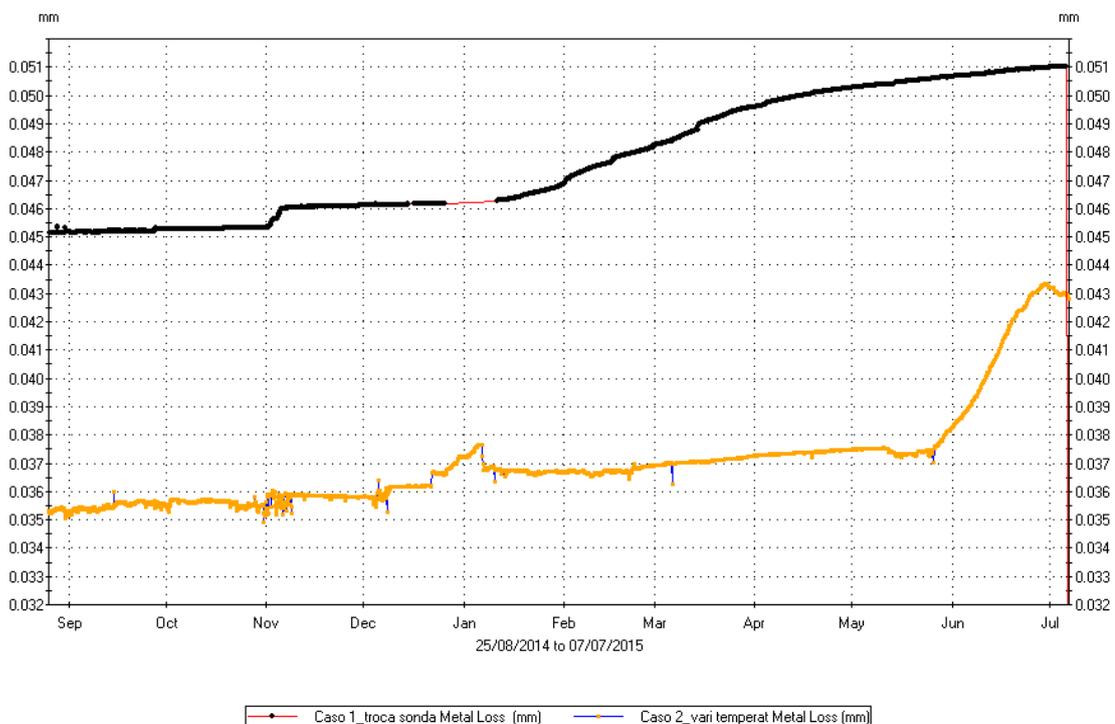
Sistemas não intrusivos baseados na tecnologia ultrassônica tendem a ser mais baratos que sistemas não intrusivos baseados na variação do campo elétrico, porém neste último, a área monitorada é maior, já que o resultado é referente a toda a região coberta pelos pinos (inclusive área entre os pinos). Já na tecnologia ultrassônica, as leituras são referentes apenas à área pontiforme na projeção do sensor. Mesmo que inúmeros sensores sejam instalados lado a lado, a área entre cada um dos sensores não é monitorada.

Quanto a análise de dados:

Diferentes softwares estão disponíveis hoje no mercado para gerenciar e analisar dados provenientes dos equipamentos utilizados no monitoramento de corrosão interna. Geralmente, o equipamento vem acompanhado de um software específico.

No caso de leituras ou resultados pontuais, como por exemplo resultados obtidos via cupom perda de massa e sonda de resistência elétrica de maneira offline podem ser alimentados em uma simples planilha, aonde pode ser feito o controle dos resultados e plotagem de gráficos para acompanhar a tendência.

Porém, é interessante o uso de softwares específicos, visto que apresentam mais recursos e permitem plotagem de gráficos mais sofisticados. Uma solução particularmente interessante é o uso do MultiTrend, que permite aquisição dos dados de sondas intrusivas e FSM em uma mesma interface. É possível ainda inserir manualmente os resultados obtidos nos cupons perda de massa e plotar os resultados em uma mesma tela. Todos os dados de diagnóstico também estão presentes, de modo que o software acaba sendo um ferramenta completa no que diz respeito aos resultados de um programa de monitoração de corrosão interna.



MultiTrend for Windows © 2002 CorTec.com ASA

Figura 22 - gráfico com informações de diferentes sondas plotados no mesmo plano XY, para análise de resultados. Gráfico gerado através do software MultiTrend®.

Conclusões

A tabela abaixo resume as principais características de cada técnica.

	Técnicas Intrusivas		Técnicas Não Intrusivas		Comentários
	Cupons	Sondas	Varição do campo elétrico	Ultrassom	
Tipo de Corrosão Detectada	Uniforme e Localizada	Uniforme	Uniforme e Localizada, em toda área da matriz	Uniforme e sob o sensor	A detecção de corrosão localizada online é um grande diferencial da técnica não intrusiva por variação do campo elétrico
Sensibilidade	N/A	10 – 100 nanômetros	0,05% a 0,1% da espessura do duto	10 – 100 micrometros	A alta sensibilidade de sondas intrusivas faz do método o mais adequado quando resultados rápidos são esperados (exemplo: teste de inibidor de corrosão)
Operação	Requer frequentes trocas do corpo de prova	Requer troca do corpo de prova. Necessário coleta de dados na ausência de sistema de comunicação.	Não requer troca esporádica de componentes. Necessário coleta de dados na ausência de sistema de comunicação.	Não requer troca esporádica de componentes. Necessário sistema de comunicação.	Sistemas intrusivos podem requerer operações complexas para garantir disponibilidade de resultados.
Comunicação	Sistema offline	Pode operar offline (stand alone) ou online. Para sistemas on line temos como opção: cabeado (4-20mA, Fieldbus) ou wireless Hart	Pode operar offline (stand alone) ou online através de sistema cabeado (Fieldbus ou TCP/IP). Modens via rádio ou GSM também estão disponíveis	Necessário sistema de comunicação, podendo ser cabeado ou wireless, dependendo do fabricante	
Opção para altas temperaturas (> 250°C)	Sim	Sim	Sim	Alguns fabricantes	Sondas intrusivas, mesmo que disponíveis para alta temperaturas, têm resultados frequentemente questionados
Custo	Baixo na implementação. Pode ter alto custo de operação dependendo da logística envolvida	Baixo na implementação. Pode ter alto custo de operação dependendo da logística envolvida	Alto na implementação. Baixo custo de operação	Custo médio de implementação. Pode ter alto custo de operação dependendo da logística envolvida	Na instalação de sistemas intrusivos, além do custo, deve ser considerado complexidade das operações, que muitas vezes inviabilizam a instalação com a linha em operação. Na análise de sistemas não intrusivos, é importante analisar a relação entre custo e área efetivamente monitorada (técnica por ultrassom não monitora região entre sensores)

Tabela 1 - resumo de principais características de cada técnica.

Analisando as diferentes técnicas intrusivas e não intrusivas, percebe-se que elas são complementares entre si, e é necessário uma análise criteriosa de cada sistema a ser monitorado para definir quais as técnicas mais adequadas.

Sistemas de comunicação disponíveis e a presença ou não de redundância na comunicação e rotinas de operação devem ser levados em consideração, bem como o tipo de corrosão mais provável, o mais crítico para o projeto em questão.

Além das características técnicas, é importante considerar o custo de cada equipamento, analisando também complexidade e custo da instalação. Sistemas intrusivos requerem atividades de solda e trepanação, nem sempre possíveis de serem executadas se a linha estiver em operação. Para técnicas não intrusivas, é importante observar área total efetivamente monitorada versus o custo da implementação.

Em suma, não existe uma técnica que seja unânime. Observado que as técnicas se complementam entre si, e é importante o conhecimento das limitações de cada uma para a correta escolha da mais adequada a cada projeto.