

PIPERS®: DETECÇÃO DE VAZAMENTOS E AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE DE ADUTORAS USANDO SENSORES INTERNOS COM LINHA EM CARGA

Nome do Autor Principal⁽¹⁾

Felipe Chagas de Oliveira, Físico, Diretor da Orion Serviços de Inspeção e Consultoria. Especialista em soluções de monitoramento de integridade *in-lines*, com foco em ferramentas robóticas e tecnologias que permitam inspeções sem parada.

Nome do Autor⁽²⁾

John van Pol, Fundador e CEO da INGU Technologies

Endereço⁽¹⁾: Estrada dos Bandeirantes, 7000, Bloco B, sala 256 – Jacarepaguá, Rio de Janeiro, RJ, Brasil – CEP 22780-084 - Tel: +55 (21) 98340-8866 - e-mail: felipe@orionsic.com.br.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar à comunidade de Saneamento e Abastecimento, seja público ou privado, os resultados da tecnologia de inspeção *in-line* Pipers, sua acurácia na detecção de vazamentos e micro-vazamentos e fornecimento de dados para manutenção de integridade, como condições de parede para dutos ferromagnéticos, identificação de bolsões de ar e de depósitos, e sua aplicação em um duto de ferro fundido, transportando água bruta e com 900mm de diâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Vazamentos, Adutoras, Integridade

INTRODUÇÃO

Monitorar uma tubulação quanto a vazamentos e perda de parede é uma parte importante do gerenciamento da integridade da tubulação. A perda de parede devido à corrosão é um indicador precoce de que um vazamento pode ocorrer em breve, e monitorar sua progressão ao longo do tempo fornece a um operador as informações necessárias para fazer decisões. Se uma tubulação passar por uma pequena perda de parede e desenvolver um vazamento, então sérios problemas ambientais podem ocorrer danos. Mesmo vazamentos muito pequenos podem causar um grande dano se não forem detectados por longos períodos de tempo.

Neste trabalho iremos ilustrar exemplos de uma inspeção para detecção de vazamentos, avaliação de depósitos e análise volumétrica de perda de parede aplicados em 15km uma adutora de Ø900mm, operando água bruta, construída na década de 80 e operada por uma agência privada no Centro-Oeste Brasileiro; as inspeções foram realizadas com sucesso em Agosto de 2021. Traremos também os resultados, aplicabilidade operacional e conclusão para este modelo de inspeção.

METODOLOGIA

O monitoramento de uma tubulação para perda de parede geralmente é realizado usando um pig inteligente. Estes equipamentos aferem a corrosão usando um conjunto de transdutores ultrassônicos ou um conjunto de magnetômetros combinados com ímãs poderosos. Essas ferramentas fornecem uma medição detalhada da parede do tubo, mas são grandes, pesadas, e extremamente caras. Eles também só funcionam em tubulações projetadas para serem pigáveis, enquanto uma grande porcentagem dos dutos na América do Norte não são pigáveis (*unpigable*) porque são muito pequenos, têm restrições de geometria (por exemplo, curvas acentuadas) ou falta de equipamentos de lançamento e recebimento [1].

Embora existam muitos dutos que não são pigáveis (e aqui se encaixam a maioria das adutoras), existem muitos outros que não estão equipados com qualquer tipo de detecção de vazamento. Nestes dutos, as opções de detecção de vazamentos podem ser limitadas devido à falta de instrumentação, falta de acessibilidade ou falta de conhecimento sobre a própria tubulação.

Os Piper® são esferas com sensores que possuem flutuação neutra, e têm o tamanho de uma bola de golfe: são projetados para operar em tubulações não-pigáveis de até 2 polegadas de diâmetro. Os Pipers estão equipados

com vários sensores microeletrônicos (incluindo um acelerômetro e giroscópio de 3 eixos, um sensor passivo de 3 eixos magnetômetro, um transdutor de pressão e um sensor acústico) para realizar uma variedade de inspeções, incluindo detecção de vazamentos e estimativa de perda volumétrica da parede.

Os Pipers detectam a perda de parede usando magnetometria passiva. Eles não contêm ímãs, mas eles medem o campo magnético residual que é naturalmente criado no tubo. Toda tubulação metálica possui um pequeno quantidade de magnetismo que é resultado do metal sendo aquecido, fresado, laminado, dobrado e soldado na presença do campo magnético da Terra durante a fabricação e construção. A quantidade residual de magnetismo em um tubo pode variar consideravelmente com base nos métodos de fabricação específicos e no histórico do duto. Uma vez concluída a construção, no entanto, este campo tende a permanecer uniforme por anos a menos que algo como corrosão altere as características magnéticas do duto.

Se uma tubulação progrediu além da perda de parede moderada e desenvolveu um vazamento, os Pipers detectam esses vazamentos usando um sensor acústico. AS esferas são pesadas para flutuar de forma neutra para evitar rolar ou que se desloque raspando contra a parede do tubo. Como resultado, as gravações de áudio quase não têm ruído de fundo acima do que já existe no sistema devido a turbulência, bombas ou outras fontes inevitáveis de barulho de fundo. Isso significa que os Pipers são especialmente adequados para detectar o som feito por vazamentos à medida que eles flutuam ao lado do vazamento.

O ruído criado por um vazamento é resultado do fluido de alta pressão (gás ou líquido) escapando através de um pequeno orifício ou rachadura para a atmosfera de baixa pressão. À medida que o Piper flutua além do local de um vazamento, a amplitude acústica medida aumenta para um pico e, em seguida, diminui de volta para um nível de linha de base após a Piper passou. Há também uma mudança no espectro de frequência da gravação de áudio Piper passa, o que ajuda a diferenciar vazamentos de outras fontes de ruído na tubulação [2].

Os modos físicos de geração de ruído por um vazamento são complexos e difíceis de simular ou prever.

ASPECTOS OPERACIONAIS

Os Pipers são esferas de Ø2,5", capazes de gravar dados por até 24horas ininterruptas. Como viajam na coluna do próprio fluido, podem percorrer mais de 100km em um único lançamento. A Figura 1. Mostra um Piper proposto para ser lançado em uma inspeção.



Figura 1. Pipers

O planejamento operacional é um dos, se não o fator mais crítico para o sucesso de uma inspeção. Escolher o ponto de lançamento e recebimento, assim como a metodologia específica para tal são os fatores mais críticos.

Para esta linha em questão, foi escolhido o lançamento através de uma ventosa. A ventosa foi cuidadosamente seccionada por estar em um ponto alto da linha, visando minimizar toda e qualquer perda, e de modo a habilitar que o Piper fosse lançado com a linha ainda em operação / bombeamento. Um sistema de duas válvulas - Figura 2. - foi projetado e a este foi anexado uma bomba manual. Desta forma, uma vez que o Piper foi inserido no cilindro projetado, bastou-se inserir uma pressão externa. Assim, uma vez que a válvula inferior foi aberta, o equipamento foi “expulso” para dentro da tubulação, gerando intervenções mínimas na produção. Houve um bombeamento por 15 minutos, e depois o segundo Piper foi lançado seguindo a mesma metodologia. Usam-se sempre dois equipamentos por inspeção, que devem ser lançados com um intervalo de tempo. Isto busca oferecer redundância e confiabilidade das características detectadas, assim como ter uma segurança operacional: caso haja uma parada de fluxo durante a inspeção, as esferas estarão em pontos diferentes; portanto, pode-se depois sobrepor os dados de cada, e ter uma análise em todos os trechos com 100% das condições operacionais.



Figura 2. Bomba manual utilizada para inserir pressão positiva

A adutora em questão conclui seu traçado dentro de uma ETA. Sendo assim, a opção para recebimento encontrada foi simplesmente usar uma tela na saída da adutora para a ETA, retendo os equipamentos após as inspeções.

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

Os Pipers® são equipados com um sensor acústico de detecção de vazamentos. Enquanto se move através de uma tubulação, o Pipers® grava continuamente o ruído de fluxo relativamente silencioso, criando uma linha de base para a intensidade do som medida. Quando uma tubulação está vazando, o jato de líquido que passa pela rachadura ou orifício gera um som característico de assobio ou ruído que se desvia significativamente do ruído da linha de base em uma região localizada ao redor do vazamento. Por outro lado, se não houver mudança (ou apenas mudança gradual de longo prazo) na intensidade média do som ao longo do comprimento do duto, nenhum vazamento foi detectado.

Ao analisar o áudio, foram identificadas duas anomalias acústicas em 5.036 m e 5.260 m. A anomalia acústica em 5.260 m tem uma assinatura consistente com o que seria esperado em um local de vazamento.

O espectro de frequência neste local é visível no gráfico à esquerda da Figura 1, e o espectro de frequência de uma parte da tubulação sem anomalia acústica é mostrado no gráfico à direita da Figura 1 para referência. Esta anomalia acústica está próxima da área arborizada e de uma estrada de terra, como pode ser visto na Figura 3.

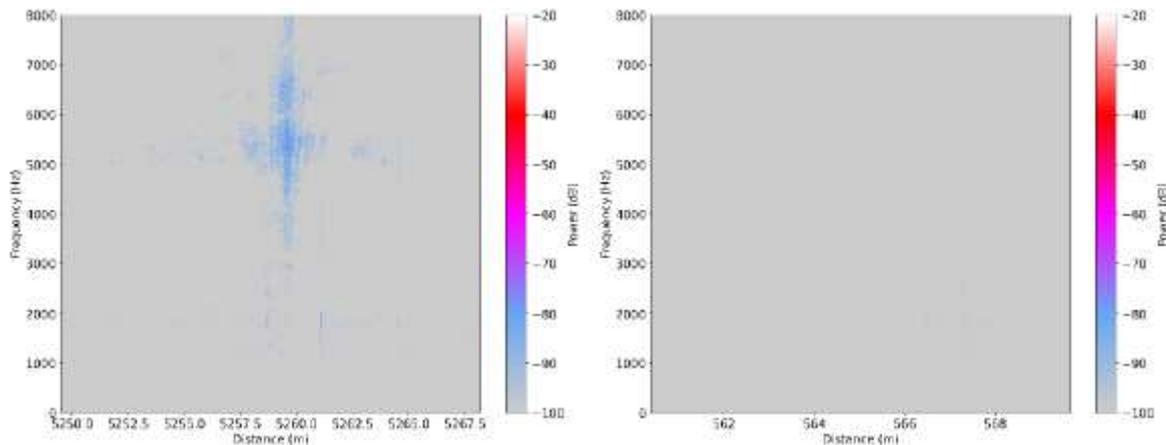


Figura 3. Espectrograma da anomalia acústica a 5.260 m (esquerda) e um trecho “quieto” da tubulação (direita).

O espectro de frequência da segunda anomalia em torno de 5.036 m é visível na Figura 4. O espectro neste local não desaparece em cada lado de um único pico intenso como seria esperado em um local de vazamento. Em vez disso, tem uma amplitude maior perto do início da anomalia e gradualmente desaparece à medida que o Piper passa pela anomalia. Além disso, a anomalia acústica é visível em uma faixa de frequência maior do que a observada com a anomalia acústica discutida anteriormente em 5.260 m (veja o gráfico à esquerda da Figura 3).

Essa anomalia acústica em torno de 5.036 m está em um ponto baixo da tubulação, onde a tubulação percorre uma área arborizada e cruza um córrego. Também foi indicado que esta é uma seção exposta da tubulação que é feita de aço carbono. Isso foi confirmado no magnetismo, onde se observa uma diferença no material do tubo de 5.038 m a 5.079 m. O espectro de frequência em torno desta anomalia acústica pode, portanto, estar relacionado ao material de tubulação diferente e à tubulação que atravessa um fluxo.

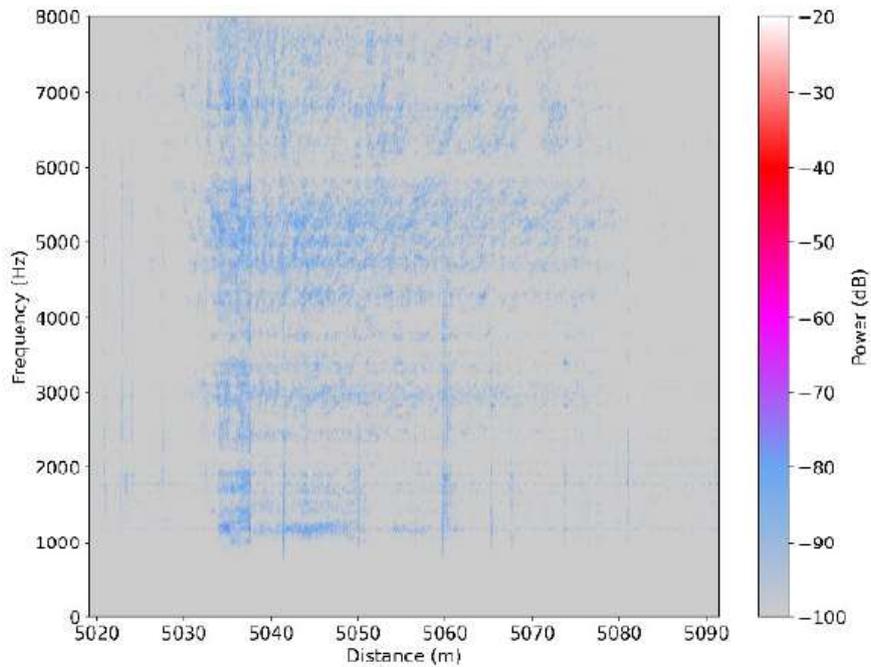


Figura 4. Espectrograma da anomalia acústica em torno de 5.036 m.



Figura 5. Visão Macro da localização dos vazamentos.

AVALIAÇÃO DE DEPÓSITOS

Enquanto se move por um duto, o Pipers mede continuamente a pressão. Esta pressão é uma combinação de dinâmica de escoamento (por exemplo, velocidade) e componentes estáticos (rugosidade da tubulação, diâmetro interno e elevação). Para determinar o nível de depósitos em uma tubulação, a pressão medida é

corrigida para mudanças nas condições operacionais durante a pesquisa (ou seja, mudanças na pressão de entrada e taxa de escoamento) e efeitos da pressão hidrostática (ou seja, aumentos de pressão causados pela descida da tubulação e diminuições de pressão causadas por sua escalada). A pressão corrigida resultante é uma indicação para a quantidade de perda de pressão por atrito através da tubulação, onde regiões da pressão corrigida com uma inclinação mais acentuada experimentam mais atrito de escoamento, sugerindo aumento da rugosidade da superfície interna e / ou restrições de diâmetro.

A Figura 6 mostra de cima para baixo a pressão medida durante o levantamento do Pipers, o perfil de elevação da superfície do Google Earth e a pressão corrigida para mudanças na pressão hidrostática.

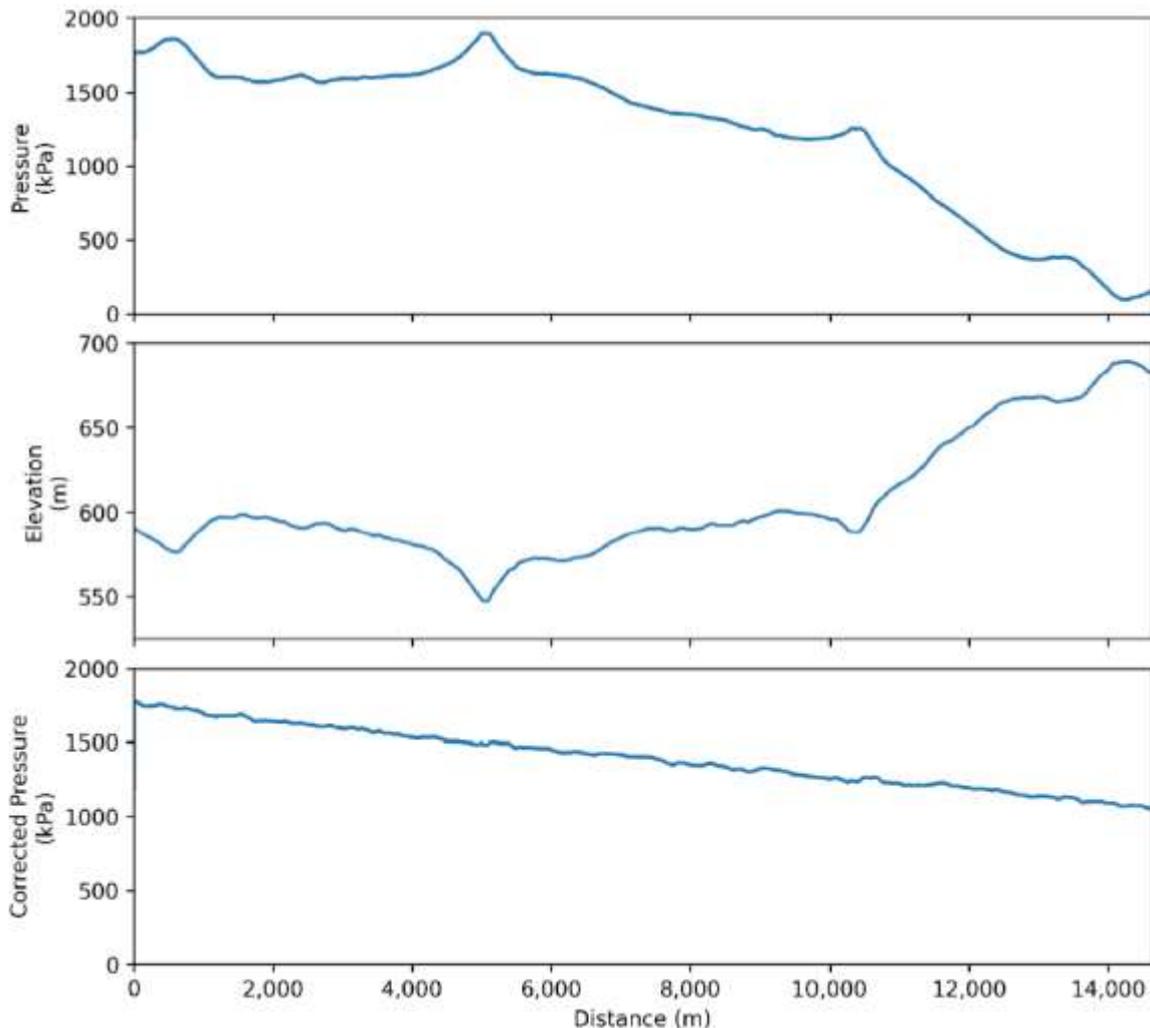


Figura 6. De cima para baixo: pressão em função da distância, perfil de elevação e pressão corrigida (ou seja, pressão menos a pressão hidrostática).

O perfil de pressão corrigido do gráfico inferior da Figura 1 é dividido em segmentos com gradientes semelhantes e uma linha reta é ajustada a cada segmento. A Figura 7 mostra a pressão corrigida com essas linhas de melhor ajuste sobrepostas. O gradiente de pressão de cada segmento também é relatado na Tabela 1.

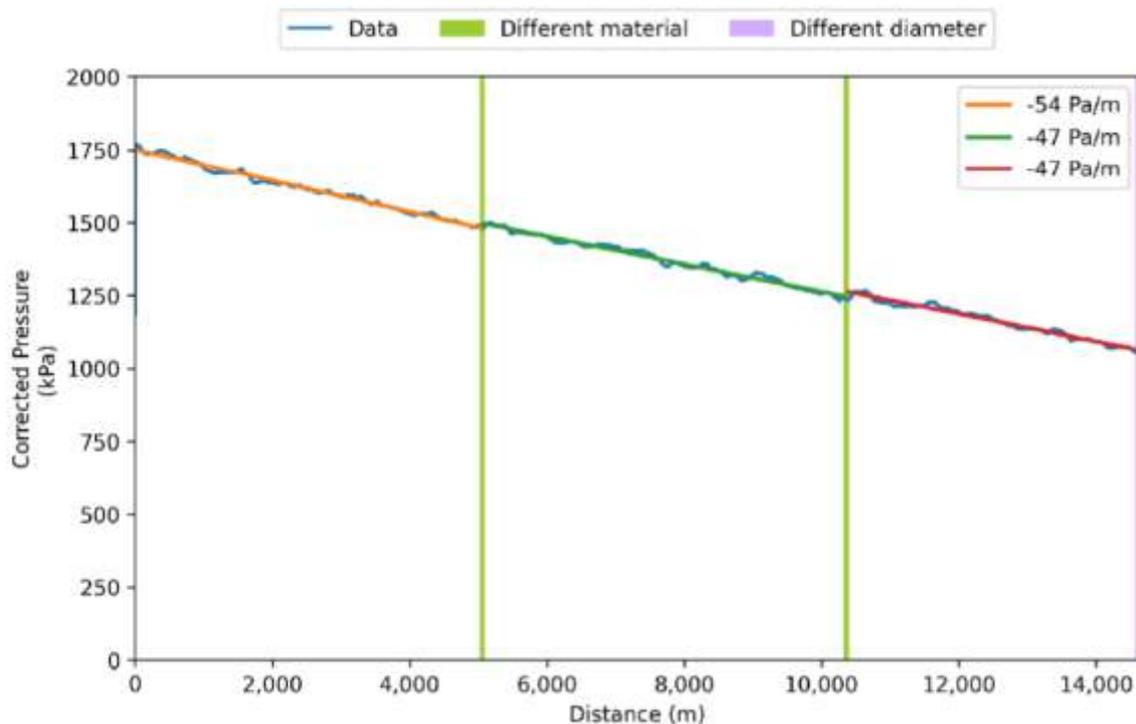


Figura 7. Pressão corrigida com linhas de melhor ajuste sobrepostas.

Segmento da tubulação (m)	Gradiente de pressão (Pa/m)
0 – 5,034	-54
5,074 – 10,332	-47
10,386 – 14,566	-47

Tabela 1: Gradiente de pressão por seção

O seguinte foi observado na pesquisa de pressão:

- No geral, a pressão entre as duas corridas do Pipers® são repetíveis.
- A pressão medida é consistente com as principais mudanças de elevação ao longo da tubulação. Isso inclui duas travessias de água / áreas baixas em torno de 5.050 m e 10.375 m.
- A pressão corrigida diminui quase linearmente ao longo de todo o comprimento da adutora. Isso sugere que o duto tem um nível semelhante de acúmulo de depósito em toda sua extensão. A primeira seção de 0 m a 5.034 m tem um gradiente de pressão ligeiramente maior de -54 Pa / m em comparação com o com as outras seções DN900 com gradientes de pressão de -47 Pa / m. Isso sugere que pode haver um nível ligeiramente maior de depósitos nos primeiros 5.034 m da adutora.
- Para avaliar a adutora, a diferença na pressão entre os locais de lançamento e recebimento foi determinada e compensada pela diferença na elevação. A elevação no receptor é 93 m maior do que no lançador, o que corresponde a uma diminuição de pressão de cerca de 910 kPa. O Pipers® mede uma diferença de pressão geral de -1.621 kPa, corrigindo assim para a diferença na elevação, isso resulta em uma diferença de pressão corrigida de cerca de -711 kPa. Uma diferença de pressão de -296 kPa é esperada para 14.635 m de tubulação limpa com as especificações listadas na Tabela 1, transportando água nas taxas de escoamento usadas durante o levantamento. A maior diferença de pressão geral em comparação com a diferença de pressão esperada pode corresponder a um acúmulo de depósitos restringindo o diâmetro interno em um máximo de 140 mm, um aumento da rugosidade hidráulica do tubo, uma tubulação mais íngreme geral, resultando em uma diferença de elevação total entre o local de lançamento e recebimento de 135 m, uma taxa de escoamento mais alta ou uma combinação dos quatro.

Sumário de Depósitos: A pressão entre as duas corridas do Pipers® são repetíveis e diminui quase linearmente após a correção dos efeitos hidrostáticos, sugerindo um nível semelhante de depósitos em toda a tubulação. Há um gradiente de pressão ligeiramente maior nos primeiros 5.034 m da tubulação, o que pode indicar um nível ligeiramente maior de depósitos nessa seção.

Análise Magnética

Os Pipers medem a magnetização residual usando um sensor magnético digital para determinar as características do metal. A magnetização residual é um efeito posterior que ocorre como magnetização residual em componentes e juntas soldadas formadas no curso de sua fabricação e resfriadas à temperatura ambiente sob interação com campos magnéticos fracos ou devido à mudança irreversível do estado de magnetização local dos componentes em zonas de concentração de tensões e danos durante o trabalho.

A magnetização residual medida em um duto depende do nível de magnetização do material do duto, do volume do metal e da distância média do volume. Assumindo o mesmo nível de magnetização em uma determinada seção de tubulação, a proporcionalidade segue a Equação 1:

$$B \sim \frac{V}{r^3}$$

Equação 1: Dependência do fluxo magnético medido (B) no volume do metal (V) e distância média entre o sensor e o metal (r).

A principal diferença com as ferramentas MFL tradicionais é que os Pipers são concebidos como uma ferramenta de triagem e apenas capazes de distinguir diferenças magnéticas maiores do que 25% de perda volumétrica relativa da parede.

$$\text{Perda de parede volumétrica relativa} = \frac{w \cdot d \cdot l}{\pi \cdot (OR^2 - IR^2) \cdot l}$$

Equação 2: A perda volumétrica relativa da parede é a razão entre o volume do defeito (w é a largura, d a profundidade e l o comprimento do defeito) e o volume do metal (OR é o raio externo e IR o raio interno) em um determinado segmento do duto.

O fluxo magnético medido no duto é uma combinação de características magnéticas causadas durante a fabricação e construção do duto e ao longo da vida operacional dele. Mudanças nas características magnéticas podem, por exemplo, ser usadas para identificar mudanças na composição do duto e identificar diferentes seções (por exemplo, mudanças de cronograma, diferenças de material ou grau ou mudanças na data de construção).

Durante uma triagem inicial, o fluxo magnético medido em cada duto é analisado calculando a propagação estatística no fluxo magnético ao longo de todo o comprimento do duto (mostrado como uma faixa verde nas figuras a seguir). Em algumas linhas, pontos de interrupção no fluxo magnético são identificados (por exemplo, em mudanças de licença) e a propagação sobre essas seções é calculada individualmente. As medições que excedem este spread no fluxo magnético medido (excluindo as juntas) são identificadas como outliers e são investigadas posteriormente como anomalias potenciais.

É importante observar que a tecnologia Pipers® não se destina a medições absolutas em uma única corrida, mas para a determinação precisa das alterações entre as corridas subsequentes realizadas em um determinado período de tempo. O nível de confiança da medição absoluta é, portanto, limitado.

Legendas o gráfico Macro de Análise Magnética

Os dados de fluxo magnético medidos pelo Pipers são representados em azul. As linhas cinzas verticais são as soldas identificadas. A propagação dos dados magnéticos é mostrada com uma faixa verde cobrindo os dados do Pipers.

As seguintes marcações são marcadas apenas quando aplicável:

- Linhas verticais laranja: anomalias magnéticas localizadas;
- Área destacada em verde amarelo: área com baixa propagação e variabilidade no fluxo magnético;
- Área destacada em amarelo: área com propagação e / ou variabilidade moderada no fluxo magnético;
- Área destacada de salmão: área com alta propagação e / ou variabilidade no fluxo magnético.

Como uma avaliação da condição geral, as tubulações (do mesmo diâmetro) com maior propagação e / ou maior variabilidade no fluxo magnético devem estar em piores condições em comparação com aquelas com baixa propagação e variabilidade no fluxo magnético.



	High Variability
	Medium Variability
	Low Variability
	Metallic Hardware
	Repair
	License Change
	Sleeve/Casing
	Wall Thickness Change
	Hot Tap
	Localized Anomalies
	Bends
	Joints
	Spread
	Data

Tabela 2. Identificação de Cores em análise magnética

O fluxo magnético medido na adutora em questão é mostrado nas Figuras 8 à Figura 10.

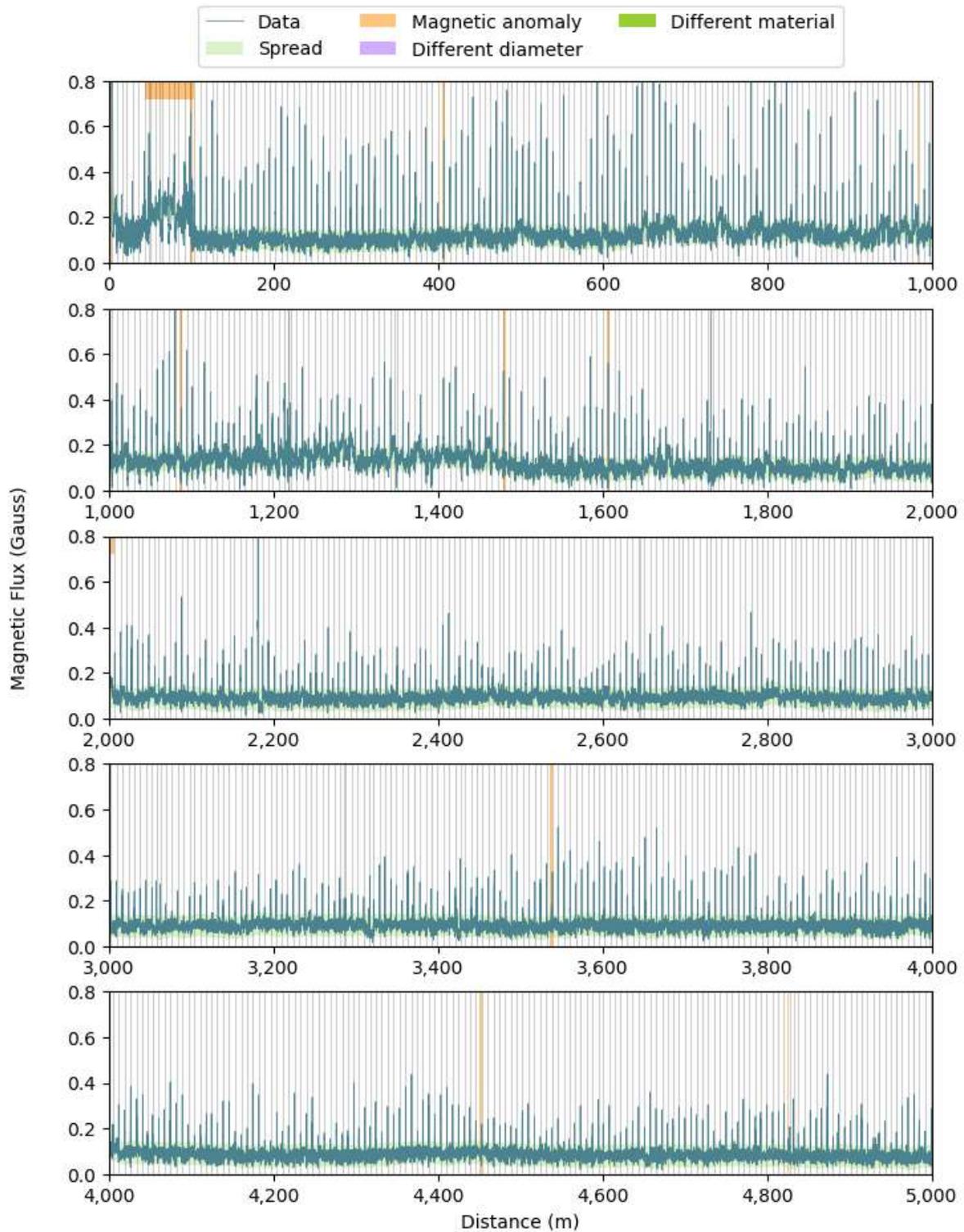


Figura 8. Fluxo magnético medido nos primeiros 5.000 m da adutora

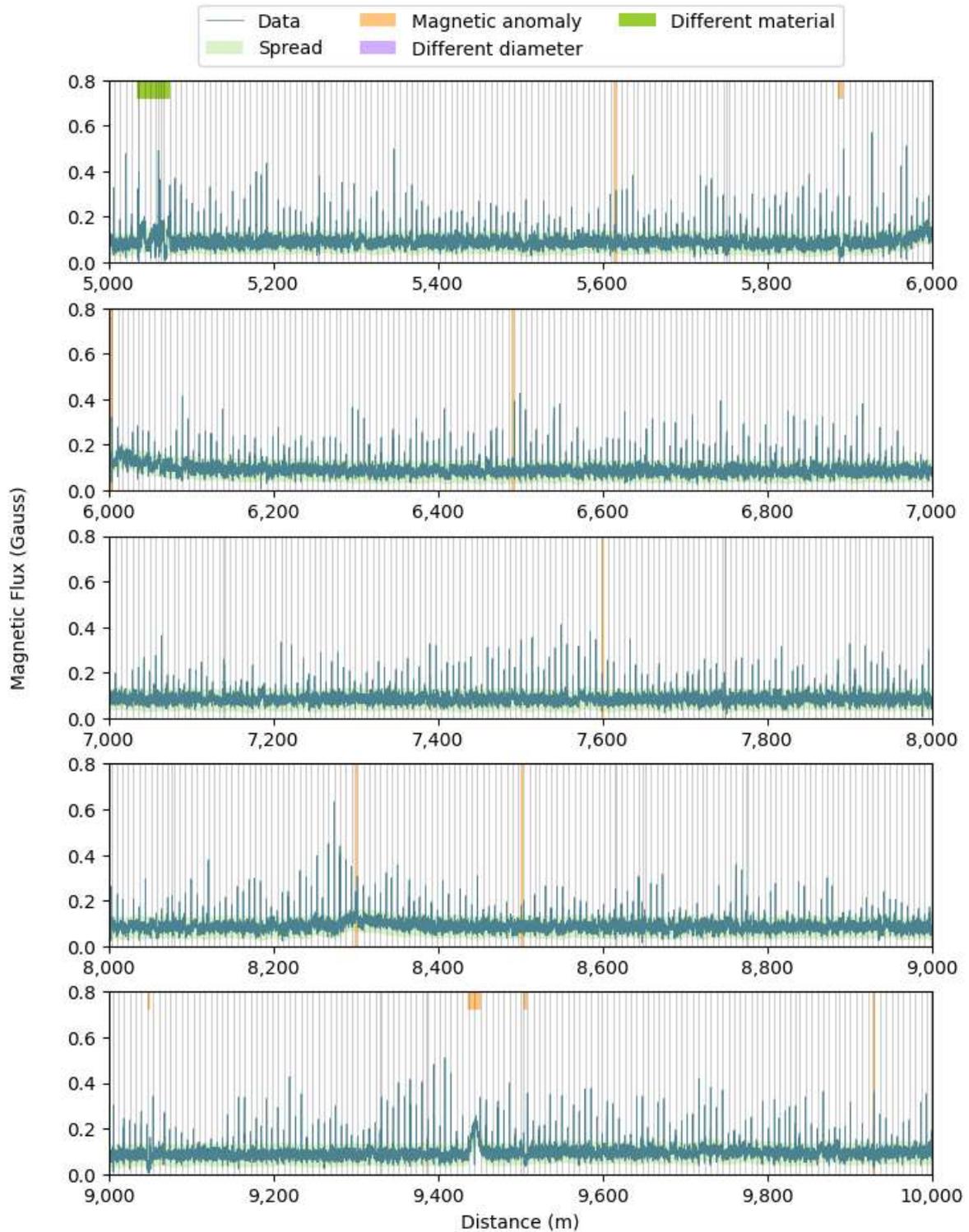


Figura 9. Fluxo magnético medido na adutora de 5.000 m a 10.000 m.

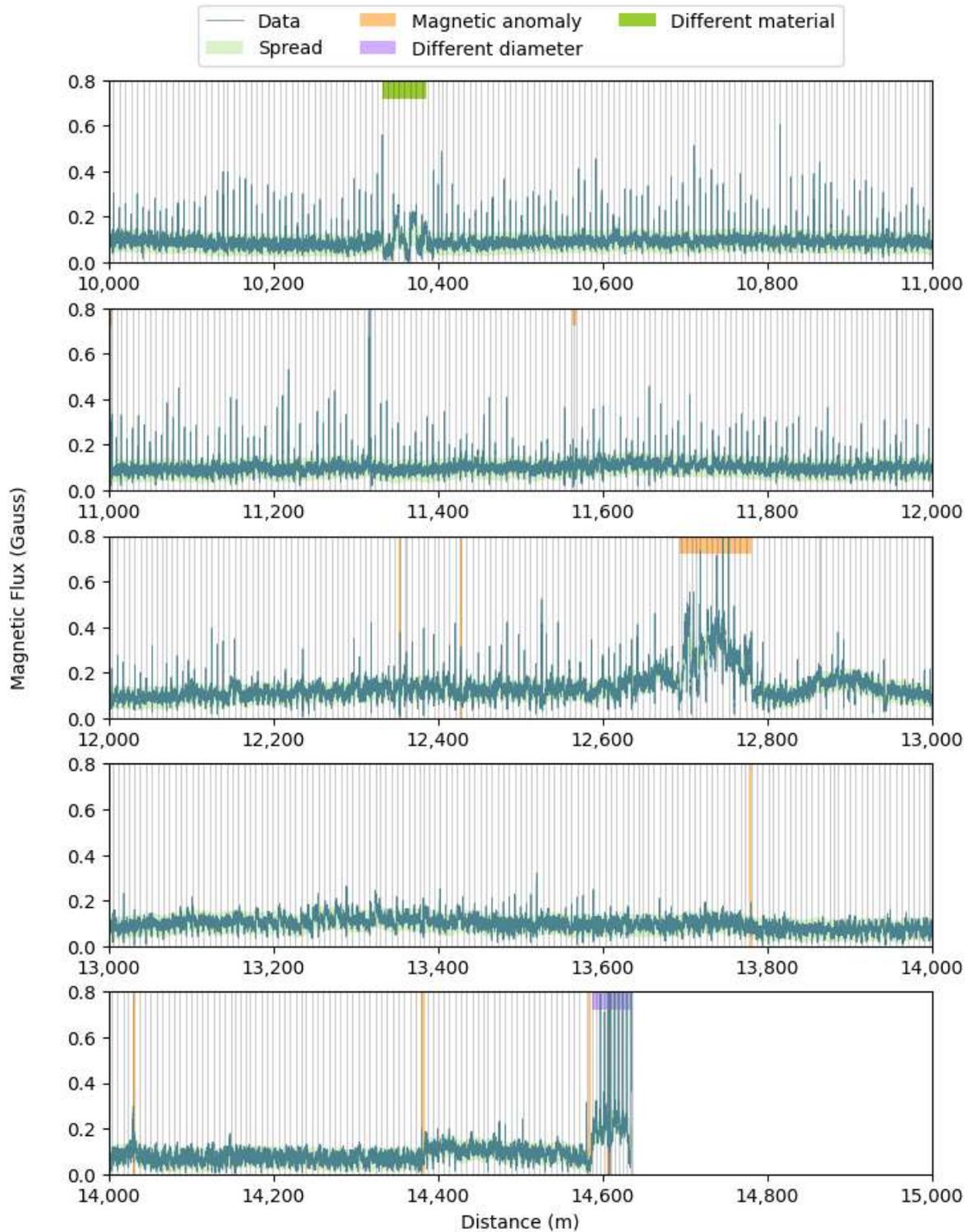


Figura 10. Fluxo magnético medido de 10.000 m até o final da adutora.

O seguinte foi observado Na análise do fluxo magnético:

- Há uma mudança no deslocamento do fluxo magnético em cerca de 100 m e 14.585 m, e em cerca de 1.480 m; 13.779 m; e 14.380 m em menor grau. Um deslocamento no fluxo magnético é frequentemente associado a mudanças na direção (rumo) ou elevação (inclinação) da adutora em relação ao campo magnético da Terra e, portanto, está normalmente relacionado à localização de uma curva. Esta mudança ou deslocamento geral no fluxo magnético, portanto, não é indicativo de mudanças na condição da tubulação.
- O aumento no fluxo magnético em locais de junta varia significativamente ao longo da tubulação. A seção de 12.806 m a 14.596 m especificamente tem apenas resposta limitada nos locais de junta em comparação com o restante da tubulação, sugerindo um tipo, método ou qualidade de junta diferente nesta seção.

O aumento no fluxo magnético nos locais de junção repentinamente torna-se muito mais pronunciado de 14.596 m até o final da tubulação (ver Figura 11). Isso ocorre logo após o aumento do deslocamento no fluxo magnético em 14.587 m, onde a adutora vira para o sul e faz a transição do tubo DN900 para o DN800. A mudança no fluxo magnético nas juntas está, portanto, provavelmente relacionada à diferença nas propriedades do tubo, mas também pode indicar um tipo ou método de junta diferente nesta seção.

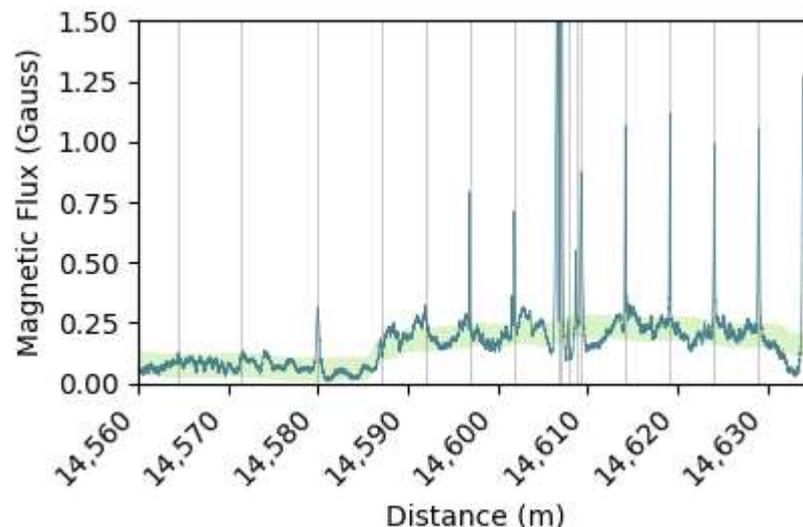


Figura 11. Zoom do fluxo magnético de 14.560 m até o final da adutora.

- Existem grandes picos no fluxo magnético em torno de 2 m e 14.608 m. Esses grandes aumentos no fluxo magnético em locais de junta são normalmente vistos em flanges.
- Há um aumento do deslocamento e maiores flutuações no fluxo magnético de 43 m para 104 m. Um deslocamento no fluxo magnético é frequentemente associado a mudanças na direção (rumo) ou elevação (inclinação) do duto em relação ao campo magnético da Terra e, portanto, está normalmente relacionado à localização das curvas. Há diminuições bruscas no fluxo magnético nas juntas a 62 m, 72 m e 79 m e o fluxo magnético permanece mais baixo por cerca de 2 m depois. Isso pode indicar acessórios adicionais, como uma curva, ou hardware adicional, como braçadeiras ou suportes das juntas. Além disso, há um aumento da variabilidade em torno das juntas em 48 m, 91 m e 99 m, o que pode indicar que um tipo, qualidade ou método de junta diferente foi usado nesses locais.

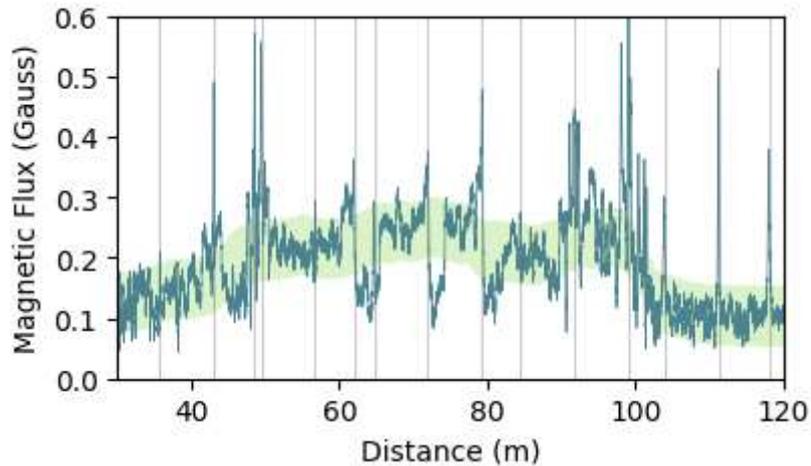


Figura 12. Zoom do fluxo magnético de 30 m a 120 m.

- O fluxo magnético tem uma estrutura ligeiramente diferente ao longo da seção de 5.034 m a 5.074 m, bem como mais flutuações (ver Figura 13). Esta área corresponde a uma área de passagem de água / baixa visível no Google Earth, onde a adutora é construída com tubo de aço em vez de ferro fundido. Portanto, a estrutura diferente no fluxo magnético é provavelmente causada pelo material diferente do tubo. As flutuações adicionais são geralmente amplas e podem estar relacionadas aos diferentes materiais do tubo, mas também podem ser causadas por objetos metálicos próximos e hardware adicional. Isso inclui o spool de 5.066 m a 5.074 m, que tem um fluxo magnético menor na primeira metade do spool e um fluxo magnético aumentado na última metade dele. Além disso, uma variabilidade aumentada (flutuações mais nítidas e estreitas) é observada em torno das juntas em 5.062 m e 5.074 m, o que pode indicar um tipo, qualidade ou método de junta diferente foi usado nesses locais.

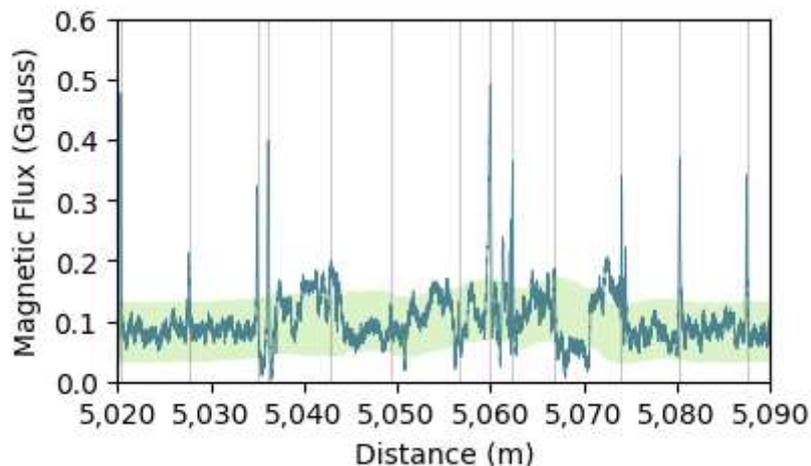


Figura 13. Zoom do fluxo magnético de 5.020 m a 5.090 m.

- Um aumento gradual no fluxo magnético é observado em dois spools de 9.435 m a 9.451 m (ver Figura 14). Este aumento gradual pode indicar um objeto metálico próximo ou hardware adicional neste local.

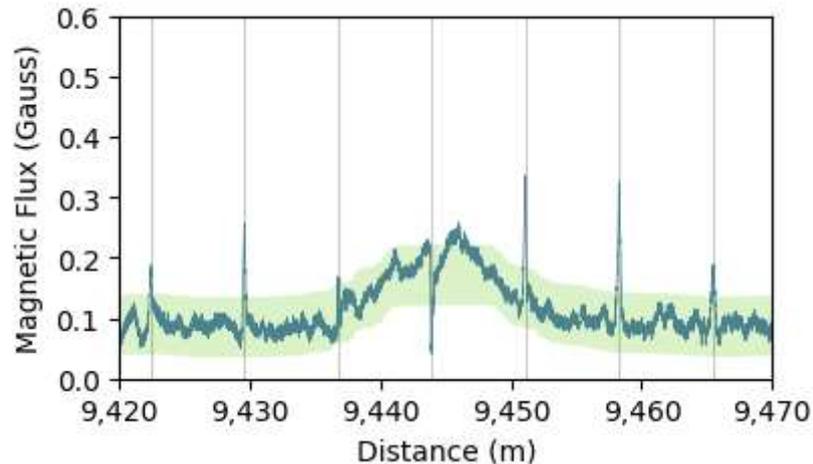


Figura 14. Zoom do fluxo magnético de 9.420 m a 9.470 m.

- O fluxo magnético tem uma estrutura ligeiramente diferente ao longo da seção de 10.332 m a 10.386 m e aumentos menores no fluxo magnético nos locais de junta (ver Figura 15). Além disso, os spools nesta região têm um fluxo magnético maior ou menor em comparação com os spools ao redor. A transição entre alto e baixo fluxo magnético ocorre em locais de junção, o que sugere que os spools podem ter propriedades de materiais diferentes ou uma instalação ou histórico de fabricação diferente. Esta área fica perto de uma área de passagem de água / baixa visível no Google Earth, onde a adutora é construída de tubo de aço em vez de ferro fundido. Portanto, a estrutura diferente no fluxo magnético e a assinatura da junta inferior é provavelmente causada pelo material diferente do tubo.

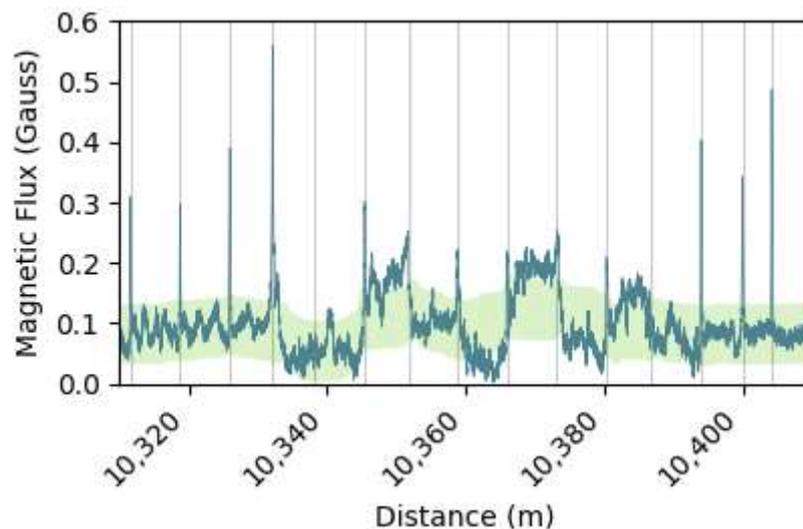


Figura 15. Zoom do fluxo magnético de 10.310 m a 10.410 m.

- Há um aumento do deslocamento e maiores flutuações no fluxo magnético de 12.694 m para 12.780 m (consulte a Figura 16.). Um deslocamento no fluxo magnético é frequentemente associado a mudanças na direção (rumo) ou elevação (inclinação) da adutora em relação ao campo magnético da Terra e, portanto, está normalmente relacionado à localização das curvas. Existem algumas mudanças grandes e repentinas no fluxo magnético, tanto no spool intermediário quanto nas juntas de 12.705 m a 12.725 m. Sem informações mais detalhadas sobre o duto e / ou a verificação de um desses locais, não é possível tirar uma conclusão definitiva sobre a origem dessas oscilações.

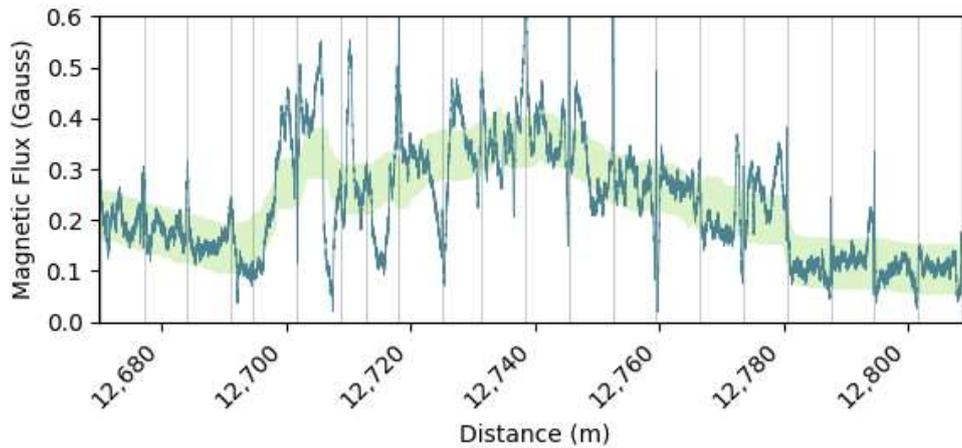


Figura 16. Zoom do fluxo magnético de 12,670 m a 12,810 m.

- Um aumento suave no fluxo magnético é observado dentro de um spool de 2.000 m a 2.006 m (consulte a Figura 17.). Características suaves semelhantes, mas com um fluxo magnético diminuído, são observadas de 9.046 m a 9.050 m e de 9.503 m a 9.508 m (consulte a Figura 18 como exemplo). A assinatura suave sugere que pode haver um objeto metálico próximo a esses locais.

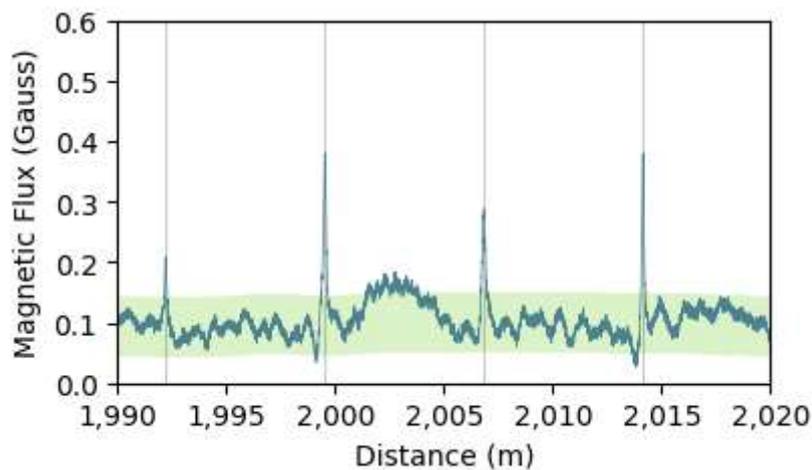


Figura 17. Zoom do fluxo magnético de 1,990 m a 2,020 m.

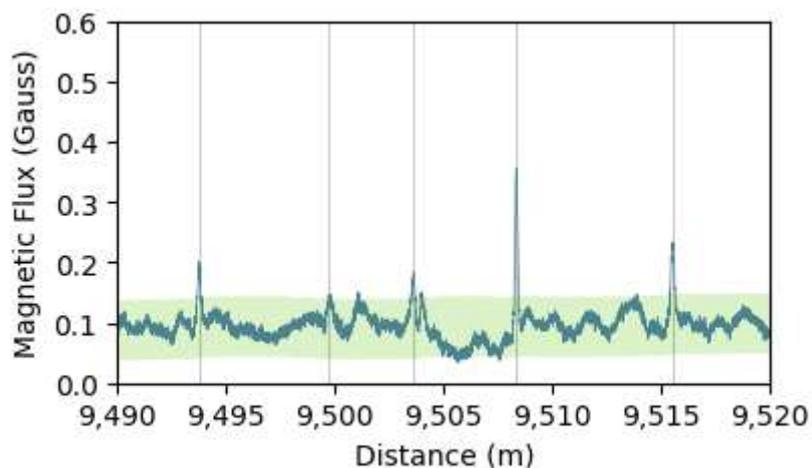


Figura 18. Zoom do fluxo magnético de 9,490 m a 9,520 m.

- Os spools de 5.885 m a 5.892 m e de 11.563 m a 11.567 m têm um fluxo magnético menor em comparação com os spools circundantes (consulte a Figura 19. como exemplo). Isso é semelhante aos spools com um fluxo magnético mais alto e mais baixo discutido na Figura 15. A transição entre um fluxo magnético mais alto e mais baixo ocorre nas localizações das juntas. Portanto, isso pode ser causado pelos spools com propriedades de materiais diferentes ou uma instalação ou histórico de fabricação diferente.

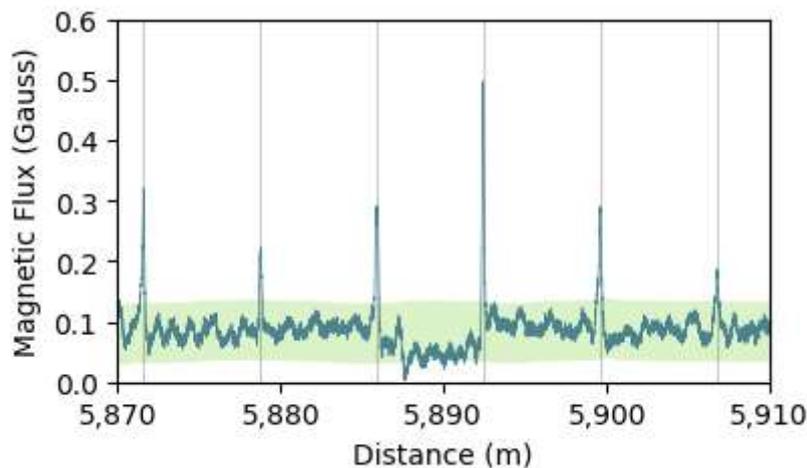


Figura 19. Zoom do fluxo magnético ao redor do spool de 5.885 m a 5.892 m.

- Há uma diminuição no fluxo magnético logo antes da junta em vários locais ao longo da tubulação (veja a Figura 20. como exemplo). Isso acontece, entre outros, a 407 m; 983 m; 1.087 m; 1.606 m; 4,452 m; 6.003 m; 7.600 m; 9.929 m; e 12.353 m. Isso pode indicar que um tipo, qualidade ou método de junta diferente foi usado nesses locais.

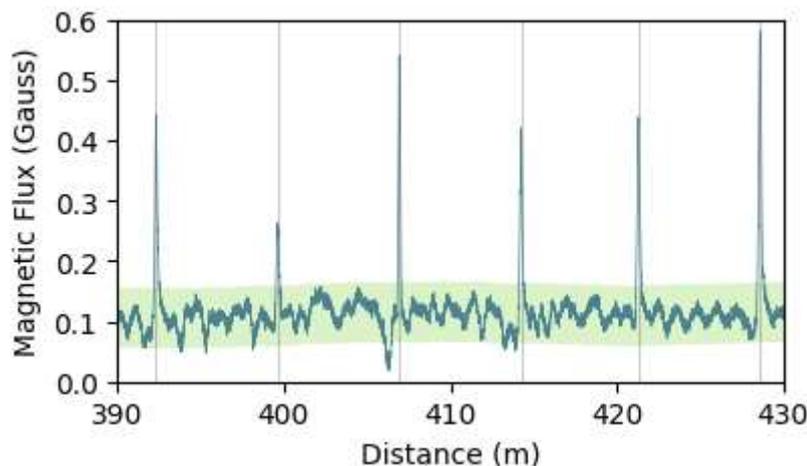


Figura 20. Zoom do fluxo magnético de 390 m a 430 m.

- As juntas em 12.427 m e 14.030 m possuem grande aumento no fluxo magnético ao redor da solda, com uma diminuição acentuada na junta (veja a Figura 21. como exemplo). Isso pode indicar um acessório adicional, um objeto metálico próximo em torno do local da junta, ou que um tipo, qualidade ou método de junta diferente foi usado nesses locais.

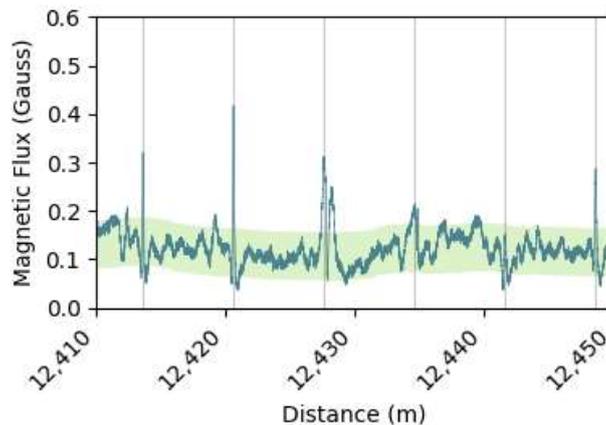


Figura 21. Zoom do fluxo magnético em torno da junta a 12.427 m.

Sumário magnético: O fluxo magnético teve uma estrutura ligeiramente diferente e aumentou as flutuações de 5.034 m para 5.074 m e de 10.332 m para 10.386 m. Essas seções estavam perto de travessias de água / áreas baixas, onde a adutora é construída com tubos de aço em vez de ferro fundido. A última seção de 14.587 m até o final da adutora teve um deslocamento aumentado no fluxo magnético e uma assinatura mais pronunciada nos locais de junção, o que provavelmente está relacionado ao tubo ser DN800 em vez de DN900 nesta última seção. Além disso, as seções de 43 m a 104 m e de 12.694 m a 12.780 m aumentaram as flutuações no fluxo magnético, o que pode estar relacionado a acessórios ou hardware adicionais, mas também pode indicar uma qualidade de tubo ou histórico diferente nessas seções. Vários outros recursos de dutos e anomalias magnéticas foram identificados e discutidos.

CONCLUSÃO

A aplicação de Pipers para detectar vazamentos, depósitos e perda de parede foi demonstrada na adutora em questão. Vazamentos variando entre 0,8-1,9 LPM foram localizados em velocidades de fluxo variando entre 0,5 m/s e 2,0 m/s (correlacionados alguns meses após a inspeção).

A natureza flutuante dos Pipers permite melhorias na detecção de vazamentos em comparação com outros métodos devido ao ruído de fundo limitado. Vazamentos menores que 0,8 litro por minuto, a menor taxa de vazamento em este projeto, foram detectados em outros projetos. Um pico distinto na amplitude acústica foi medido quando o Piper estava mais próximo do local do vazamento, o que significa que os vazamentos podem ser precisamente localizados.

Perda de parede volumétrica, assim como diversas características estruturais foram detectadas, mapeadas e documentadas em detalhes. A correlação carece de escavação, e está programada para ocorrer no segundo semestre de 2022.

A ampla variedade de sensores, tamanho pequeno e natureza flutuante fazem dos Pipers um equipamento único, de última geração que se mostra uma solução para detecção e prevenção de vazamentos em adutoras, previamente carentes de metodologias de inspeção. Essa tecnologia permite um monitoramento de baixo custo em uma base regular, ou para responder a perguntas específicas sobre um duto.

REFERÊNCIAS

1. M. Beller. Mastering the Inspection of Challenging Pipelines (2015). Pipeline and Gas Journal 242(10) 30-36
2. Y. A. Khulief, A. Khalifa, R. B. Mansour, M. A. Habib. Acoustic Detection of Leaks in Water Pipelines Using Measurements Inside Pipe (2012). J. Pipeline Syst. Eng. Pract. 3(2) 47-54.
3. O. Hunaidi, W. T. Chu. Acoustical Characteristics of Leak Signals in Plastic Water Distribution Pipes (1999). Applied Acoustics 58 235-254.