



INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA NOS CABOS DE AÇO DE PONTES ESTAIADAS



Agradecimentos:



A INTRON BRASIL

A INTRON BRASIL é a primeira empresa de transferência de tecnologia entre o Brasil e a Rússia, neste segmento. Numa busca de inovações tecnológicas para o Brasil, encontramos a INTRON PLUS e logo ficou claro que a *joint venture* era uma oportunidade sem igual de sinergia. Assim nasceu a INTRON BRASIL a primeira representação da INTRON PLUS fora da Rússia.

A INTRON PLUS atua a mais de 30 anos no desenvolvimento de tecnologias de inspeção não destrutivas eletromagnéticas. Hoje é líder de mercado com os melhores produtos para inspeção de cabos de aço, com resposta digital e altíssima acurácia e resolução. São produtos desenvolvidos 100% dentro do seu próprio centro de pesquisa.



Autores:

Guilherme R. M. Teles – INTRON BRASIL

Igor Kozyrev – INTRON BRASIL

Esteban Melgar – INTRON PLUS - RÚSSIA



INTRODUÇÃO



A inspeção eletromagnética em cabos de aço de modo geral se desenvolveu desde 1950 para aplicação em cabos de minas. A partir de 1960 começou a se espalhar pelo mundo de forma mais ampla. Porém, o foco sempre foi os cabos de elevação de carga.

Em países como USA, Canadá, Rússia e outros da Europa, hoje, já existe uma obrigatoriedade legal.

No Brasil estamos evoluindo no uso desta técnica e na atenção dada aos cabos de aço. Nos últimos anos com a evolução das aplicações dos cabos de aço em grandes estruturas civis como pontes estaiadas, trazem à nossa realidade a necessidade de se verificar as condições da integridade destes cabos de aço, que passam a assumir uma importância vital na estrutura de sustentação destas pontes.

OBJETIVO



Realizar a inspeção eletromagnética nos cabos de aço de estaiamento da ponte sobre o rio Ob que interliga a cidade de Surgut a Nefteyugansk na Rússia.



DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

A Inspeção Eletromagnética em Cabo de aço ferromagnético é padronizado pela ASTM E 1571 ⁽¹⁾. Utiliza o efeito Hall ⁽²⁾ para detecção das distorções dos fluxos magnéticos ocasionados pela ruptura de um fio, pite de corrosão, trincas ou entalhes, chamados de defeitos localizados (LF), tanto na capa externa como no interior do cabo, vales e alma. Através da variação da intensidade do fluxo magnético que passa por fora do cabo é possível medir quantitativamente a perda de seção ao longo do cabo (%LMA).



DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

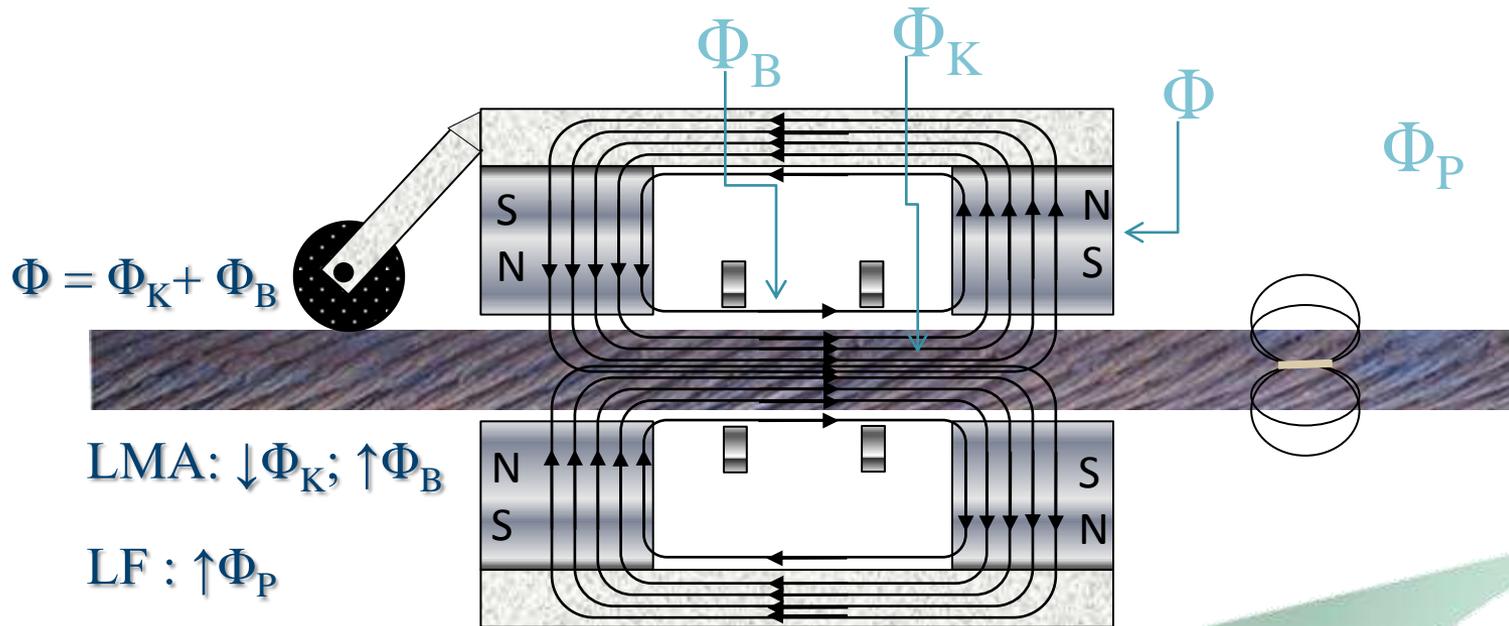
Princípio físico da inspeção:

A inspeção eletromagnética em cabos de aço consiste na passagem do cabo através do aparelho com ímãs permanentes capaz de magnetizá-lo com um campo forte o suficiente para a saturação do cabo. As discontinuidades no cabo são percebidas pelos sensores hall através das distorções nas linhas do fluxo magnético. Essas variações nas linhas do fluxo magnético determinam os defeitos localizados, (LF- Localized fault) que são fios rompidos etc. A detecção da perda de seção metálica (LMA – Loss of metallic cross sectional area) se dá pela indução de um fluxo magnético longitudinal a uma seção do cabo. Os sensores “Hall” captam e armazenam as variações de sinal digitalmente que são descarregados em processadores de dados e traduzidos na forma de gráficos. (US Pat. 6,492,808)



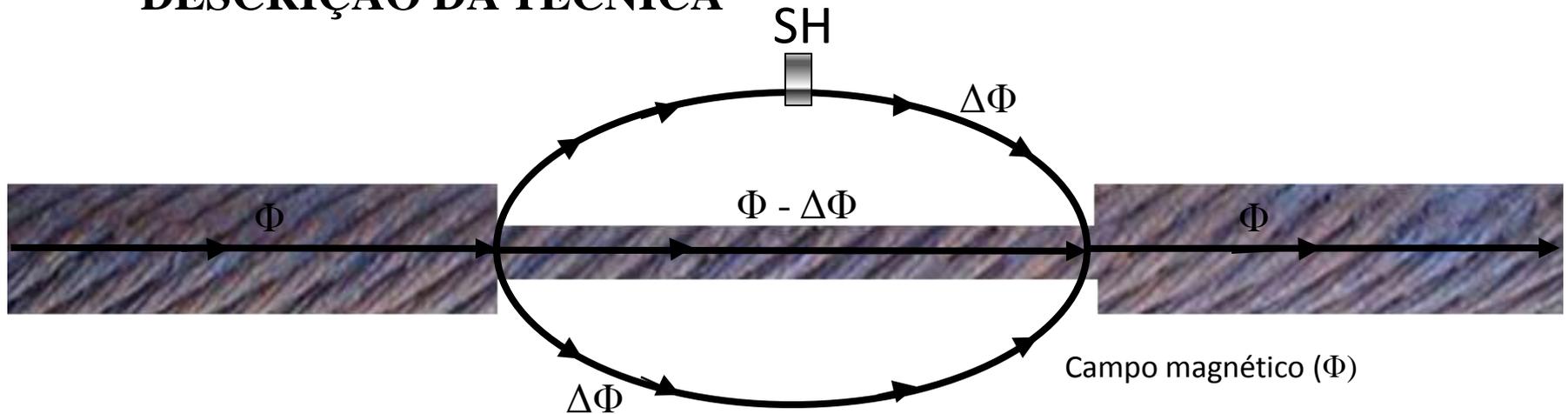
DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

O fluxo magnético que percorre a extensão do cabo é gerado por ímãs permanentes instalados nas cabeças magnéticas (MH) do equipamento, conforme demonstrado abaixo.



$\Phi = Bm \times S$, onde Bm é a indução magnética do PT, e S - a soma de seções de todos os fios de aço.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

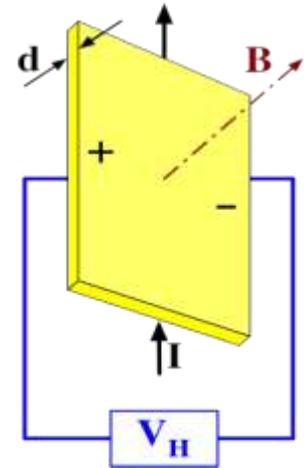


Se a seção do cabo diminuir em ΔS , então o fluxo magnético que passa pelo cabo de aço diminui em proporção à magnitude $\Delta\Phi$. O fluxo "deslocado" do cabo $\Delta\Phi$ atravessa a sua superfície, passando por fora do cabo. A indução **B_m** deste ponto na superfície do cabo é proporcional à magnitude $\Delta\Phi$, portanto também é proporcional à variação de seção do cabo ΔS . Se colocarmos um medidor de indução neste ponto, por exemplo, o sensor Hall, ele pode medir a perda de seção do cabo de aço. Assim o Sistema de magnetização do cabo e o sistema de medição de indução ficam juntos numa cabeça magnética (MH).

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

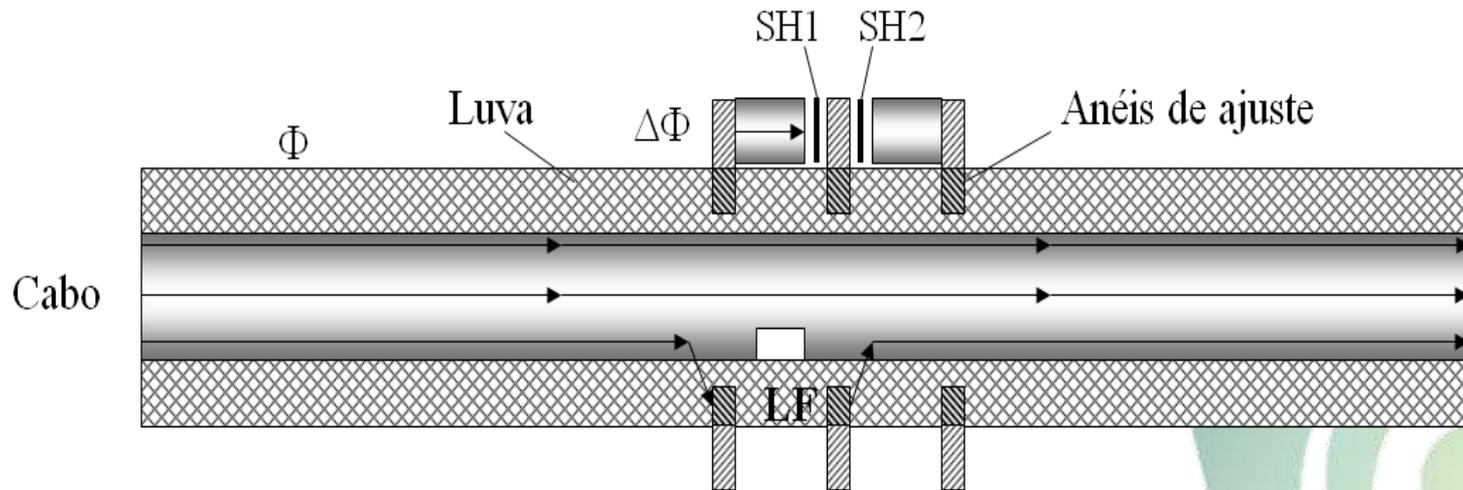
Método para calibração do sensor Hall

Para realizar uma boa calibração é necessário um trecho de cabo chamado de cabo padrão (amostra de controle), onde existem dois segmentos com diferentes áreas exatamente conhecidas. Se a cabeça magnética MH for colocada no primeiro segmento do cabo e o sinal magnético do sensor Hall for mensurado e salvo, o sistema ganha o primeiro ponto para o estabelecimento da calibração do equipamento. A colocação da cabeça magnética MH no segundo segmento, obtém-se outro ponto. Através destes dois pontos na memória do equipamento pode-se obter a linha de calibração. É recomendado utilizar um segmento do cabo, sem perda de seção ($\Delta S / S = 0$) e outro segmento com perda de seção fabricada propositalmente com perda exatamente conhecida, por exemplo: ($\Delta S / S = 15\%$). Este método de calibração é mais preciso e denomina-se como principal. A figura ao lado apresenta o funcionamento do sensor Hall do equipamento.



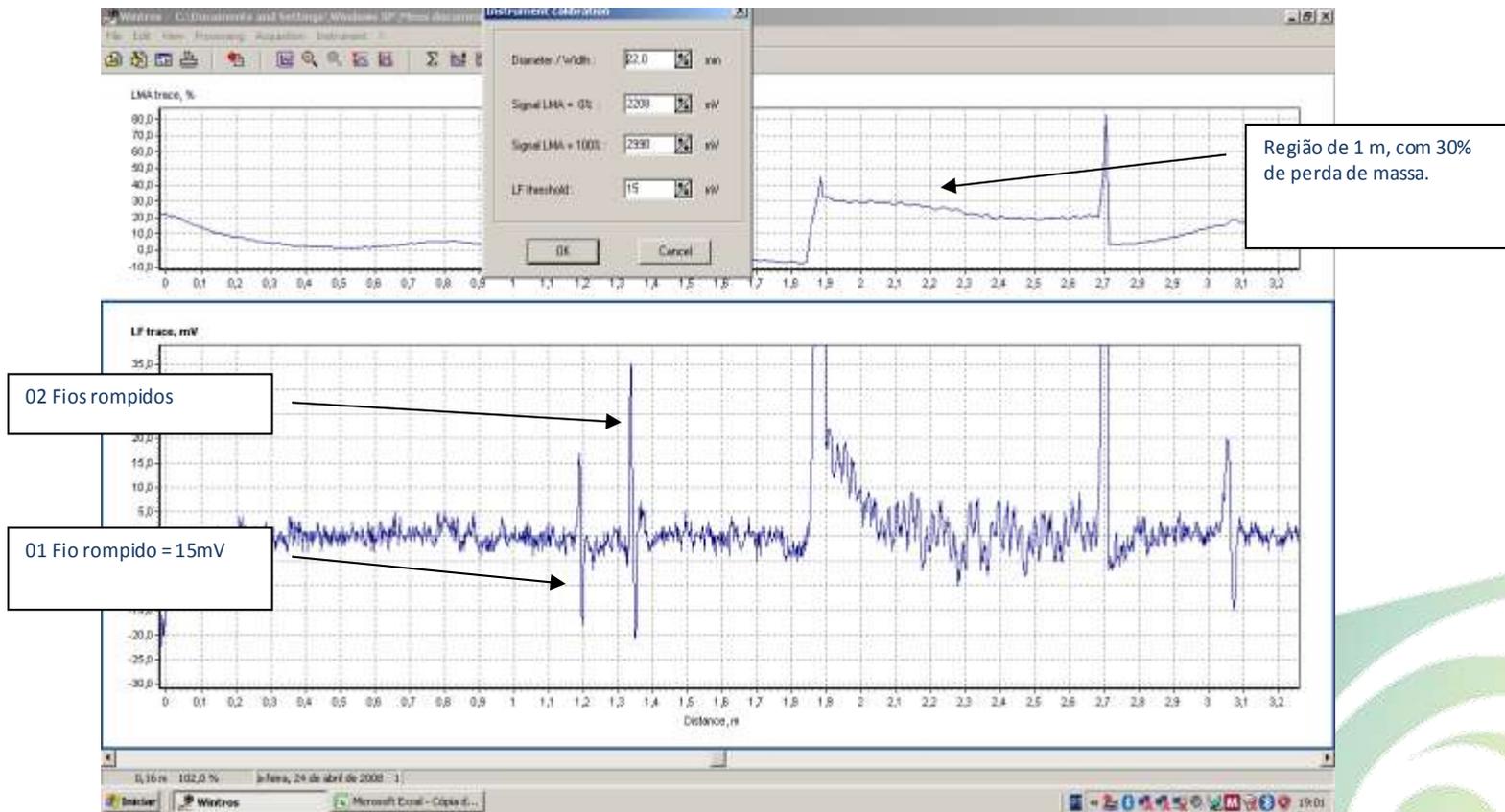
DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

A calibração do LF – defeitos localizados, não se faz necessária. Neste caso precisamos apenas informar ao sistema qual é a intensidade do sinal de um fio rompido na superfície do cabo. Que também está demonstrado no cabo padrão. Todo sinal de defeito localizado (LF) é graficamente representado por dois picos de polaridade invertida. Isso ocorre por causa do sistema de concentração do campo de dispersão do defeito localizado. Este sistema garante que o grupo de sensores Hall detectará o defeito onde quer que ele esteja no cabo.



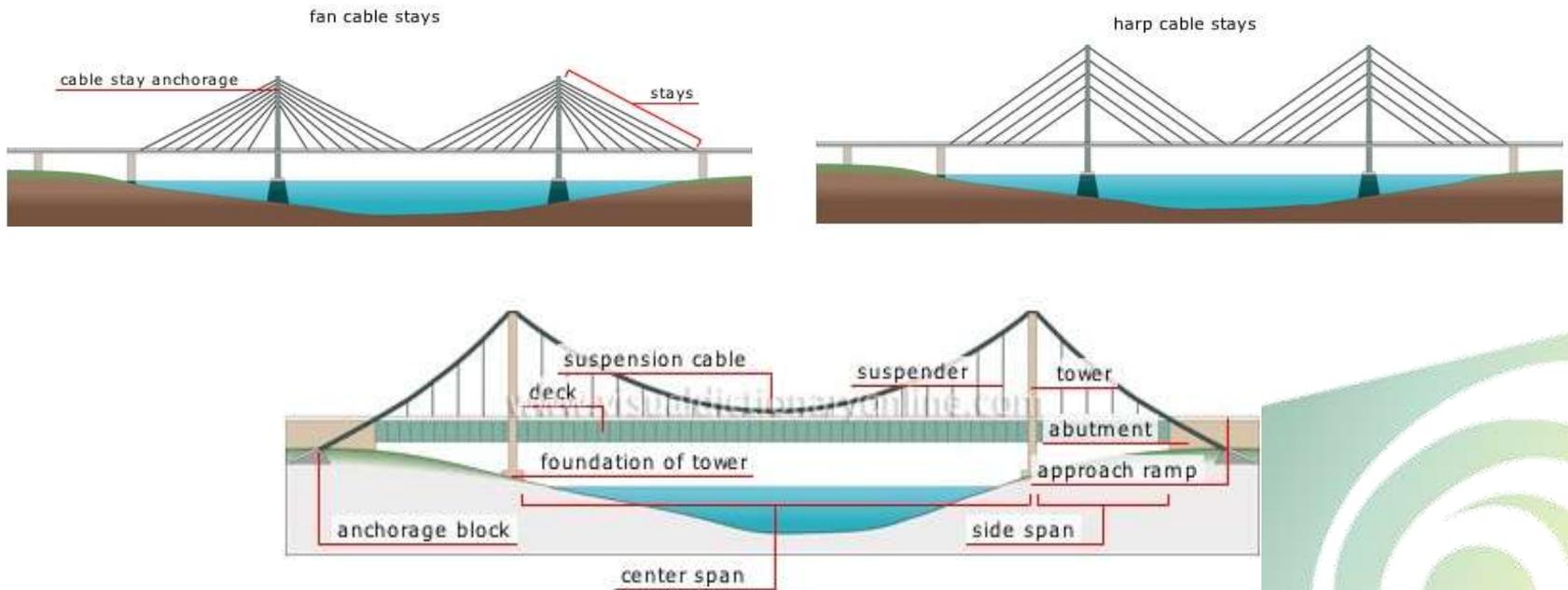
DESCRIÇÃO DA TÉCNICA

Cabo Padrão



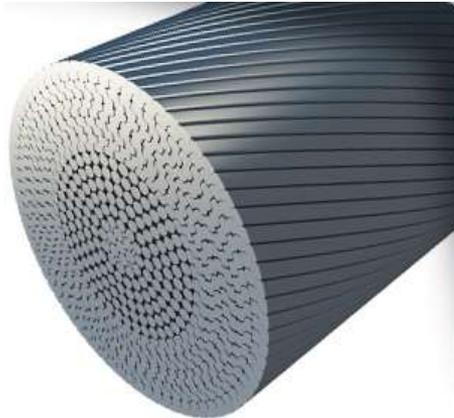
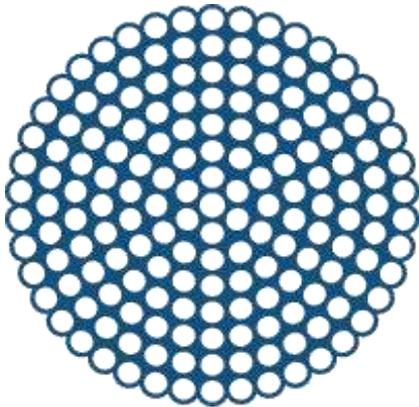
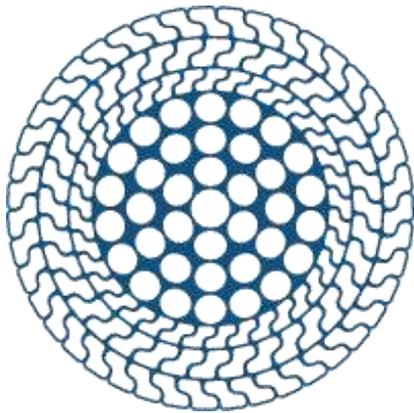
PONTES ESTAIADAS

As primeiras pontes estaiadas foram construídas por volta de 1814, pelos registros existentes⁽⁴⁾. Existem várias conformações de pontes estaiadas, porém três tipos são mais comumente utilizados, são as pontes suspensas, as pontes com os cabos em forma de leque ou ventilador (fan cable stays) e as pontes com cabos em forma de harpa (harp cable stays).



OS CABOS DE AÇO

Os cabos de aço mais utilizados nesta aplicação são dois: os cabos fechados com fios "zeta", lubrificados, galvanizados e com núcleos helicoidais anti-torção, padrão EN 12385-10⁽⁶⁾ / German TL Seile⁽⁷⁾ / Norwegian Handbook 122⁽⁸⁾, na faixa de diâmetro de 20 a 180 mm.



A INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA DOS CABOS DE AÇO

A inspeção destes cabos de estaiamento é em geral mais trabalhosa que dos demais cabos de aço de aplicações de elevação de carga, primeiramente pelo diâmetro dos cabos que normalmente são maiores de 70 mm e depois devido à localização. Nas laterais das pontes é normal haver pouco espaço livre e como os equipamentos são grandes, por causa do diâmetro dos cabos, as ações demandam um bom planejamento para que o tráfego não seja muito perturbado.

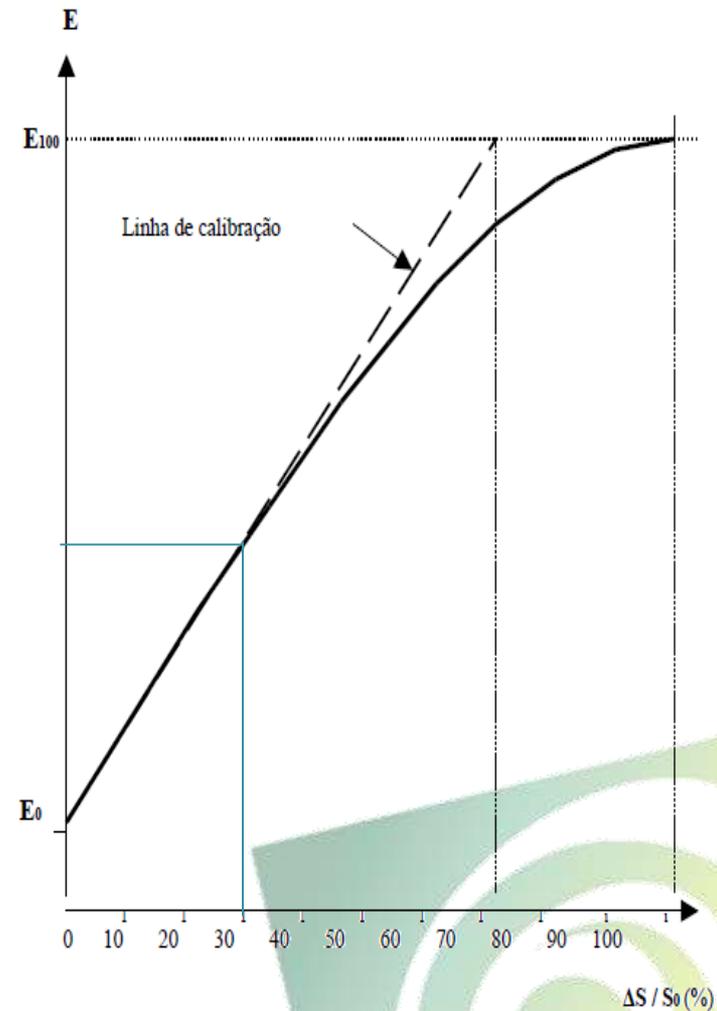


A MH 60-85 peso ca. 70 Kg (direita) e a MH 100-150 peso ca. 217 Kg (esquerda)



CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Para realização da inspeção o equipamento precisa ser calibrado utilizando-se a seção metálica do cabo a ser inspecionado. É necessário montar o equipamento no cabo, pré-magnetizar aproximadamente 2 metros do cabo e calibrar o primeiro ponto que se refere ao 0% de perda de seção metálica (%LMA). O segundo ponto, que seria a calibração do 100% de perda de seção metálica, nestes equipamentos é feita automaticamente pelo aparelho levando-se em consideração o diâmetro do cabo a ser inspecionado. Desta forma com dois pontos defini-se a curva de calibração.



CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Toda calibração do aparelho e o armazenamento dos sinais do ensaio são registrados num coletor de dados de aproximadamente 700g que corre junto com o aparelho, neste tipo de ensaio. Posteriormente, ao se conectar num laptop ou computador esse arquivo gerado durante o ensaio é transferido para ser analisado com a ajuda de um software próprio chamado Wintros®. Este gera um arquivo gráfico digital que permite facilmente analisar os resultados, podendo-se fazer “zoom” em regiões específicas até um intervalo de 2 mm do cabo.



Características do Coletor de Dados:

- Dimensões reduzidas (85x35x217 mm);
- Leve (0,7 kg);
- Funciona com baterias recarregáveis;
- Teclado de tipo membrana;
- Desenhado conforme a IP65.

PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

1º PASSO:

Chega-se ao local da inspeção para preparar as instalações das polias e motores de tração, se for o caso. Neste momento sempre existe a interrupção de uma via de rolagem.



PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

2º PASSO:

Montar a cabeça magnética para a calibração dos pontos de referência para o %LMA (perda de seção metálica). Neste caso foi utilizado o equipamento MH 60-85. Após a montagem faz-se a pré-magnetização de aproximadamente dois metros e através do coletor de dados esta informação é armazenada para a inspeção.

Posteriormente, também através do coletor de dados, grava-se o segundo ponto (100% de perda de seção) no coletor de dados, proveniente do cálculo do aparelho com base no diâmetro.



PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:

Após a calibração a cabeça magnética está pronta para iniciar as inspeções de todos os cabos da ponte. O incoder (medidor da distância percorrida) é zerado e assim que a cabeça magnética começa a se mover ele começa a medir a distância. Assim as discontinuidades podem ser localizadas.



PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:

Dependendo da seção metálica do cabo e do tempo disponível para a inspeção, a cabeça magnética sobe pré-magnetizando o cabo e desce gravando a inspeção ou ela sobe e desce pré-magnetizando e sobe gravando a inspeção.



*A cabeça magnética
inicia a subida...*

Certificada ISO 9001:2008

PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:



...tomando altura...

PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:



...mais avante...

Certificada ISO 9001:2008

UMA EMPRESA DE INSPEÇÃO E TECNOLOGIA

PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:

Observa-se pela foto, como a geometria do aparelho é importante para permitir que no fim do cabo ele possa realmente encostar o máximo possível no soquete ou aparato de fixação do cabo. Maximizando assim o comprimento do cabo inspecionado.



...no topo.

Certificada ISO 9001:2008

PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO

3º PASSO:

Este processo é repetido quantas vezes forem a quantidade dos cabos de aço da ponte. Após o término da inspeção de um cabo, a cabeça magnética é desmontada e montada no próximo cabo. Ao término das inspeções os arquivos salvos no coletor de dados são baixados para um computador, onde então os gráficos gerados pelo software WINTROS® serão avaliados pelo inspetor.

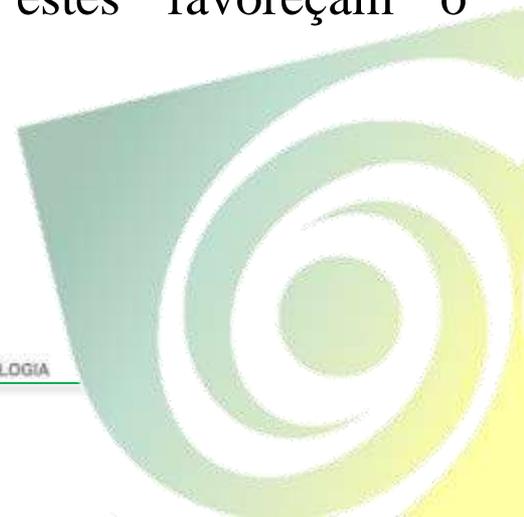
Cabeça magnética começa a descer gravando a inspeção do cabo



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Os cabos de aço usados no estaiamento da ponte de Surgut – Rússia são do tipo locked coil strand (cabos fechados e lubrificados). Esse tipo de cabo é bastante utilizado, pois além de apresentarem propriedades mecânicas ótimas para esta aplicação, as três camadas de fio “zeta” ajudam a impedir a entrada de água e poeira do ambiente externo.

Os defeitos mais comuns neste tipo de cabo, para esta aplicação, é corrosão externa, normalmente associada à falha da integridade do revestimento e deslocamento da camada externa de fios “zeta” proveniente da vibração provocada pela carga de vento e normalmente associadas a trinca nos fios. O objetivo principal da inspeção eletromagnética é acompanhar a evolução dos níveis de corrosão, mesmo sob a camada do revestimento e buscar a existência de trincas (fio rompido) antes que estes favoreçam o deslocamento da camada externa de forma irreversível.



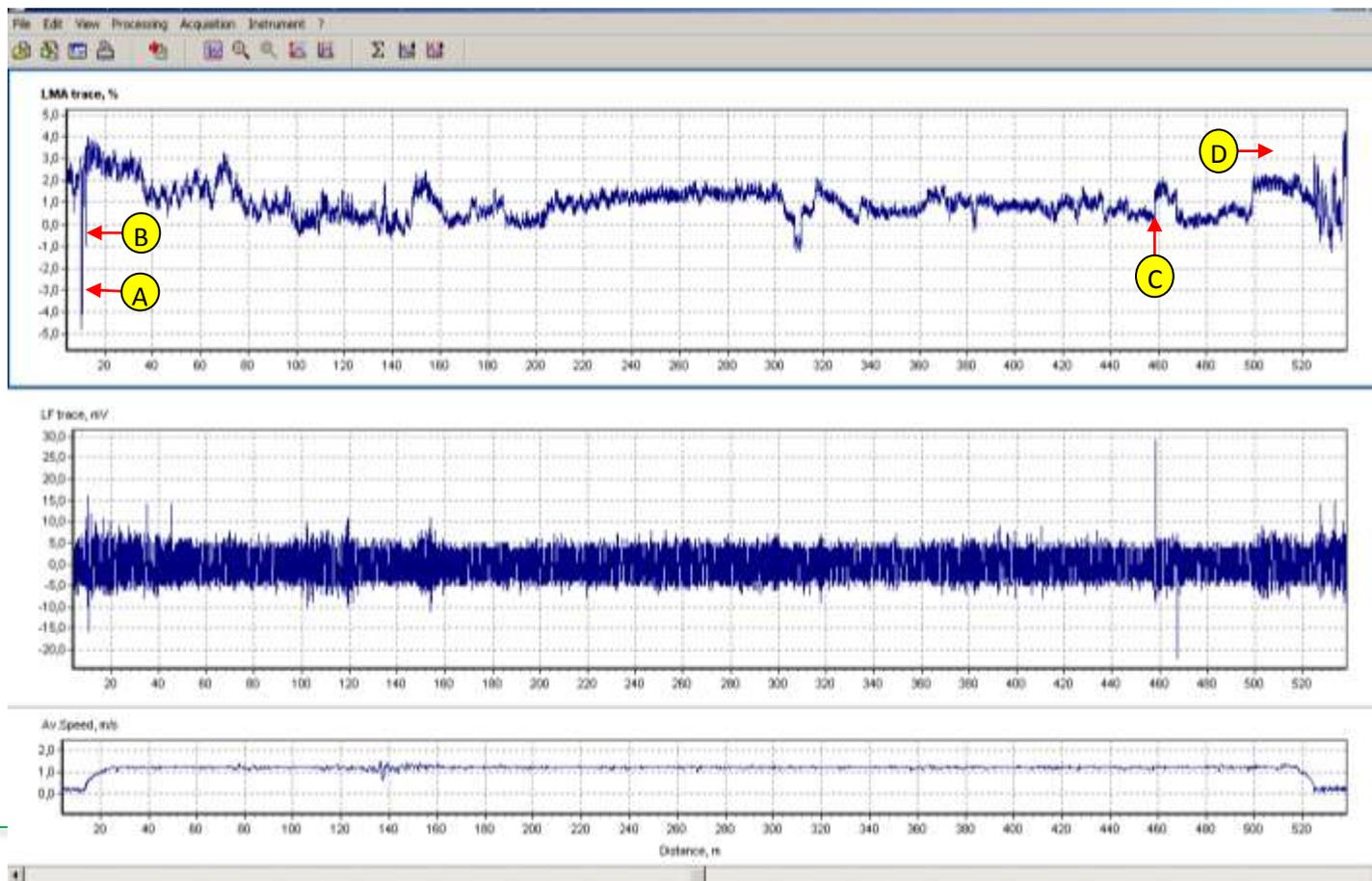
RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA



Mostraremos a seguir o resultado da inspeção do cabo nr.1 que apresentou alguns resultados relevantes.

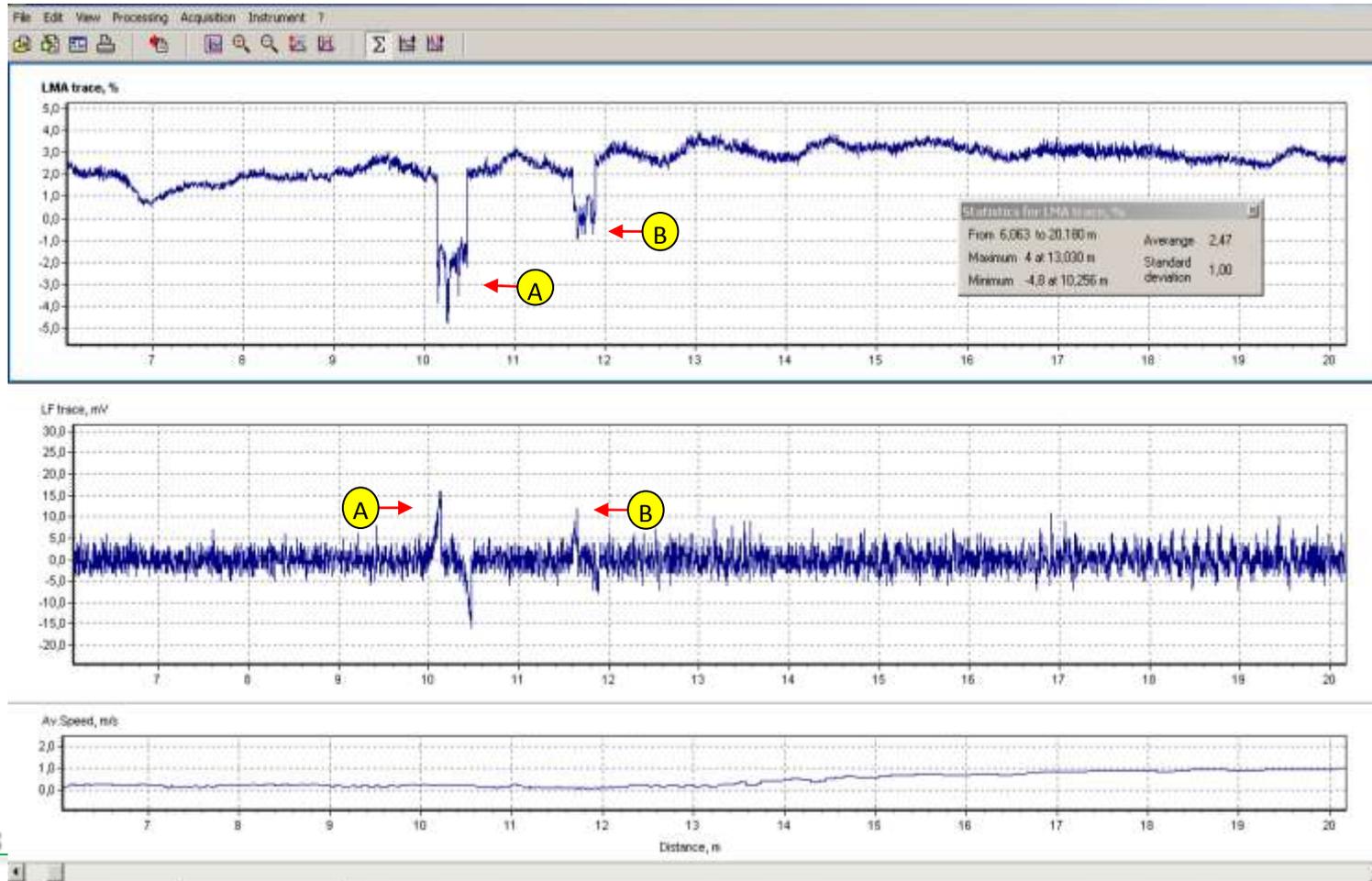
RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Foram inspecionados 540 m de cabo, com a cabeça magnética MH 60-85 – o resultado desta inspeção está demonstrado nos gráficos a seguir. Como o arquivo é totalmente digital, com o software podemos realizar “zoom” nas regiões de interesse para melhor visualizar as discontinuidades.



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

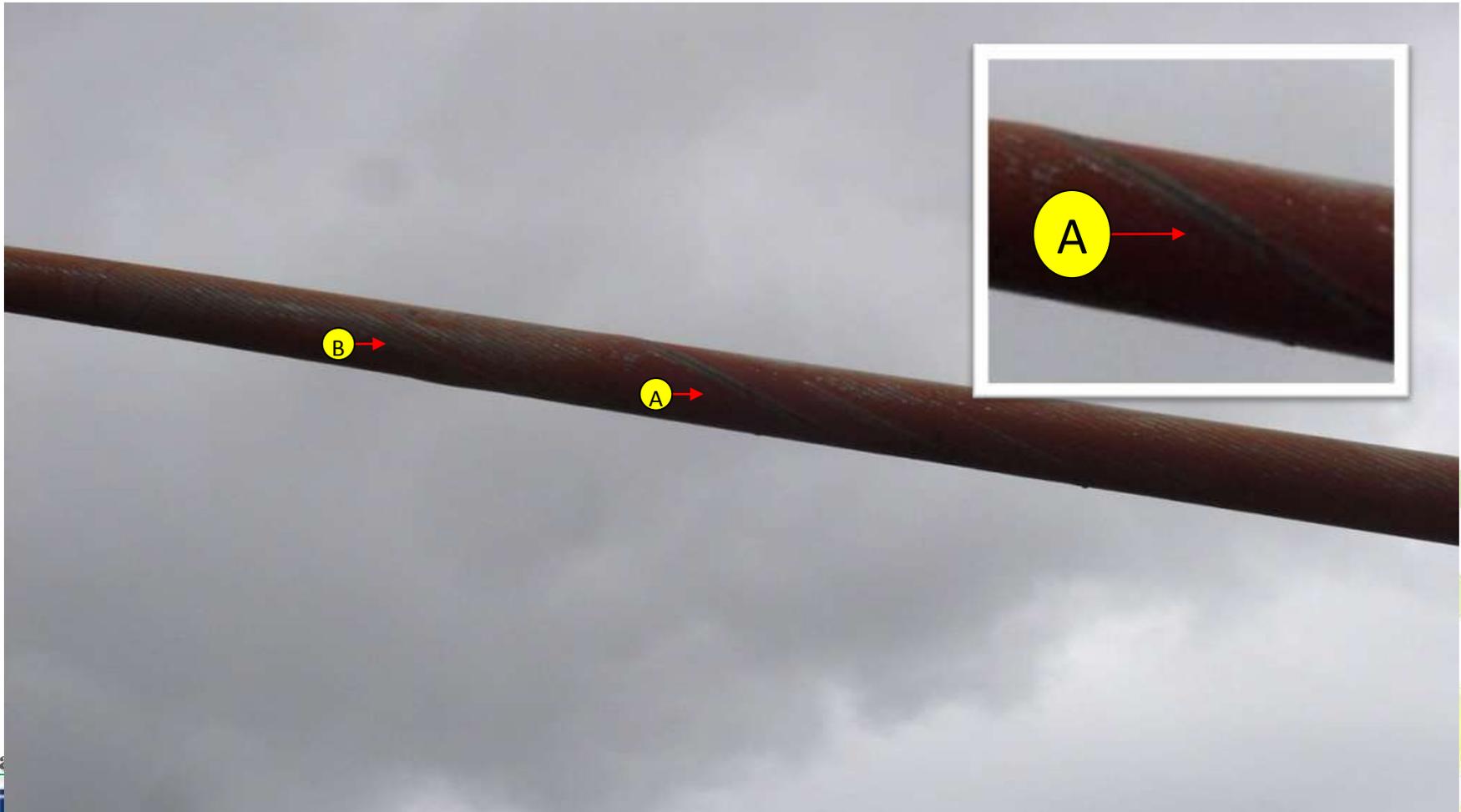
Veremos a seguir um “zoom” na região até 20 m, onde poderemos avaliar as regiões de interesse A e B.



Certificada ISO 9001:2008

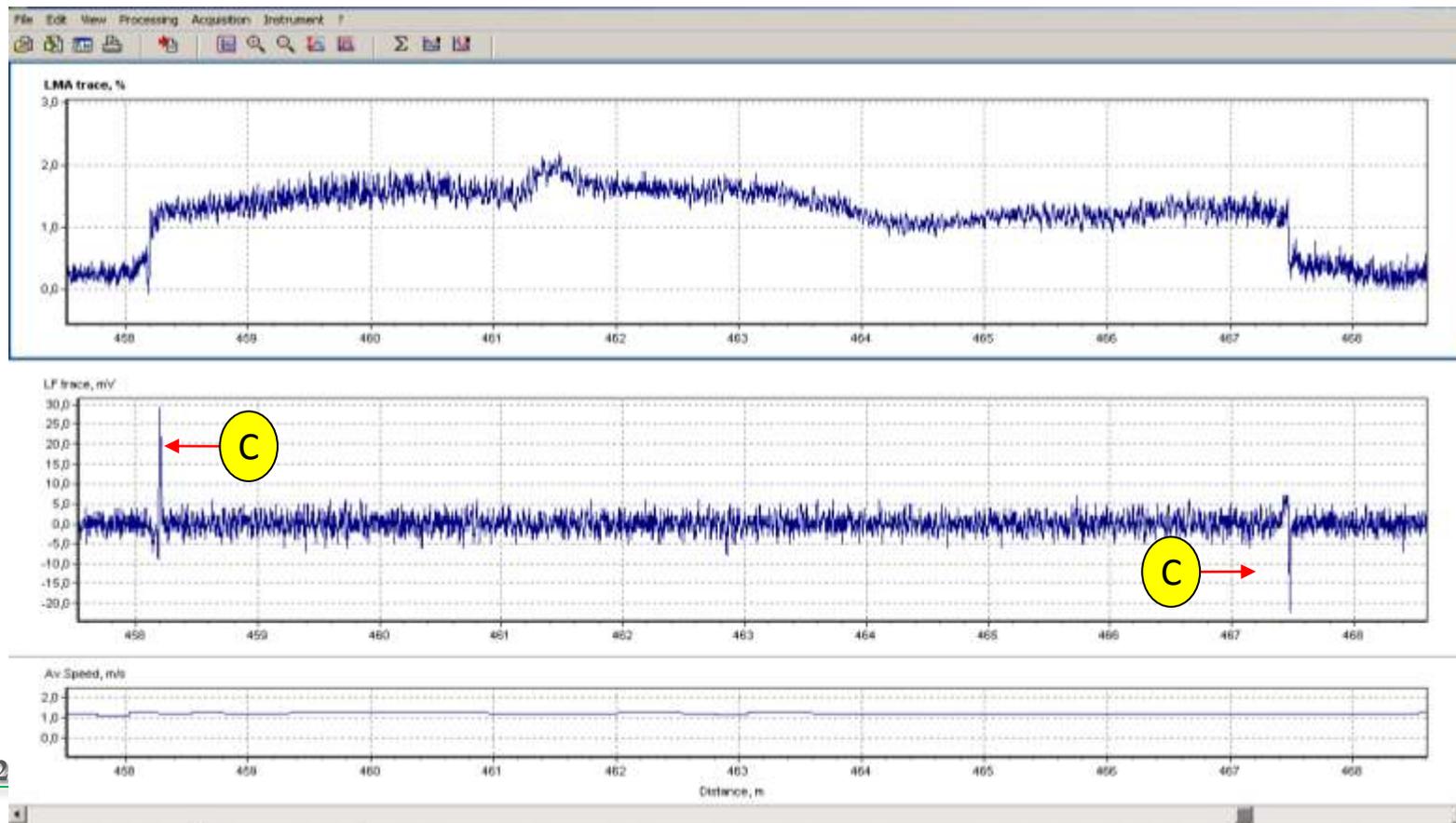
RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

As descontinuidades A e B representam no gráfico de %LMA um ganho de massa, que neste caso pode significar que alguma camada de fio “zeta” se deslocou sobre uma outra neste trecho.



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

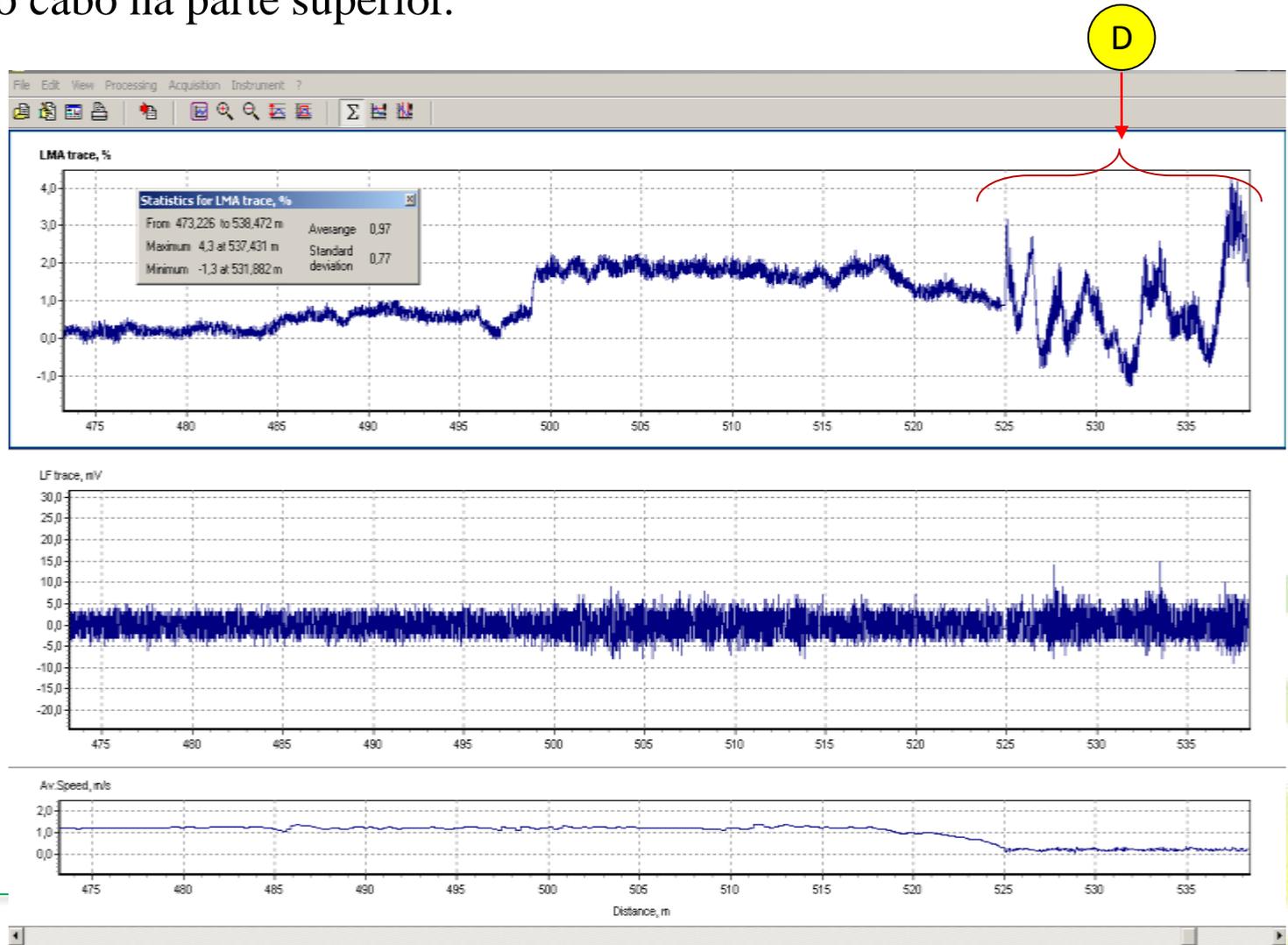
No gráfico a seguir estaremos focando a região entre 458 m e 468 m, região de interesse C, com indicação de fio rompido. O pico positivo seguido do pico negativo distantes entre si 9,295 m, significa que falta esse pedaço de fio neste trecho.



Certificada ISO 9001:2

RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Neste gráfico estaremos detalhando o trecho de interesse D, mais próximo do fim do cabo na parte superior.



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

As grandes variações dos sinais no gráfico de %LMA junto com os sinais do gráfico LF indicam uma região de desestruturação da camada externa do cabo com origem provável em pites de corrosão, indicados no gráfico LF que demonstra um nível de corrosão baixa e se acentua a partir de 527 m até 540 m.



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

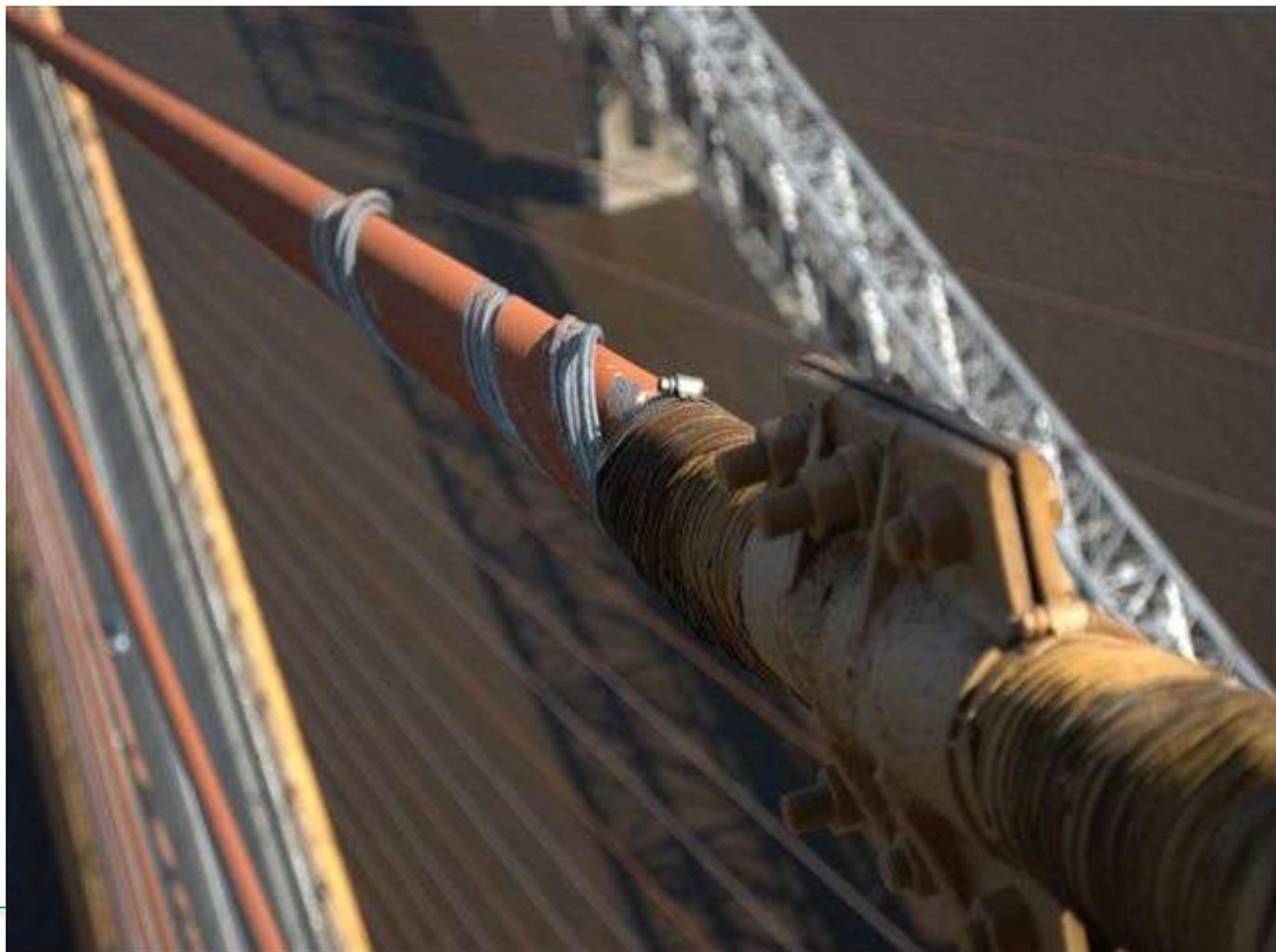
Detalhes do trecho de interesse D.



Na foto acima se constata que houve, em algum momento, a intenção de reparo nesta região.

RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Em um outro cabo foi também encontrado uma tentativa de reparo que não estava mais eficiente e permitiu a propagação do defeito.



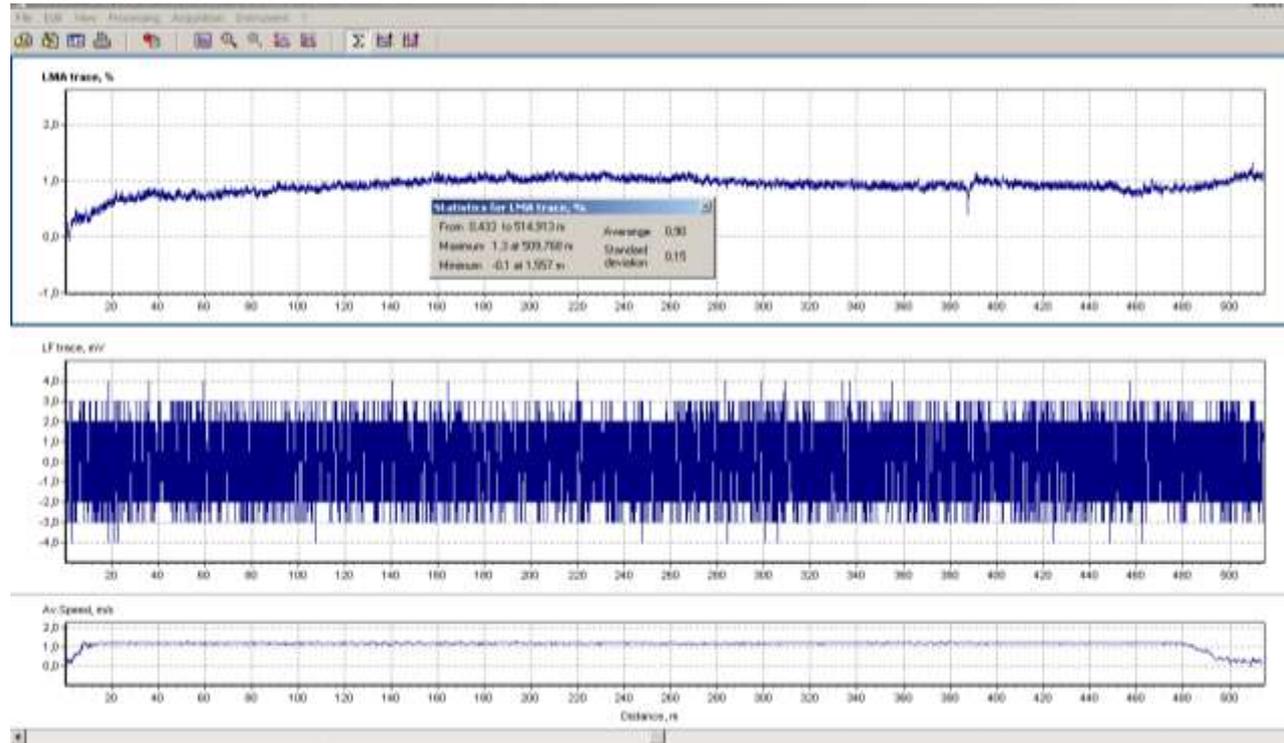
RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Curioso é que este cabo está imediatamente abaixo do cabo que demonstramos o chamado Cabo nr.1.



RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

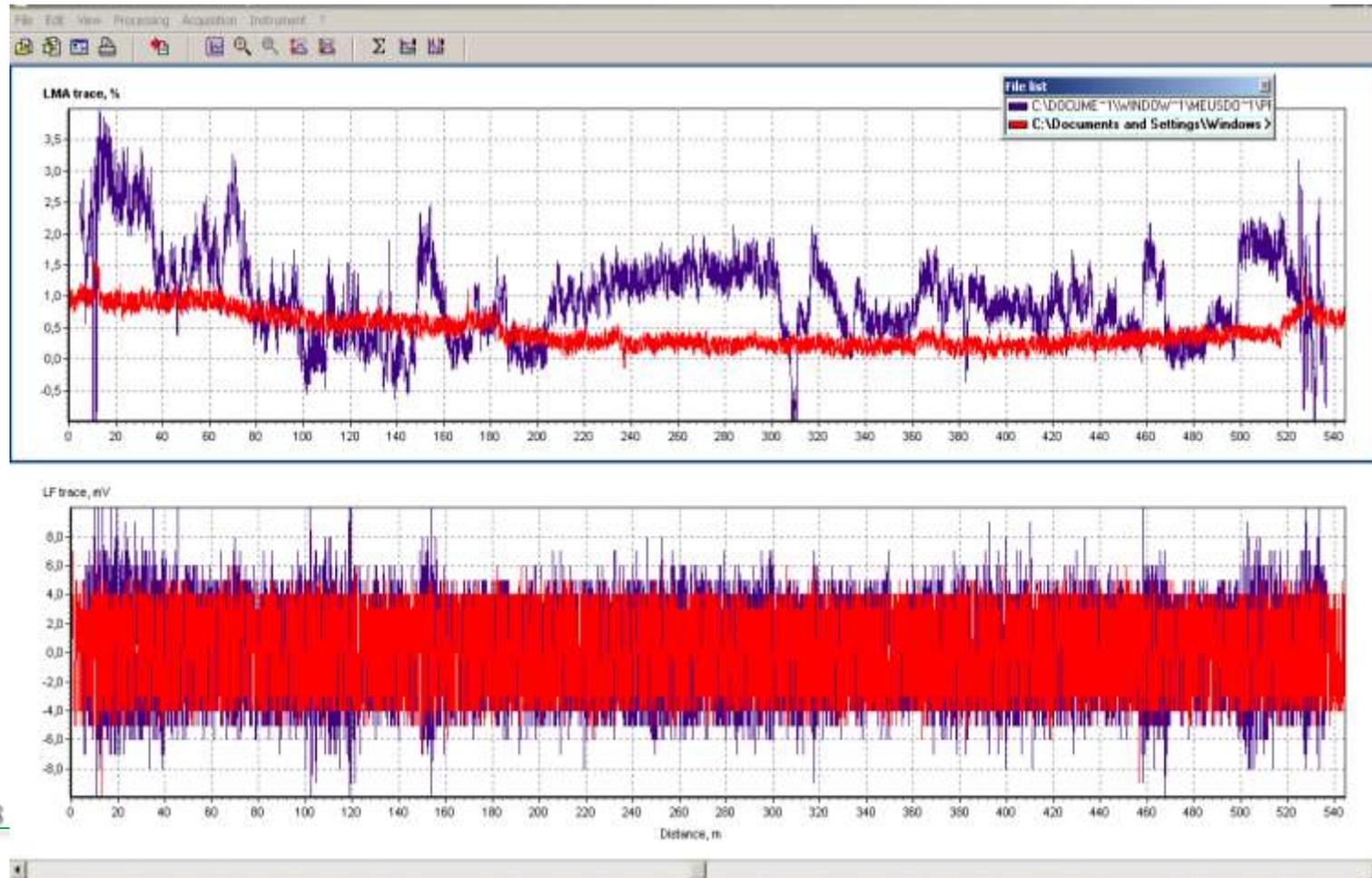
Somente como comparação, demonstraremos o gráfico geral do primeiro cabo do lado oposto (sentido Nefteyugansk) ao apresentado acima.



O gráfico demonstra uma condição uniforme de perda de seção metálica (%LMA) e uma corrosão generalizada de baixa intensidade, demonstrada no gráfico LF.

RESULTADO DA INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Se compararmos os dois gráficos com o recurso de superposição dos ensaios, veremos ainda mais significativamente a diferença do estado dos dois cabos.



Certificada ISO 9001:2008

PONTES ESTAIADAS – O que queremos evitar!

Os primeiros acidentes registrados já datam de 1825, quando uma ponte estaiada construída sobre o Rio Saale na Alemanha desmoronou, um ano após sua construção.

Ainda hoje observa-se alguns erros nas construções de pontes estaiadas, principalmente nas construções tipo leque (fan cable stays), pois o projeto acaba por não considerar o espaço necessário entre os cabos de estaiamento para a passagem do aparelho de inspeção eletromagnética. Esse detalhe pode comprometer muito a segurança e a “vida útil” dos cabos de aço ou tirantes.

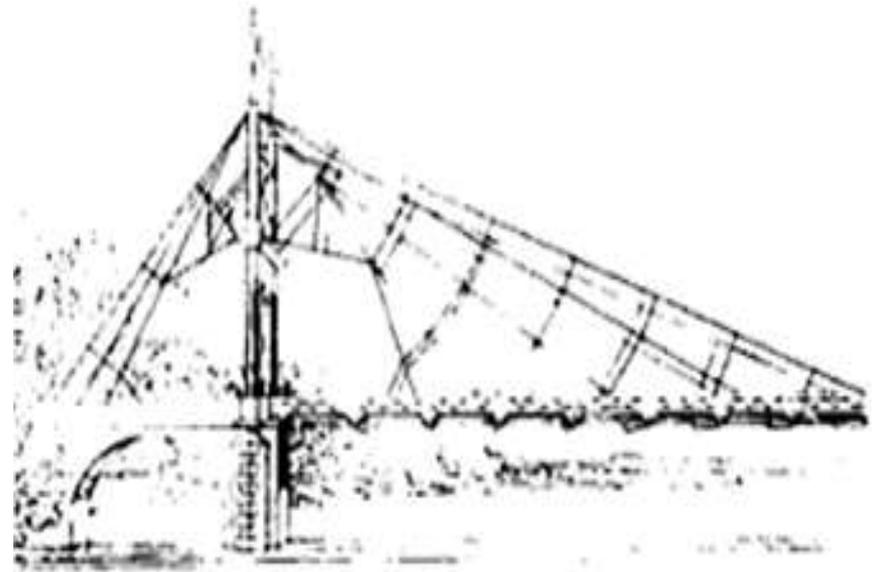


Fig. 2.3. Bridge over the River Saale, Germany, 1824

QUEREMOS EVITAR!



Certific



BRASIL

CONCLUSÃO

Conclui-se com esse trabalho de inspeção eletromagnética nos cabos de estaiamento da ponte sobre o rio Ob em Surgut – Rússia, que quando evoluímos tecnologicamente na aplicação de recentes ou antigos materiais em novas aplicações precisamos ter em mente que tecnologias mais modernas precisarão também ser desenvolvidas ou evoluídas para atender as necessidades de manutenção e inspeção destas aplicações. Tanto é assim, que percebemos que antigos procedimentos de reparo de cabo de aço foram aplicados para tentar resolver as conseqüências de um novo problema, porém sem eficiência. O uso de técnicas de END no suporte à manutenção preditiva traz segurança na continuidade do uso, otimiza os custos de manutenção e evita acidentes de grandes proporções. Estatisticamente é divulgado que 10% dos cabos de aço em uso no mundo estão em condições extremamente críticas, ou seja, já teriam ultrapassado o tempo de vida útil deles. Porém, usando-se as tecnologias de END podemos diagnosticar todos os defeitos e intervir na hora certa.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ASTM E 1571, Standard Practice for Electromagnetic Examination of Ferromagnetic Steel Wire Rope.
- 2) Efeito/Sensors hall: http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall
- 3) Manual INTROS - Equipos para Diagnostico y pruebas No Destructivas – INTRON PLUS LTD. - Calle Krasnokazarmennaya 17, Moscu, 111250, Rusia.
- 4) “Ponts huanés” (Cable stayed bridges) – 1985 (francês) e 1988 (inglês) – R. Walther, B. Honiet, W. Isles, P. Moia, J.F. Klein – ISBN 0 7277 27737
- 5) Imagem disponível na <URL: <http://www.visualdictionaryonline.com> >.
- 6) BS EN 12385-10:2003 - Steel wire ropes. Safety. Spiral ropes for general applications
- 7) *German TL Seile (Technical specifications for ropes) 1994*
- 8) N.N.
- 9) ASTM A586 - 04a(2009)e1 Standard Specification for Zinc-Coated Parallel and Helical Steel Wire Structural Strand
- 10) UDC 620.179:677.72© B.C. Kotelnikov, VV Sukhorukov, 2003 Defectoscopy AÇO guindastes CORDAS, efeito térmico Afetados B.C. Kotelnikov, PhD. Tekhn. Ciência (Gosgortekhnadzor Rússia), VV Sukhorukov, prof., Dr.-Ing. Ciência (OOO Intron Plus) O relatório, "Investigação da possibilidade de utilizar o detector de falha INTROS exame para cabos submetidos ao estresse térmico. OOO "Intron Plus», № 02/2000, 24.04.2000, Moscou.

FIM

OBRIGADO!

CONTATO:

Guilherme Teles



Certificada ISO 9001:2008

Tel.: +55 27 3348-0370 - FAX : +55 27 3318-3491 - Cel.: +55 27 9228-1014

www.intronbrasil.com.br

-

gteles@intronbrasil.com.br

Certificada ISO 9001:2008

UMA EMPRESA DE INSPEÇÃO E TECNOLOGIA

