

AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE FUNDAÇÕES METÁLICAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO¹

Giovani Eduardo Braga²
 Célia Regina de Oliveira Loureiro³
 Isabela Maria Ferreira Lopes⁴
 Gastón Alvia Moraga⁵
 Rosa Maria Rabelo Junqueira⁶

Resumo

Para empresas de geração e transmissão de energia elétrica, muitas perdas e riscos estão associados a processos corrosivos que ocorrem em estruturas enterradas, como pés de torres e fundações de linhas de transmissão (LTs). O controle da corrosão em fundações de LTs envolve o levantamento e análise de dados originados por diferentes métodos de inspeção e práticas de rotinas de manutenção. O objetivo desta contribuição é discutir metodologias alternativas para diagnóstico da condição estrutural, do ponto de vista da corrosão, que possam ser aplicadas em programas de inspeção de fundações metálicas de LTs. Para tanto foram realizados trabalhos de campo na linha de transmissão Neves-Três Marias da CEMIG, empregando-se medidas eletroquímicas e avaliações por inspeção visual. Os resultados obtidos indicaram a necessidade de ajustes nas metodologias utilizadas para que elas possam ser empregadas de forma complementar e melhorar a assertividade dos diagnósticos.

Palavras-chave: Linha de transmissão; Estruturas metálicas; Solo; Corrosão.

EVALUATION OF METAL FOUNDATIONS OF TRANSMISSION LINES DUE TO CORROSION

Abstract

For private companies in the generation and transmission of electric power, many losses and risks are associated with corrosive processes that occur in buried structures such as towers and foundations feet of transmission lines (TLs). The corrosion control in foundations of TLs involves the collection and analysis of data generated by different inspection methods and practices for routine maintenance and repair. The aim of this contribution is to discuss alternative methods for diagnosis of structural condition, from the standpoint of corrosion that can be applied in inspection programs for metal foundations TLs. Therefore, we conducted a fieldwork on the transmission line Neves-Três Marias Cemig, using electrochemical measurements and visual inspection analysis. The results indicated the need for adjustments in the methodologies used so they can be employed in a complementary and improve assertiveness diagnostics

Keywords: Transmission line; Foundation; Corrosion; Electrochemical methods.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Doutorando da REDEMAT (Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP/CETEC/UEMG)

³ Pesquisador MSc. em Tecnologia do Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Superfície

⁴ Pesquisador MSc. colaborador do Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Superfície

⁵ Pesquisador Dr. colaborador do Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Superfície

⁶ Pesquisador Dr. em Tecnologia, Dr. do Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Superfície

1 INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida, de uma maneira geral, como a degradação de materiais, geralmente metálicos, por ação física, química ou eletroquímica. Os processos corrosivos geralmente refletem na vida útil e na confiabilidade dos materiais. O solo é considerado um meio corrosivo extremamente complexo devido à sua heterogeneidade, porosidade e descontinuidade.⁽¹⁾ O difícil acesso de estruturas enterradas, tais como torres de linhas de transmissão de energia elétrica, que estão constantemente em contato com o solo, torna imprescindível o desenvolvimento de técnicas alternativas à inspeção visual visando à avaliação, a abordagem e a definição de riscos.

Os processos corrosivos de estruturas enterradas podem ser originados devido a inúmeros fatores. Dois materiais diferentes em contato, por exemplo, como é o caso de estruturas de aço sustentadas por contrapesos de cobre, podem dar origem a uma célula eletroquímica, devido à diferença de potencial entre os materiais.⁽²⁾ Outro exemplo é a corrosão por aeração diferencial, que também é muito comum em fundações. Nesse caso, diferenças na concentração de oxigênio em regiões ao longo da estrutura podem dar origem às chamadas pilhas de concentração,⁽³⁾ onde áreas com baixa quantidade de oxigênio são anódicas, e áreas com maior quantidade de oxigênio são catódicas.

A corrosão leva a perda de massa de seção transversal da fundação, levando a perda de resistência mecânica da mesma. Como sistema estrutural da LT é dimensionado para ter uma resistência maior, ou no mínimo igual, à solicitação (carregamento), se a resistência diminuir a um nível crítico, poderá levar ao colapso e falha da LTs.

O controle da corrosão em fundações de LTs deve envolver vários parâmetros como o levantamento e análise de dados originados por diferentes métodos de inspeção e práticas de rotinas de manutenção e reparo. Um programa para o gerenciamento da integridade de fundações contra corrosão deve analisar, de forma integrada, todas as informações de dados de inspeção, visando níveis elevados de confiabilidade e continuidade operacional das instalações.

A medição do potencial de corrosão é a técnica mais usada para avaliar o grau de corrosão de fundações metálicas de LTs, de forma não intrusiva, utilizada na Cemig.⁽⁴⁾ O potencial de corrosão é um dos parâmetros eletroquímicos de mais fácil determinação experimental. Não existe um critério bem claro para definir a relação entre o potencial medido e o nível de corrosão de estruturas enterradas. Na própria Cemig, existem instruções e critérios que estipulam a perda da camada de zinco e o início da corrosão do aço a partir de -0,85 V, e em outros em -0,7 V ou mais positivo (menos negativo).^(4,5)

Os ensaios de perda de massa são considerados um dos métodos mais precisos e confiáveis para avaliação da corrosão de estruturas enterradas. Entretanto, esse tipo de estudo requer longos períodos, muitas vezes incompatíveis com projetos de engenharia. As técnicas eletroquímicas também podem ser utilizadas no estudo da corrosão de estruturas enterradas, e são consideradas potencialmente promissoras, mas os resultados geralmente são avaliados como indicativos de tendência à corrosão, e devem sempre ser complementar à caracterização dos solos, no que se refere às suas características físico-químicas.⁽⁶⁾

Os ensaios não destrutivos avançados, como as ondas guiadas, têm sido bastante utilizados para avaliação da integridade de tubulações podendo futuramente ser uma alternativa para identificação do local e estimativa da perda de massa das estruturas

enterradas, sem a necessidade de escavação. Entretanto, há a necessidade de modelar, parametrizar e adequar os sensores para esta aplicação. Há um projeto de P&D em andamento em parceria entre a Cemig, CETEC/SENAI e ISQ Brasil para desenvolvimento desta aplicação.

Para o caso de hastes (tirantes), usados em fundações de estruturas estaiadas (suportadas por cabos), já existe uma aplicação comercial, utilizando reflectometria de pulsos elétrico (ondas eletromagnéticas). Existem informações na literatura de que o método apresenta boa correlação entre os resultados obtidos para o diagnóstico e a real estágio de corrosão do componente.⁽⁷⁾

O objetivo desta contribuição é discutir metodologias alternativas para diagnóstico da condição estrutural, do ponto de vista da corrosão, que possam ser aplicadas em programas de inspeção de fundações metálicas de LTs. Para tanto foram realizados trabalhos de campo na linha de transmissão Neves-Três Marias da Cemig, empregando-se medidas eletroquímicas e avaliações por inspeção visual.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho serão apresentados dados de trabalhos de campo realizados na linha de transmissão de Neves – Três Marias 345kV, com aproximadamente 50 anos de operação. Essa linha possui 630 torres de transmissão constituídas de perfis de aço galvanizado tipo L e U, em forma de pirâmide, enterradas diretamente no solo, chamadas de grelha. Do total de torres, 479 dessa linha foram inspecionadas nos anos de 2004 e 2005 com escavação, avaliação visual e medições da perda de espessura do perfil estrutural por processos corrosivos.

Os dados de 2004 e 2005 foram utilizados como suporte na avaliação dos resultados obtidos pela *Intron Brasil*, em inspeção realizada em dezembro de 2012. Nessa ocasião, a empresa inspecionou 17 estruturas dessa LT utilizando a técnica de Resistência Linear de Polarização (RPL).⁽⁸⁾ A técnica foi aplicada no modo potenciostático utilizando uma montagem com três eletrodos. A torre é tomada como eletrodo de trabalho; barras de aço inox foram utilizadas como contra eletrodo; e o eletrodo de referência empregado foi o de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO₄). Foram aplicados potenciais de ± 20 mV em torno do potencial de corrosão, medido instantaneamente, para levantamento de curvas potencial aplicados por corrente medida. Os valores de resistência à polarização (R_p) foram determinados para 4 pernas de cada uma das 17 torres inspecionadas, a partir das inclinações de cada reta correspondente. A Figura 1 apresenta o exemplo de uma tela de resultados do programa aplicativo de dados da *Intron Brasil*.

A partir dos valores de R_p obtidos foram calculadas as densidades de correntes de corrosão (i_{corr}), em mA/cm², conforme a Equação 1 descrita, onde B é o coeficiente Stern-Geary.⁽⁹⁾

$$i_{corr} = 10^6 \frac{B}{R_p} \quad (\text{Equação 1})$$

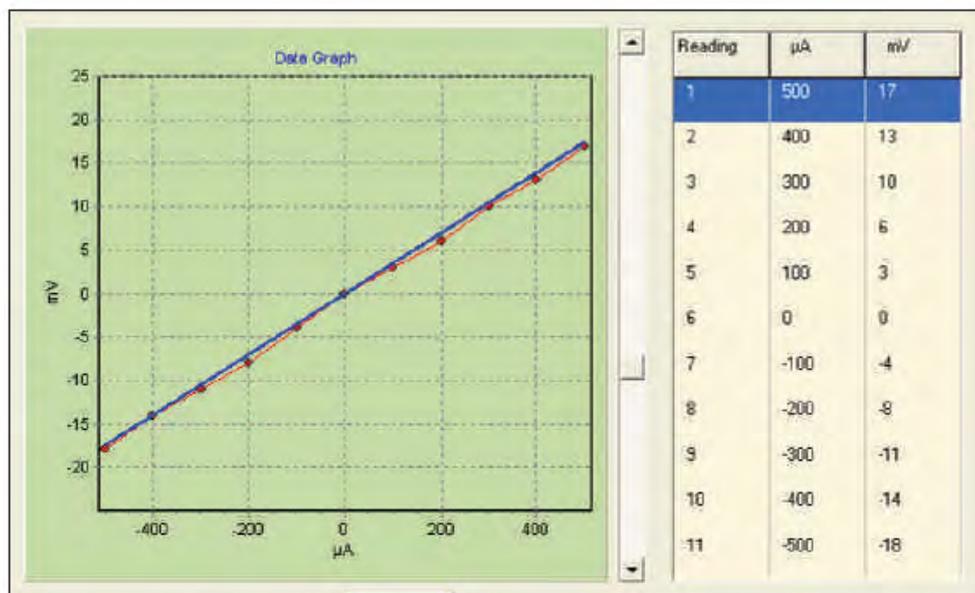


Figura 1 – Exemplo de uma tela de resultados do programa aplicativo de dados da *Intron Brasil* contendo dados de LPR.⁽²⁾

Paralelamente às medições feitas pela *Intron Brasil*, a equipe de manutenção da Cemig realizou também medidas do potencial de corrosão das 17 torres. Essa técnica consiste em medir o potencial da torre (eletrodo de trabalho) em relação ao potencial do eletrodo de referência (Cu/CuSO_4), empregando-se um voltímetro de corrente contínua, de alta resistência interna ou de alta impedância. Para executar a medição do potencial estrutura/solo, conecta-se o terminal positivo do voltímetro no ponto de teste da estrutura enterrada e o pólo negativo deve ser ligado ao eletrodo de referência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados na campanha de manutenção da Cemig realizada nos período de 2004 e 2005 estão sumarizados na Figura 2.

Como pode ser observado, 13% das estruturas inspecionadas passaram por intervenção e apresentaram problemas de corrosão. Dessa porcentagem aproximadamente metade dos casos incidem em problema de aeração diferencial, localizados na interface solo/atmosfera, conforme já apresentado anteriormente.⁽¹⁰⁾ A Figura 3 ilustra um caso típico de corrosão por aeração diferencial que ocorreu em um montante da linha Neves – Três Marias inspecionada em dezembro de 2012.

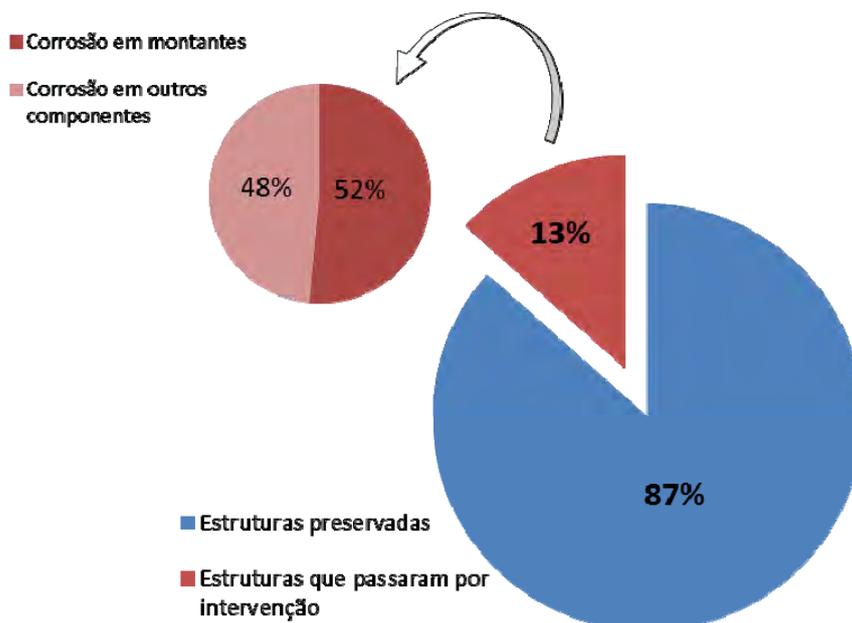


Figura 2 – Resultado da campanha de manutenção realizada pela Cemig no período de 2004 e 2005.



Figura 3 – Ocorrência de corrosão por aeração diferencial observado em um montante de uma das torres inspecionadas em dezembro de 2012.

Na Figura 3 estão apresentados os valores de densidade de corrente de corrosão (mA/ano) obtidos para as 17 torres inspecionadas da linha de Neves – Três Marias, obtidos em dezembro de 2012. Algumas estruturas tais como 608 e 618 passaram por substituição de componentes em 2004 e 2005

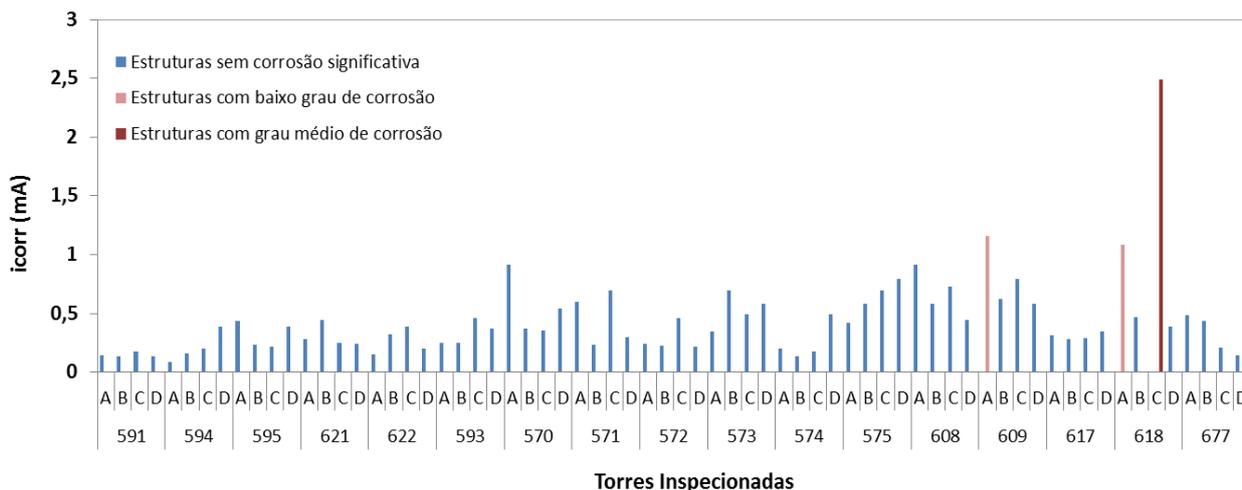


Figura 4 – Corrente de corrosão obtida pela técnica de LPR para as torres inspecionadas em dezembro 2012.

Pela Figura 4 observa-se que apenas as estruturas 609 e 618 foram consideradas pela *Intron Brasil* em estágios de corrosão mais avançados ($i_{corr} > 1,0\text{mA}$)⁽⁵⁾, sendo que as demais estruturas estariam com grau de corrosão insignificantes. Cabe ressaltar que a área de abrangência da medição não foi considerada. Os resultados de potenciais de corrosão das torres inspecionadas estão apresentados na Figura 5.

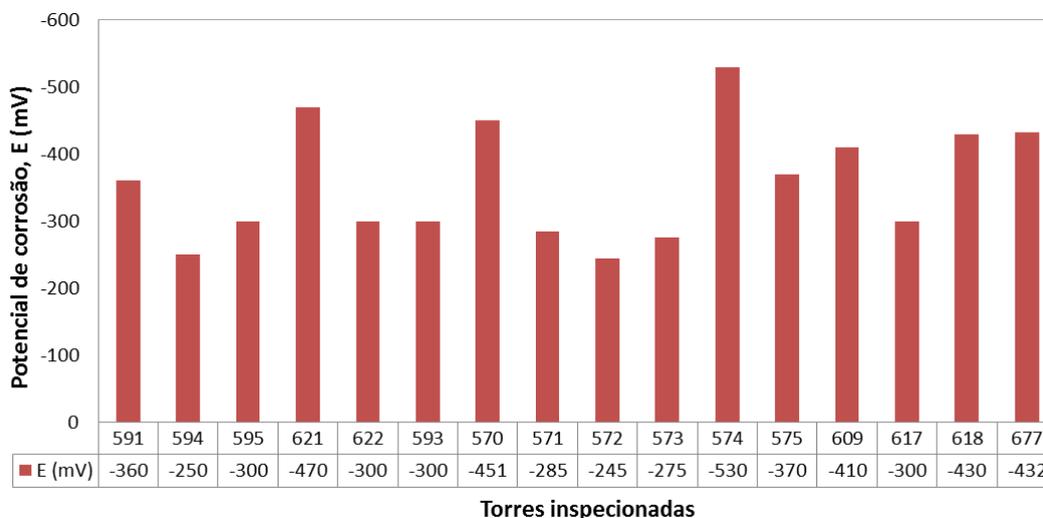


Figura 5 – Medidas de potencial de corrosão médio das quatro pernas das torres de transmissão realizadas na inspeção de dezembro de 2012.

Pelos critérios adotados em procedimentos internos da CEMIG⁽⁴⁾ todas as estruturas inspecionadas apresentam potenciais de corrosão indicativos da necessidade de intervenção, ou seja, com valores $> -800\text{mV}$. A grande maioria das estruturas encontram-se em estágios mais críticos de corrosão com potenciais $> -400\text{mV}$. Comparando-se os resultados obtidos pela LPR e medidas de potencial de corrosão percebe-se que existe uma diferença de orientação em termos das ações de manutenção que deveriam ser tomadas a partir dos critérios de cada técnica. Pela técnica LPR somente as torres 609 e 618 deveriam passar por manutenção enquanto as medidas de potencial indicam que seria necessária inspeção visual com

ações subsequentes, tais como recuperação e proteção catódica, dependendo do resultado encontrado.

A torre 572 pode ser tomada como comparativo entre as duas técnicas. Em 2004 e 2005 ela encontrava-se dentro dos 13% das torres que passaram por intervenção (Fig. 2). Na inspeção de dezembro de 2012 a medida de potencial dessa mesma torre indicava novamente necessidade de inspeção visual (Figura 5). Entretanto o valor da corrente de corrosão obtido no LPR mostra que a torre 572 encontra-se preservada. Desta forma, com os procedimentos adotados neste trabalho, não foi possível obter convergência de resultados entre as técnicas.

4 CONCLUSÕES

- Os resultados indicaram a necessidade de ajustes nas metodologias utilizadas para que elas possam ser empregadas de forma complementar e melhorar a assertividade dos diagnósticos;
- O tempo de determinação do potencial de estabilização - tomado como referência nas medidas de LPR - assim como a área da torre em contato com o solo - empregada no cálculo da densidade de corrente - devem ser judiciosamente revistos considerando que estes parâmetros afetam a linearidade da técnica e a densidade de corrente de corrosão, respectivamente;
- Aumentar a periodicidade das inspeções visando um monitoramento da evolução das medições e consequentemente do estado de conservação das estruturas;
- A resistividade do solo deve ser medida nos trabalhos de campo considerando que esta é um bom parâmetro para avaliar a corrosividade do solo, podendo ser utilizada de forma complementar às técnicas eletroquímicas.

REFERÊNCIAS

- 1 LIU, T. M.; WU, Y. H.; LUO, L; X.; SUN, C. Effect of Soil Compositions on the Electrochemical Corrosion Behavior of Carbon Steel in Simulated Soil Solution. *Mat.-wiss. u.Werkstofftech*, v.41, n.4, p.228-233, 2010.
- 2 SERRA, E. T. Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais no Solo. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006. 169p.
- 3 GENTIL, V. Corrosão; 5^a Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 353p.
- 4 CEMIG. Medição do Potencial de Corrosão das Fundações de Estruturas Metálicas de Linhas de Transmissão. Instrução de Manutenção IM-OM-LT-00065. 24/04/2007.
- 5 PASSOS, A.C. *et al.* Proteção Catódica Fotovoltaica de Fundações Metálicas de Linhas de Transmissão. Trabalho apresentado no encontro ABRAMAN, Belo Horizonte, 2000.
- 6 LOPES, I. M. F. Avaliação do desempenho frente à corrosão de um aço galvanizado em extratos aquosos de solo. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT/UFOP, Ouro Preto, 2012.
- 7 FONTAN, M.A.B *et al.* Método para avaliação da corrosão de tirantes em rocha. In: Décimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré- XIII ERIAC, 2009, Puerto Iguazú, Argentina. Anais... 2009. XIII/PI-B2 - 14.
- 8 INTRON BRASIL. Inspeção Técnica de Corrosão Instantânea em Estruturas Enterradas. Relatório N^o RT-12120-001-VER-00. 20/12/2012.

- 9 ASTM G59 – 97 (2009) Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements. Disponível em:
<<http://www.astm.org/Standards/G59.htm>> Acesso em: 19 de março de 2012.
- 10 BRAGA, G.E.; Filho, O.C.; Machado, J.B.S. A experiência da CEMIG na inspeção, análise e proteção contra a corrosão de linhas de transmissão, Trabalho apresentado no Congresso Latino Americano de Corrosão, Fortaleza – CE, 2006.