

Avaliação da Integridade Estrutural de Fundações Metálicas de Linhas de Transmissão Devido à Corrosão

Giovani Eduardo Braga¹

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 (LT). O controle da corrosão em fundações de LT 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 LT. 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, fundação, corrosão, integridade estrutural, inspeção.

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 (LIU, 2010). 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 (SERRA, 2006). 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 (GENTIL, 2007), 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 LT.

O controle da corrosão em fundações de LT 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 LT, de forma não intrusiva, utilizada em concessionárias de energia elétrica como a Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2007). 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 -0,85V, e em outros em -0,7V ou mais positivo (menos negativo) (CEMIG, 2007; PASSOS *et al.*, 2000).

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 à suas características físico-químicas (LOPES, 2012).

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 (FONTAN *et al.*, 2009).

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 1 – Três Marias, 345kV, empregando-se medidas eletroquímicas e avaliações por inspeção visual.

2 Metodologia e testes realizados

Neste trabalho serão apresentados dados de trabalhos de campo realizados na linha de transmissão de Neves 1 – Três Marias 345kV, em outras LT e campo de teste, com dezenas de anos de operação, utilizando basicamente as mesmas técnicas, e uma análise georreferenciada piloto (Geocorrosão).

A LT Neves 1 – Três Marias tem 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) (INTRON BRASIL, 2012). 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 $\pm 20\text{mV}$ 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 (ASTM G59, 2009).

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

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/CuSO₄), 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. Foram realizadas as inspeções em LT da região central, norte e leste de Minas Gerais, conforme pode ser visto na Figura 3.

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 (BRAGA, 2006). A Figura 4 ilustra um caso típico de corrosão por aeração diferencial que ocorreu em um montante da linha Neves – Três Marias inspecionada em dezembro de 2012.

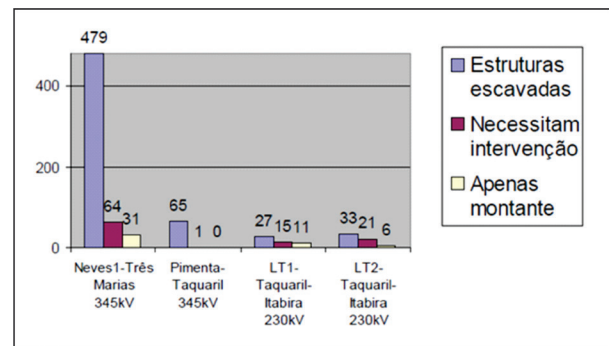


Figura 2 – Resultado da campanha de manutenção

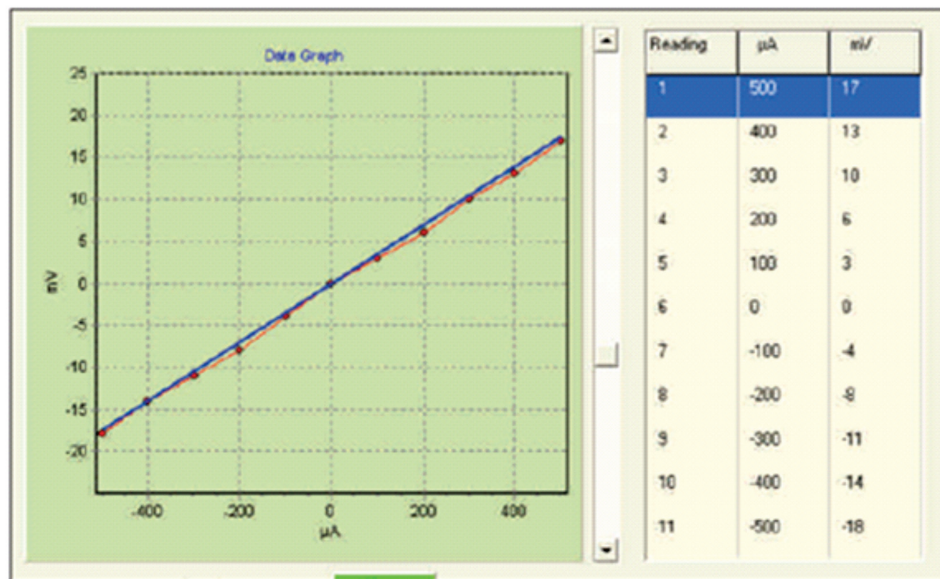


Figura 1 – Exemplo de uma tela de resultados do programa aplicativo de dados da Intrin Brasil contendo dados de LPR (INTRON BRASIL, 2012).

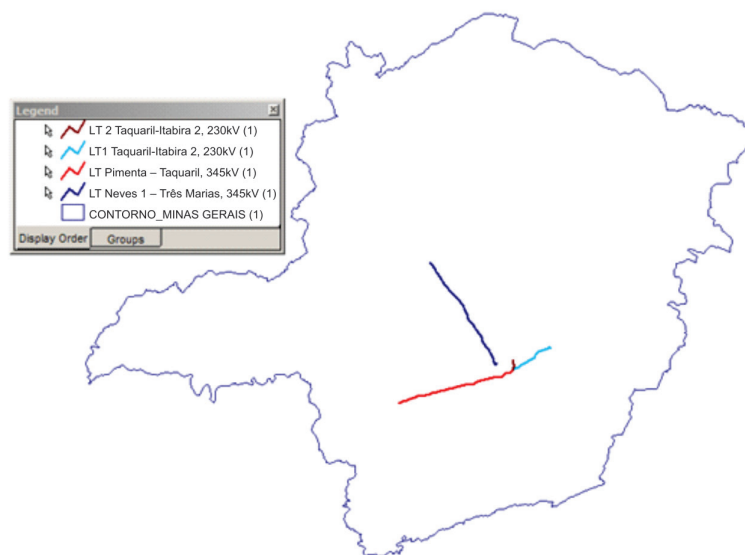


Figura 3 – Distribuição geográfica das LT inspecionadas nesta campanha.



Figura 4 – Ocorrência de corrosão por aeração diferencial observado em um montante de uma das torres inspecionadas em dezembro de 2012.

Na Figura 5 estão apresentados os valores de densidade de corrente de corrosão (mA/ano) obtidos para as 17 torres inspecionadas da linha de Neves 1 – Três Marias, obtidos em dezembro de 2012. Algumas estruturas tais como 608 e 618 passaram por substituição de componentes em 2004 e 2005.

Pela Figura 5 observa-se que apenas as estruturas 609 e 618 foram consideradas pela Intron Brasil em estágios de corrosão mais avançados ($i_{corr} > 1,0 \text{ mA}$) (PASSOS *et al.*, 2000), 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 6.

Pelos critérios adotados em procedimentos internos da CEMIG (CEMIG, 2007) todas as estruturas inspecionadas apresentam potenciais de corrosão

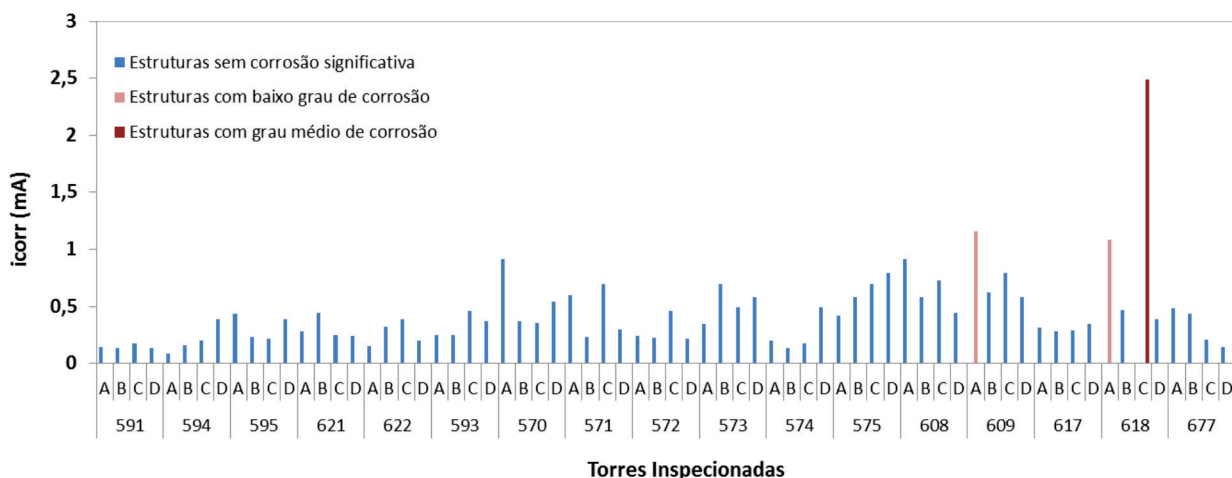


Figura 5 – Corrente de corrosão obtida pela técnica de LPR para as torres inspecionadas em dezembro 2012.



Figura 6 – Medidas de potencial de corrosão médio das quatro pernas das torres de transmissão realizadas na inspeção de dezembro de 2012.

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 (Figura 2). Na inspeção de dezembro de 2012 a medida de potencial de corrosão dessa mesma torre indicava novamente necessidade de inspeção visual (Figura 6). 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.

Na LT Barbacena 2 – Conselheiro Lafaiete 1 foram feitas inspeções visuais em 12 estruturas (num sítio de aproximadamente 10 km) com escavação e classificação da corrosividade conforme Steinrath

(TRABANELLI *et al.*, 1972), com exceção de alguns parâmetros. Os resultados das inspeções visuais indicam uma baixa taxa de corrosão com apenas perda parcial do galvanizado, mesmo após mais de 30 anos de instalação das fundações (Figura 7). Mesmo não tendo sido medido todos os parâmetros, o solo foi classificado como *ligeiramente corrosivo*, mostrando convergência dos resultados.

Outra experiência que está sendo realizada e que já apresenta alguns resultados é com cupons de grelhas em escala reduzida. Foram enterradas duas grelhas em escala no mesmo local (SE Barreiro – Belo Horizonte/MG) a cerca de 3m de distância uma da outra, sendo uma com corrosão inicial da camada de zinco e a outra como de fábrica (nova). Apesar dos perfis utilizados não serem de fundações em grelha, onde a espessura da camada de zinco é normalmente maior, tentou-se reproduzir nestes cupons a geometria de uma grelha de LT, inclusive colocando o fio de aterramento (contrapeso). A Figura 8 mostra detalhes destes cupons.

Nestes cupons foram feitas as seguintes medições:

1. Medição da massa inicial (em 2000) e depois de 13 anos (2013)
2. Medição do potencial de corrosão em três pontos diferentes do cupom (ver Figura 8) no momento inicial
3. Medição da resistividade no momento inicial (em 2000)
4. Medições médias das espessuras.

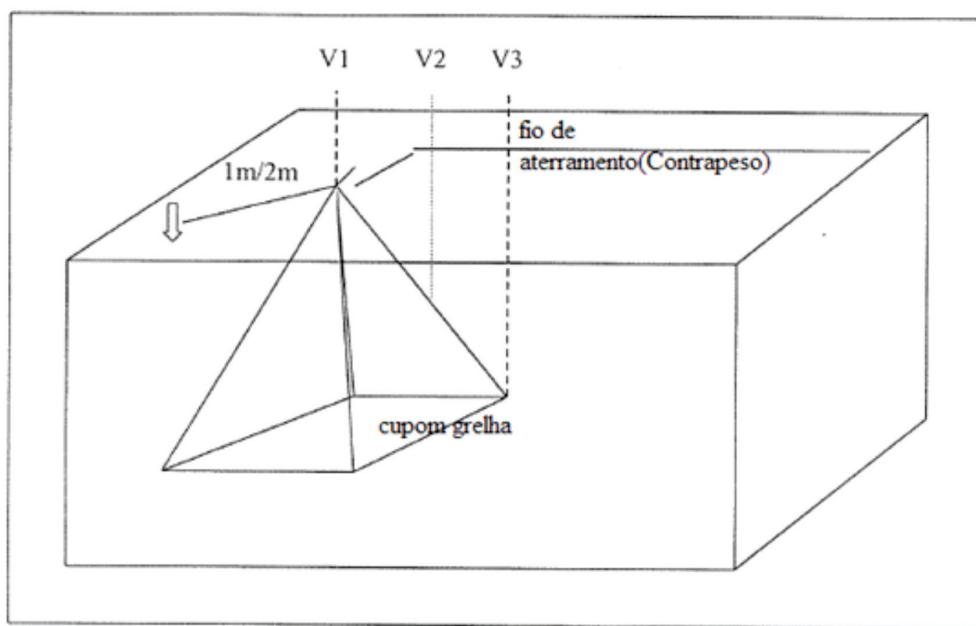


Figura 7 – Fotos de algumas fundações inspecionadas na LT Barbacena 2–Conselheiro Lafaiete 1.

Adicionalmente foram feitas medições com o sistema de proteção catódica desenvolvida pela Cemig, conforme descrito por PASSOS *et al.*, (2000).

Os principais resultados obtidos foram:

- na grelha mais corroída, o potencial de corrosão ficou em torno de $-0,264\text{V}$, enquanto na grelha menos corroída o potencial ficou em $-0,57\text{V}$;
- a variação do ponto onde foi colocada a semi-célula (meia-célula) não alterou significativamente os resultados, exceto quando a proteção catódica estava ligada;
- o fato do contrapeso (aterramento) estar conectado ou não alterou significativamente os resultados, exceto quando a proteção catódica estava ligada;
- o medição do potencial de corrosão em pontos diferentes do cupom não alterou em nada o resultado da medição;
- as grelhas tiveram perda de massa de $0,5\text{kg}$ (grelha nova) e $1,4\text{kg}$ (grelha velha), o que equivale a perda de massa de 2% e $5,9\%$, respectivamente, condizente com as perdas de espessura dos perfis medidos;



Legenda :



Anodo de PC



Meia-célula

V1, V2 e V3 são pontos de medição do potencial de corrosão



Figura 8 – Detalhes dos cupons de grelha em escala reduzida.

- a resistividade medida teve o comportamento em relação a profundidade superior a 60000ohms.cm;
- análise de solo, baseado no critério de Steinrath (TRABANELLI *et al.*, 1972), classificou o solo como ligeiramente corrosivo.

No projeto Geocorrosão, projeto esse baseado em uma técnica de geoprocessamento utilizando análise multicritérios, uma forma de análise espacial que compreende no cruzamento de variáveis envolvidas em determinado fenômeno, foi utilizada a metodologia

Delphi, onde foram consultados especialistas, engenheiro, técnicos de campo e pesquisadores, das mais variadas áreas e ramos do conhecimento científico. Os especialistas foram consultados para indicar quais eram as variáveis que mais interferem do fenômeno, para mais ou para menos, e o peso (ponderação) para chegar ao mapa síntese final com a classificação. O resultado destas consultas gerou a chamada árvore de decisão que é mostrada na Figura 9 abaixo.

O mapa síntese final da LT Barbacena 2–Conselheiro Lafaiete 1 está mostrado na Figura 10. As principais conclusões deste trabalho foram:



Figura 9 – Árvore de decisão com as variáveis, agrupamento, pesos, etc.

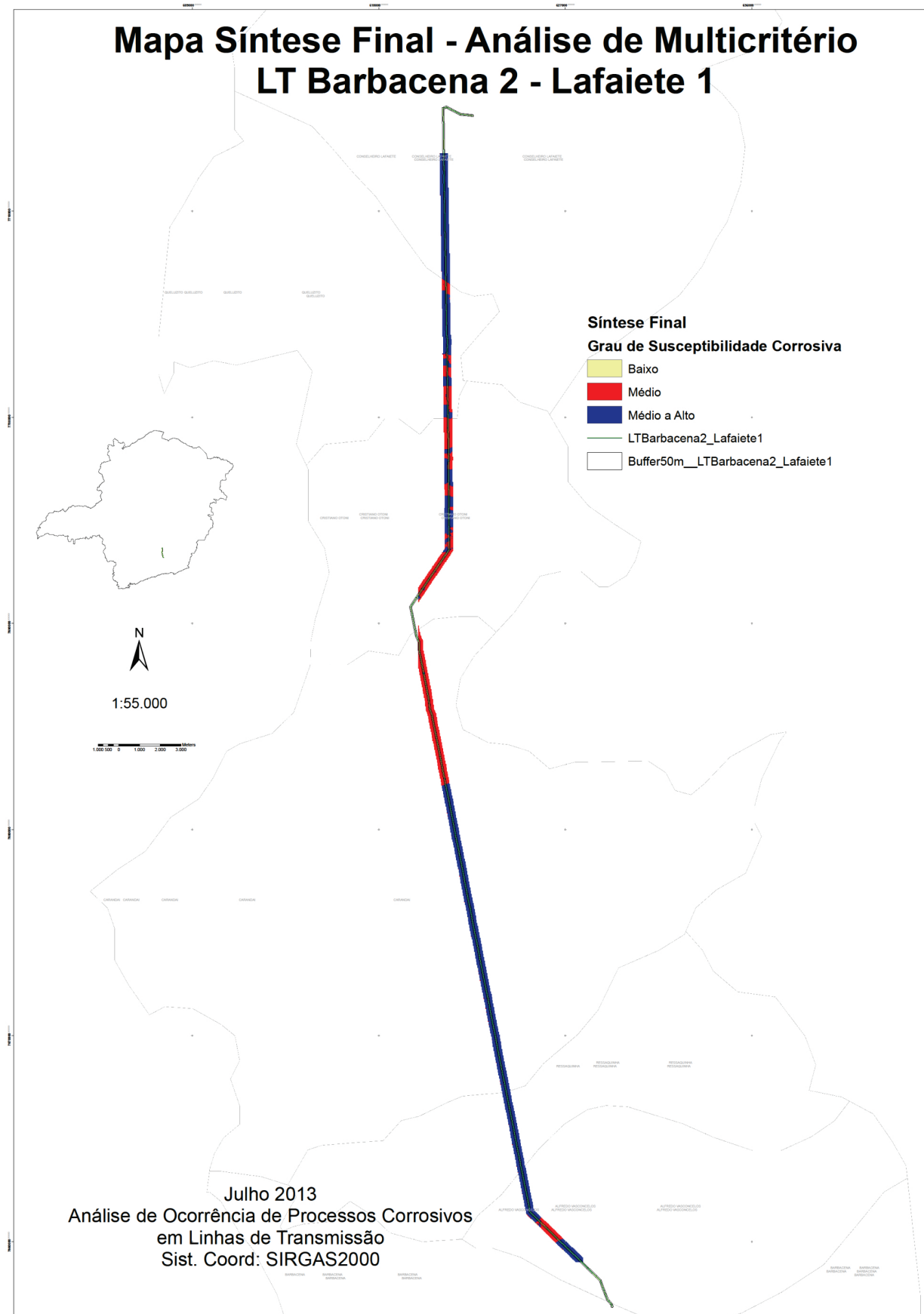


Figura 10 – Mapa síntese do projeto Geocorrosão.

- o método se mostrou eficaz na determinação das variáveis de mapeamento, assim como na atribuição de pesos e notas para a análise de multicritérios;
- não se conseguiu mapear todas as variáveis indicadas pela entrevista devido à inexistência da informação;
- um mapeamento com resoluções intermediárias como as fornecidas pelo satélite Aster (15 m) melhorariam a topografia e atenderiam ao estudo sem grandes perdas de informação dos temas Uso e Ocupação e Hidrografia;
- algumas variáveis devem ser alteradas ou excluídas afim de não poluir a análise, como topografia e descargas atmosféricas;
- os dados de tipo de solo e agressividade não existem relação direta e nem pesquisas que indiquem esta relação com a corrosão. Os dados geográficos existentes são de classificação feita pela Embrapa, que seguem padrões internacionais, mas que não tem a informação de potencial de corrosão ou taxa de corrosão;
- em decorrência da perda de informação algumas regiões das LT estudadas ficaram sem classificação quanto ao grau de susceptibilidade corrosiva, apresentando-se como uma área Nodata de valor nulo;
- caso haja uma significativa transformação territorial da área analisada ou um mapeamento de detalhe, as camadas de informação devem ser atualizadas para nova combinação através da análise de multicritérios.

Não foram levantadas/organizadas as informações das estruturas e fundações (critérios de carregamentos mecânicos), estatísticas de manutenção e custos de manutenção/inspeção. Esses serão os próximos passos, além da aplicação/adaptação da RBI para o caso de fundações metálicas de LT.

4 Análise dos resultados

Os resultados mostram que a maioria das estruturas apresenta, na inspeção visual com escavação da fundação, corrosão inicial a média, o que surpreende em função da idade da LT de quase 50 anos.

Algumas estruturas apresentaram estágio avançado de corrosão, com diferença de corrosão entre o montante e a grelha. Isto é um indicativo que há a incidência do mecanismo de corrosão por aeração diferencial, que é comum quando há mudança de meio envolvendo o metal, no caso é aéreo para enterrado.

As duas técnicas, resistência de polarização e potencial de corrosão, apresentaram discrepância de interpretação dos resultados. Pelos critérios da Cemig (Passos et al, 2000), as medições de potencial teriam a seguinte interpretação, na maioria dos casos:

- aplicação de proteção catódica;
- efetuar inspeção visual e fazer a recuperação;
- perda da camada de zinco e grau/nível de corrosão médio a intenso.

No caso da torre 572 a indicação é de perda acentuada de material da fundação podendo haver comprometimento estrutural. Realmente, conforme inspeção visual, o seu estágio de corrosão já é relativamente avançado, com perda significativa de material (mais de 20%), o que levaria intervenção de troca ou recuperação estrutural, conforme critério atual estabelecido pela Cemig (CEMIG, 2009). Já a adoção da técnica de resistência de polarização indicaria, na grande maioria dos casos, SEM CORROSÃO SIGNIFICATIVA, com exceção de uma perna da estrutura 618 (Figura 5). Em que pese o critério a ser adotado, que vai levar em conta a aceitação ao risco e custos, os resultados das técnicas eletroquímicas adotadas neste trabalho, tomados isoladamente, levariam a ações distintas de manutenção.

A medição da resistividade da estrutura 593 indica um solo de baixa corrosividade, já que a maioria dos critérios de corrosividade de solos propostos na literatura indicam que solos com mais de 100 ohm.m de resistividade são pouco corrosivos. Este resultado vem de encontro ao resultado de inspeção que indicou um grau de corrosão inicial/médio para esta torre, e não teria nenhuma ação emergencial de manutenção.

A taxa de corrosão não é um parâmetro adequado para avaliar, pelo menos deterministicamente, o estado de corrosão de metais enterrados, uma vez que pela idade da LT, pelos valores apresentados e a medição de perda de material por inspeção visual não convergem. Ela não pode ser usada como um número absoluto, mas talvez como um indicativo. Se verificar as taxas de corrosão apontadas nas estruturas 608 e 609, sendo que a 608 já teve sua fundação trocado por corrosão avançada, ela mostra que este local onde estão estas torres (distância inferior a 500 m uma da outra) pode ser mesmo um local mais corrosivo. Isto comprova que o fenômeno eletroquímico da corrosão é de natureza não linear, variável com o tempo, como mostra a literatura.

A medição de potencial de corrosão, ao contrário da medição da resistência de polarização, é uma técnica que não é capaz de distinguir ou enxergar diferenças de estados ou grau de corrosão entre os pés/pernas de uma mesma torre, que pode acontecer, visto pela diferença de medição de potencial entre os

pés (desvio padrão). Isto pode indicar que a técnica de medição do potencial de corrosão pode mesmo ser uma indicação termodinâmica do processo de corrosão, ou seja, da tendência das reações de oxidação e redução acontecerem ou não. No caso do aço galvanizado enterrado no solo, ele sempre terá a tendência de corroer, e talvez por isto estas medições apresentarem, quase sempre, o mesmo indicativo. Talvez a técnica seja útil para verificar a perda da camada de zinco, quando poderá haver uma mudança mais significativa do potencial de corrosão. Para isto, são necessárias mais medições em períodos maiores e/ou com maior frequência.

5 Conclusões

Em linhas gerais, não há uma única técnica de medição não intrusiva que dispense a escavação do pé das torres das LT para verificar o estágio, grau ou nível de corrosão. Mas com uma combinação delas, é possível extrair informações que ajudam na tomada de decisão da manutenção, mesmo que seja de forma conservativa.

As técnicas eletroquímicas adotadas aqui precisam de algumas adaptações para que sejam mais eficientes. No caso da medição da resistência de polarização, é necessário considerar na inspeção:

- a densidade de corrente, ou seja, a corrente em função da área exposta de metal em contato com o eletrólito (solo): A área exposta das estruturas de 345 kV varia de 9 a 14 m², dependendo do tipo de estrutura (suspensão ou ancoragem), tipo de solo, etc.
- material do fio de aterramento (contrapeso) da torre: se eles forem de aço cobreado (copperweld), é conveniente desconectá-los da torre, para não mascarar os resultados;
- fazer as medições em período úmido, preferencialmente, como foi o caso. Se não for possível, deve umedecer os pontos onde os eletrodos serão colocados, para evitar resistência de contato e quedas ôhmicas;
- variar a distância dos eletrodos até o pé da torre, para tentar detectar processos corrosivos em profundidades diferentes (mais ou menos próximos à superfície).

Em relação à medição de potencial de corrosão, além das considerações acima (sem contar a densidade de corrente), realizar a medição com duração maior (acima de 30 minutos) e com frequências maiores (anualmente), para verificar possíveis tendências ou alterações.

A aplicação das duas técnicas eletroquímicas traria informações a mais na tomada de decisão de

manutenção de forma conservativa, embora elas não apresentassem convergência entre si.

A medição da resistividade do solo pode ser um bom indicativo para ser usado em conjunto com as técnicas eletroquímicas. Há de se verificar também, se a resistência de aterramento pode também ser um indicativo, já que ela mede a resistência da passagem da corrente elétrica pelo sistema de aterramento da torre, composto pela grelha efio contrapeso (terra). No caso, o contrapeso deve ser desconectado.

As técnicas não intrusivas adotadas não foram capazes de detectar a corrosão por aeração diferencial, que provoca a corrosão na região de afloramento das estruturas, nos chamados montantes.

Existe uma necessidade evidente de se estabelecer critérios de classificação para os níveis, estágios ou grau de corrosão por técnicas não intrusivas, já que são qualitativos e variando de pessoa para pessoa (inspetor para inspetor), literatura para literatura, *etc.* Mesmo que seja quantitativo, como no caso da medição geométrica de perda de massa dos perfis, ainda há dúvidas sobre o real risco de falha da estrutura. Resultados de testes de tração (arrancamento), carregamento este que normalmente dimensiona as fundações, indicam que a resistência das fundações é mais de 30% superiores às resistências de cálculo (AZEVEDO, 2011). Ou seja, o coeficiente de segurança das fundações medido, para cargas de arrancamento (quando há o tombamento da torre), é superior a 1,3. Embora o estudo tenha sido feito para fundações em sapata de concreto armado, os resultados podem ser aplicados, pois o critério de falha adotado foi o deslocamento do solo e estas fundações são geometricamente muito semelhantes às grelhas. Mesmo assim, estas são as cargas últimas usadas no cálculo estrutural, onde normalmente as cargas extremas de vento máximo nos cabos dimensionam as estruturas. Estas cargas são determinadas probabilisticamente e hipoteticamente. Talvez por isto que nunca houve uma queda de estrutura por corrosão, já que, mesmo com a perda de resistência mecânica da fundação devido à corrosão, não houve carga suficientemente grande para provocar a falha estrutural.

Dentro de um critério de risco (ou confiabilidade) das fundações, há de se considerar ainda outros fatores, dentre eles:

- histórico de falhas;
- probabilidade de cargas últimas ou extremas;
- aplicação da torre (relação entre vão de vento, vão de peso e ângulo de deflexão);
- acessibilidade da torre;
- projetos e cálculos geotécnicos;
- custos (de recuperação, impacto das falhas, etc.);
- ocupação humana próxima a LT (área urbana ou rural).

Apesar de a corrosão ser um processo natural em termos termodinâmico, ou seja, ele sempre vai acontecer independente do meio, ficou evidente que a cinética de corrosão, representada pela sua taxa, é um fenômeno geográfico, já que um dos principais fatores que interferem é o meio onde o metal está exposto, no caso o solo.

Outras conclusões com base nos resultados:

- 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, deve 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 este é um bom parâmetro para avaliar a corrosividade do solo, podendo ser utilizada de forma complementar às técnicas eletroquímicas.

A metodologia Geocorrosão obteve bons resultados com uma assertividade relativamente baixa (menos de 50%), mas que tem um papel importante, pois é uma ferramenta para direcionar as ações de manutenção a nível mais macro, servindo como norte para o planejamento da manutenção. Além disso, existe grande possibilidade de melhoria a após um refinamento das variáveis, pesos e dos dados.

6 Referências

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.

AZEVEDO, C. P. B. Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão Baseado em Confiabilidade. 2011. 123p. Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte–MG.

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.

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.

CEMIG. Instrução e Critérios Técnicos para Recuperação e/ou Proteção Contra Corrosão de Linhas Aéreas de Transmissão. Relatório Técnico 30.000-PN/MT-617. 22/09/2009.

FONTAN, M. A. B *et al.* Método para avaliação da corrosão de tirantes em rocha. In: Décimo Terceiro Encontro Regional Iberoamericano de Cigré – XIII ERIAC, 2009, Puerto Iguazú, Argentina. Anais... 2009. XIII/PI-B2 – 14.

GENTIL, V. Corrosão; 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 353p.

INTRON BRASIL. Inspeção Técnica de Corrosão Instantânea em Estruturas Enterradas. Relatório nº RT-12120-001-VER-00. 20/12/2012.

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.

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.

PASSOS, A. C. *et al.* Proteção Catódica Fotovoltaica de Fundações Metálicas de Linhas de Transmissão. Trabalho apresentado no encontro ABRAMAN, Belo Horizonte, 2000.

SERRA, E. T. Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais no Solo. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006. 169p.

TRABANELLI, G., ZUCCHI, F., ARPAIA, M., Methods of Determination of Soil Corrosiveness With Respect to Metallic Structures, In: Chinica Puraed Applicata, v. III, Sezione V, n. 4, pp. 43-59, 1972.