



## ESTUDO DE ENGENHARIA – Projeto CELT

### Cabos e Emendas de Linhas de Transmissão de Energia.

#### 1) Introdução:

##### O problema:

Os ventos suaves e de sentido constante podem, dependendo do ângulo de incidência com os cabos de uma linha de transmissão, gerar uma vibração nesses cabos.

A isso, chamamos “vibração eólica” (vento).

Um vento laminar com 15 Km/h de velocidade constante poderá gerar uma vibração de 43 Hz no condutor Linnet (336,4 MCM), o cabo mais utilizado na transmissão da CEMIG.

O dano mais comum causado por vibrações eólicas em linhas de transmissão aéreas é o rompimento de fios individuais do cabo condutor, por fadiga.

A fadiga ocorre normalmente nos pontos em que o movimento dos condutores é restringido e está diretamente relacionada com a rigidez com a qual esta restrição é feita, principalmente no sentido vertical.

Por isso, a ruptura de fios é mais comum no interior ou nas proximidades de grampos de suspensão, pois em outros dispositivos, tais como grampos de ancoragem, espaçadores, emendas e esferas, sempre há alguma mobilidade vertical.



Fig.1 grampo de suspensão

A fadiga é causada pelos esforços dinâmicos resultantes do dobramento alternado do condutor nos pontos de restrição de movimento. Os efeitos dos esforços dinâmicos são agravados pela abrasão ("fretting") entre a superfície dos fios, que causa a mútua remoção de material. Esse material finamente dividido reage com o oxigênio do ar, formando um pó preto (óxido de alumínio), mais duro que o próprio metal, que acelera a taxa com que os fios são desgastados. Os esforços dinâmicos que surgem no cabo junto ao grampo de suspensão são proporcionais à amplitude de vibração, sendo que a constante de proporcionalidade depende das características do cabo e da tensão de esticamento.

##### Entendendo melhor o problema:

Se a ruptura dos fios acontecer no interior do grampo de suspensão, ela dificilmente será vista durante as inspeções aéreas convencionais e praticamente estará invisível para as inspeções terrestres.

Para complicar mais o problema, sabemos hoje, a partir de nossos estudos de Ampacidade, que o mesmo vento que produz a vibração eólica resfria de forma acentuada o cabo condutor, mascarando o efeito térmico do ponto de fadiga.



Fig.2 cabo condutor rompido ao solo

Esses pontos não descobertos passam a funcionar como uma bomba engatilhada contra o sistema elétrico.

Enquanto o carregamento da linha estiver relativamente baixo e o vento camuflar o efeito térmico, nada acontece.

Mas um súbito aumento do carregamento da linha provocado, por exemplo, por uma mudança de configuração do sistema poderá provocar a ruptura total do ponto defeituoso, levando à queda do cabo ao solo.





## 4) Vão de vibração a quente:

Para subsidiar os trabalhos de recapitação e extensão de vida útil de condutores que a Construção precisava e para os testes de novos cabos, equipamentos e acessórios das linhas de transmissão que a Manutenção da CEMIG necessitava, o grupo de engenheiros que desenvolvia o projeto, à época, decidiu transformar o vão de vibração em uma máquina de envelhecimento acelerado.

Para tanto, o cabo foi submetido às mais severas condições possíveis de operação no sistema, vibração de 43 Hz com amplitude de 2 mm, e aquecido a 100° C.

O tempo de vida útil garantida (qualidade) dos equipamentos é obtido diretamente pelo número de ciclos registrados até a fadiga do componente sob teste.



Fig.4 teste do conector ampact



Fig.5 teste da esfera de helicóptero



Fig.6 equipe do GT de conexões

Com a saída do Sr. Márcio Sanglar do CEPEL, e, logo depois, com o trágico acidente que vitimou nosso amigo, o engenheiro Ivan Castilho, os testes, apesar de já terem sido pagos, foram suspensos.

Somente depois da escolha do engenheiro Giovani Braga como novo engenheiro na Construção da CEMIG, foi possível reorganizar o grupo de trabalho.

Tivemos que aguardar uma sucessão de reestruturações no CEPEL para o grupo retomar as negociações para término dos ensaios.

O Sr. Martins, substituto do Sr. Márcio Sanglar como responsável pelo laboratório de mecânica do CEPEL, Solicitou, a título de empréstimo, os equipamentos da CEMIG, para a montagem de um segundo vão, alegando que, dessa forma, poderia agilizar a execução dos ensaios pendentes.

No passado, as engenharias da CEMIG instalaram um vão de vibração na Cidade Industrial, mas o mesmo foi desativado e os equipamentos quase viraram sucata no programa de 5S.

Assim, o GT entendeu viável a transferência, a título de empréstimo, dos equipamentos para o laboratório de mecânica do CEPEL.

Finalmente, no final do ano de 2004, o vão de vibração estava comissionado e os testes foram reiniciados.



Fig.7 vista do vão em funcionamento



Fig.8 vibrôgrafo pavica instalado

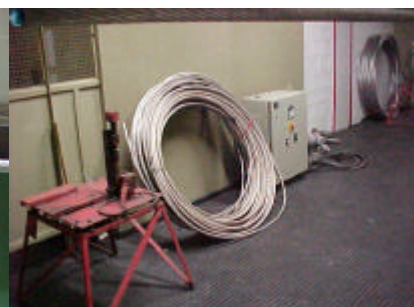


Fig.9 cabo especial a ser testado liga TAL.





## 5) Sugestões:

- Retomada do programa anual de inspeção de vibração eólica de LT's.  
Justificativa: A engenharia de Manutenção tem os vibrógrafos, a metodologia de instalação em linha viva e o pessoal técnico treinado para o serviço.
- Recomendar que as equipes de linhas inspecionem o interior dos grampos de suspensão, durante a execução de serviços com desligamento da LT, principalmente em LT's com histórico de vibração.
- Revisar ou criar os critérios para as inspeções termográficas aéreas de LT's, reforçando a necessidade de incluir o campo velocidade e sentido do vento no momento da sua execução.
- Se possível, obter junto a Operação uma lista das LT's com maior probabilidade de sofrer um aumento súbito de carregamento e informar a coordenação das inspeções aéreas.
- Investir na aquisição de equipamento de visão corona, para completar a instrumentalização das inspeções de LT's.
- Testar, em caráter emergencial, as emendas convencionais com ponto quente que foram protegidas com amortecedores do tipo festão. Retirada de uma amostra real da regional Sul.
- Testar uma emenda total preformada aplicada, há mais de cinco anos, em região de poluição severa.
- Testar pelo menos uma amostra dos cabos das LT's que apresentaram danos por causas desconhecidas

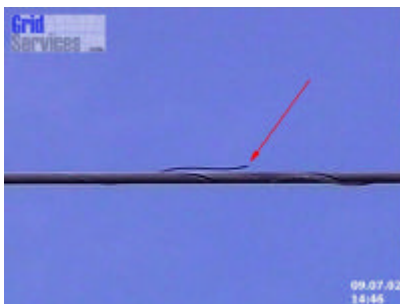


Fig.10 LT Gafanhoto-Divinópolis 2



Fig.11 LT Ipanema – Caratinga



Fig.12 LT Mesquita – Neves

## 6) Considerações:

O projeto em questão só terá continuidade, se contar com um decisivo apoio Gerencial.