



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GLT - 30
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO III
GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO ENTRE SISTEMAS DE AMORTECIMENTO CONTRA
VIBRAÇÃO EÓLICA EM FEIXES COM DOIS CONDUTORES POR FASE**

**Giovani Eduardo Braga* Carlos Alexandre Meireles do Nascimento
Luiz Carlos dos Santos Breno Sérgio Lessa Moreira
José Bento Soares Machado Dimas Carneiro de Miranda**

**Paulo Sérgio Pinto Borges
Roberto Silva Leme
Ivo Pinto Cavalcante**

CEMIG

PLP BRASIL

RESUMO

Recentemente, a CEMIG desenvolveu um estudo inédito em uma linha em operação, através de parceria interna entre as áreas de projeto e manutenção, e parceria externa com fabricantes de ferragens para estudar a eficiência de vários arranjos de sistemas de amortecimento de vibração eólica para cabos de feixe duplo (condutores geminados). Dessa forma, foi possível comparar o desempenho dos espaçadores amortecedores, espaçadores flexíveis e amortecedores simultaneamente.

Os resultados experimentais e conclusões obtidas permitirão a CEMIG a tomada de decisão mais apropriada para definição do projeto do sistema de amortecimento, objetivando encontrar uma solução ótima entre as diversas variáveis do problema, tais como: eficiência, risco de dano causado pela vibração eólica, custo, critério de confiabilidade para projeto e manutenção e da análise final dos aspectos técnicos e econômicos de instalação e manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Vibração eólica, espaçadores, amortecedores, medição, vento, linha de transmissão.

1.0 - INTRODUÇÃO

O fenômeno da oscilação induzida pelo vento, comumente chamado de vibração eólica, há muito tempo intriga os pesquisadores e engenheiros. Devido a sua natureza aleatória e os vários fatores que interferem na sua incidência faz com que seja muito difícil sua previsão e as medidas a serem tomadas para evitar o seu efeito danoso. Apesar de existir experiências e um bom conhecimento técnico e científico sobre a vibração eólica de linhas aéreas de transmissão, este conhecimento é pouco utilizado pelas concessionárias e fabricantes de ferragens e cabos.

A CEMIG começou a construir linhas de transmissão há 50 anos e desde então houve mudanças no projeto, operação e manutenção das linhas de transmissão. Naquela época não existia um conhecimento profundo sobre o fenômeno de vibração eólica, apenas notícias relatadas de outros países. Como o preço dos sistemas de amortecimento era muito elevado e não havia registros de problemas relacionados com este fenômeno, os projetistas não protegiam as linhas adequadamente. Com o passar dos anos, os problemas foram surgindo e então os especialistas passaram a estudar os casos mais detalhadamente. Hoje, a maioria das empresas prefere aplicar sistemas de amortecimento (amortecedores) em todas as linhas e em toda a sua extensão conforme critérios de quantidade e posicionamento estabelecidos pelos fornecedores, já que o sistema de amortecimento custa em torno de 1% do custo total da LT (Linha de Transmissão), além de permitir maior tração de esticamento dos cabos.

Com relação a feixes geminados (duplos), existe um padrão geral do setor elétrico em adotar os espaçadores rígidos ou flexíveis convencionais em conjunto com amortecedores Stockbridge. No entanto, alguns fabricantes de ferragens vêm desenvolvendo espaçadores amortecedores para feixes duplos, mas existe, no Brasil, pouco

conhecimento e testes suficientes nestes produtos para comprovar a eficácia destes componentes em função do comportamento mecânico do sistema.

Este trabalho mostra as diferenças técnicas e econômicas entre os sistemas de amortecimento através de avaliações, medições e comparações técnicas.

2.0 - DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ESTUDO

O planejamento do projeto começou no ano de 2003 com a definição de custos, etapas e cronograma. O cronograma das etapas previa a realização em 11 meses e começou efetivamente no mês de fevereiro

A primeira etapa constava da definição da LT onde aconteceria a pesquisa e os respectivos vãos a serem estudados. Esta definição deveria levar em conta os seguintes aspectos:

- Região com incidência de vibração eólica;
- LT com dois condutores por fase;
- Facilidade de instalação de equipamentos e aparelhos.

Diante disto, foram escolhidos os vãos 20-21 e 21-22 da LT Neves 1-Três Marias, 345 kV, onde medições realizadas no ano de 2003 indicaram altos níveis de vibração eólica, além de já haver ocorrido nesta LT vários casos de amortecedores (elgra) que caíram ou correram (deslocaram) para o meio do vão, e ocorrência de rompimento de tentos em LTs de 138 kV nesta região.

A segunda etapa foi a definição do arranjo de medição em campo. Este arranjo deveria se levar em conta os seguintes aspectos:

- Facilidade de instalação e retirada;
- Possibilidade de comparação de níveis de vibração entre fases/vãos;

O arranjo com a configuração de aparelhos e equipamentos está mostrado na Figura 1.

A configuração original da linha possuía dois espaçadores flexíveis tipo anel por fase/vão, que foram retirados da fase C para a instalação dos espaçadores amortecedores, e dois amortecedores Elgra por fase/vão. Os espaçadores e amortecedores retirados podem ser vistos na Figura 2.

A etapa de realização dos serviços de campo teve o seguinte detalhamento e descrição inicial:

- O arranjo de estudo a ser executado compreendeu os dois vãos entre as estruturas 20 e 22 da LT Neves 1-Três Marias, 345 kV;
- O serviço seria realizado com linha morta (desenergizada);
- Esta linha possui feixes com dois subcondutores por fase, cabo condutor Drake (795 MCM) e 28,13 mm de diâmetro, com armadura preformada na suspensão de fabricação PLP, N° catálogo AR-0141 com 7,87 mm de diâmetro, e amortecedores tipo Elgra;
- O vão 21-22 possui 355 m e o vão 20-21 possui 445 m e esticamento considerado de 18,5% da carga de ruptura do cabo (aproximadamente 2571,48 kgf), condição final a 20°C sem vento, que é um padrão geralmente adotado pela CEMIG;
- O estudo contempla fase com espaçadores amortecedores e fases com espaçadores flexíveis (anel) existentes na LT mais amortecedores Stockbridge e as fases centrais sem nenhum tipo de amortecedor (somente espaçador flexível), conforme a Figura 1;
- Os amortecedores stockbridge seriam instalados na Fase A;
- Os espaçadores seriam de dois fabricantes diferentes: Dulmison que possui espaçadores amortecedores com fixação tipo posilok e a PLP que possui espaçadores amortecedores com fixação tipo posilok (garra climpada) e preformada, e seriam instalados em vãos e fases diferentes;
- Realização de medição de vibração eólica com vibrógrafos Pavica conforme metodologia recomendada pela CIGRÉ (6), medição de velocidade e direção do vento com anemógrafo mecânico Lambrech e medição da tração de esticamento do cabo condutor pelo método da flecha;
- Todos os espaçadores existentes deveriam ser retirados das fases onde seriam instalados espaçadores amortecedores.

Houve alguns contra-tempos com relação aos espaçadores amortecedores da Dulmison que não se adequaram ao cabo Drake não permitindo a sua instalação, forçando a mudança da estratégia do serviço.

3.0 - CRITÉRIOS DE APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AMORTECIMENTO ADOTADOS

Como vimos anteriormente, foram utilizados dois vãos no estudo. A primeira premissa adotada seria a retirada de todos os amortecedores tipo Elgra, já que tínhamos estudo de vibração com este tipo de amortecedor naquele mesmo ponto feito no ano de 2003. A partir disto e com os comprimentos dos vão e tração de esticamento, foi definida a quantidade e posicionamento dos espaçadores amortecedores pelos fornecedores.

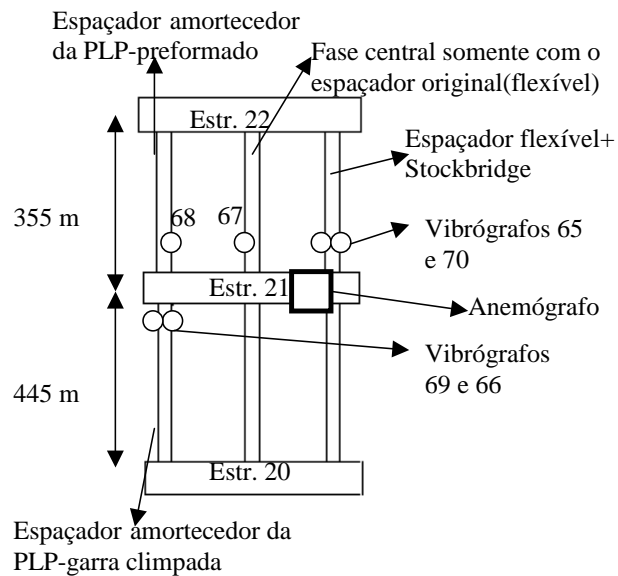


FIGURA 1 – Arranjo dos materiais e equipamentos adotado no estudo (a fase A é a extrema direita, a fase B é a central e a fase C a da esquerda).



FIGURA 2 – (a) Espaçador flexível tipo anel(original da linha) – (b) amortecedor tipo Elgra

3.1 Critério de aplicação dos espaçadores amortecedores da Dulmison

Como a previsão inicial era de instalação dos espaçadores amortecedores da Dulmison no vão 21-22, mas isto não foi possível, o fornecedor passou o seguinte critério para este vão:

TABELA 1 – Posicionamento dos espaçadores amortecedores definidos pela Dulmison

Comprimento dos subvãos (m)				
1	2	3	4	5
50	86	73	90	56

3.2 Critério de aplicação dos espaçadores amortecedores da PLP

A PLP apresentou um critério de quantidade e posicionamento dos espaçadores amortecedores para os dois vãos a serem estudados conforme os desenhos e tabelas abaixo.

TABELA 2 - Posicionamento dos espaçadores amortecedores da PLP (vão 21-22)

Comprimento dos subvãos (m)					
1	2	3	4	5	6
49	62	69	61	66	49

TABELA 3 - Posicionamento dos espaçadores amortecedores da PLP (vão 20-21)

Comprimento dos subvãos (m)						
1	2	3	4	5	6	7
49	67	70	73	67	70	49

3.3 Critério de aplicação do amortecedor Stockbridge

De uma maneira geral, os critérios de quantidade e posicionamento dos amortecedores Stockbridge são os recomendados pelos fabricantes que adotam o chamado “critério russo” (1). Este critério especifica dois ou quatro amortecedores (um ou dois em cada extremidade do vão), de acordo com o comprimento do vão, tração de esticamento e categoria do terreno (topografia, vegetação, etc).

No caso deste estudo específico, foi utilizado apenas um amortecedor por subcondutor, já que havia dificuldade em conseguir amortecedores Stockbridge para o cabo Drake (esta é a única linha da CEMIG que usa este cabo). No caso do posicionamento, o Stockbridge foi colocado no local onde estava o antigo amortecedor Elgra, que corresponde a 1,40 m a partir do centro da cadeia de suspensão. Isto corresponde ao mesmo valor calculado conforme o critério mais utilizado (1), aproximadamente.

3.4 Diferença entre os projetos dos espaçadores amortecedores

Foi observado que a diferença visual entre o espaçador amortecedor da Dulmison e o espaçador amortecedor da PLP são mínimas. Porém, não levamos em conta possíveis diferenças de materiais e comportamento em ensaios.

4.0 - RESULTADOS

Os resultados das medições de níveis de vibração, características dos ventos e tração de esticamento são mostrados nas Figuras 3 a 11.

4.1 Medições de níveis de vibração

Os processamentos dos dados de vibrações eólicas foram efetuados através de programa específico desenvolvido pela CEMIG conforme recomendação da CIGRÉ (4), de forma a otimizar a análise dos resultados em função das expectativas de vida útil dos cabos aéreos monitorados. O Anexo mostra os gráficos das amplitudes e frequências monitorados.

4.2 Medição das características dos ventos

Nas Figuras 3 e 4 são mostrados os resultados obtidos com anemógrafos mecânicos Lambrech, instalados no topo da estrutura 21.

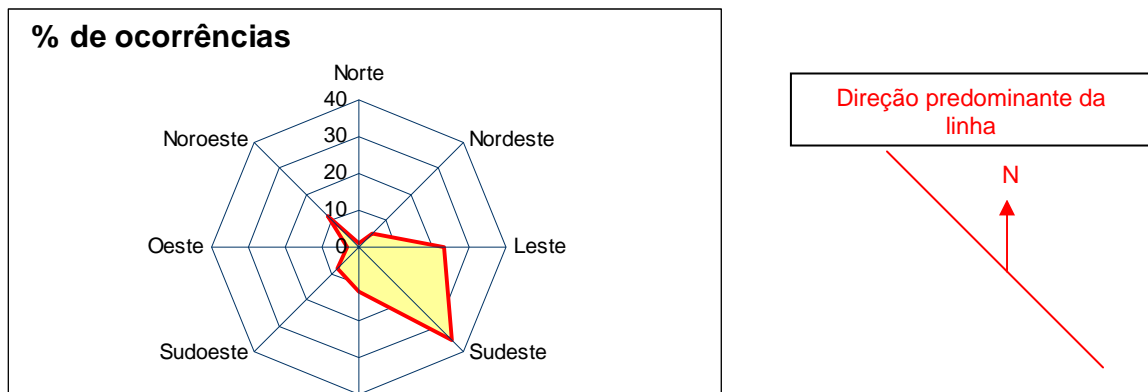


FIGURA 3 – Direção predominante da linha e do vento medido no período

A velocidade de vento propícia a ocorrência de vibração eólica é de 1 a 7 m/s, e para ocorrência de oscilação de subvão a velocidade de vento propícia é de 4 a 18 m/s. Portanto, como houve uma grande variação na velocidade (vide Figura 4), é possível que tenha ocorrido os dois tipos de oscilação, mesmo não sendo medido a oscilação de subvão.

4.3 Medição e cálculo da tração do trecho estudado

A tração de esticamento do cabo foi medida e calculada pelo método da flecha. Sabe-se que a tração de esticamento tem influência direta nos níveis de vibração, e quanto maior o seu valor, menor será o amortecimento próprio do cabo e maior será a suscetibilidade de falha.

Os valores de tração obtidos no vão 20-21 foram:

- Fase A e C: 27,25 kN ou 19,46% da carga de ruptura do cabo, temperatura de 27,7°C;
- Fase B: 27,23 kN ou 19,45% da carga de ruptura do cabo, temperatura de 27,7°C.

Os valores de tração obtidos no vão 21-22 foram:

- Fase A: 26,66 kN ou 19,04% da carga de ruptura do cabo, temperatura de 34,4°C;
- Fase B: 26,69 kN ou 19,06% da carga de ruptura do cabo, temperatura de 34,4°C;
- Fase C: 27,72 kN ou 19,8% da carga de ruptura do cabo, temperatura de 34,4°C.

Considerando que o critério de esticamento deste cabo nesta linha foi de 21% da carga de ruptura, condição final, sem vento a 20°C e alongamento (creep) de 10 anos, os valores medidos estão dentro de uma margem aceitável, já que são comuns algumas diferenças de tracionamento no momento do lançamento dos cabos em relação aos valores de projeto, como foi inclusive verificado nesta LT, e a linha já tem mais de 30 anos, muito acima dos 10 anos em que ocorre a maior parte do alongamento.

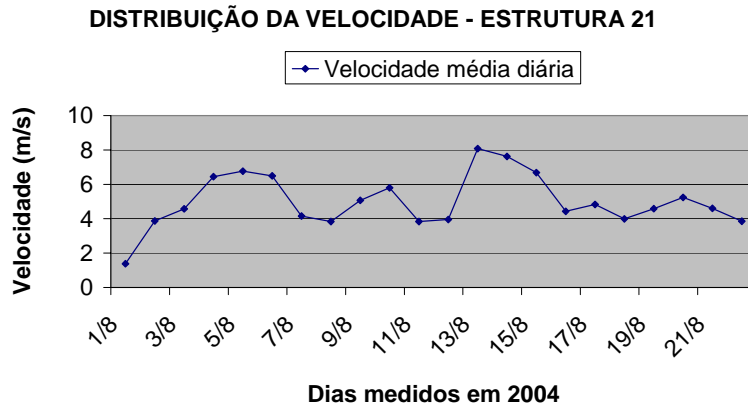


FIGURA 4 – Velocidade média de vento medida no período

5.0 - COMPARAÇÃO ECONOMICA DOS SISTEMAS DE AMORTECIMENTO

Na análise econômica dos sistemas de amortecimento foram consideradas as soluções de aplicação de espaçador rígido ou flexível, amortecedores Stockbridge e espaçadores amortecedores com garras tipo posilok (garra climpada) e com garra tipo preformada.

O custo dos sistemas depende muito do tipo de espaçador a ser usado, que varia em relação ao seu corpo e o sistema de fixação no cabo, e do(s) material(is) empregado(s) no espaçador (3).

Nas consultas feitas a fabricantes/fornecedores foi levado em conta o preço unitário de cada produto, desprezando-se o critério de aplicação que pode ou não variar de fornecedor para fornecedor. Ficou evidenciada a diferença de preço entre os sistemas de fixação (garra) dos espaçadores. O espaçador flexível é uma opção técnica-econômica interessante quando não existe expectativa de ocorrência de problemas de vibração eólica e consegue relativa atenuação das oscilações de subvão. No caso da PLP, eles recomendam as mesmas quantidades e posicionamento dos espaçadores flexíveis em relação aos espaçadores amortecedores, mas este número pode até reduzir se não houver qualquer expectativa de danos por vibração eólica ou oscilação de subvão, já que a experiência da LT Três Marias-Neves nos mostra isto.

É interessante observar que o amortecedor Stockbridge simétrico tem preço cerca de 20% menor que um amortecedor Stockbridge assimétrico.

6.0 - ANÁLISE DOS DADOS

6.1 Níveis de vibração

Os níveis de vibração observados mostraram que a vida útil calculada conforme teoria de Miner (4), em todos os aparelhos, é de mais de 1000 anos, o que significa um risco muito baixo para que haja qualquer tipo de dano nesta LT, o que foi confirmado em inspeções visuais das espiras do cabo no campo. Outro parâmetro de comparação é a amplitude de vibração máxima, calculada com base numa tensão dinâmica máxima de 8,5 Mpa, no cabo, na entrada do grampo, conforme recomendação do EPRI (2). Este valor, mostrado nas Figuras de 6 a 11, não foi excedido.

A frequência de vibração calculada pelo número de Strouhal (em torno de 25 Hz para a velocidade média de maior incidência de 4 m/s) se aproximou das observadas nas medições (em torno de 16 Hz como pode ser visto na Figura 6). Apesar da significativa diferença entre a frequência calculada e a medida (em torno de 40% menor), a diferença é perfeitamente normal, já que tanto o número de Reynolds quanto o número de Strouhal são números adimensionais que dependem do fluido (ar), e que consideram somente o cabo singelo sem a influência das fixações, espaçador, e o autoamortecimento do cabo, que cresce com o aumento da frequência, e conseqüentemente, com a velocidade do vento (conforme a fórmula de Strouhal e percebido na Figura 5). Outro motivo para a diferença entre os valores medidos e calculado é o fato da velocidade de vento não apresentar uma distribuição normal (aleatoriedade), inclusive com maior incidência na direção aproximadamente paralela a linha. O vibrógrafo que apresentou a variável amplitude máxima maior foi o vibrógrafo 67 que esteve posicionado na fase central (fase B) da LT, onde não havia nenhum tipo de amortecedor; No entanto, o vibrógrafo 66 foi o que apresentou maiores ocorrências em amplitudes mais elevadas, mesmo assim abaixo dos limites admissíveis.

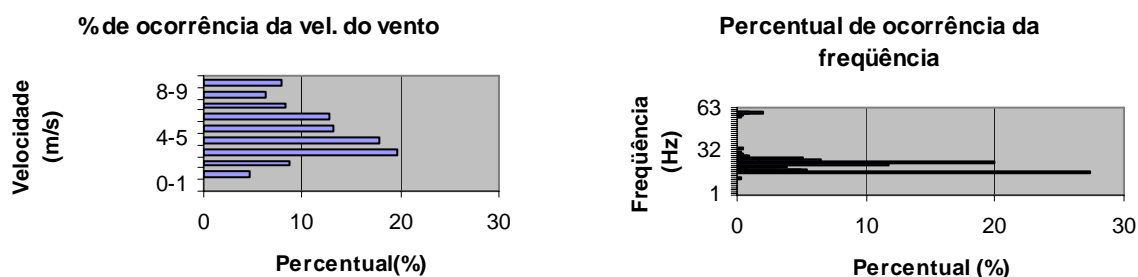


FIGURA 5 – Percentual de ocorrência da velocidade do vento e da frequência de vibração no vibrógrafo 67

6.2 Características do vento

Os valores de direção de velocidade do vento apresentaram grande variação como pode ser visto nas Figuras 3 e 4. A faixa de velocidade observada (1 a 8 m/s) é uma faixa propícia para a ocorrência de vibração eólica e oscilação de subvão, conforme experiência de empresas e instituições de pesquisa, inclusive a própria CEMIG. Já a direção do vento apresentou maior incidência na direção sudeste, paralelo ao eixo tronco da LT, o que poderia justificar os baixos níveis de vibração eólica. É interessante observar que a direção sudeste também foi predominante na medição feita em 2003 na estrutura 27, bem próxima da região do estudo, além de apresentar variação.

6.3 Tração de esticamento

Esta linha foi projetada na década de 60 com EDS de 21% (condição final), valor praticado na época. A tração medida ficou em torno de 19% da carga de ruptura do cabo, com temperatura ambiente em torno de 30°C e velocidade de vento em torno de 4 m/s. Dada a idade da linha e as incertezas envolvidas no cálculo e no lançamento do cabo, considera-se que a diferença encontrada esteja na margem de erro prevista para estes casos.

7.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os dados levantados nas medições podemos concluir que a linha não teria nenhum problema com relação a vibração eólica, mas os dados foram insuficientes para fazer uma análise mais precisa da eficiência dos sistemas de amortecimento, foco principal do trabalho, apesar das medições terem sido feitas numa região, época e duração propícios, conforme critério adotada pela CIGRÉ (5).

No ano de 2003 foram feitas medições de vibração eólica em alguns dos pontos considerados neste trabalho (6). Na ocasião, foram registrados níveis de vibração elevados, levando a uma estimativa de vida útil pequena. Talvez a explicação para os altos níveis de vibração esteja no fato que os amortecedores Elgra existentes, estivessem sendo pouco efetivos. Sabe-se que no início da década de 90, foram realizados testes em amortecedores deste tipo, retirados de linhas em operação. Os testes, realizados num vão experimental operado pela CEMIG, mostraram pouca efetividade, devido principalmente à degradação do material elastomérico. Não há um registro exato da idade dos amortecedores testados, mas há informações de que eles já estavam instalados há mais de 25 anos (Figura 2-b). A CEMIG tem retirado os amortecedores Elgra e substituído por amortecedores Stockbridge. Uma explicação possível para os baixos níveis de vibração encontrados está na direção do vento predominante no período da experiência, paralela aos vãos considerados.

Com relação aos sistemas de amortecimento, a fase B que não tinha nenhum tipo de proteção (espaçador amortecedor ou Stockbridge) apresentou o maior pico de amplitude, que a princípio, traria mais problemas comparados com os outros pontos medidos. O vibrógrafo que apresentou os menores níveis de vibração foi o posicionado no subcondutor externo da fase C (vibrógrafo 69), onde a fase era protegida por espaçador amortecedor com garra posilok, mas os vibrógrafos colocados na fase protegida por Stockbridge mostraram valores baixos também, sendo precipitado tirar qualquer conclusão a respeito da eficiência dos arranjos de proteção contra a vibração eólica, com base nestes resultados. Contudo, não se pode afirmar que houve algum tipo de oscilação de subvão pela diferença dos níveis de vibração entre os vibrógrafos instalados na mesma fase, nem que os subcondutores internos vibram mais ou menos que os externos, ou que a fase central vibra mais ou menos que as fases da extremidade. A base de dados é insuficiente para estas conclusões, sendo necessário fazer mais medições. É interessante que sejam desenvolvidas metodologias e aparelhos capazes de medir a oscilação de subvão, fenômeno pouco conhecido e estudado no Brasil, talvez pela pouca ocorrência e registros. Ficou claro que os espaçadores amortecedores que usam sistema de fixação tipo posilok tem instalação mais simples que os preformados, além de serem mais barato. Um campo de desenvolvimento para a comunidade técnica nesta área é a melhoria dos critérios de instalação dos dispositivos de proteção. A quantidade de peças, fixação e o posicionamento variam de fabricante para fabricante, embora seja comum que eles se aproximem, mas os resultados de medição de vibração mostrados neste trabalho não apresentam grandes variações. Deve ser observado que a linha Neves-Três Marias, 345 kV, opera a mais de 30 anos em uma região propícia a

ocorrência de danos por vibração eólica. A quantidade e qualidade de dispositivos de proteção (espaçadores e amortecedores), e a tração de esticamento elevada (21 % da carga de ruptura), apesar de adequadas pelos critérios da época do projeto, são questionáveis, pelos conhecimentos atuais. Entretanto, nenhum problema mais grave relacionado com vibrações foi registrado até o momento.

Outra constatação importante foi que, se não é esperado grandes variações das condições de vento na região da LT, é viável instalar amortecedores simétricos que custam cerca de 20% mais barato que os assimétricos. Segundo literatura técnica (2), o critério de posicionamento é fundamentalmente definido para garantir a estabilidade do feixe. Como no presente trabalho não foram feitas medições de oscilações do feixe fica a sugestão para futuras pesquisas que permita melhorar o entendimento dos critérios apresentados pelos fabricantes.

É fundamental que sejam feitas medições de vibração eólica nas linhas de transmissão, principalmente para teste e comissionamento de sistemas de amortecimento, como é proposto nas normas IEC (Internacional Electrotechnical Commission). Acreditamos que esta é a melhor forma de avaliar se uma LT terá ou não problemas com vibração eólica, ou mesmo para validar produtos ou modelos de predição dos níveis de vibração.

Ainda há pontos obscuros com relação ao comportamento dinâmico de componentes de linhas de transmissão. Os efeitos do vento (velocidade, direção e turbulência), o amortecimento próprio e a resistência à fadiga dos cabos ainda precisam ser mais bem caracterizados, para que modelos de previsão (predição) e avaliação de medições de vibração eólica sejam mais confiáveis.

Quanto à tração de esticamento, sabe-se que ela influencia o auto amortecimento dos cabos e, portanto os níveis de vibração. Entretanto, estudos recentes da CIGRE levaram à conclusão que a EDS não é um fator adequado para se avaliar o potencial de vibração de uma linha de transmissão (7). A experiência da CEMIG mostra, mais uma vez, que linhas com EDS de 18%(condição final) podem apresentar problemas de vibração, e outras com EDS de 21 %(condição final) não (8). Outros fatores devem ser levados em conta ao se dimensionar um sistema de proteção contra vibrações eólicas, tais como as condições topográficas e ambientais da região da linha.

Ainda não existe uma explicação concreta e totalmente aceita para o fato de LTs de 138 kV e de 345 kV terem comportamento diferentes em relação a vibração eólica. Este é o caso da LT Pirapora-Montes Claros, 138 kV, paralela a LT Várzea da Palma-Montes Claros, 345 kV. Na LT de 138 kV foram encontrados vários tentos rompidos; Já na LT de 345 kV não foi encontrado qualquer tipo de dano, embora elas estivessem submetidas às mesmas condições climáticas e terem altos níveis de vibração. Ainda não está bem consolidado o conhecimento sobre o fenômeno de vibração eólica nas LTs com feixes.

Contudo, em se tratando de vibração eólica, cada caso é um caso. Temos que analisar todos os fatores que interferem neste fenômeno antes que se possa fazer qualquer conclusão ou tomar qualquer providência. Não se pode generalizar o estudo dos casos de vibração eólica, mesmo que os projetistas optem por proteger excessivamente e usar elevados coeficientes de segurança. Seria interessante investir mais com pesquisa e desenvolvimento nesta área do que com proteção excessiva.

8.0 - PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

É proposta a realização de novas medições neste arranjo e realizar medições em outras linhas, para formar um banco de dados confiável, avaliar critérios de proteção contra vibração adotados e metodologias de predição das vibrações. São propostos também a realização de pesquisas em cabos e ferragens de modo a melhorar o conhecimento sobre características de amortecimento e fadiga, principalmente com outras condições ambientais (temperaturas elevadas dos cabos), materiais, projeto/concepção e critérios de esticamento, com o objetivo de avaliar os riscos de falha, otimizar os projetos de amortecimento e aumentar a confiabilidade do sistema.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Liberman A. J., Krukov K. P. – Vibration des Conducteurs de Lignes Aériennes et Protection Contre Celle – Ci en U. R. S. S.; CIGRÉ, 1968, Tome I Rapport 23-06.
- (2) Electric Power Research Institute – EPRI - Transmission line reference book. Wind-induced conductor motion - EPRI Research project 792 - 1979
- (3) CIGRÉ SC22 WG11-TF5 – State of The Art Survey on Spacers and Spacer Dampers: Part 1 – General Description, ELECTRA 209.
- (4) CIGRÉ WG 22-02. Recommendations for Evaluation of Lifetime of Transmission Line Conductor. ELECTRA 63, March 1979.
- (5) CIGRÉ TF 2-WG 11-SC 22. Guide to Vibration Measurements on Overhead Lines. ELECTRA, 162, October 1995.
- (6) Companhia Energética de Minas Gerais 30237-ER/LT-3022a – Análise do Nível de Vibração da LT Tre Marias-Neves 1 – Arquivo Tecnológico, 2003.
- (7) CIGRE Task Force 22.11.04 - Safe Design Tension with Respect to Aeolian Vibrations Part 1: Single Unprotected Conductors – Electra 186 October 1999.
- (8) Furtado T. A. et all – Diagnóstico do Estado da Arte em Vibração Eólica de Linhas Aéreas de Transmissão – XVII SNTPEE, Uberlândia/MG: out/2003.

10.0 - ANEXO

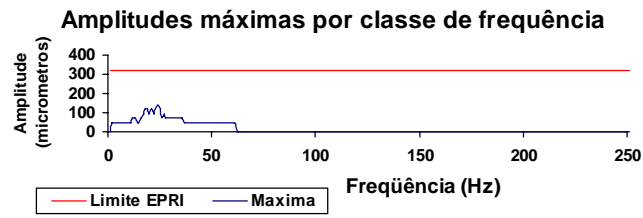


FIGURA 6 – Dados retirados do vibrômetro 65(Fase A, condutor interno do feixe, vão 21-22)

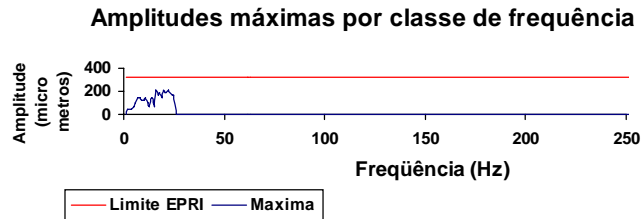


FIGURA 7 – Dados retirados do vibrômetro 66(Fase C, condutor interno do feixe, vão 20-21).

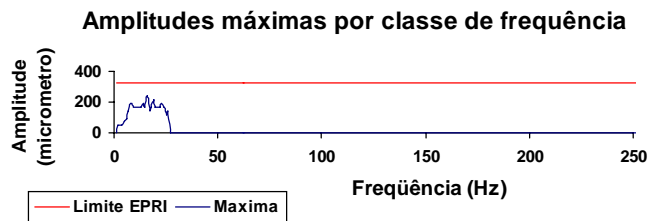


FIGURA 8 – Dados retirados do vibrômetro 67(Fase B central, vão 21-22).

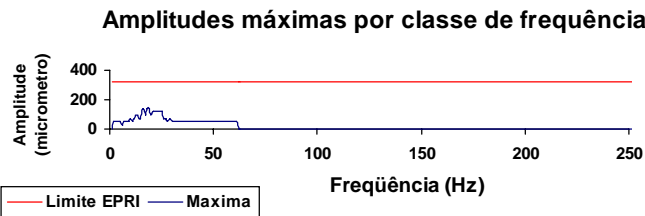


FIGURA 9 – Dados retirados do vibrômetro 68(Fase C, condutor interno do feixe, vão 21-22).

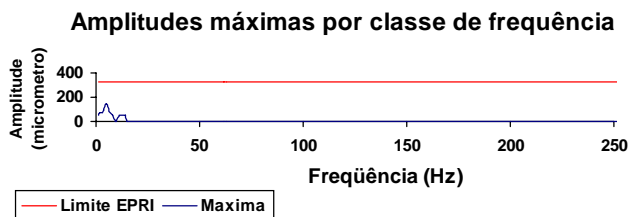


FIGURA 10 – Dados retirados do vibrômetro 69(Fase C, condutor externo do feixe, vão 20-21)

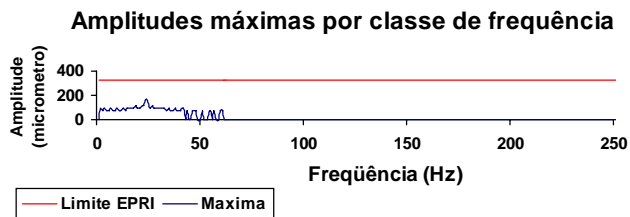


FIGURA 11 – Dados retirados do vibrômetro 70(Fase A, condutor externo do feixe, vão 21-22).