



GRUPO III LINHAS DE TRANSMISSÃO – (GLT)

MONITORAÇÃO DE PARÂMETROS ELETROMECCÂNICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM VISTAS A AVALIAÇÃO DO ESTADO OPERACIONAL E RECAPACITAÇÃO

José Maurício de B. Bezerra*
UFPE - Brasil

Oswaldo Régis Junior
CHESF - Brasil

Roberval Luna
CHESF - Brasil

RESUMO

A monitoração de parâmetros eletromecânicos de linhas de transmissão é uma ação fundamental na aferição do seu estado operacional, não apenas com o enfoque do desencadeamento de ações preditivas rotineiras, como também, mais recentemente, com o intuito de se aferir com precisão a vida útil remanescente de seus componentes, visando uma avaliação econômica criteriosa da viabilidade de recapacitação da instalação.

PALAVRAS-CHAVE

Recapacitação - Linha de Transmissão -
Sensoriamento - Monitoração - Técnicas Preditivas

1.0 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro, atualmente, se defronta com uma situação de escassez e obsolescência significativos de instrumentação voltada para efetivamente realizar o diagnóstico do estado dos componentes de linhas de transmissão que permita subsidiar com precisão a decisão técnico-econômica de recapacitação de instalações elétricas.

Questões do tipo: qual a vida útil remanescente de condutores ACSR face ao acúmulo de vibrações eólicas? Qual o estado de oxidação da alma de aço desses condutores? Como se encontram as fundações metálicas no que tange a oxidação? As conexões elétricas podem ser submetidas a um processo de repotencialização da linha? Essas questões e muitas

outras não têm resposta adequada, apontando para a necessidade premente de se partir para a modernização da instrumentação existente. Pode-se dizer inclusive que o setor elétrico, nesta área, se encontra com uma defasagem equivalente ao período em que o Brasil adotou a sua política de reserva de mercado de informática.

Esses problemas requerem uma atenção ainda maior, quando se tem em mente a ênfase crescente da utilização de técnicas de recapacitação como alternativa competitiva à construção de novas obras, o que tem levado as empresas a implementação de programas parciais (apenas **up rate**: extensão do limite térmico, recondutoramento, expansão de feixes, etc.) sem focar a outra vertente do programa: **up grade** (aferição dos aspectos voltados para adequação da confiabilidade da instalação – revisão do sistema de proteção contra descargas, aferição do fim de vida útil de componentes, incorporação de novos componentes com comportamento tecnológico que apresentem menor taxa de falha, etc.).

Essa complementação é fundamental ao desempenho futuro da linha de transmissão apenas repotencializada (up rate). Essas ações parciais são semelhantes a troca do motor de um carro de pequeno porte já antigo por um motor novo e potente, sem se ater a revisão dos demais componentes do veículo (amortecedor, suspensão, pneus, etc.). Os aspectos de segurança e operacionalidade desse “novo veículo”, estarão fundamentalmente comprometidos. No caso de uma linha de transmissão teríamos, de imediato, o aumento considerável dos DEKS, uma vez que a LT passaria a

*

ter blocos de energia interrompida maiores para as mesmas taxas de falha e tempos médios de interrupção.

Além dos aspectos técnicos acima comentados há de se considerar ainda a questão econômica, em que deve ser avaliada a viabilidade do investimento, diante da vida útil remanescente dos diversos componentes da instalação. Quando temos um carro velho que requer grandes reparos o questionamento quanto a troca por um novo, afastando-se as preocupações com o “status”, vêm sempre à tona.

O artigo em tela representa um levantamento do “estado da arte”, a nível internacional, de como os processos de monitoração de parâmetros eletromecânicos em linhas de transmissão têm evoluído, fazendo um paralelo com o tratamento que vem sendo dispensado, pelo Brasil, à questão.

Esse trabalho representa um insumo valioso à implementação estruturada de processos de recapitação de linhas de transmissão, em todos os seus enfoques, seja do ponto de vista técnico (up rate e principalmente up grade), como também econômico, uma vez que alerta para a necessidade da avaliação de diversos componentes que poderão ter a substituição recomendada.

2.0 TERMINOLOGIA

Os termos a seguir descritos se baseiam, tanto quanto possível, nos conceitos introduzidos pelo IEEE (1).

Capacidade: está associada à potência da instalação (tensão x corrente: capacity).

Disponibilidade: refere-se ao tempo total em que a instalação (linha ou equipamento) está em operação normal (termo original: up-time ou availability).

Capacidade: refere-se à energia suprida pela instalação, resultando da combinação de capacidade e disponibilidade, isto é: capacidade = capacidade x disponibilidade (termo original: capability).

Recapitação: qualquer medida tomada com relação a uma linha de transmissão, seja para restauração das condições físicas, alterações em características de projeto ou limites operativos.

Repotencialização: elevação da capacidade com alteração do projeto original (termo original: up rate).

Requalificação: aumento da disponibilidade com alteração do projeto original (termo original: up grade).

Regradação: elevação das características nominais, face a mudança de critérios, ou introdução de monitorações específicas.

Restauração: recuperação ou melhoria da capacidade (resultado da combinação de capacidade e disponibilidade) original do projeto (refurbishment).

Com as mudanças institucionais do setor elétrico a importância da recapitação de linhas de transmissão vem sendo cada vez mais caracterizada face aos aspectos econômicos envolvidos e à necessidade de se conviver em um novo cenário, caracterizado por um ambiente competitivo.

Neste contexto, mais de 30% das linhas de transmissão do setor elétrico já apresentam uma faixa etária superior a 25 anos, fato que, por si só já representa uma preocupação no mínimo voltada para preservar as suas características operacionais originais, não obstante os freqüentes projetos em andamento, voltados para repotencialização dessas instalações (2) e (3).

3.0 TECNOLOGIAS E FENÔMENOS ELETROMECÂNICOS DE INTERESSE

Dentre as tecnologias e fenômenos de interesse que requerem um aprofundamento em seus modelos e formas de sensoriamento e monitoração, destacam-se os abordados a seguir.

3.1 Avaliação de Indicadores

As análises das condições operativas realizadas pelos órgãos de manutenção, aferem as dificuldades operacionais através da prévia identificação dos pontos críticos e conseqüente adoção de medidas preventivas necessárias a superação dos mesmos.

As taxas de falhas (transitórias, permanentes, desligamentos) e o tempo médio de reparo dão informações valiosas para que se possa examinar o desempenho das linhas de transmissão. A comparação das taxas de falhas da linha em estudo com as taxas de outras linhas, bem como a evolução desses índices ao longo do tempo, dão importantes subsídios para a análise que se pretende fazer.

A taxa de defeitos e o custo realizado com a manutenção da linha também representam

informações essenciais à tomada de decisão quanto a viabilidade da recapacitação.

A título ilustrativo, as figuras 1 e 2 enfocam o desempenho da linha Angelim II – Recife II, 500 kV, C1, do Sistema CHESF, detalham a evolução das taxas de falha transitórias e identificam as principais causas das ocorrências. (4).

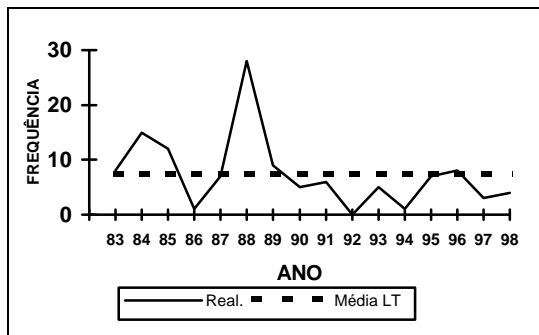


FIGURA 1 - FREQUÊNCIA DE FALHAS TRANSITÓRIAS

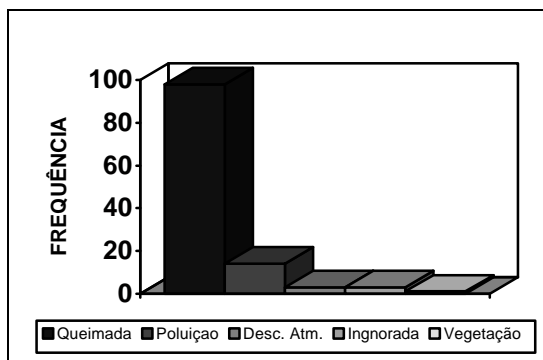


FIGURA 2 - CAUSAS DAS FALHAS TRANSITÓRIAS (PERÍODO 83 - 98)

3.2 Vibrações Eólicas

Este fenômeno é provocado por ventos transversais brandos (em torno de 2 m/s) os quais incidem sobre os condutores que, quando submetidos a trações mecânicas superiores a 20% de suas cargas de ruptura, absorvem tais energias e as transmite aos pontos de suspensão. Esses pontos podem ser gradativamente deteriorados por fadiga mecânica do material, requerendo cuidados especiais de montagem e monitoração.

A evolução desses desgastes pode provocar a ruptura parcial dos condutores, caracterizando um defeito de difícil localização visual a distância (5). As inspeções especiais são realizadas com a instalação desenergizada e envolve grandes recursos humanos e

materias, quando realizada de forma disseminada e em larga escala.

A forma preditiva de se atacar o problema está direcionada a se identificar a presença do fenômeno, através da instalação de vibrógrafos, os quais necessitam permanecer na linha, registrando o fenômeno durante um período mínimo de 7 dias, face ao surgimento aleatório do mesmo. Durante tais ensaios são também registrados a temperatura ambiente, velocidade do vento e direção. O perfeito desempenho da linha quanto a vibrações eólicas estará assegurado a partir da identificação da ausência do fenômeno, mesmo tendo ocorrido ventos brandos transversais à linha de transmissão (1 a 6 m/s) e temperaturas baixas (<20°C).

Atualmente o setor elétrico brasileiro encontra-se desprovido de instrumentação para realização de tais ensaios, apesar da existência, no exterior, de sensores inteligentes que permitem avaliar o estado de degradação do condutor e a sua vida útil remanescente, mantendo-se as condições médias reinantes, quando da realização dos ensaios.

3.3 Resistência de pé de torre

A resistência de aterramento de estruturas (resistência de pé de torre), representa um parâmetro que responde diretamente pelo desempenho das linhas de transmissão, quando submetidas a descargas atmosféricas.

Tradicionalmente os ensaios de resistência de pé de torre são realizados com o auxílio de medidores de resistência de terra, do tipo MEGGER. As dificuldades para realização de tais ensaios residem principalmente na necessidade de se isolar a estrutura sob ensaio do cabo para raios. A utilização de medidor de resistência em alta frequência pode superar tais dificuldades desde que seja avaliada possíveis necessidades de compensação.

3.4 Temperatura de Conexões

O aquecimento das conexões elétricas é um problema grave em um sistema de potência, face a sua característica evolutiva que pode conduzir a dilatações que eliminam por completo os contatos elétricos necessários ao transporte da energia elétrica. Geralmente é fruto da inadequação dos materiais utilizados nessas conexões ou do projeto de fixação do conector ou ainda dos torques utilizados em sua fixação.

Convencionalmente são utilizados termovisores para avaliar o “estado térmico” dessas conexões. Esses instrumentos não são tradicionalmente utilizados em linhas de transmissão, no Brasil, apesar da existência de modelos voltados particularmente para essas aplicações.

Os modelos de última geração permitem a realização de ensaios durante o dia, através da utilização interna de filtros solares, além de viabilizar tais inspeções por via aérea, incorporando facilidades do tipo gravação das imagens visuais e térmicas e posterior processamento digital (6).

3.5 Clearances condutor-solo

As distâncias (clearances) condutor-solo representam um parâmetro fundamental na identificação da capacidade de carregamento elétrico de linhas de transmissão, no sentido de assegurar que os condutores, mesmo aquecidos pelo efeito Joule e ação do Sol, não violem as condições de segurança estabelecidas em normas técnicas. A aferição dessas distâncias requer uma avaliação do comportamento eletromecânico da linha de transmissão, a partir do qual se possa identificar vãos críticos a serem corrigidos ou monitorados em condições de carregamento normal ou contingências (7).

Essas aferições devem incorporar a degradação superficial gradativa dos condutores que acarretam em seu “enegrecimento”, perda das características de troca de calor com o meio ambiente e conseqüente diminuição da capacidade de transporte de energia elétrica na presença de raios solares.

Deve-se buscar, inclusive, em condições de carregamentos especiais, a possibilidade de monitoração “on line” desses “clearances”, de tal forma a assegurar o atendimento à demanda de energia elétrica. O CEPEL vem desenvolvendo protótipos de sensores de temperatura e corrente, aplicando tecnologias de fibras óticas (8). Como alternativa à aferição dos clearances está sendo testada a medição da tensão mecânica nos cabos.

3.6 Oxidação de Condutores

A oxidação em condutores ocorre na alma de aço, após longos períodos de operação e pode ser acelerada em decorrência da agressividade do meio ambiente (umidade, acidez, etc.). A preocupação reside no enfraquecimento mecânico do condutor e conseqüente ruptura do mesmo.

Como método de ensaio são utilizadas medições especiais que permitem aferir o estado da alma de aço, sem a necessidade de desligamento da linha, podendo-se, inclusive, inferir quanto ao tempo de vida útil remanescente do cabo condutor (9).

Esses instrumentos já foram desenvolvidos, entretanto não são comercializados. Os serviços são prestados, fornecendo-se ao contratante os diagnósticos desejados. Para ilustração, fruto de contatos mantidos com fornecedores, os tópicos a seguir fornecem uma idéia dos custos envolvidos com a realização de serviços dessa natureza, em linhas de transmissão da CHESF, com mais de 25 anos de operação.

➤ Dados Fornecidos

- Amostragem de uma linha de 100 Km
- Seriam ensaiados apenas 10% (10 Km)
- Tempo para coleta de dados: 4 dias
- Preço para a coleta dos dados: US\$ 3,000 por dia
- A análise dos dados dura 1 dia para cada dia de coleta
- Preço por dia de análise: US\$600
- Taxa de mobilização (remessa de instrumentos, despesas de viagem, seguro), são cobrados separadamente, a depender do projeto.

➤ Simulação de custos para uma amostragem de 100 Km (equivalente a 10 Km de ensaio), vide tabela 1.

TABELA 1 – CUSTOS DE ENSAIO DE CORROSÃO EM CABOS

Atividade	Unidade	QTDE	Total
Amostras	US\$3,000/dia	4 dias	12,000
Análise	US\$600/dia	4 dias	2,400
Estadia	US\$200/dia	2 x 15 dias	6,000
Passagem	US\$2,000	2	4,000
Despacho	US\$1,000	1	1,000
Seguro	US\$1,000	15 dias	1,000

➤ Custos Totais:

- Fixo: US\$5,000
- Variável: US\$21,400

Hoje, 35,6% do sistema CHESF requer uma avaliação através deste processo, equivalente a 5.857 Km (linhas de transmissão com mais de 25 anos de operação). A seguir é apresentado um orçamento global para avaliar o estado dessas linhas de transmissão:

$$\text{Custo Total} = \frac{5.857 \times 21.400}{100} + 5.000 = 1.258.398$$

Portanto o orçamento global estimado é de US\$1.258.398,00.

O valor total acima explicitado ressalta a validade de se partir para desenvolvimento de tecnologia própria voltada para incorporar sensores que detectem o estado de oxidação de condutores.

3.6 Avaliação Eletroquímica do Solo

Esses ensaios têm o propósito de, a partir da avaliação das características eletroquímicas do solo, se inferir quanto ao estado de oxidação das partes metálicas estruturais enterradas, de tal forma a se evitar dispendiosas escavações com o mesmo propósito. A concretização dos procedimentos para realização de tais ensaios encontram-se em fase final de pesquisas no CEPEL (10).

3.7 Monitoração da Poluição

A poluição de isoladores ocorre através da deposição de contaminantes quer sejam de origem industrial, marítima ou ambiental (5). Esses depósitos, juntamente com a presença da umidade, e tensão elétrica mais elevada propiciam o surgimento de descargas superficiais que podem evoluir para o fechamento de uma arco de potência sobre a cadeia de isoladores e conseqüente interrupção no fornecimento de energia.

Os processos de monitoração da contaminação dos isoladores mais utilizados são:

- Inspeções noturnas;
- Medição de ESDD
- Análise química dos contaminantes;
- Medição de corrente de fuga;

3.8 Técnicas de Reconhecimento de Padrões

Face a aleatoriedade da ocorrência do fenômeno da poluição se torna necessário um enfoque estocástico, através, por exemplo, da utilização de técnicas de reconhecimento de padrões, redes neurais, etc., que conduzam a um melhor equacionamento da questão, podendo levar, inclusive, à monitoração “on line” (5).

Essas técnicas podem ser visualizadas fazendo-se uma analogia com o ser humano. Uma demonstração da possibilidade de desenvolver tarefas mais elaboradas

está associada com a sua capacidade de agrupar ou classificar dados. O processo de distinguir objetos venenosos de alimentos é um exemplo de tal comportamento. Uma grande conquista dos cientistas tem sido a transformação de observações do nosso mundo real em “leis da natureza”.

A classificação de padrões é um processo de informação e transformação. Isto é, um classificador transforma um conjunto relativamente grande de dados misteriosos em um pequeno conjunto de dados úteis. Não é surpresa portanto que máquinas, assim como organismos vivos, possuam a habilidade de detectar e classificar padrões. Exemplos de tais máquinas que foram construídas e usadas efetivamente são: classificador de células do sangue, analisador de cromossomos, analisador de fotografias aéreas, analisador de vozes, leitor de zona postal, analisador de impressões digitais e analisador de radiografia (5).

3.9 Regras Fuzzy para Inspeções Visuais

No método tradicional de inspeções em linhas de transmissão, os dados são coletados pelo inspetor, o qual já estabelece o diagnóstico do defeito e a ação de manutenção mais adequada. Todas essas informações são digitalizadas e, em um algoritmo computacional, é possível alocar as ações de manutenção, por órgão executor, atendendo-se às prioridades previamente estabelecidas na base de dados e obedecendo-se às restrições de recursos humanos, infra-estrutura e aporte financeiro. Este é o processo rotineiramente utilizado na manutenção preventiva que atende a um ciclo periódico que se inicia com a inspeção, é seguida da elaboração dos programas e posteriormente se encerra com a correção dos defeitos e a identificação de pendências que juntamente com os novos defeitos apontados pelos inspetores irão compor o novo ciclo de manutenção (11).

Este processo credita uma responsabilidade muito grande ao inspetor, o qual necessita de uma atenção especial, no que tange a treinamento, reciclagens e aferição permanente do padrão técnico visual desses especialistas.

Um método alternativo, em desenvolvimento, está mais voltado para inspeções minuciosas direcionadas para aferição do estado operacional de uma linha a ser submetida ao processo de recapacitação.

Este método passa a tratar as informações colhidas pelos inspetores em campo, como informações não objetivas. A tomada de decisão e suas implicações sobre o planejamento do sistema, exige uma ferramenta de diagnóstico capaz de tratar os dados

subjetivos, conduzindo a um posicionamento mais correto quanto ao destino da obra. Nada fazer? Recuperar? Ou desativar a linha? Esta ferramenta de diagnóstico já utilizada na engenharia de transmissão, tem como uma das bases a teoria dos conjuntos “fuzzy” (12).

4. CONCLUSÃO

Os pontos aqui levantados procuraram principalmente sensibilizar os técnicos que militam no setor elétrico da necessidade de se implementar as metodologias de recapacitação de linhas de transmissão em sua totalidade, inserindo-se estruturadamente o segmento voltado para assegurar a adequação dos índices de confiabilidade das instalações (up grade), principalmente quando as mesmas estão sendo objeto de projetos de repotencialização (up rate). Neste aspecto, a monitoração dos parâmetros eletromecânicos da instalação assumem uma importância crucial, quer seja na fase pré-recapacitação ou na fase pós-recapacitação.

Na primeira fase se procura identificar o estado da instalação no que se refere ao parâmetro específico sob análise, podendo se prever o tempo de vida remanescente do componente sob foco; se estabelece uma base referencial para se avaliar a efetividade das ações de recapacitação a serem desencadeadas e se colhe subsídios para a análise de viabilidade técnico-econômica da implementação de processos de recapacitação.

Na segunda fase se aferi a efetividade das ações de recapacitação executadas e se identifica os ganhos de vida útil obtidos a partir da efetivação das melhorias implementadas.

Como linha de pesquisa paralela é conveniente o desenvolvimento de estudos econômicos que indiquem a viabilidade dos projetos de recapacitação, diante dos investimentos a serem empreendidos.

5. BIBLIOGRAFIA

- (1) JOE C. POHLMAN. Assessement of Overhead Lines. IEEE/PES T&D Conference (1991). USA.
- (2) CEPEL. Projeto: Recapacitação de Linhas de Transmissão – RECAPLT – Termo de Referência. Carteira Institucional do CEPEL (1997). Brasil.
- (3) BEZERRA, J. M. B.; RÉGIS, OSVALDO, CABRAL, LUIZ E MESQUITA, EVANISE. Recapacitação de Linhas de Transmissão. Análise Técnico-Econômica. Cotejamento entre Custos e Benefícios. VI-SEPOPE (1997). Brasil.
- (4) BEZERRA, J. M. B.; ARAÚJO, P. IVO S.; CAVALCANTI JR. , JOSÉ HOLLANDA; CAVALCANTI, FERNANDO J. M. M. Uso de Indicadores Gerenciais no Planejamento da Manutenção de Linhas de Transmissão. I – SEMASE (1995). Brasil.
- (5) BEZERRA, J. M. B. Aplicação de Técnicas de Reconhecimento de Padrões no Diagnóstico de Defeitos em Linhas de Transmissão. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica, CTG / UFPE (1995). Brasil.
- (6) AGEMA THERMOVISION, Thermovision Uncooled Infrared Camera, Home page da AGEMA THERMOVISION (1998), Suíça.
- (7) CCON. Diretrizes para Aplicação de Carregamento em Linhas de Transmissão. Elaborado pelo SCEL (1987). Brasil.
- (8) CEPEL. Projeto SENSÓTICO. Programa Institucional do CEPEL (1998). Brasil.
- (9) SHANNON TECHNOLOGY. Conductor Corrosion Assessment Services. Home page da SHANNON TECHNOLOGY (1998). Canadá.
- (10) CEPEL. Projeto METAVECOR. Programa Institucional do CEPEL (1998). Brasil.
- (11) SILVA, R. L.; NETO, A. P. Avaliação Estrutural de Torres Metálicas Antigas. XIV – SNPTEE (1997). Brasil.