



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GLT/ 09

**17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO III
GRUPO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (GLT)**

FALHAS DOS SUPORTES ESTRUTURAIS NOS MERCADOS ATACADISTAS DE ENERGIA

Roberval Luna da Silva (*)

Antonio Jesus de Barros Mateus

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.
BRASIL

RESUMO

O informe aborda o emprego das estruturas de emergência, quase vinte anos após a introdução desta logística de trabalho em nosso país. Descreve um exemplo real de acidente, envolvendo a queda de duas torres metálicas treliçadas autoportantes, cujo suprimento de energia foi emergencialmente restabelecido, utilizando suportes provisórios.

Os autores discutem as falhas dos suportes estruturais nos mercados atacadistas de energia, tendo em vista o atual programa de privatização do setor elétrico brasileiro. Concluem pela necessidade de revisão das estratégias vigentes para a restauração dos circuitos acidentados.

PALAVRAS-CHAVE

Falhas estruturais - Estruturas de emergência - Probabilidade de falha.

1.0 INTRODUÇÃO

O programa de privatização do setor elétrico brasileiro tem priorizado a discussão dos aspectos legais de política gerencial, com ênfase aos fatores econômicos da questão. Nesta fase do processo, é natural que os equacionamentos de ordem essencialmente técnica passem por um período de estagnação, enquanto aguardam a implantação do novo modelo institucional.

Sabemos que nos sistemas de transmissão mais pulverizados, com mercados atacadistas de grande competitividade, a equação custo-benefício de solução dos problemas técnicos recebe uma abordagem diferente daquela que prevalece nas economias

estatizadas. O peso das variáveis políticas, econômicas, sociais e tecnológicas, é desigual de um ambiente para o outro. Assim sendo, determinados assuntos de engenharia, relacionados com a manutenção de qualidade da energia fornecida, devem ser repensados neste novo cenário de competitividade. Dentre estes aspectos, citamos os planos de atuação conjunta em situações de emergência; os estudos de avaliação do envelhecimento das linhas; a modernização dos equipamentos de inspeção e manutenção; bem como a implantação dos sistemas inteligentes para localização dos defeitos.

Neste informe, vamos discutir apenas o uso das estruturas de emergência, neste ambiente que aponta para a terceirização de alguns serviços da manutenção.

Com esta finalidade, procura-se comparar a performance entre os padrões mais conhecidos; confrontar critérios de aplicação; expor diversas configurações alternativas para um único modelo estrutural; questionar a efetividade dos desvios provisórios sob diferentes disposições de linhas acidentadas; relacionar qualidades de leveza, versatilidade, rapidez de montagem, intercambialidade e complexidade de cada padrão; discutir as causas e consequências do acidente tomado como exemplo; indicar ferramentas computacionais de apoio; totalizar os custos diretos e indiretos desta ocorrência; listar acessórios, sistemas de apoio e ferramentas de uso corrente; e optar por um modelo mais versátil.

2.0 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS ESTRUTURAS DE EMERGÊNCIA

Por volta de 1980, as principais empresas brasileiras de transmissão já dispunham ou estavam adquirindo estruturas, para atendimento exclusivo em situações de emergência. Esta opção, adotada em países mais desenvolvidos, foi implantada no Brasil de uma forma individualizada. Cada área de concessão optou por um padrão estrutural, havendo diferenças básicas de um modelo para outro. De um modo geral, dois padrões tornaram-se mais conhecidos:

Padrão de mastro tubular - Algumas empresas optaram pela torre tipo V- estaiado (ver Figura 1). Os mastros desta estrutura são constituídos por tubos de aço de alta resistência, galvanizados interna e externamente, de seções tronco-cônica que se encaixam uma na outra.

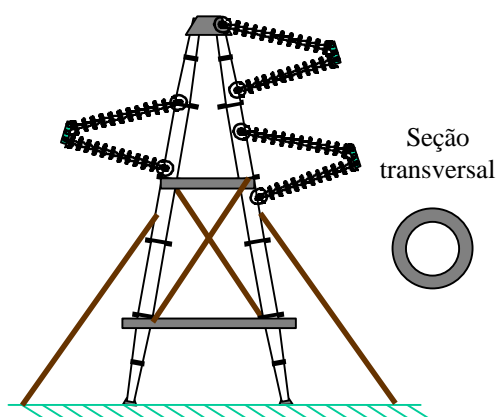


FIGURA 1 - Modelo de mastro tubular

O sistema é dotado de estais internos e externos, para garantir a estabilidade mecânica do conjunto. Os braços são bastões isolantes ou isoladores rígidos. Um modelo, com 23,00 m de altura e módulos de comprimento máximo 3,00 m, pesa entre 1.500Kg a 1.600 kg. O transporte e a armazenagem são facilitados, encaixando completamente as seções menores nas maiores. A montagem da torre pode ser feita no solo, sendo a mesma içada por intermédio de um mastro auxiliar provido de roldanas. O uso de muncks nos suportes mais altos não é recomendado. Após a montagem, o acesso ao topo é feito por intermédio de pederolas removíveis.

Padrão de mastro treliçado - Outras concessionárias escolheram a opção de mastro treliçado para várias configurações alternativas (ver Figura 2). Os montantes desta estrutura são treliças, constituídas por tubos de aço ou alumínio-liga, soldados entre si, formando módulos. O sistema possui apenas estais externos capazes de garantirem a estabilidade mecânica do conjunto. Um modelo, com 23,00 m de altura e módulos de comprimento máximo 4,00 m, pesa entre 2.000 e 2.500. A montagem da torre pode ser feita de modo semelhante ao modelo tubular, ou pelo processo manual de içamento parcial. Após a montagem, o

acesso ao topo é feito por intermédio do próprio treliçamento. Uma estrutura semelhante custa atualmente em torno de US\$5.200,00.

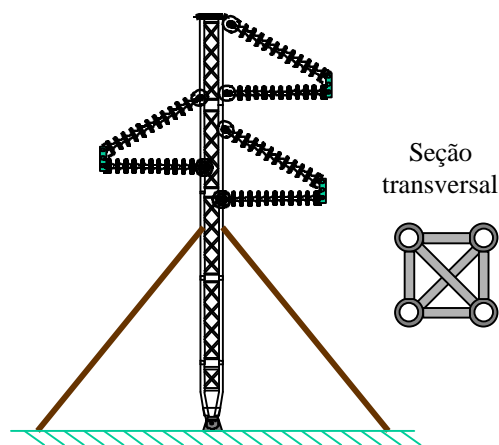


FIGURA 2 - Modelo de mastro treliçado

As estruturas de emergência devem possuir algumas características básicas indispensáveis [1]. Dentre estas, serem fabricados com materiais leves, geralmente aço de alta resistência ou alumínio-liga, para garantir um peso reduzido e incorporar facilidades de transporte e manuseio. Hoje, há perspectivas de utilização da fibra de vidro. O número de componentes deve ser o menor possível, objetivando reduzir a complexidade de trabalho e garantir a rapidez de montagem. A solda de elementos é usada para evitar uma quantidade elevada de parafusos.

As características de versatilidade englobam vários aspectos. É ideal que um único suporte possa atender: diferentes classes de tensão acima de 69kV; diferentes disposições de cabos (vertical, horizontal e triangular); linhas com um ou dois circuitos; funções de alinhamento, ancoragem em ângulo e fim de linha; e várias técnicas de montagem (manual com estaiamento parcial, içamento por intermédio de mastro auxiliar, içamento mecânico por meios de muncks ou guindastes e içamento aéreo por helicópteros). Além dos aspectos mecânicos, as estruturas de emergência são projetadas considerando os critérios elétricos de coordenação de isolamento: condições de frequência industrial, surto de manobra e descargas atmosféricas.

Há quatro grupos de componentes básicos de constituição: fundações dos mastros, superestruturas ou colunas, fundações dos estais e acessórios para estaiamento ou fixação de cadeias. As fundações dos mastros devem possuir recursos para adaptação a diversas situações de terreno, sem exigir preparos especiais tipo corte ou aterro. São utilizados sistemas de rótulos com um ou mais graus de liberdade, com placas apoiadas diretamente sobre o terreno ou lastros de madeira. Piquetes de aço são utilizados para

combater os esforços horizontais. É ideal que o sistema de rótula possa evoluir para um apoio rígido, se necessário (ver figura 3). As fundações dos mastros são consideradas os elos fracos da corrente.

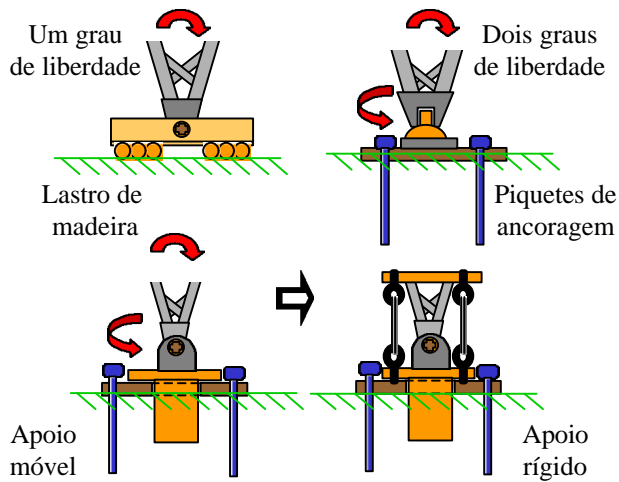


FIGURA 3 - Fundações dos mastros

As colunas tipo tubular ou treliçada são projetadas como elementos suficientemente leves, com possibilidade de serem transportados por uma única pessoa. A união entre seções pode ser feita por braçadeiras, placas de justaposição ou simples encaixe (ver Figura 4).

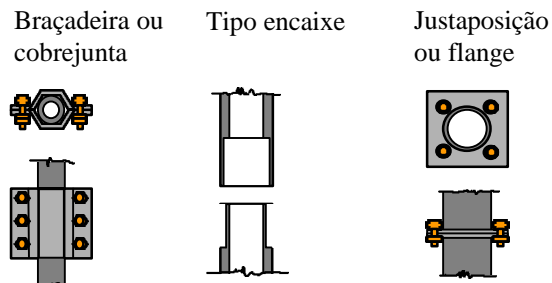


FIGURA 4 - Conexões dos montantes

A ancoragem provisória dos estais, pode ser feita com chapas ou perfisados piquetados na superfície do solo por meio de ancoras. Nos casos mais complexos, são utilizadas placas ou toras de ancoragem instaladas abaixo da superfície do terreno (ver Figura 5).

Para fixação dos estais e cadeias de isoladores são adaptadas chapas horizontais, verticais ou perfis, convenientemente furadas para outras opções de uso (ver Figura 6).

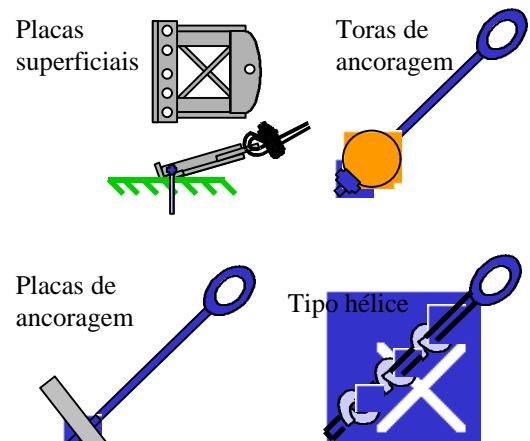


FIGURA 5 - Fundações dos estais

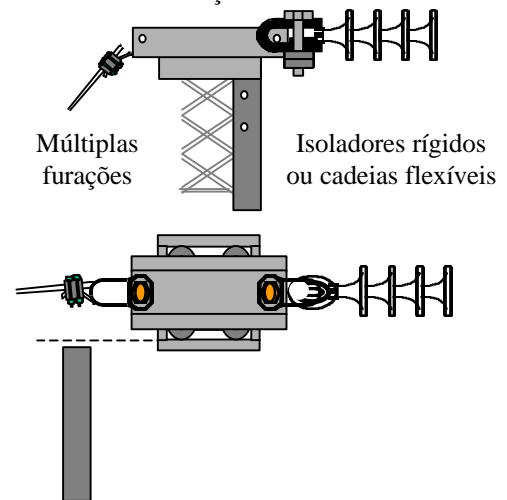


FIGURA 6 - Estaiamento e fixação de cadeias

3.0 - CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE EMERGÊNCIA

As estruturas de emergência são úteis para:

1. Auxiliar a construção de novos ramais, durante a expansão ou modificação dos sistemas existentes.
2. Apoiar a manutenção nas intervenções programadas ou recapitação das linhas (elevação de cabos, substituição de torres, inserção de extensões, etc.).
3. Permitir a restauração provisória dos circuitos danificados, enquanto as torres definitivas são recuperadas. Para minimizar os prejuízos decorrentes das falhas nos suportes estruturais definitivos, costuma-se agir sobre as causas ou as consequências. Agir sobre as causas, significa projetar adequadamente os suportes, para absorver esforços aleatórios calculados sob bases probabilísticas. Agir sobre as consequências, consiste em controlar a magnitude das perdas econômicas após o acidente. Um dos procedimentos, para garantir a continuidade do fornecimento sob condições emergenciais, é a

utilização de torres de emergência em alinhamento ou desvios laterais. A opção por desvios laterais é utilizada para restaurar circuitos duplos ou simples, quando as circunstâncias locais e estratégias não permitem trabalhar em alinhamento. Nos sistemas de transmissão tipo anéis, o uso de estruturas de emergência é questionável, desde que existam outras possibilidades de suprimento temporário. Os sistemas radiais são menos flexíveis, quando se deseja evitar uma interrupção prolongada do fornecimento de energia.

A utilização das estruturas de emergência é respaldada por um plano estratégico global, previamente discutido [2] e em consonância com a política de manutenção de cada empresa. Esta estratégia gerencial deve incorporar as diversas possibilidades de emergência e restauração dos circuitos acidentados, sob os aspectos de pessoal, ferramentas e equipamentos especializados. Os serviços de campo propriamente ditos, se iniciam com o levantamento da área do acidente. Segue-se a identificação das alternativas de restauração, definição de prioridades, escolha da melhor solução, e elaboração do plano efetivo de atuação. A rapidez das ações é fundamental para alcançar os objetivos desejados. A exiguidade de tempo requer decisões corretas, dos responsáveis pelo serviço, num curto espaço de tempo. Um arquivo técnico atualizado é importante nesta fase da tarefa. Com um modelo em escala reduzida, fica mais fácil visualizar e planejar as operações. Os componentes devem ser dispostos de modo a facilitar a sequência correta de montagem. O check list dos materiais e ferramentas pode ajudar. As equipes devem dispor de equipamentos portáteis de solda e peças de reposição, para corrigir eventuais danos nos componentes das torres de emergência.

Os requisitos de carregamento mecânico variam de empresa para empresa ou de acidente para acidente. A aplicabilidade das torres de emergência deve ser garantida, conhecendo as limitações e folgas dos modelos disponíveis, ou gráficos de aplicação para cada configuração de montagem. Um suporte computacional que permita ao usuário calcular os esforços nas colunas e estais, subsidiando as inevitáveis adaptações de campo, deve ser disponibilizado. É conveniente também conhecer a probabilidade do risco de falha mecânica da solução, dentro da escala estabelecida conforme a importância da linha para o sistema.

No atual sistema de transmissão do nordeste, são utilizadas torres de emergência do tipo mastro treliçado, sob três configurações básicas:

- E-SR. - suspensão em alinhamento (ver Figura 7)
- E-AS - suspensão e angulo (ver Figura 8)
- E-FL - fim de linha (ver Figura 9)

O padrão de suspensão chainette E-SR foi dimensionado para o carregamento máximo indicado na Figura 10, e condições elétricas variando de 138 KV a 500 KV.

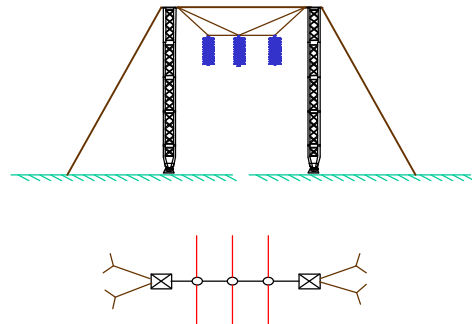


FIGURA 7 - Suspensão em alinhamento E-SR

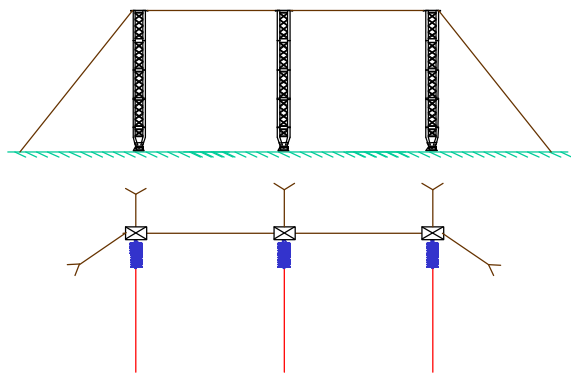


FIGURA 8 - Suspensão e angulo E-SA

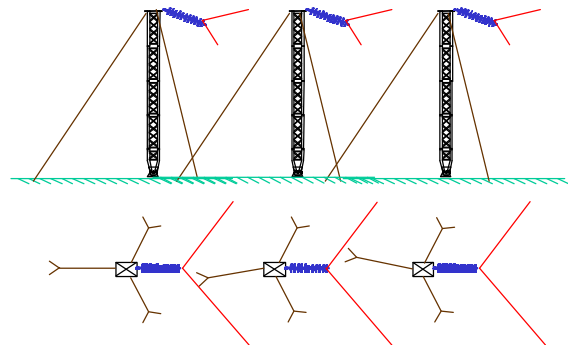


FIGURA 9 - Fim de linha E-FL

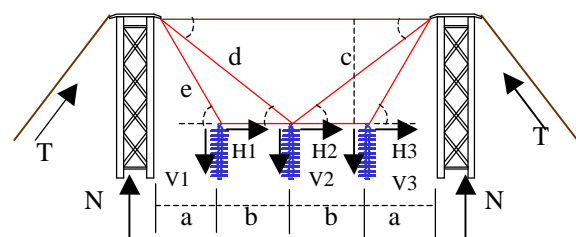


FIGURA 10 - Suporte computacional

Vamos dividir o custo das falhas em três parcelas diferentes: **despesas de restauração propriamente ditas, o valor da energia não fornecida e os prejuízos indiretos dos consumidores com o acidente**. A primeira parcela será otimizada, reduzindo os custos com pessoal; utilizando técnicas e equipamentos adequados; e disponibilizando os materiais de reposição em tempo hábil. Uma equipe mínima de montagem devidamente treinada, composta de 20 pessoas, custa aproximadamente U\$46.000,00 por mês.

O quilowatt perdido em função das interrupções é estimado pela seguinte fórmula:

$$\Delta = Fd \cdot Fc \cdot KVA \cdot t \cdot \cos \phi \quad (\text{KWA})$$

Δ - quilowatt perdido

Fd - fator de demanda (0,62)

Fc - fator de carga (0,51)

KVA - potência aparente interrompida

t - tempo de interrupção do fornecimento

Cos ϕ - fator de potência (0,92)

Considerando a fórmula do índice de duração das interrupções por consumidor, estabelecido pela portaria nº 046 de 17/04/1978 do antigo DNAEE, teremos:

$$DI = \sum_{i=1}^n Ca(i) \cdot t(i) / Cs \quad i = 1 \rightarrow n$$

DI = espaço de tempo médio em que cada consumidor ficou privado do fornecimento de energia.

Ca (i) – Número de consumidores atingidos pela interrupção i.

t (i) – Tempo de duração da interrupção i.

Cs – Número total de consumidores do sistema considerado.

Podemos ainda calcular um índice de frequência das interrupções por consumidor: $FI = \sum Ca(i) / Cs$. Uma interrupção prolongada pode provocar severos impactos de ordem econômica, social e política. Os índices anteriores quando associados ao consumo per capita de energia, e demais parâmetros econômicos da região atingida, nos dão uma idéia dos prejuízos relacionados com o produto interno bruto. Para determinadas indústrias, a situação pode ser muito crítica. O levantamento dos custos indiretos, lucros cessantes e prejuízos para as economias locais é muito complexo.

Foi proposto um suporte computacional para as três configurações anteriores, servindo como ferramenta de decisão, quanto à viabilidade mecânica e econômica das alternativas de solução. Como elementos de entrada, o usuário deve informar: tensão elétrica; características dos cabos; pressões de vento; desvios

padrões das frequências e sobretensões; probabilidade de flashover e sobretensões; informações sobre o nível isoceraunico; dados geométricos das estruturas; coeficientes de segurança, etc. Os principais dados de saída são: gaps fase-terra e fase-fase; quantidade de isoladores por fase; esforços-T de tração nos estais; esforços-N de compressão nos mastros; probabilidade de falha mecânica; e o respectivo tempo de retorno dos fenômenos climáticos.

4. EXEMPLO REAL DE UTILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE EMERGÊNCIA

Durante um temporal que atingiu a região sul da Bahia, o suprimento de energia através da LT 230 KV Funil-Camacã-Eunápolis foi interrompido. Esta interrupção ocorreu num trecho composto de 5 estruturas (117-1, 117-2, 117-3, 118-1 e 119-1), sendo quatro suspensões (S22d-33,00m, S21d-36,00m, A22d-34,50m e S22d-3,00m) e uma transposição em ancoragem (T2d-27,20m). Três delas permaneceram intactas ou com empeno nas mísulas (117-1, 117-3 e 119-1) e duas ficaram completamente danificadas (117-2 e 118-1). A causa do acidente foi a queda de uma árvore situada na meia encosta, sobre os cabos no vão de frente da torre 117-3 (ver Figura 11). Trata-se de uma região de difícil acesso, dentro da área produtora do cacau, com topografia muito acidentada, e árvores de grande porte servindo como sombreamento das plantações. A operação contou com o apoio de 02 helicópteros, 13 caminhões, 04 camionetas, 01 jeep, 04 veículos leves e um trator D4. O acidente ocorreu às 16 horas e 36 minutos do dia 15/04/1995. A linha foi energizada às 04 horas e 50 minutos do dia 17/04/95, no trecho Camacã/Eunápolis, através do circuito Funil/Dário Meira. Cento e trinta e duas pessoas participaram diretamente dos serviços, totalizando um custo direto de U\$ 508.700,00. O suprimento de energia foi restabelecido emergencialmente, construindo um ramal lateral pelo circuito direito sentido carga. Foram utilizados três suportes de emergência com mastro treliçado, de características diferentes dos padrões originais de projeto. A interrupção total durou 22 horas e 14 minutos, e 800.000 consumidores diretos foram atingidos. O corte de energia foi de 2082 MWh, sendo 75 MWh por interrupção total e 2007 MWh por redução nos horários de ponta, enquanto a linha funcionava apenas com um circuito.

Quanto aos prejuízos materiais indiretos e outros transtornos decorrentes do acidente, não foi possível avaliar com precisão. Sabe-se, entretanto, que a região sul da Bahia representa um polo produtor de grande importância para o estado. Esta ocorrência contribuiu para índices FEKS = 0,111 e DECKS = 1,105, afetando 35 cidades importantes. Os dois

circuitos definitivos, foram mais tarde restabelecidos, com um desembolso atualizado de U\$ 178.500,00

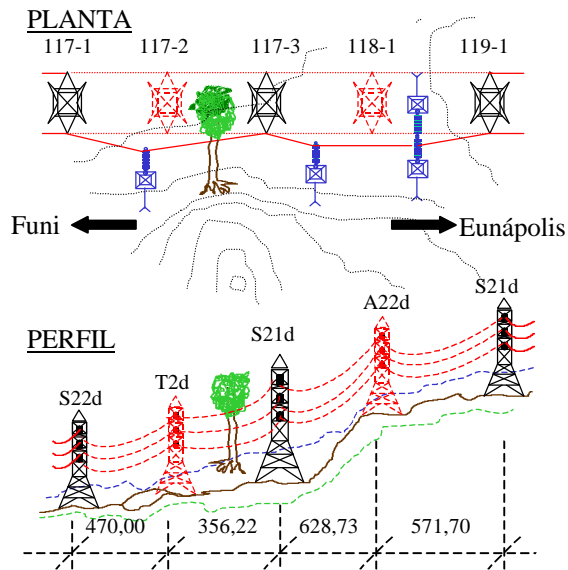


FIGURA 11 - Exemplo de aplicação

5. CONCLUSÕES

Devemos reconhecer que a climatologia brasileira não é tão hostil à convivência das linhas de transmissão. Embora isto seja verdade, temos registrado acidentes de graves consequências econômicas. Mesmo no nordeste brasileiro, onde ventos muito elevados são fenômenos raros, há ocorrências de diversas origens. Não há como projetar torres de transmissão totalmente imunes aos fenômenos climáticos, efeitos ambientais, vandalismos, etc. Ainda que o uso das estruturas de emergência seja questionável sob determinadas circunstâncias, este procedimento de trabalho é mundialmente aceito, como forma de reduzir a magnitude das perdas econômicas no caso de acidentes.

Manter as linhas de transmissão, representa uma atividade que envolve grandes recursos das empresas, exigindo constante melhoria nos processos de atuação. Por outro lado, enquanto as empresas são privatizadas, o nosso sistema de transmissão envelhece, e o nível de conscientização dos consumidores aumenta. A expectativa existente é de melhoria na confiabilidade do suprimento. Isto torna os futuros fornecedores mais susceptíveis aos prejuízos decorrentes dos processos judiciais por insucessos operacionais. Considerando a perspectiva de fragmentação do atual sistema brasileiro de transmissão, em áreas de pequena ou média grandeza sob coordenação de um operador independente, torna-se conveniente rediscutir a utilidade das torres de emergência. Sabemos que o custo de projeto e aquisição das estruturas de

emergência são infinitamente pequenos, em relação aos prejuízos diretos e indiretos dos acidentes. Entretanto, com as novas estratégias empresariais, o foco sobre as variáveis que influenciam a política de manutenção das empresas será redirecionado. A política gerencial, de manter a mobilização das equipes e ferramentas especializadas para uso esporádico, será vista sob outra ótica. A terceirização dos serviços nos parece ser o caminho a seguir. Por outro lado, a maior parte da responsabilidade social e política permanecerá com o estado, após a privatização. Neste sentido, o papel dos órgãos de controle torna-se fundamental para: definir as áreas de maior risco; estabelecer soluções alternativas de restauração; elaborar catálogo das torres de emergência disponíveis e coordenar planos de atuação conjunta. Nos Estados Unidos, por exemplo, a grande competitividade não impediu que as concessionárias estabelecessem um plano de cooperação mútua, visando ratear o custo de mobilização dos recursos de emergência [3]. Esta estratégia de atuação, foi testada e aprovada durante várias ocorrências registradas nos últimos anos, naquele país [4]. Para o caso brasileiro sugere-se um plano semelhante, de unificação dos procedimentos de trabalho. Cabe desenvolver padrões mais universais, capazes de atenderem às características comuns das concessionárias vizinhas (tensão, geometria, cargas mecânicas, etc.). Visando fundamentar as premissas desta futura padronização, os tipos mais conhecidos no Brasil foram detalhados. Modelos já existentes, apresentam algumas limitações geométricas e mecânicas para atender classes de tensões acima de 230kV. Comparando a performance entre o sistema tubular em V - estaiado e o padrão de mastro treliçado, os autores admitem que a segunda alternativa reúne maiores condições de versatilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] IEEE. Standard ISBN 1.55937-592-2. - Guide for design and testing of transmission modular restoration structure components. EUA.
- [2] LINDSEY K. E. - Transmission line emergency restoration practices in North America utilizing modular structures. EUA (1986).
- [3] EDSON ELETRIC INSTITUTE - Mutual assistance plan for transmission line emergencies. EUA (1982).
- [4] RUTTY S. A . , JACKSON J. K. , DELUCI D. A. e SCHOFIELD S. D. - Planning ahead proves invaluable to rapid restoration of the Pacific DC intertie and Owens Gorge Transmission Lines . EUA.