



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

GLT - 02
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

**LT MONTES CLAROS 2 – IRAPÉ 345 kV
SOLUÇÃO ESTRUTURAL COM TORRE ESTAIADA MONOMASTRO CARA DE GATO
ASPÉCTOS ELÉTRICOS, MECÂNCOS E ECONÔMICOS**

**Filipe Guerra Soares
Paulo Ricardo Ralo Liberato da Silva*
Reynaldo Castriota de Mello
Sírio José Ferreira**

**Evanildo Ramos Ribas
Kleber Ribeiro dos Santos**

João Felix Nolasco

ENGETOWER ENGENHARIA

LEME ENGENHARIA

JFNOLASCO CONSULTORIA

RESUMO

As licitações da ANEEL para concessões de novas linhas de transmissão, abertas à participação de empresas privadas, promoveram uma intensa busca por soluções de engenharia focadas na obtenção da eficiência máxima, esta última entendida como o menor custo possível do empreendimento, nele incluídos a instalação, as perdas e os riscos de penalizações pelos órgãos fiscalizadores. Assim, no tocante às estruturas, componente de grande representatividade no custo e na confiabilidade das linhas, as empresas participantes do setor têm envidado esforços no sentido do desenvolvimento de soluções inovadoras, ou de melhorias nas soluções tradicionalmente empregadas, que tragam vantagens competitivas aos empreendimentos dos quais participam.

Neste contexto, a Companhia Transleste de Transmissão S/A, sociedade formada pelas empresas ALUSA, CEMIG, FURNAS e ORTENG, vencedora do contrato de concessão da LT Montes Claros 2 – Irapé 345 kV (138,5 Km de extensão) em leilão realizado pela ANEEL no final de 2003, com deságio de 34% sobre a receita máxima anual permitida, se viu na busca de uma solução estrutural que atendesse a todos os parâmetros elétricos exigidos pelos editais da ANEEL e que possibilitasse atingir as taxas de retorno almejadas, não obstante o alto deságio ofertado. Foram então contratadas as empresas LEME, JFNOLASCO e ENGETOWER, as quais desenvolveram os estudos elétricos, os estudos de otimização de solução estrutural estaiada monomastro cara de gato, o projeto básico, o projeto executivo das estruturas e o projeto eletromecânico da LT, todos eles ajustados às necessidades técnicas e econômicas para a realização bem-sucedida do empreendimento.

O presente informe técnico descreve aspectos elétricos, mecânicos, estruturais e econômicos desta solução de projeto e apresenta alguns dos resultados obtidos com a sua aplicação na referida linha de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão; Torre; Estaiada V; Estaiada Monomastro; Autoportante.

1.0 - INTRODUÇÃO

A utilização de estrutura estaiada V tem sido bastante difundida no Brasil desde meados da década de 70. A empresa pioneira na utilização desta solução estrutural no Brasil foi a CEMIG, com a construção das LT's 500 kV do sistema São Simão – Jaguará - Neves (cerca de 1500 km). Desde então, as torres estaiadas têm sido amplamente utilizadas em muitas outras linhas de 500 kV e até mesmo de 750 kV (Sistema de Transmissão de Itaipu). Além dos resultados satisfatórios de desempenho elétrico, mecânico e estrutural, houve ganhos econômicos significativos, visto que o peso de uma estrutura estaiada V situa-se na faixa de 60% a 70% do peso de uma estrutura autoportante equivalente. Ademais, tais estruturas apresentam grande facilidade para montagem em campo.

No início da década de 80, para a construção do Sistema de Transmissão de 500 kV de Emborcação, a CEMIG introduziu solução estrutural de torres estaiadas V modulares, conceito este já utilizado com sucesso em linhas de 500 kV na Argentina. Posteriormente, no final da década de 80, este mesmo conceito foi também utilizado no projeto da LT Montes Claros 2 – Várzea da Palma 345 kV, projetando-se duas vigas (V1 e V2) e dois mastros (M1 e M2) intercambiáveis. O projeto foi desenvolvido com configuração de cadeias III, dois cabos CAA 900 MCM “Ruddy” por fase e cabos pára-raios de aço galvanizado \varnothing 3/8” EHS, com resultados técnicos e econômicos plenamente satisfatórios. A Figura 3 apresenta a silhueta típica da torre estaiada Tipo M1V1, de aplicação mais frequente e de menor peso, tomada como referência, nos editais de licitação da ANEEL, para definição dos parâmetros elétricos e de desempenho quanto a descargas atmosféricas na LT Montes Claros 2 – Irapé 345 kV, bem como pela TRANSLESTE, para estimativas de custos para a construção da referida LT.

Visando a redução de custos na realização do empreendimento, foram feitos estudos preliminares de otimização estrutural contemplando formas geométricas alternativas para a estrutura de suspensão típica, quais sejam: estrutura monomastro com cabeça de tronco reto e cadeias III e estrutura monomastro cabeça cara de gato com cadeias III e IVI. Nos primeiros estudos comparativos a primeira opção foi eliminada, visto que para esta solução os estais apresentaram maiores bitolas. Foram, então, elaborados estudos de otimização de custos mais precisos para a estrutura monomastro cara de gato com cadeias III e IVI, neles incluída a diferença de custos entre ambas as configurações de cadeias. A Figura 1 mostra as cabeças das estruturas resultantes dos estudos. Os resultados mostraram uma redução de peso em relação à estrutura estaiada V tipo M1V1, com altura útil de 34,0 m (4460 kgf), de 730 Kgf (16,3%), para a torre com cadeias IVI, e de 160 Kgf (3,6%), para a torre com cadeias III. Considerando-se estas diferenças de peso, os custos de fornecimento das cadeias, a maior facilidade de montagem pela compactação da cabeça e pelo menor peso, optou-se pela solução de cabeça cara de gato com cadeias IVI.

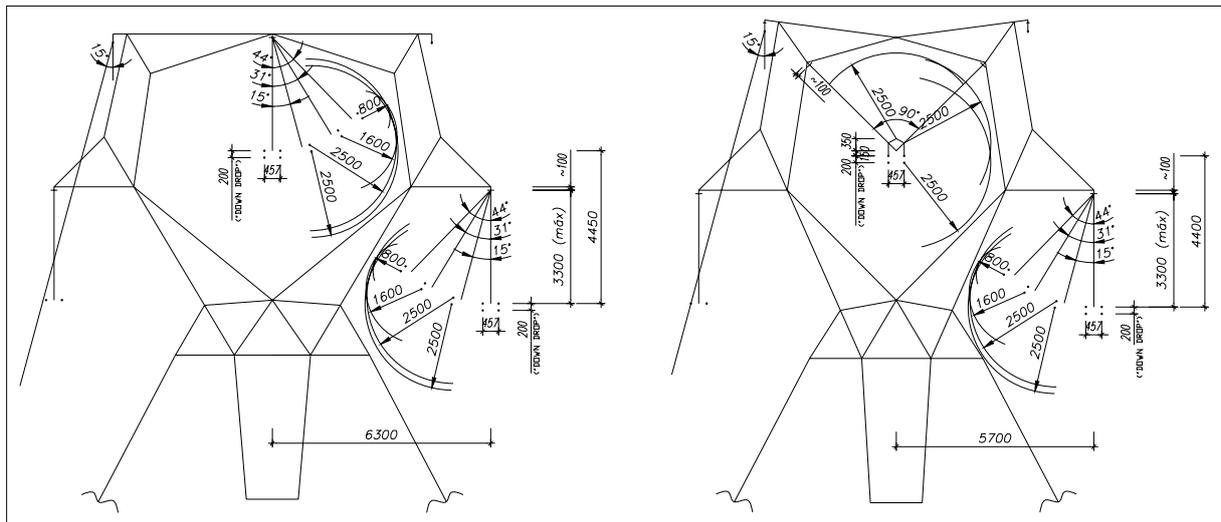


FIGURA 1: Cabeça Cara de Gato Com Cadeias III e IVI

A Figura 4 apresenta a silhueta final da torre estaiada monomastro tipo TLE3, escolhida com base nos estudos aqui relatados para uso na LT Montes Claros 2 – Irapé 345 kV.

2.0 - CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

2.1 Aspectos Elétricos

2.1.1 Estudo de Otimização

Estudos iniciais consideraram as alternativas de cabos condutores de Alumínio-Aço (CAA) e de Alumínio Liga (CAL). Os condutores CAL poderiam ser mais econômicos, dentro dessa avaliação preliminar, desde que o custo da liga não superasse em mais que 12 a 15% os custos do Alumínio-Aço em peso. Todavia, tendo em vista a ainda pouca utilização dos condutores CAL em nosso país e a conseqüente instabilidade de seu mercado quanto a preços, os mesmos não foram considerados na presente avaliação. A Figura 2 mostra os resultados da avaliação econômica da LT 345 kV em análise, em função da área total de Alumínio para o feixe duplo.

Observa-se, pela avaliação ao lado, que a seção condutora de alumínio do feixe situada entre 900 e 1000 mm² resultou mais econômica. Ora, os feixes duplos 2 x CAA 900 MCM (Ruddy) e 2 x CAA 954 MCM (Rail) apresentam seções de alumínio de 912 e 967 mm², respectivamente. O feixe 2 x CAA 900 MCM (Ruddy) foi selecionado tendo em vista o menor custo de instalação.

2.1.2 Principais Características Elétricas

Para a potência de 500 MW, um pouco acima da potência natural (SIL) da LT, os principais parâmetros de desempenho referidos à tensão nominal de 345 kV, considerada teoricamente numa transmissão radial, encontram-se indicados na Tabela 1.

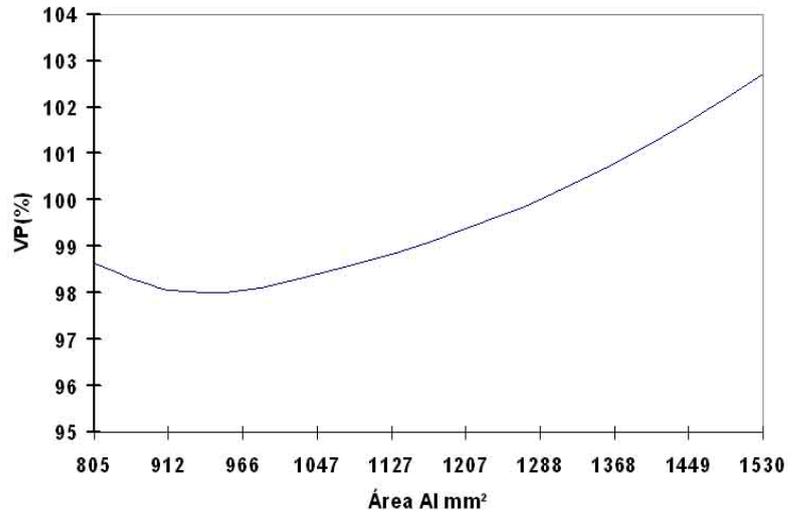


FIGURA 2: Avaliação Econômica em Valor Presente (%)
LT 345 kV - 2 Subcondutores / Fase

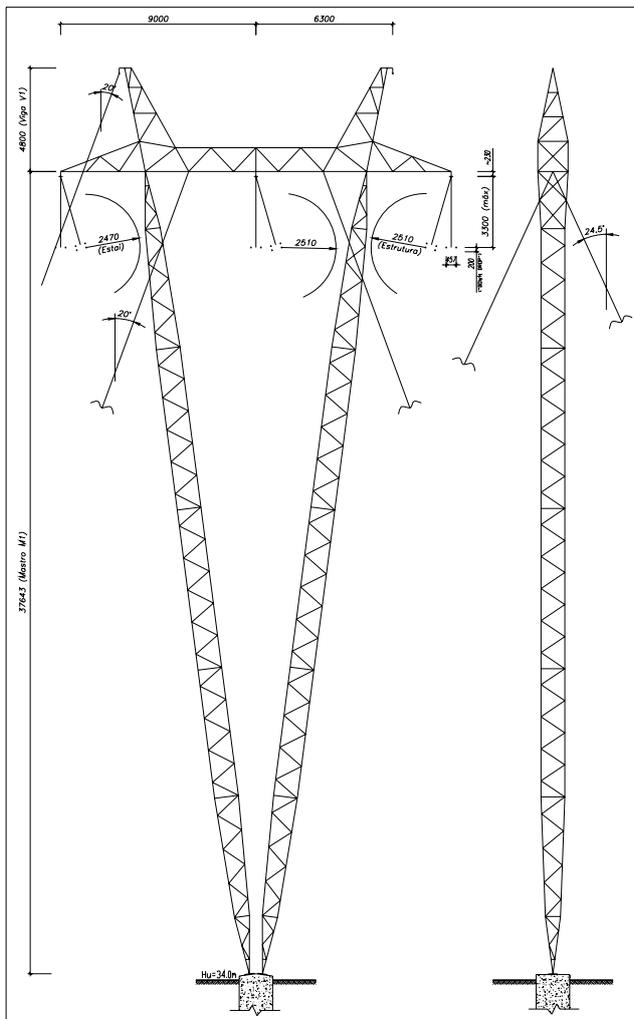


FIGURA 3 – Torre Estaiada V Tipo M1V1

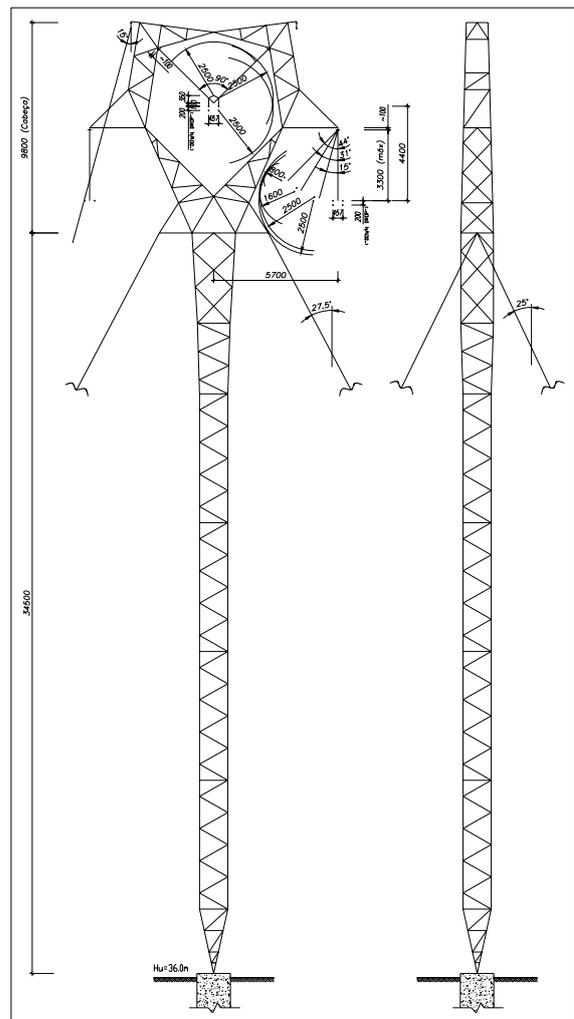


FIGURA 4 – Torre Estaiada Tipo TLE3

TABELA 1: Parâmetros de Desempenho Elétrico

Pr(MW)	L(km)	Ig(A)	Ir(A)	RA(db)
500	138,5	833,1	836,7	25,5
Vr(kV)	Cos ϕ	Vg(kV)	Pg(MW)	Perd(MW)
345	1	354,3	510,439	10,439
S(mm)	Faixa(m)	Reg(%)	MVARperd	Perd(%)
457	50	2,68	27,7	2,09
E(kV/cm)	E _{max} (kV/cm)	RI(db)	E ₀ (kVef/cm)	SIL(MW)
15,96	17,06	39,0	19,93	422

Simbologia:

L: Comprimento da LT;

Pr e Pg: Potências no terminal receptor e gerador, respectivamente;

Vr e Vg: Tensões no terminal receptor e gerador, respectivamente;

Cos ϕ : Fator de Potência no receptor;

Reg(%): Regulação no receptor;

Ir e Ig: Correntes no terminal receptor e gerador, respectivamente;

Perd (MW) e Perd (%): Perdas de potência ativa, em MW e em %, na LT;

MVARperd: Perdas de potência reativa na linha (Indutiva, se positivo);

RI: Rádio Interferência no limite da faixa indicada;

RA: Ruído Audível no limite da faixa indicada;

E, E_{max} e E₀, em (kV/cm): Média e Máximo dos gradientes superficiais máximos dos condutores e Gradiente de corona crítico do ar;

SIL: Potência Natural da Linha;

S: Espaçamento entre subcondutores.

2.1.3 Coordenação de Isolamento e Desempenho

a) Cadeia de isoladores

Foi definida como tendo 18 isoladores de suspensão 146mm x 254mm - 120 kN, chegando-se a uma distância de escoamento específica de 16 mm/kV.

b) Sobretensões e distâncias críticas

Foram estudadas as três condições de isolamento, correlacionadas com os respectivos ângulos de balanço das cadeias nas torres, a saber:

- Sobretensões operativas, associadas à velocidade de vento máximo, período de retorno 50 anos, período de integração 30 segundos (24,2 m/s);
- Sobretensões de manobra, com vento reduzido igual a 60% do vento máximo. Considerou-se a tensão suportável máxima $V_{med}+3\sigma$, combinada com o Fator de Clima com probabilidade aproximada de 10% de ser inferior, para se determinarem as distâncias críticas;
- Sobretensões atmosféricas sem a ocorrência de balanço devido a vento.

As distâncias elétricas críticas foram calculadas de acordo com a Fórmula de Paris e verificadas conforme metodologia moderna descrita em [7] e [8], conferida com a da NBR-5422 [2].

Para a estrutura de suspensão típica, estaiada, cara de gato, tipo TLE3, para pequenos ângulos - deflexões da linha até 3° - a Tabela 2 mostra o sumário dos ângulos de balanço e distâncias críticas calculadas.

TABELA 2: Sumário das Distâncias Críticas (m) e Ângulos de Balanço
Torre Estaiada Monomastro tipo TLE3 ($\alpha \leq 3^\circ$)

Condição	Fase Central	Fases Laterais		
	sem Balanço	Ângulo de Balanço	Estrutura	Estai
Frequência Industrial	0,80	44°	0,80	0,70
Surto de Manobra	2,00	31°	1,60	1,50
Descarga Atmosférica	2,50	15°	2,50	2,50

c) Desempenho sob descargas atmosféricas

Com o nível cerâmico da região de 55 e uma resistência de aterramento média $R = 20 \Omega$, chegou-se a um índice de desligamento previsto da ordem de 1 falha/100 km/ano.

d) Desempenho sob surtos de manobra

Considerando-se a pior distribuição de surtos de manobra, com média $\mu = 1,9$ pu e $\sigma = 0,08$, calculou-se o desempenho da LT com os métodos estatístico e determinístico, chegando-se ao sumário da Tabela 3.

TABELA 3: Desempenho para Sobretensões de Energização / Religamento Fase-terra

LT 345 kV: Cálculo do Risco de Falha Fase-terra					
Estai	Mastro	Mísula Superior	Mísula Estai	Fase Central	
1301	1211	1326	1169	1074	MédiaV _c
65	61	66	58	54	σ support
1051	978	1070	944	867	Vs det.3 σ
1156	1075	1178	1038	954	Vs est.1,3 σ
562,4	562,4	562,4	562,4	562,4	Vmax(kV)
45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	σ Sobr
79,10	75,43	80,11	73,76	70,07	σ R
9,34	8,60	9,53	8,22	7,31	n x σ
PFOestai	PFOmast	PFOmissup	PFOmisest	PFOfc	
0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,11E-16	1,39E-13	
PFOTtip	PFOLT100	PFOLT50		Método Convencional	
1,393E-13	Mét.Est.Simplificado		697	Vm+3* σ	Vm(kV)est
	1,39E-11	6,97E-12	992	V _{50%} - 3* σ	Vsup est
			867	V _{50%} - 3* σ	Vsupmin

2.2 Aspectos Mecânicos

2.2.1 Confiabilidade Mecânica

A segurança do projeto mecânico estrutural da LT foi estabelecida com base em critérios probabilísticos, considerando-se as recomendações da IEC-60826 [3], critérios de confiabilidade exigidos nos editais da ANEEL, critérios de projeto específicos da CEMIG, empregados em LT's similares já implantadas na região, e estudos estatísticos de dados climatológicos elaborados para o local da LT, no Estado de Minas Gerais.

Estudos estatísticos de vento para a região da LT indicaram o valor de 24,19 m/s para a Velocidade de Vento de Referência (V_R), definida como sendo a velocidade de vento que ocorre a 10 m sobre o nível do terreno, em lugar aberto, plano e com poucos obstáculos (Rugosidade B), com período de integração de 10 minutos e para um período de retorno T = 50 anos. Considerando-se nível de confiabilidade mínimo para período de retorno do vento de 250 anos, conforme especificado pelos editais da ANEEL, obteve-se Velocidade de Referência correspondente de 27,58 m/s. Adicionalmente, foram introduzidos carregamentos para atuação de ventos de tormentas elétricas (TS – Thunderstorms), considerando-se o seguinte critério:

- Velocidade de vento 20% maior que aquela correspondente à rajada de 3 segundos da Velocidade de Vento de Referência para T = 250 anos, constante com a altura, atuando integralmente sobre a estrutura e sobre 25% do vão médio. A velocidade de vento de alta intensidade atuante foi de 46,33 m/s.

A Tabela 4 apresenta os valores das pressões de vento finais adotadas no projeto, para vão básico de 500 m, altura média do cabo condutor de 21,0 m e do cabo pára-raios de 29,0 m.

TABELA 4: Pressões de Vento de Projeto

Vento	Elemento	Pressão final de vento (kgf/m ²)
Extremo	Condutor	87,1
	Pára-raios	92,1
	Estrutura	88,4(H/10) ^{0,149}
Tormentas Elétricas	Condutor	127,3
	Pára-raios	
	Estrutura	

2.2.2 Critérios para Tracionamento dos Cabos

Foram adotados os seguintes critérios para o cálculo das trações dos cabos condutores e pára-raios:

- Condição EDS (sem vento, após “creep” de 10 anos): tração axial máxima associada à temperatura de 20°C, limitada a 20% da carga de ruptura do cabo;
- Condição de temperatura mínima: tração axial máxima associada à temperatura de 5°C, limitada a 33% da carga de ruptura do cabo;
- Condição de vento nominal (T = 50 anos): tração axial máxima associada à temperatura de 10°C, limitada a 50% da carga de ruptura do cabo;
- Condição de vento extremo (T = 250 anos): tração axial máxima associada à temperatura de 10°C, limitada a 70% da carga de ruptura do cabo;
- Além das limitações acima, o cabo pára-raios atendeu à condição de que sua flecha final, em condição EDS, fosse igual ou menor que 90% da flecha final do cabo condutor na mesma condição.

2.3 Aspectos Estruturais

2.3.1 Série de Torres

A Tabela 5 mostra os tipos de torres da série e suas aplicações.

As torres de suspensão típicas, estaiada e autoportante, foram projetadas com aplicações superiores às da torre estaiada V tipo M1V1 da CEMIG (vão médio de 560 m, com ângulo de 0°, ou vão médio de 480 m, com ângulo de 3°, e vão gravante de 630 m), resultando em um menor número de estruturas por km na LT.

A estrutura de suspensão autoportante tipo TLS3 foi projetada para acomodar na sua parte superior cabeça com a mesma geometria cara de gato utilizada na torre tipo TLE3, cujos vãos de aplicação são similares. As demais torres da série foram projetadas com silhueta tronco-piramidal tipo delta e disposição horizontal de fases.

TABELA 5 – Tipos de Torres e Aplicação

Torre Tipo	Aplicação	Ângulo	Vão Médio (m)	Vão Gravante (m)
TLE3	Suspensão Estaiada	0°	600	750
		3°	500	
TLS3	Suspensão Autoportante	0°	600	850
		3°	500	
TLS8	Suspensão Autoportante	0°	750	1100
		8°	490	
TLST	Suspensão Transposição	0°	600	750
		3°	500	
TLA30	Ancoragem Meio de Linha	30°	400	1200
		65°	400	
TLA65T	Ancoragem Fim de Linha	10° (LT)	400	1200
		20° (SE)		

2.3.2 Critérios de Projeto

O projeto estrutural foi elaborado aplicando-se a metodologia dos estados limites últimos. As hipóteses de cargas foram estabelecidas segundo critérios indicados na IEC 60826 [3], considerando-se, adicionalmente, aquelas provenientes de ventos de alta intensidade oriundos de tormentas elétricas. Ademais, para a condição de contenção cascata, prescrita pela IEC, foram consideradas hipóteses de cargas diferenciadas em cada tipo estrutural, considerando-se não só a função da estrutura na LT (suspensão ou ancoragem), bem como o vão de aplicação das torres de suspensão, conforme se indica a seguir:

a) Contenção Cascata nas Torres de Suspensão tipos TLE3, TLS3 e TLST:

- Hipótese de ruptura de uma fase qualquer com carga longitudinal correspondente a 70% da tração EDS ou ruptura de um pára-raios qualquer com carga longitudinal correspondente a 100% da tração EDS, verticais normais e sem vento;
- Hipótese com cargas longitudinais unilaterais correspondentes a 40% das trações EDS atuando simultaneamente em todos os cabos, cargas verticais normais e sem vento. (Na torre estaiada monomastro tipo TLE3, esta hipótese é bastante significativa no dimensionamento das barras.)

b) Contenção Cascata na Torre de Suspensão tipo TLS8:

- Hipótese de ruptura de uma fase qualquer com carga longitudinal correspondente a 85% da tração EDS ou ruptura de um pára-raios qualquer com carga longitudinal correspondente a 100% da tração EDS, verticais normais e sem vento;
 - Hipótese de cargas longitudinais unilaterais correspondentes a 55% das trações EDS atuando simultaneamente em todos os cabos, cargas verticais normais e sem vento.
- c) Contenção Cascata nas Torres de Ancoragem tipos TLA30 e TLA65T:
- Hipótese de ruptura de uma fase qualquer com carga longitudinal correspondente a 120% da tração no cabo com vento reduzido (60% do vento máximo) ou ruptura de um pára-raios qualquer com carga longitudinal correspondente a 120% da tração no cabo com vento reduzido, verticais normais e vento reduzido atuando nos cabos, cadeias de isoladores e estrutura;
 - Hipóteses de cargas longitudinais unilaterais correspondentes a 100% das trações nos cabos com vento reduzido (60% do vento máximo) atuando em qualquer combinação possível de fases e pára-raios, cargas verticais normais e vento reduzido atuando nos cabos, cadeias de isoladores e estrutura.

Devido ao comportamento estrutural diferenciado da torre estaiada monomastro, para ela foram também verificadas hipóteses com vento extremo máximo atuando nos cabos e na parte acima dos estais e vento reduzido atuando na parte inferior, bem como hipóteses de vento de alta intensidade atuando apenas sobre a estrutura.

O dimensionamento das torres atendeu integralmente os requisitos do Manual ANSI / ASCE 10-90 – “Design of Latticed Steel Transmission Structure” [4] e o projeto de norma brasileira NBR-8850-R14 [5].

Foram realizados ensaios de carga em protótipo da torre estaiada monomastro tipo TLE3 e da torre autoportante correspondente tipo TLS3, montadas em suas maiores alturas, tendo como resultados comportamentos estruturais plenamente satisfatórios. A Figura 5 mostra os testes de carga destas estruturas.



FIGURA 5: Testes das Torres Tipos TLE3 e TLS3

2.4 Aspectos de Construção

Sob o ponto de vista construtivo, a torre monomastro estaiada oferece grandes vantagens técnicas e econômicas. Pode ser facilmente montada, tanto por processos manuais como mecanizados, podendo inclusive ser içada por inteiro na vertical após pré-montagem horizontal. Adicionalmente, em comparação com as estruturas estaiadas convencionais, sua montagem é grandemente facilitada por ter mastro único, no qual os estais já podem ser definitivamente instalados antes mesmo da montagem da cabeça.

2.5 Aspectos de Operação e Manutenção

A cabeça cara de gato foi definida para se adequar aos requisitos do departamento de manutenção da CEMIG, que visam garantir facilidade de movimentação e maior segurança de eletricitistas durante as manobras de operação e manutenção. Para tanto, foi necessário fixar uma dimensão longitudinal do topo da cabeça da estrutura maior que aquela estritamente necessária por razões estruturais.

2.6 Aspectos de Sistema

A torre estaiada monomastro cara de gato apresenta expressiva vantagem em relação à torre estaiada V, devido ao seu maior grau de compactação, que permite obter menor reatância longitudinal de seqüência positiva e maior potência natural (SIL).

3.0 - RESULTADOS OBTIDOS

A utilização dessa solução de projeto, além de atender plenamente todos os parâmetros elétricos requeridos, propiciou alguns resultados significativos, quais sejam:

- Aumento de 6% em relação à potência natural prevista para a LT, decorrente da disposição em delta das fases na cabeça cara de gato e redução da mesma ordem na reatância de seqüência positiva;
- Os pesos da torre estaiada monomastro, em suas maiores alturas, apresentaram uma redução de aproximadamente 16% em relação aos da torre estaiada V similar (M1V1), apesar dessa última estrutura ter vão de aplicação 9% menor, ter altura útil máxima 2,0m a menos e não ter sido projetada considerando-se ventos oblíquos, ventos de alta intensidade e coeficiente de minoração de resistência;
- Os pesos da estrutura estaiada monomastro (TLE3), em suas maiores alturas, apresentaram uma redução de aproximadamente 45% em relação aos da torre autoportante de aplicação similar (TLS3);
- O peso total da LT foi reduzido em aproximadamente 10% comparativamente com a utilização de estruturas estaiadas V.

4.0 - CONCLUSÕES

- O desempenho da LT sob surtos de manobra, avaliado tanto do ponto de vista determinístico como estatístico, resultou bastante satisfatório. O mesmo ocorreu com relação à previsão de desempenho sob descargas atmosféricas;
- A menor reatância longitudinal de seqüência positiva tende a aliviar as necessidades de potência reativa do sistema onde a LT será inserida, donde poderá advir economia adicional;
- A estrutura estaiada monomastro cara de gato com cadeias IVI resultou em uma solução estrutural mais econômica do que com cadeias III;
- Tanto do ponto de vista técnico como sob a ótica econômica, os resultados obtidos na LT Montes Claros 2 – Irapé 345 kV com a utilização de estrutura estaiada monomastro foram plenamente satisfatórios. Ultrapassou-se a potência natural (SIL) almejada (da ordem de 400 MW) com significativa redução nos custos de implantação, mostrando ser esta estrutura uma solução de projeto adequada para aplicação em linhas de transmissão similares do sistema de 345 kV.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Estudo de Isolamento de Estrutura Compacta – Relatório DPLS – 112-90 – CEPEL;
- [2] ABNT – NBR 5422 – “Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica” – Brasil;
- [3] IEC 60826 - Loading and Strength of Overhead Transmission Line. Second edition, 1991-04;
- [4] ANSI/ASCE - Manual 10-90 – Design of Latticed Steel Transmission Structure – Edição Dezembro/1991;
- [5] ABNT – NBR 8850-R14. Execução de Suportes Treliçados para Linhas de Transmissão, Revisão 14;
- [6] EPRI – EHV Reference Book 345 kV and Above, 1982;
- [7] F. Kiessling, JFNolasco: Overhead Power Lines; Springer Verlag, 2003;
- [8] EN-50341-1: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV.