4 Cenários particulares

São constituídos por duas torres treliçadas leves, em operação, a primeira, uma torre suporte de linha de transmissão da ELETRONORTE, LT103 e, a outra, a torre de TV de Brasília.

Para as duas torres são disponibilizados dados de análises experimentais para servirem de base ao desenvolvimento de modelos matemáticos e para avaliar suas condições de serviço.

4.1. Torre de linhas aérea de transmissão LT103

4.1.1. Descrição da torre

Essa torre de linha de transmissão é identificada como torre LT103 -Guamá-Vila do Conde, localizada à margem direita do rio Guamá, na linha Guamá-Utinga, na cidade de Belém-PA. Encontra-se nos domínios da Universidade Federal Rural da Amazônia. Sua localização é ilustrada na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Localização da torre de linha de transmissão (Google Earth).

Ela é uma torre autoportante do tipo delta que tem função estrutural de sustentação da linha de transmissão, possui uma altura aproximada de 74 m, composta de perfis em cantoneira de aço, com seções variáveis ao longo da altura.

Os projetos originais da torre, bem como as suas propriedades e características físicas, são cedidos pelo grupo de pesquisa NICAE – Núcleo de Instrumentação Científica e Aplicada à Engenharia da UFPa. Acompanham esse material os elementos necessários à quantificação de ações mecânicas provenientes da linha sobre a torre.

A torre está em funcionamento e faz parte de uma linha de transmissão de 230 kVA. A linha de transmissão LT103 utiliza o cabo condutor do tipo Grosbeak 636, com um diâmetro de 2,52 cm; o vão maior é de 678 m e o menor de 209,15 m; na configuração deformada dos cabos, o vão maior corresponde 683,83m e o vão menor 211,32 m.

4.1.2. Participação e acompanhamento de estudo realizado na UFPa

No curso de um projeto da UFPa com a ELETRONORTE, uma equipe daquela universidade realiza uma série de estudos e medições no campo dos quais este autor participa, no verão de 2005 - 2006. Os seguintes dados e informações são cedidos a PUC-RIO, no curso também de um projeto PADCT-INFRA envolvendo as duas universidades, e passam a integrar esta dissertação:

- Modelo computacional para o SAP 2000, ilustrado na Figura 4.2, junto a uma foto da torre.
- Avaliação das cargas de vento, barra a barra, segundo a NBR 6123, para a velocidade do vento de 30 m/s, já incluída no modelo computacional.
- Relatório de medição de resposta da torre submetida a condições atmosféricas correntes locais, em um período de 3 horas de medição, realizado no dia 31 de janeiro de 2006.

O modelo computacional é composto por 2898 elementos de barra e 1446 nós.



Figura 4.2 – Torre LT103 à margem do rio Guamá e seu modelo computacional.

4.1.3. Estudos a realizar sobre o modelo LT103

O material disponibilizado pela UFPA sugere a busca de resposta a duas questões inerentes à análise dessa estrutura submetida à ação do vento:

 Forma compacta simplificada de definição das forças nodais devidas ao vento, de sorte a simplificar o levantamento dessas forças, segundo a NBR 6123, e de reduzir o número de graus de liberdade do modelo para cargas dinâmicas;

- Sintonização do modelo matemático de uma torre ao protótipo, com base em relatório de ensaios de campo.

4.1.4. Resultados Experimentais

A monitoração dos resultados foi realizada pelo grupo de pesquisa NICAE (UFPa). É descrito o processo de análise em detalhe para o entendimento da situação.

Dados da monitoração do vento no dia da medição não foram realizados. Porém, segundo uma fonte da empresa INFRAERO, a velocidade média correspondente ao dia da medição era de 8 nós, o equivalente a 4,08 m/s.

Para coleta de dados, são fixados os acelerômetros próximos aos nós na estrutura LT103; esses transdutores, conhecidos como piezo-acelerômetros, são acoplados a um equipamento de aquisição de dados denominado ADS1000,

procedência LYNX[®]. Essa análise tem como objetivo obter o registro da resposta da estrutura em função do tempo.

4.1.5. Descrição do monitoramento dinâmico

Na monitoração das respostas são empregados oito piezo-acelerômetros com micro circuito calibrado para vibrações em baixa freqüência da marca Wilcoxon[®]. Porém, os resultados de um dos acelerômetros são perdidos na operação.

Os acelerômetros, como se sabe, são dispositivos medidores de aceleração no tempo, constituídos por circuitos elétricos com um nível muito elevado de sensibilidade de aquisição. Por isso, deve-se tomar cuidado na instalação desses dispositivos, pois qualquer efeito brusco de queda pode provocar danos irreversíveis ao mesmo. Além disso, sofrem interferências de ruídos os quais devem ser tratados na aquisição de dados.

Os acelerômetros são fixados a chapas metálicas que, por sua vez, são presas próximo aos nós da estrutura, conforme ilustrado na Figura 4.4.





Figura 4.3 - Fixação dos acelerômetros na torre.

A aquisição dos dados é realizada por meio do sistema ADS 1000 com uma freqüência de amostragem de 100 Hz; os dados são tratados em "software" próprio e, além do aparelho de aquisição de dados, mais alguns equipamentos de monitoração são utilizados.

Os acelerômetros são dispostos em dois diafragmas horizontais, sendo o primeiro posicionado aproximadamente a meia altura da torre e o outro no diafragma junto ao delta. A Figura 4.4 apresenta o posicionamento dos acelerômetros nas seções A e B, onde os acelerômetros ao instalados.



Figura 4.4 – Localização dos acelerômetros.

4.1.6. Resultados da análise

Com os registros das acelerações em função do tempo, identificam-se as velocidades e os deslocamentos máximos da estrutura através de sucessivas integrações. Entretanto, para confiabilidade nos resultados realizam-se três medições ao longo de cada período de 1 hora escolhendo-se o melhor sinal para análise.

As respostas dos acelerômetros transversais não são aceitáveis, devido à intensidade do vento no período de monitoração estar na direção longitudinal da torre; essas vibrações são baixas, confundindo-se ruídos e sinal de aquisição.

A Figura 4.5 ilustra a resposta do deslocamento em função do tempo de um dos acelerômetros. A Figura 4.5 (b) representa uma ampliação de um trecho desse mesmo registro contendo um marcante valor máximo da resposta, possivelmente provocada por uma rajada de vento; pode-se observar perfeitamente o decaimento característico de uma resposta de um sistema estrutural, com freqüência de 0,25 Hz.



Figura 4.5 – Resposta em deslocamento, acelerômetro longitudinal esquerdo número 2 (AEL02): (a) sinal completo do ensaio; (b) trecho de uma das amplitudes máximas de vibração.

Sobre os resultados das medições em séries temporais aplica-se a transformada de Fourier, passando a resposta do domínio do tempo para o domínio da freqüência e, assim, podem-se representar os registros auto-espectros das vibrações medidas.

Na Figura 4.6 estão apresentados os auto-espectros das vibrações medidas, onde esta indicada, a primeira freqüência da torre. De maneira semelhante identificam-se as demais freqüências. Quanto à freqüência de 0,25 Hz, ela não é identificada pelo analisador de espectros, provavelmente em razão, da freqüência de corte do aparelho. Entretanto, ela está bem caracterizada nos sinais temporais e pode ser considerada, talvez, como a freqüência de um sistema isolado, ou parte do sistema principal. Os espectros são obtidos por meio do 'software' AqDAnalysis.



Figura 4.6 - Auto-espectro correspondente aos acelerômetros 1 a 4, freqüências de 1,78 Hz.

A Tabela 4.1 apresenta uma comparação dos resultados das freqüências obtidas por AMADOR et. al [1] o qual faz a extração dos parâmetros modais da torre em questão empregando o Método dos Subespaços Estocásticos. Nesse estudo de AMADOR et al são usados os mesmos registros utilizados no presente trabalho.

Modo	Freqüências Medidas Processos estocático	Freqüências Medidas
1	1,66	-
2	1,78	1,78
3	1,86	1,86
4	2.15	2.15

Tabela 4.1 – Freqüências medidas.

4.2. Torre de antenas de TV

4.2.1. Situação Geral

A torre de TV de Brasília, para suportar antenas integrantes do sistema de telecomunicação da capital, foi construída em 1967, no centro da praça próximo ao Senado Federal, e se constitui desde então em monumento que, associado ás torres do senado, são verdadeiras sentinelas do planalto (Figura 4.7).

Naturalmente, com o passar do tempo, as propriedades estruturais é alterada por usura, incluída a ação atmosférica, pela modificação da ocupação de serviço e com o crescente número e variação da disposição das antenas. Hoje, a massa total das antenas instaladas é de 27,17 toneladas.



Figura 4.7 – Torre TV de Brasília: (a) vista geral; (b) vista do pavimento térreo da torre (museu)

A torre possui um total de 720 toneladas de peso próprio de aço, e suporta 110 antenas acopladas à torre. Modela-se a torre no programa SAP 2000[®] V9.0, resultando uma malha com 1783 elementos de barra e 767 nós. A Figura 4.8 ilustra a torre modelada computacionalmente.



Figura 4.8 – Torre de TV de Brasília modelada, vista frontal.

4.2.2. Situação particular

Em agosto de 2006, a empresa Sonda Engenharia, por delegação da NOVACAP, coordena a execução de uma série de ensaios para analisar o desempenho dinâmico da torre sob o vento e, com base na NBR 15307 [6], conclui que a resposta da torre em serviço, para uma velocidade de 5 m/s, projetada para o nível máximo correspondente à isopleta de 35 m/s, revela uma perspectiva de dano desconfortável e até mesmo insuportável.

Em tais circunstâncias, prossegue-se para fazer uma análise numérica, a fim de avaliar as condições de serviço da torre sob níveis mais elevados da velocidade do vento, até 35 m/s, e estudar a conveniência de propor medidas de controle das vibrações. Os seguintes elementos são cedidos pela empresa Sonda Engenharia:

 Relatório sobre o desempenho dinâmico da torre sob condições correntes de serviço segundo a NBR15307;

- Listagem das situações para a geração de um modelo numérico da estrutura;

- Levantamento geométrico e topográfico;

- Desenhos em Autocad: geométrico, topográfico e mapeamento da estrutura metálica e da de concreto.

- Relatório da inspeção visual e metodologia utilizada.

4.2.3. Resultados da monitoração dinâmica

As medições de 2006 abordam um período de duração de oito horas, realizadas em quatro níveis da torre onde são localizados os equipamentos de medição e são descritas a seguir.

As medições, realizadas em dia de pouco vento, não registram medidas da velocidade do vento. Entretanto, dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, de Brasília, indicam a velocidade média na ocasião da medição de 5 m/s.

As alturas de medição são as seguintes:

1. Na base da torre metálica diretamente sobre a estrutura de concreto,

- 2. No mirante da torre a 50 metros de altura, acima da base;
- 3. A 100 metros de altura;
- 4. A 150 metros de altura.

É possível identificar as 9 primeiras freqüências da estrutura, conforme registrado na Tabela 4.2.

Modo de vibração	Freqüência medida (Hz)
1	0,35
2	0,36
3	0,46
4	0,53
5	0,60
6	1,05
7	1,10
8	1,19
9	1,25

Tabela 4.2 – Freqüência medida na monitoração.

Com base nos resultados temporais, obtém-se a resposta máxima em deslocamento, à altura de 150 m, em movimento harmônico simples na freqüência de ressonância de 0,35 Hz, como sendo de 12,2 mm.