

1 Introdução

As estruturas treliçadas esbeltas de aço vêm sendo utilizadas em grande quantidade nas últimas décadas no Brasil e, cada vez mais, há necessidade dessas estruturas para utilização como suportes de linhas de transmissão de energia elétrica, de antenas de TV e telecomunicações em geral.

Com o desenvolvimento promovido pela ciência e pela técnica nas construções, as estruturas vêm ganhando arquiteturas cada vez mais ousadas, e, devido à necessidade de melhor aproveitamento do espaço, esses suportes tornam-se esbeltos e mais sensíveis às ações de carregamentos dinâmicos. As linhas de transmissão, por exemplo, passam por diversas localidades nem sempre de fácil acesso e, para transpor certos obstáculos, como rios e montanhas, utilizam-se torres treliçadas com alturas elevadas.

Focalizando-se o carregamento que age nesses tipos de estrutura, surge logo o efeito da ação do vento. Pode-se, também, considerar o deslocamento de base do terreno, conhecido como terremotos. Porém, devido à pouca incidência deste fenômeno no Brasil, geralmente, não é dada ênfase a esse tipo de carregamento no dimensionamento das estruturas.

A representação do carregamento do vento num modelo matemático é bastante complexa, visto que se trata de um fenômeno natural com comportamento não-determinístico. Diversos são os estudos em laboratório, através de ensaios em “túneis de vento”. Esses estudos são avaliados por métodos probabilísticos, e levam ao reconhecimento de diversos fatores de importância fundamental; esses fatores, se devidamente considerados, permitem maior segurança no cálculo da ação do vento.

As condições de laboratório diferem das condições da estrutura em serviço, pelo simples fato da estrutura estar diretamente exposta ao fenômeno natural do vento que, por sua vez, é agravado por turbulências atmosféricas, rajadas de vento, tornados e qualquer outro tipo de fenômeno relacionado ao vento. Sendo assim, a influência desses efeitos, principalmente das rajadas de vento, provoca um aumento na resposta do sistema. Assim, é preciso levar em consideração não

apenas o caráter estático, mas também, o caráter dinâmico da situação, a fim de evitar sensações desagradáveis, ruídos, danos ou até mesmo o colapso da estrutura.

O efeito dessas rajadas de vento aumenta o nível de vibração das estruturas, principalmente as mais esbeltas, pois quanto maior a sua altura, mais flexíveis elas se tornam, e maior será a influência na resposta da estrutura, provocando níveis de vibração elevados.

A solução desses problemas reside, então, em controlar as vibrações, ou seus efeitos, de uma maneira preventiva, controlando a intensidade dessas vibrações. Uma maneira versátil que está sendo utilizada nos dias atuais, para controlar essas intensidades, é o uso de dispositivos que dissipam energia, chamados Absorvedores de Massa Sintonizados (AMS). Atualmente, diversos são os estudos na utilização desses dispositivos, e o seu uso está sendo empregado em estruturas esbeltas, principalmente nos países mais desenvolvidos.

Blessmann [8] relata a aplicação de dois desses dispositivos de AMS, em uma torre localizada em Toronto, no Canadá, com 553,33 m de altura. Ela é mista, tendo em seu topo um mastro de aço (com antenas de rádio e TV) com 102 metros de altura e peso de 2900 kN, apoiada na parte de concreto armado.

1.1.Motivação

A principal motivação para estudar o efeito das ações de vento nas estruturas esbeltas treliçadas, são os constantes acidentes que vêm acontecendo no decorrer desses últimos anos, causando em alguns casos enormes prejuízos às empresas responsáveis pelas mesmas, como companhias de energia elétrica, de TV, telefonia celular e outras. Além de, em alguns casos, causar danos que afetam a integridade e o bem estar da sociedade humana, como acidentes por objetos desprendidos (telhas, placas e etc); outro dano muito frequente é a interrupção do suprimento de energia elétrica.

Como exemplo nacional, cita-se o acidente ocorrido recentemente, no dia 1 de setembro (sexta-feira) do ano de 2006, quando houve uma tempestade na cidade de Toledo e Cascavel no estado do Paraná, provocando vários prejuízos entre eles a queda de quatro torres do sistema de linhas de transmissão de Itaipu que, por sua vez, interrompeu a transmissão de energia em três das cinco linhas e

obrigou a usina hidrelétrica a reduzir a produção em 3 mil MW. Além de centenas de casas destelhadas e outros prejuízos. Os acidentes foram provocados exclusivamente pelas rajadas de vento.

A tempestade que se abateu sobre o Paraná na noite de sexta-feira (01/09/2006), acompanhada de rajadas de vento que chegaram a 90 quilômetros por hora e chuva de granizo, durou poucos segundos, mas deixou estragos em toda a região. Toledo foi uma das cidades mais atingidas. (jornal Gazeta do Paraná, 2006). A Figura 1 dá uma idéia dos prejuízos causados na cidade durante o ocorrido.



Figura 1.1 - Prejuízos causados pelo vento (<http://www.gazetadoparana.com.br>, 03/09)

No estado do Pará, cita-se o acidente ocorrido no projeto tramo-oeste. No dia 10 de agosto de 1999, após a ocorrência de ventos de velocidades elevadas, na linha de transmissão de 138 kV Rurópolis-Itaituba, a torre 331 (de 160 metros de altura) atingiu o colapso total. Essa torre localiza-se no trecho de travessia do Rio Tapajós, onde são utilizadas torres bastante elevadas, com vãos variando de 435 a 1231 metros. Laudos técnicos emitidos por empresas de engenharia e investigações acadêmicas sobre o problema indicaram como causas: problemas de vibração induzida por rajadas de vento.

Devem ainda se destacar os custos relacionados com estes acidentes, tais como prejuízos pela interrupção de energia, multas, custo de reconstrução das torres, prejuízos em relação à credibilidade e imagem da empresa, etc.

Devido a esses índices de ocorrência, que acarretam problemas significantes nas estruturas, a empresa concessionária de energia elétrica da região norte, conhecida como ELETRONORTE, tem mostrado grande preocupação pelo

assunto. Sendo assim, surge um projeto PADCT-INFRA envolvendo as universidades: UFPa - Universidade Federal do Pará e PUC-RIO - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro que, por sua vez, passam a fazer parte desta dissertação.

Ainda no cenário das tempestades atmosféricas incluem-se os tornados que, por suas características particulares de composição do campo das velocidades do vento em quatro direções; translacional, tangencial, radial e vertical, de concentração de uma formidável quantidade de energia em uma pequena nuvem funicular de duração efêmera e de grande poder destruidor, constituem um capítulo à parte, cujo tratamento quanto à interação com uma estrutura esbelta como a em foco, tem recebido grande atenção dos grupos de pesquisa, inclusive do nosso. Diversas discussões de tornados têm sido relatadas em território nacional, normalmente nas regiões Sul e Sudeste, e certos arrancamentos de torres, ocorridos sem testemunhas, podem ser a eles atribuídos. Essa problemática está sendo tratada pelo mesmo projeto que estuda a ação direta do vento sobre as estruturas objeto desta dissertação.

1.2. Objetivo

Em termos gerais:

- desenvolver atitudes e incorporar procedimentos computacionais no grupo de estudo do projeto das estruturas treliçadas leves para apoio de linhas de transmissão de energia elétrica e para suporte de antenas de telecomunicação, isto é, torres para apoio de linhas e de antenas.

Em termos específicos:

- considerar a torre de linha de transmissão de energia denominada como torre LT103 - Guamá-Vila do Conde, localizada na cidade de Belém-Pará e, após realizar a sintonia do modelo matemático com base em resultados medidos em campo, propor procedimento simplificado para a consideração das forças devidas ao vento sobre a estrutura, de modo a reduzir o número de graus de liberdade.

- verificar as condições de serviço da torre de TV de Brasília, submetida ao vento de projeto de acordo com a NBR 6123[4], a partir de avaliação preliminar realizada na torre fundamentada em ensaios de campo segundo a NBR 15307[6].

1.3. Escopo

O trabalho é dividido em 8 capítulos, inclusive este capítulo introdutório.

No Capítulo 2 apresentam-se comentários do fenômeno atmosférico, vento, com breve revisão das ferramentas utilizadas no decorrer do estudo, e algumas formas possíveis de redução no controle de vibração em estruturas esbeltas submetidas à ação dinâmica do vento.

No Capítulo 3, abrange-se o cenário geral das estruturas treliçadas esbeltas, assim como sua classificação e elementos constituintes desses sistemas. Normas para dimensionamento, verificação e cálculo do efeito da ação de vento na estrutura são também apresentadas. Comentam-se, os principais carregamentos e vulnerabilidades do sistema, além do algoritmo de transformação da ação estática e dinâmica do vento em cargas segundo a norma NBR 6123.

Já no capítulo 4, são apresentados os cenários particulares que compõem o trabalho, é realizada uma descrição das estruturas estudadas, e apresentam-se dados e relatórios obtidos através de ensaios de monitoramento dinâmico, em campo, como as características modais do sistema: formas modais e frequências naturais.

Apresentadas as estruturas, o Capítulo 5 contempla o primeiro protótipo a ser analisado, a torre LT103; inicialmente, trata-se da sintonização das características modais do sistema, com os resultados de campo. Posteriormente, uma análise de simplificação da aplicação do carregamento é realizada, considerando algumas hipóteses de lançamento dessas cargas, e se sugere qual a solução mais conveniente de simulação do sistema real.

No Capítulo 6, estuda-se a torre de TV de Brasília; inicialmente, faz-se um ajuste nas características modais do sistema, e se apresenta a avaliação do efeito da ação do vento sobre a torre segundo o procedimento desenvolvido no Capítulo 5. Segue-se a avaliação do desempenho da torre de TV para cargas estáticas e dinâmicas, com análise linear e não-linear P-Delta, pelo SAP 2000® V9.0. Identificam-se situações de serviço além dos limites toleráveis e se propõem medidas para controle das vibrações.

Finalizando o trabalho, no Capítulo 7, relatam-se as conclusões principais obtidas ao longo da dissertação.

O capítulo 8 é composto, apenas dos anexos referidos ao tópicos citados no trabalho: as figuras e tabelas da NBR 6123 são reproduzidas no Anexo A, para entendimento dos parâmetros utilizados na tabela do Anexo B.