

**VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA
UBERLÂNDIA - JULHO DE 2002**

ANÁLISE DE PARÂMETROS PARA CÚPULAS RETICULADAS DE MADEIRA

Núbia dos Santos Saad Ferreira (nubiasaad@aol.com)

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU

Francisco A. Romero Gesualdo (gesualdo@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Civil

RESUMO: A geometria estrutural é fundamental para o comportamento e a resposta da estrutura, e as cascas cilíndricas e esféricas, com suas formas curvas, representam muito bem a categoria de estruturas com boas condições de recebimento e transferência de cargas. As malhas reticuladas em curvas tridimensionais contêm, normalmente, elevada quantidade de nós e de barras e, além disso, apresentam complexidade na geração de seus dados. Por facilidade, ao se calcularem tais estruturas, geralmente são adotadas simplificações, transformando-as em um conjunto de estruturas planas, o que implica em significativa redução de precisão de cálculo. Considerando-se tais estruturas trabalhando tridimensionalmente, consegue-se significativa redução de esforços e deslocamentos destas. A facilidade de utilização de programas computacionais tem reduzido substancialmente as dificuldades associadas ao cálculo, porém, não elimina a complexidade de geração de dados. Este trabalho visa oferecer condições práticas para facilitar a geração e a análise de sistemas tridimensionais reticulados de eixo curvo, especialmente aqueles denominados abóbadas semi-esféricas (cúpulas). Apresentam-se alguns casos de aplicação usando-se um programa computacional desenvolvido para facilitar a geração de dados.

Palavras-chave: estruturas tridimensionais, abóbadas reticuladas, cúpulas de madeira, lamelas

ANALYSIS OF PARAMETERS FOR WOOD DOMES

ABSTRACT: The structural geometry is fundamental for the behavior of the structure. The cylindrical and spherical shells, with their curved forms, represent the category of structures with good performance. The three-dimensional curved lamellar grids, usually, are formed by high amount of nodes and members. Besides, they present complexity for the input data. Thus, usually, some simplifications are introduced for evaluating such structures, transforming the structure in a group of plane structures, that implicates in significant reduction in accuracy. Considering such structures working in three dimensions, it is possible to reach a significant reduction in forces and displacements. The use of softwares promotes an extreme simplification and a better quality in the analysis of the structure. However, it is not possible to eliminate the complexity of input data. This work presents practical information to facilitate the creation and the analysis of three-dimensional grid having curved axis, especially those named semi-spherical vaults (domes). Some cases of application are presented using a special computational program created for this purpose .

Keywords: three-dimensional structures, spherical vaults, wood domes, lamella

1. INTRODUÇÃO

A utilização de meios que facilitem o uso de recursos computacionais é essencial para a aplicação de técnicas e otimização de sistemas estruturais.

Uma das formas mais eficientes de sistemas construtivos e, talvez a mais antiga, é o arco. GORDON (1991) cita que no Egito e na Mesopotâmia há 3600 a.C. há evidências de que já se contruíam arcos de tijolos e pedras. Mais tarde, os romanos iniciaram a construção de arcos usando misturas de materiais parecidas com o concreto. Muitas construções antigas, como exemplo, a Pont du Gard formada por dois níveis de arcos, na França, permanecem em serviço, mostrando a eficiência do sistema construtivo, TIMOSHENKO (1953).

Seu formato parece algo estruturalmente intuitivo e pode ser inspirado em diversos sistemas encontrados na natureza. Destaca-se o ovo que agrega facilidade construtiva, operacional e bom desempenho estrutural. É a forma natural, da *pedra-sobre-pedra*, com predominância à transferência de esforços por compressão, com maior aproveitamento do material pela distribuição uniforme de tensões sobre a seção transversal, garantindo bom desempenho das ligações pela transferência de esforços por contato.

Quando se trata de estruturas de madeira construídas com peças curvas, existe uma limitação devida aos comprimentos convencionais que atingem algo em torno de quatro metros, ou superiores, mas sempre com restrições. Assim, é necessário compor a estrutura através de elementos de comprimentos menores, formando um conjunto reticulado de barras.

A construção de cúpulas em madeira para vencer grandes vãos livres (com diâmetros superiores a 150 m) somente foi possível com o advento da madeira laminada colada, que permitiu a inserção do material madeira de forma competitiva no cenário até então dominado pelo aço e pelo concreto.

2. CÚPULAS RETICULADAS DE MADEIRA

2.1. Generalidades

Quando se deseja usar a madeira como material estrutural, mesmo em sistemas estruturais eficientes, têm-se restrições por parte dos engenheiros – comum em várias partes do mundo – uma vez que a madeira exige mais conhecimento específico devido à sua anisotropia e, conseqüentemente à variação das suas propriedades, conforme NATTERER (1994). No mesmo artigo, o citado autor descreve o emprego da madeira em um *polydôme* reticulado cobrindo uma área de 25 m x 25 m, apoiado nos quatro cantos.

O uso da madeira é justificado por suas características positivas relacionadas com a estética, conforto térmico, economia e, sobretudo, pelo baixo consumo de energia necessária para o seu emprego. O aço gera durante sua produção 5320 kg/m³ de dióxido de carbono, contra 120 kg/m³ do concreto e apenas 16 kg/m³ da madeira. Além disto, a madeira armazenada cerca de 250 kg/m³ de dióxido de carbono absorvido durante a fase de crescimento da árvore, NATTERER (1994).

Os sistemas estruturais tridimensionais, especialmente aqueles destinados à cobertura de grandes ginásios ou outras edificações com formato em planta do tipo elíptico ou circular, têm um aliado altamente favorável: a geometria. A forma geométrica promove uma excelente