



TENSOESTRUTURAS: UMA REVISÃO

DANTAS, Luan Welche¹

Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT

MAIA, Luciano Brunelli Lamari²

Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT

MAIA, Deborah Neves Galvão²

Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT

RESUMO

Tensoestrutura é o termo usualmente empregado às estruturas que utilizam membranas trabalhando junto a cabos de aço na construção de coberturas. Atualmente com o expansionismo econômico a necessidade de construções com grandes vãos e o curto tempo de execução, a relativa simplicidade das estruturas em membranas é uma ótima opção custo x benefício. Entretanto, existe pouco conhecimento sobre este tipo de estrutura para mostrar como esse método de construção é eficiente e pode ser muito útil na construção civil. Normalmente são utilizadas em coberturas devido às suas especificações técnicas, que facilitam muito a sua implantação. Com isso, este trabalho tem o objetivo de ressaltar que as membranas tensionadas são ótimas escolhas para a construção civil, principalmente para coberturas de edificações com grandes dimensões.

Palavras Chave: Estruturas tensionadas, membrana de proteção, tendas.

ABSTRACT

Tensostructure is the term usually used for structures that use membranes working together with steel cables in the construction of roofs. Currently, with economic expansionism and the need for constructions with large spans and short execution time, the relative simplicity of membrane structures is a great cost-benefit option. However, there is little knowledge about this type of structure to show how this construction method is efficient and can be very useful in civil construction. They are normally used in roofs due to their technical specifications, which make their implementation much easier. Thus, this work aims to emphasize that tensioned membranes are great choices for civil construction, especially for building roofs with large dimensions.

Key Words: Tensioned structures, protective membrane, tents.

1 – INTRODUÇÃO

As tensoestruturas começaram a aparecer já na antiguidade em formatos de tendas que os nômades utilizavam como abrigo. A tecnologia desse tipo de estruturas ainda está em desenvolvimento, onde aparecem ferramentas computacionais avançadas que foram desenvolvidas para a automatização dos projetos e dimensionamento. Entretanto no Brasil, talvez pelo pouco conhecimento desse método, por falta de normas técnicas, essas estruturas ainda são pouco estudadas e utilizadas (PASQUAL, 2011).

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do 5º ano – FAIT. E-mail: luanwelchedantas@alunos.fait.edu.br

² Mestre em Engenharia de Bioprocessos pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas da UNESP de Araraquara. Docente na Faculdade da FAIT. E-mail: luciano.brunelli@professor.fait.edu.br

Uma estrutura de membranas tensionadas é composta de mastro de metal e cabos de alta resistência. Na última década do século XX o desenvolvimento de fibras sintéticas contribuiu com a execução de um edifício mais versátil e viável economicamente. Embora existam algumas dificuldades técnicas que ainda não foram superadas, este tipo de estrutura tem vantagens importantes, incluindo o seguinte: grande vão e baixo peso; fácil de fabricar e montar; fácil transporte para outro local; utilizar fibras sintéticas como elementos estruturais e de vedação (SILVA, 2006).

Assim, este trabalho busca esclarecer, através de uma revisão bibliográfica, as maneiras de se utilizar esse tipo de estrutura e, de alguma forma, incluir no mercado da construção civil. A facilidade de implantação e a boa relação custo x benefício, mostra que este tipo de estrutura é um ótimo investimento em construções que possuem grandes vãos e que necessitam de agilidade na sua execução.

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tensoestrutura é o termo empregado às estruturas que utilizam membranas trabalhando junto a cabos de aço na construção de coberturas, cujas principais características atêm-se na trabalhabilidade dos esforços de tração, grandes vãos e maleabilidade formal. Este tipo de estrutura permite menor quantidade material, pois utiliza lonas com espessuras delgadas, que quando esticadas por meio da utilização de cabos de aço (PEREIRA, 2018).

Historicamente inspirada pelos primeiros abrigos concebidos pelo Homem – as tendas, desenvolvidas utilizando couro de camelo pelos nômades do deserto do Saara, Arábia Saudita e Irã, e ainda, as barracas das tribos nativas americanas - pela possibilidade de transporte, as estruturas tensionadas oferecem uma gama de pontos positivos se comparadas a outros modelos estruturais (PEREIRA, 2018).

Assim, as membranas arquitetônicas são empregadas como estrutura e revestimento, diminuindo assim o peso, o custo e impacto ambiental da construção. As tensoestruturas ou estruturas tensionadas se encaixam a uma tipologia de edificações espaciais de cabo e membrana cuja efetividade está associada à geometria e ao regime

de tensão ou rigidez dos componentes e a aplicação de materiais de alta resistência (JOÃO, 2015). Na figura 1 é possível observar essa estrutura, que foi montada no estádio olímpico de Munique.

Figura 1 – Estrutura tensionada do estádio olímpico de Munique.



Fonte: ROYAN, 2007.

Baseia-se no conceito de uma estrutura superficial com espessura e peso mínimos, e só absorve tensões na forma de tensões de tração em seus próprios desenhos. São estruturas que pertencem ao campo da estrutura tenso ou estrutura tensionada, quando classificadas de acordo com o estado de demanda interna, pertencem ao grupo do sistema flexível de acordo com seu comportamento, pertencem à estrutura leve ao considerar seu próprio peso, e pertencem ao sistema espacial quando classificado na forma (NUNES, 2012). Estruturalmente, o sistema é formalizado pela combinação de três elementos: membranas – tecido ou teflon (PTFE), estruturas metálicas – mastros e masteletes, e cabos de borda (PEREIRA, 2018).

Conforme Pereira (2018), as membranas em fibras de poliéster revestido de PVC têm maior facilidade na produção em fábrica e instalação *in loco*, e ainda apresentam menor custo, média durabilidade – em torno de 10 anos e o PCV é colocado em forma de pasta sobre a superfície. Já a membrana em fibra de vidro revestido com

PTFE apresenta uma durabilidade superior – em torno de 30 anos, maior resistência às *intempéries* (sol, chuva e ventos), porém, requer mão-de-obra especializada.

Segundo Moreira (2008), o peso do telhado muda com o tempo: em edifícios assírios, seu peso é de 40 kN / m², em edifícios romanos é de 15 kN / m² e em catedrais góticas no final da Idade Média, eles são de aproximadamente 5 kN / m². Após a revolução industrial, a estrutura foi bastante desenvolvida e eficiente: originalmente era uma estrutura de ferro fundido, e no final do século 19, o peso da estrutura metálica atingiu cerca de 1kn / m², com estruturas leves’ – coberturas em membranas retesadas e pneumáticas – obtêm hoje o valor de 0,1kN/m² e se destacam por vencer grandes vãos com mínimo peso.

Com o desenvolvimento de materiais e experiência, é possível transformá-los e adaptá-los às necessidades atuais. Para tal, utilizando conceitos aplicados a estruturas suspensas, podem ser utilizados cabos simples para analisar a estrutura, depois para a rede de cabos e por último para a membrana tensionada. Ou seja, graças a esse conhecimento, agora é possível projetar estruturas delgadas, com grandes vãos e transmitância de luz, que ainda apresentam a vantagem de reduzir o número de elementos de suporte (SANTOS, 2013).

Segundo Nunes (2012), para a estrutura onde o fluxo de forças internas obedece às leis da natureza, esse processo é um pouco diferente. A arquitetura tradicional está mais preocupada com a realização de coleções razoáveis e sequências espaciais ortogonais. As membranas de tração definem estruturas intimamente relacionadas à estrutura e à forma. A superfície de formato minimalista cria espaços e ambientes interessantes por meio de mudanças de luz e sombra. Um filme bem projetado pode fornecer proteção contra o sol, chuva, neve e vento. Podem ser translúcidos ou mesmo transparentes, o que permite controlar a quantidade de luz natural no espaço que cobrem, sendo ao mesmo tempo o elemento estrutural principal, compatível com vários vãos.

A estrutura da membrana é simples e complexa. Sua forma natural, leveza e translucidez dos materiais se transformam em contornos simples e minimalistas. Por outro lado, considerando que esta estrutura é livre e fácil de deformar, seu processo de

projeto é complicado e sujeito a erros, por isso o cálculo automático deve ser utilizado (MARQUES, 2015).

O tecido estrutural é um material extremamente complexo com uma matriz estrutural. Isso se deve às condições impostas durante seu processo de fabricação, onde a tecelagem do fio faz com que o material apresente um comportamento não linear e diferente nas duas direções principais definidas pela fiação, fazendo com que o tecido se comporte de forma ortotrópica. No entanto, para fins práticos, geralmente é utilizado um modelo linear, o que significa uma simplificação estrita do modelo de comportamento deste material (KLUGE, 2014).

O comportamento dinâmico está relacionado à estrutura de longo alcance e não é explicado em detalhes aqui. No entanto, a discretização da equação de movimento do sistema de estrutura não linear levou ao seguinte tipo de sistema de equações diferenciais ordinárias de segunda ordem: análise e projeto da estrutura de cobertura na membrana de tensão. Normalmente, na análise dinâmica, uma das primeiras tarefas é determinar a frequência da própria estrutura (FERREIRA, 2010).

Em comparação com estruturas mais tradicionais, a rigidez da estrutura tensionada é muito baixa. Além disso, comparada com outras estruturas, a frequência natural também é menor porque está diretamente relacionada à raiz quadrada do quociente entre rigidez e massa. A resposta dinâmica nessas estruturas é muito importante porque há uma sobreposição de forças dinâmicas e estáticas nessas estruturas, o que pode causar fadiga de componentes ou cargas excessivas. Se a estrutura do cabo estiver sobrecarregada devido à neve, a qualidade da solução aumentará, a robustez da estrutura diminuirá e a concentração natural da estrutura também diminuirá devido à indução. Se esse efeito estático se sobrepõe ao efeito dinâmico do vento, a resposta dinâmica do sistema aumentará. Vários efeitos dinâmicos a serem considerados na estrutura do cabo incluem explosões, terremotos, ondas e vento (NUNES, 2012).

No entanto, na estrutura de tensão, não há estritamente nenhuma forma inerente específica e frequência da estrutura de tensão, porque a deformação da estrutura depende da carga que ela suporta. As pequenas oscilações quase lineares em torno da forma do balanço permitem a análise por meio da superposição de modos, determinando

o modo e a frequência a partir da matriz de rigidez tangente. Formas geométricas complicadas requerem métodos de elementos finitos, e o efeito do vento nas estruturas de tração apresenta uma série de dificuldades, que ainda estão em estudo. As oscilações auto excitadas, como voar e pendurar, bem como vibrações forçadas, estão relacionadas à estrutura em questão. O efeito das rajadas de vento pode causar vibração forçada, que pode ser analisada dividindo a carga em um componente quase estático (resolvido como um problema estático não linear) e outro componente flutuante, resolvendo problemas próximos ao valor estático por meio de dinâmica - possivelmente linear (KREBS, 2011).

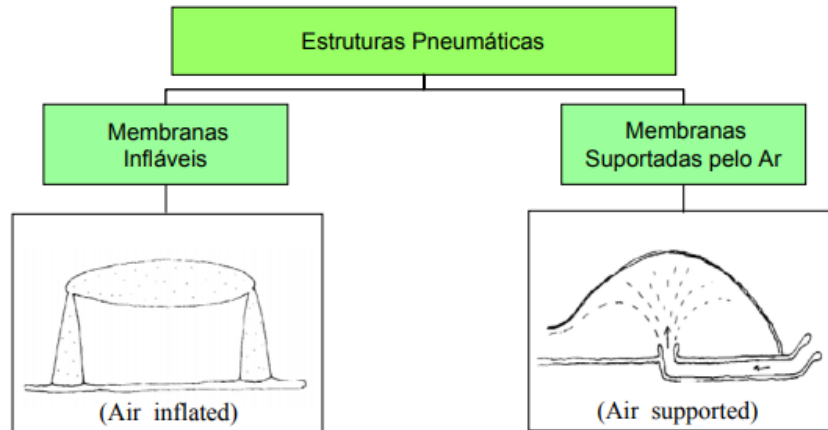
A frequência crítica da ação sísmica está entre 3 e 10 Hz, e a frequência natural da estrutura do cabo é inferior a 4hz, o que está relacionado à baixa qualidade da estrutura e dificilmente ultrapassa o valor de frequência crítica. No entanto, essas estruturas não têm forma rígida ou frequência própria, pois a deformação da estrutura depende da carga que ela suporta. Pequenas oscilações quase lineares em torno da forma balanceada permitem a análise por meio da sobreposição de modos, determinando o modo e a frequência da matriz de rigidez tangente. Para a análise de formas geométricas complexas, o método dos elementos finitos é usado (MARTINS, 2008).

As tensoestruturas estão sempre sujeitas a tração e é necessário pré-tensionar, o que pode ser conseguido esticando os cabos de tração que constituem o sistema de suporte estrutural - geralmente no contorno da membrana - ou pela ação da pressão do ar. No primeiro caso, essas estruturas são chamadas de estruturas de membrana tensionadas por cabo ou pré-tensionadas (SILVA, 2006).

Assim, a forma da superfície é definida por uma configuração possível de equilíbrio. Suas características físicas definem a sua resistência à tração, limitando os níveis de tensão que podem ser atingidos. Quando o pré-tracionamento é alcançado pela pressão de gases, estas estruturas são chamadas de estruturas pneumáticas. E, quando o pré-tracionamento é alcançado pelo estiramento da membrana por meio de cabos tensores, geralmente situados no contorno da membrana, estas estruturas são chamadas de estruturas de membrana protendida por cabos. Estes tipos básicos podem ser subdivididos em diversas alternativas de projeto, como indicado nas figuras 2 e 3 (OLIVEIRA & BARBATO, 2005).

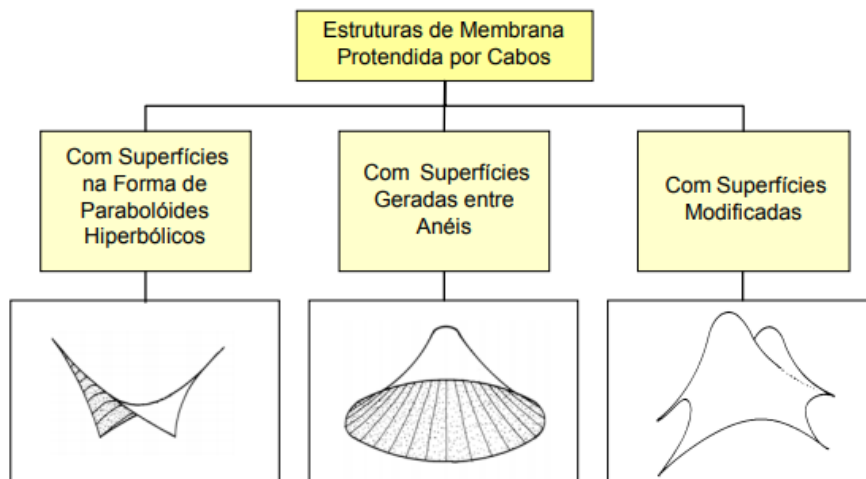


Figura 2 - Tipos básicos de estruturas pneumáticas.



Fonte: OLIVEIRA & BARBATO, 2005.

Figura 3 - Tipos de Estruturas de Membrana Protendida por Cabos.



Fonte: OLIVEIRA & BARBATO, 2005.

O comportamento estrutural dos elementos estruturais básicos da estrutura de tensão tenha é não linear, tornando as soluções analíticas inviáveis na maioria dos casos, tornando os métodos numéricos a única solução universal (PAULETTI, 2003).

Em geral as coberturas tensionadas em tecidos, apresentam grandes vantagens em comparação com outros sistemas mais convencionais:

- Construção simples, ou seja, todos os seus elementos trabalham em tração ou compressão;
- Apresentam Beleza arquitetônica;
- Cobertura translúcida deixando passar até 20% da luz natural;
- Diversidade de formas;
- Bons isolantes térmico e acústico;
- Impermeabilidade;
- Inibe a propagação do fogo;
- Boa resistência à intempéries;
- Dependendo do tecido a durabilidade varia de 10 a 30 anos;
- Facilidade no transporte e montagem.

E a desvantagem mais pronunciada é a vida útil das estruturas tensionadas que variam de 10 a 30 anos dependendo do material da cobertura. Assim, manutenções periódicas são necessárias.

3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas em membrana tensionada se mostram uma alternativa viável e de baixo custo. Existe uma enorme variedade, havendo ainda muito que explorar neste domínio para poder determinar a melhor alternativa para um uso específico.

Estão sendo usadas em coberturas de centros esportivos, de áreas comerciais e de construções industriais ou agro-industriais. Todavia, as estruturas de membrana são pouco conhecidas, estudadas e empregadas no Brasil. Neste contexto, existe uma necessidade pela busca do conhecimento científico existente sobre o tema e introduzi-lo

no Brasil e, também, apontar caminhos para investigação científica sobre as estruturas de membrana no país.

4 – REFERÊNCIAS

FERREIRA. P. G. M. Q. Análise e dimensionamento de uma estrutura de cobertura em membrana tensa. Porto: faculdade de engenharia da universidade do porto, 2010.

JOÃO. L. C. C. F. S. Estudo da degradação de membranas arquitetônicas. Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga/Guimarães, Portugal, 2015.

KLUGE, Rafaela. Tensoestrutura: uma proposta para os passeios da Unipampa campus Alegrete. 2014.

KREBS. K. F. Cobertura do estádio beira-rio com painéis membrana: descrição do processo construtivo e identificação das etapas críticas na verificação da qualidade de execução. Porto Alegre, 2011.

MARQUES, D. F. C. Análise estrutural e dimensionamento de estruturas de membrana. Braga/Guimarães. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2015.

MARTINS. C. B. Estudo do efeito do escorregamento dos cabos de borda em estruturas de membranas. Escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOREIRA, R. E. F. Utilização de membranas tensionadas leves na execução de estruturas especiais. Porto: faculdade de engenharia da universidade do porto, 2008.

NUNES. E. F. Tensoestruturas – elementos e cabos metálicos associados a membranas. Ouro Preto. Universidade federal de ouro preto - Escola de minas

departamento de engenharia civil programa de pós-graduação em engenharia civil, 2012.

OLIVEIRA, M. B.; BARBATO, R. L. de A. Estudo das estruturas de membrana: uma abordagem integrada do sistema construtivo, do processo de projetar e dos métodos de análise. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 22, p. 107-122, 2005.

PASQUAL, T. C. S. **Um estudo sobre a ação do vento nas estruturas de membrana**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PAULETTI, R. M. O.; ALMEIDA, P. A. O.; ARCARO, V. F. Avaliação Experimental de Propriedade Mecânicas dos Tecidos Estruturais. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo.

PEREIRA, M. **Estruturas tensionadas: Racionalidade e leveza**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/886270/estruturas-tensionadas-razionalidade-e-leveza>, 2018 acesso em: 12 de agosto de 2021.

SANTOS. M. E. R. **Estruturas em membrana: dimensionamento e projeto**. Universidade do Minho escola de engenharia. 2013.

SILVA, Cristina Almeida Bueno. Modelo computacional para análise da tensoestrutura de cobertura do **Centro Comunitário da Universidade de Brasília**. 2006.