



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

ESTRUTURAS DE MEMBRANA TENSIONADAS

Giselly M. Bianchi (1); Antônio C. G. Tibiriçá (2); Luiz H. Coelho (3)

(1) Secretaria de Desenvolvimento da Cidade – Prefeitura Municipal de Vitória, Brasil – e-mail: gisellyb@globo.com

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Viçosa, Brasil – e-mail: tibirica@ufv.br

(3) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

RESUMO

Contexto e objetivos: no contexto dos sistemas construtivos atuais, encontram-se as estruturas de membrana tensionadas ou tensoestruturas, que empregadas como coberturas, são sistemas construtivos formados principalmente pela membrana estrutural. As membranas estruturais são mantas flexíveis, em geral constituídas de materiais sintéticos, em camadas de poliéster e ou fibra de vidro e revestimentos em PVC e PTFE, que resistem aos esforços em razão da sua forma, das suas características físicas e do seu pré-tracionamento no processo de produção. As estruturas de membrana tensionadas têm sido encontradas em construções relativamente novas, se comparadas aos sistemas construtivos tradicionais, visto que são estudadas cientificamente há aproximadamente cinquenta anos, havendo, portanto, um amplo campo de pesquisas. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo tratar dos aspectos tecnológicos das tensoestruturas, assim como mostrar alguns exemplos significativos já produzidos no País. **Método de pesquisa:** a pesquisa foi realizada mediante levantamentos bibliográficos e de campo e entrevistas com engenheiros, arquitetos e projetistas da área. **Resultados e contribuições:** há muitas situações em que para a implantação do projeto, seja por questões construtivas ou por outras relacionadas a clima e a apelo estético, a adoção de tensoestruturas mostra ser a solução mais viável técnica e economicamente, principalmente por apresentar rapidez na montagem, baixo peso específico e possibilidade de vencer grandes vãos com um número mínimo de mastros ou pilares de seções reduzidas, quando comparadas a qualquer outro sistema construtivo. Ainda que lentamente, o Brasil está se inserindo no contexto mundial de construções em estruturas de membrana tensionadas. Por isso, devido às suas condições climáticas, cuidados devem ser tomados no projeto das tensoestruturas no País, principalmente quanto à altura dos pés-direitos e ao uso de camadas duplas de lona.

Palavras-chave: sistemas construtivos; estruturas de membrana tensionadas; conforto ambiental.

ABSTRACT

Context and objectives: in the actual construction systems context, we find the tension membrane structures or tensile structures. When used as covering, these systems are mainly structural membrane. The structural membranes are flexible layers, generally made of synthetic material such as polyester and glass fiber, covered with PVC or PTFE. They own their resistance to their shape, physical characteristics and pre-stress production process. The tensile membrane structures are relatively new compared with traditional construction systems, as they have been scientifically studied since approximately fifty years. The main objective of this paper is to discuss the technological aspects of tension structures, as well as show some significant examples that have been built in the country. **Research methods:** the research was performed through literature review, field survey and interviews with engineers, architects and designers. **Results and contributions:** there are many situations where the implementation of projects, either for constructive reasons or others related to the climate and aesthetic appeal, the use of tension structure has been the more viable solution of project, technically

and economically. Properties such as low specific weight make possible rapidity in the construction of large areas with minimum structure elements compared with other constructive methods. Still that slowly, Brazil is gradually being inserted in the expressive world context of constructions with membrane tensile structure. However, the Brazilian climatic conditions suggest the use of higher covertures and double layers of membranes in the projects.

Keywords: construction systems; tensile membrane structures; environmental comfort.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem procurado investir na implementação de estratégias de modernização do setor e, para isso, a racionalização construtiva tem um papel fundamental para a sua evolução tecnológica. Nessa direção, a busca por sistemas total ou parcialmente pré-fabricados é uma necessidade.

O ato de especificar um determinado sistema implica em conhecê-lo e a seus subsistemas, pois só assim o projetista consegue utilizá-lo no seu estado mais completo, ou seja, explorando as propriedades de seus materiais, criando formas espaciais inusitadas e atendendo a demanda maior a que a edificação se destina: um ambiente construído confortável para o usuário.

Nesse contexto, encontram-se as estruturas de membranas tensionadas, ou tensoestruturas, empregadas como coberturas. As membranas estruturais são mantas flexíveis, em geral de materiais sintéticos como o poliéster e a fibra de vidro e revestimentos em PVC e PTFE, que resistem aos esforços devido a sua forma, as suas características físicas e ao seu pré-tracionamento no processo de produção (OLIVEIRA e BARBATO, 2002).

Por suas características projetuais passam por processos totalmente diferentes das construções tradicionais, uma vez que desde a fase inicial busca-se a forma adequada e a resistência às solicitações, os estudos científicos das tensoestruturas ainda estão mais focados na estabilidade estrutural e no desenvolvimento de programas computacionais. Entende-se que, em parte, isso se deve às dificuldades atreladas às estruturas de membrana tensionadas e aos seus comportamentos físico e geométrico.

O principal motivo para estudar tensoestruturas decorreu da carência de trabalhos científicos sobre comportamento ambiental nesse tipo de construção no Brasil. Face a isso, enfocou-se a pesquisa em termos tecnológico-ambientais e de adaptabilidade desse sistema construtivo em locais com condições climáticas como as brasileiras. Com essa percepção, foram estabelecidos como objetivos: a) identificar na literatura aspectos tecnológicos e ambientais relevantes para o projeto de tensoestruturas; b) analisar quali-quantitativamente o projeto e o comportamento ambiental de uma tensoestrutura em uso comercial na cidade de Vitória-ES, a partir de medições de variáveis lumínicas, térmicas e acústicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

A história das tensoestruturas está atrelada ao desenvolvimento das tendas (PAULETTI,1999).

Dois acontecimentos foram cruciais no desenvolvimento das tensoestruturas. O arquiteto e engenheiro Frei Otto, em 1957, fundou o Centro de Desenvolvimento de Construções Leves em Berlim, seguindo em 1964 para a criação do Instituto de Estruturas Leves na Universidade de Stuttgart (ASCE, 1996).

Como resultado de avanços técnicos na tecnologia têxtil, há exemplos de construções de grande escala, com excelente resistência a incêndio e com expectativas de vida de vinte e cinco anos ou mais. Como exemplo cita-se o Aeroporto Haj, em Jeddah, Arábia Saudita, 1982 (Figura 1). A estrutura desse aeroporto, concluída em 1981, consiste em 21 módulos de membranas quase cônicas, em base quadrada com 45m de lado, cobrindo aproximadamente 42.000m² (ASCE, 1996). Teve como conceito

comportar-se como um oásis no deserto. Prova disso é que estando a temperatura externa na faixa de 55°C, internamente tem-se uma temperatura de 27°C, sendo de 7% a transmissão de radiação solar e de 75% a reflexão solar (MOLLAERT, 2002). Contribui para essa condição interna de conforto higrotérmico, o projeto de uma tensoestrutura apoiada sobre pilares com 46m de altura (BERGER, 1999).



Figura 1 - Aeroporto Haj Terminal em Jeddah, Arábia Saudita, 1982 (ASCE, 1996).

2.1.1 Situação no Brasil

O “I Simpósio Latino-americano sobre Tensoestruturas”, realizado em São Paulo de 2002, foi um evento onde se comprovou o interesse crescente pelas tensoestruturas por engenheiros, arquitetos, estudantes e profissionais especializados.

Em entrevista concedida à autora, os profissionais da área, Carlos Bauer e Ruy Pauletti, em 2005, ressaltam que o País ainda enfrenta uma série de barreiras para o uso desse tipo de construção, o que se traduz em atraso tecnológico em termos de: qualidade de execução (incluindo-se falhas nos procedimentos de processo projetivo), materiais (as mantas de fibra de vidro com revestimento de PTFE garantem maior durabilidade, porém são importadas), grau de refinamento dos detalhes construtivos. A própria condição existente no Brasil do processo de projeto estar atrelado ao de execução em uma mesma empresa, compromete as soluções projetuais (muitas vezes opta-se pelas mais fáceis para executar, e não pelas melhores opções globais), e o desenvolvimento da cadeia produtiva do setor.

Entretanto, alguns exemplos relevantes de tensoestruturas podem ser destacados no País, dentre os quais estão (FIGUEROLA, 2004):

- Cobertura de eventos do Rodo Shopping de Paulínia, 2004 (Figura 2): projetada pelo arquiteto Carlos Bauer, da Toldos Dias, empresa encarregada do projeto e execução, a tensoestrutura é parcialmente ancorada na estrutura metálica do Shopping, e possui uma torre única articulada e inclinada em 23° com 42m de altura. Essa cobertura traduziu-se na mais alta tensoestrutura do País. Sob o ponto de vista higrotérmico, apresenta destaque, com uma ventilação adequada e resolvida por meio do “efeito chaminé”.



Figura 2 - Vista do Rodo Shopping de Paulínia, 2004, (Arquivo pessoal Carlos Bauer, 2004).

- Cobertura do Anfiteatro da Igreja Batista Central de Fortaleza, 2003 (Figura 3): a membrana, na forma de um duplo conóide assimétrico, e área aproximada de 2.800m^2 , possui mastros de 20m de altura. O cálculo da membrana foi feito por Ruy Pauletti e Reyolando Brasil. É a primeira membrana de grande porte nacional a possuir projeto totalmente assistido pelo computador. Deve-se ressaltar que o processo projetivo nacional, até então artesanal, feito empiricamente por meio de maquetes, atendeu aos passos já estabelecidos internacionalmente.

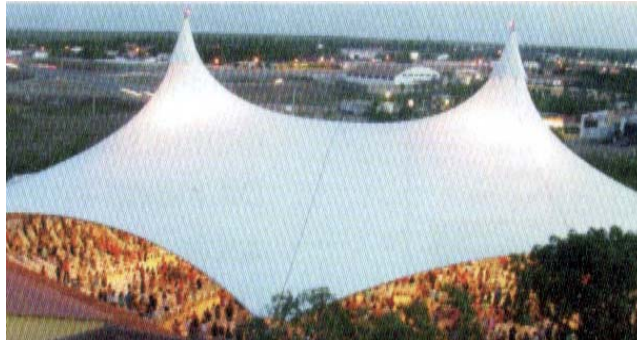


Figura 3 - Vista do Anfiteatro da Igreja Batista em Fortaleza, 2003, (FIGUEROLA, 2004).

2.2 Comportamento mecânico

As coberturas de membrana tensionadas ou tensoestruturas são estruturas constituídas por membranas nas quais atuam esforços apenas de tração. Por possuírem parede com espessura muito fina, as membranas não oferecem resistência à compressão e à flexão. A chave conceitual é a dupla curvatura, o que exige que as duas curvaturas se dêem em direções perpendiculares, sendo uma côncava e a outra convexa. A Figura 4 mostra uma típica estrutura em forma de sela ou forma anticlástica: as linhas A-B e C-D mostram duas direções opostas de curvatura, uma côncava e uma convexa. As sucções de esforços para cima, causadas pelo vento, são normalmente resistidas pela força de tensão da membrana na direção A-B, convexa. Os esforços da gravidade - por exemplo, chuva com granizo - para baixo são resistidas pela direção C-D, côncava.

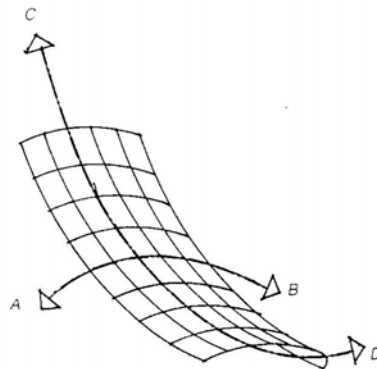


Figura 4 - Dupla curvatura, (VANDENBERG, 1996).

2.3 Comportamento ambiental

Para o ambiente construído em sistemas de tensoestruturas, sob o enfoque térmico, Freitas (2002) considera:

- Transferência por condução: devido à espessura muito fina dos tecidos estruturais, a transferência de calor por efeito da condução desses materiais é pouco relevante, uma vez que a diferença entre as temperaturas do ar interna e externa à membrana será praticamente nula.

- Transferência por convecção: esse fenômeno será tanto mais significativo quanto maior for o percentual de área da membrana em relação à área total construída. É possível minimizar esse efeito por meio de alguns recursos específicos como, por exemplo, a utilização de camadas múltiplas, com espaçamento entre elas.
- Transferência por radiação: constitui o problema fundamental da transferência de calor nas estruturas em tecido, seja no que se refere à proteção do ambiente interno do ganho de calor externo (caso de climas quentes), como quando se deseja evitar a perda do calor produzido no interior das construções para a área externa a essas (no caso de climas frios).
- Condensação: quando existe uma diferença significativa entre a temperatura externa à membrana e a sua temperatura interna, observa-se o fenômeno da condensação, o qual, dependendo do caso, pode provocar não só a transpiração do material, como também o gotejamento no interior do ambiente construído.

Blum (2003) acrescenta que a transferência por radiação, que em geral nas construções tradicionais nem sempre é o modo mais relevante de transferência de calor, no caso das tensoestruturas torna-se uma importante variável a se considerar no Brasil, principalmente, no que tange às ondas longas. O uso de camadas múltiplas tem auxiliado na minimização desse processo. Esse autor tem estudado formas de alterar as propriedades da membrana em relação aos raios infravermelhos, porém sem exterminar o apelo lumínico, tão desejado nesse sistema construtivo.

Sob o enfoque lumínico, Mollaert (2002), afirma que, de forma geral, uma transmissão de 6% de luz natural para o interior da edificação é suficiente para trabalhar sem luz artificial durante o dia. A membrana clara ainda permite iluminação indireta, valorizando não só o ambiente interno, como também a volumetria externa. Em alguns casos, a cobertura, pode ser utilizada como um grande telão, onde projetores trabalham a mensagem ou a iluminação requerida, como num grande *outdoor*.

Do ponto de vista acústico, ASCE (1996), considera que o desempenho acústico de uma manta estrutural é caracterizado pela alta refletividade de vibrações sonoras, particularmente em frequências na faixa de 500 a 2000 Hz. Esta refletividade pode resultar num som pobre para performances musicais e dificuldade na velocidade de entendimento. A reflexão do som enfocada obriga a adaptação das formas geométricas de algumas tensoestruturas podendo desencadear um bom desempenho acústico, particularmente em estruturas suportadas pelo próprio ar (estruturas pneumáticas) ou coberturas suportadas por arcos que apresentam uma cobertura de perfil geralmente côncavo voltado para dentro.

2.4 Processo projetivo

Oliveira e Barbato (2002) e Pauletti (2003) apresentam três fases características do processo de projeto e análise de tensoestruturas: a configuração inicial da forma (*form-finding*), a análise da resposta aos carregamentos (*load analysis*) e a determinação dos padrões de corte (*cutting-pattern*). Trata-se em cada fase como a seguir se expõe:

- Configuração inicial da forma - determina-se uma configuração inicial em que o estado de solicitações e a geometria especificada definam um estado de equilíbrio (algumas vezes inclui-se o peso da estrutura no processo). Além de satisfazer as equações de equilíbrio, a configuração inicial deve acomodar tanto requisitos arquitetônicos (forma e uso) como estruturais (resistência e estabilidade). Existem muitas configurações de equilíbrio possíveis, e o projetista procura selecionar a configuração que melhor atenda aos requisitos de projeto.
- Resposta aos carregamentos – verificam-se a formação de rugas e os níveis das tensões máximas, mediante análise global da estrutura submetida às ações. Deve-se proceder ao estudo do comportamento da estrutura sujeita a uma variedade de carregamentos, ressaltando o efeito dos ventos, para garantir que a estrutura possa suportar todas as solicitações que encontrará em serviço. A falta de rigidez à flexão torna as estruturas tensionadas suscetíveis a grandes variações geométricas, mesmo sob carregamentos moderados. Isto é, tais estruturas tendem a se adaptar aos

carregamentos sofrendo grandes deflexões. Em alguns casos, os próprios carregamentos são dependentes da deformação. É o caso do carregamento de pressão, que permanece sempre normal à superfície deformada. Torna-se necessário proceder a uma análise não-linear para incluir estes efeitos na análise de resposta aos carregamentos. Critérios de aceitação para as análises de carregamento devem considerar a segurança mecânica no curto e longo prazos, a limitação das vibrações e a perda de retesamento, que pode levar ao enrugamento da membrana.

- Determinação dos padrões de corte - como a membrana é encontrada comercialmente em rolos, ela precisa ser cortada em pedaços de modo que, emendados e protendidos, proporcionem a forma da superfície tridimensional apropriada. Como as superfícies de dupla curvatura – típicas das estruturas retesadas – não podem ser planificadas de forma exata, o processo de determinação dos padrões de corte é inevitavelmente aproximado. Entretanto, deve-se impor um limite ao erro dessa aproximação, sob pena de não se obter configuração originalmente preconizada pelo processo de busca de forma, ou de aparecerem rasgos ou zonas de enrugamento, que condenam a estrutura, seja do ponto de vista mecânico, seja de uso.

2.5 Normas e legislações

No caso das tensoestruturas há várias normas, de acordo com o país em questão. Os EUA seguem suas próprias normas, e assim também o fazem a União Européia, o Japão e Cingapura. Países que ainda não têm suas próprias normas, em geral aplicam a dos locais citados.

Há neste item ainda uma lacuna, principalmente no Brasil. As empresas brasileiras, de forma geral, seguem as normas européias, porém não existe fiscalização. Os materiais, como as mantas, também seguem as normas vigentes no país onde são fabricados.

Nos EUA, a ASCE (1996) apresenta alguns ensaios exigidos para as lonas. Em relação à ruptura, essa Associação cita os testes de ruptura trapezoidal, monoaxial com rasgo central e de ruptura da lingüeta. Em relação à resistência a tração, há dois tipos de testes: os de tração biaxial e os de tração longitudinal. Quanto à resistência ao fogo, há vários testes normalizados que foram adaptados para as lonas. As normas mais usualmente observadas: ASTM E84; ASTM E108; ASTM E136; NFPA 701.

2.6 Manutenção

As estruturas tensionadas em geral apresentam pouca necessidade de manutenção. Mesmo possuindo propriedades autolimpantes, os tensionados devem passar por uma lavagem regularmente (as lonas em fibra de vidro em menor frequência), visando retirar partículas que possam vir a se incrustar na lona. Essa lavagem deve ser feita no período estipulado pelo fabricante, usando-se escovas leves, detergente neutro especificado pelo fabricante e água corrente.

Um eventual retensionamento também pode ser preconizado, em especial se a lona for de fibra de vidro. A inspeção dos cabos também deve ocorrer, principalmente em caso de existência de olhais, forquilhas e outros acessórios.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa deste trabalho foi realizada com base em levantamentos bibliográficos – as principais fontes foram destacadas na revisão - de campo (por meio de um estudo de caso), e entrevistas com projetistas da área, que explicaram as peculiaridades do mercado nacional. O estudo de caso serviu para levantar dados numa situação real, tendo sido importante para realizar uma análise aprofundada do projeto, sob uma condição de comportamento ambiental desse tipo de sistema construtivo num período de verão.

O estudo de caso foi realizado em imóvel localizado na rua Desembargador Demerval Lírio, nº 456-Lote2, Quadra 97, Mata da Praia, Vitória/ES. Trata-se de um espaço bar-restaurante, que funciona

durante o dia como restaurante *self-service*, sendo à noite servidos pratos à *la carte* e porções de churrasco. O ambiente estudado era constituído de uma cobertura em estrutura tensionada, anexada a uma construção convencional, não tendo sido esta objeto de estudo.

A cobertura abrange uma área de aproximadamente 187,60m², com pé-direito máximo de 7m e médio de 4,50m. Os troncos de cones alinhados no sentido longitudinal do terreno apresentam um lanternim cônico nos ápices, com mesmo material de acabamento, de diâmetro de base de 1m (Figura 5). A lona utilizada nesta obra foi de poliéster, na cor branca. A estrutura de suporte da cobertura é feita de eucalipto, e os elementos utilizados para ancoragem são as correntes.

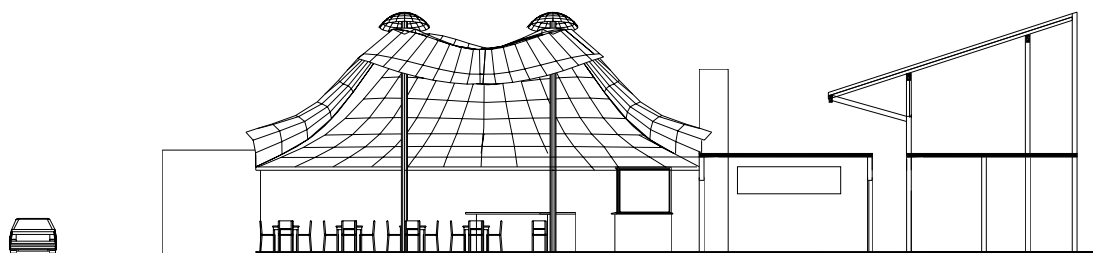


Figura 5 - Corte longitudinal esquemático do estudo de caso.

Para o registro das variáveis ambientais nas condições de uso do local, um operador fez leituras manuais empregando os seguintes instrumentos calibrados: a) parte lumínica: luxímetro marca Minipa; modelo MLM 1332 b) parte térmica: psicrômetro giratório marca Bacharach, modelo 12-7013 mercury °C, anemômetro, marca Lutron, modelo AM-4201; c) parte acústica: decibelímetro marca Lutron modelo SL-4001. As medições foram feitas num período de seis dias de verão (fev/mar 2004), em geral com seis medições ao dia, em intervalos de 2 a 3h. Foram estabelecidos cinco internos à tensoestrutura e cinco pontos externos (Figura 6).

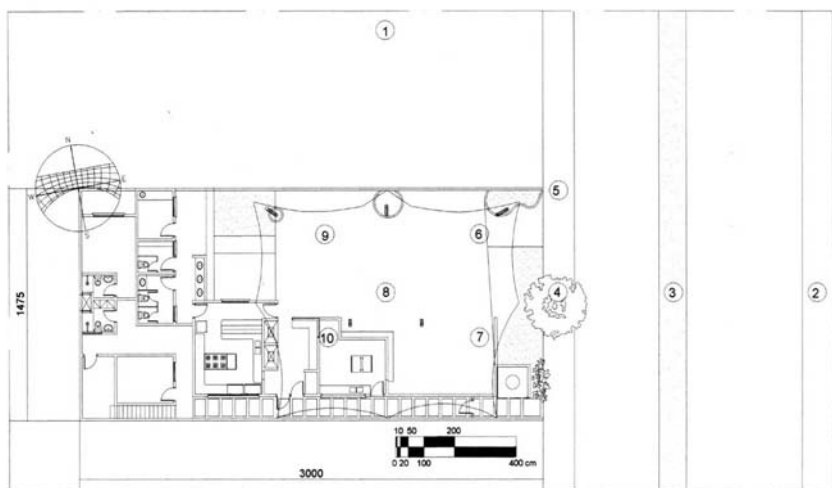


Figura 6 – Planta baixa do restaurante com os pontos de medição.

4 RESULTADOS

Analisando o estudo de caso, no sentido formal, trata-se de cobertura tensionada duplo conóide, sendo esses descentralizados.

Baseado nas entrevistas já citadas e na referência bibliográfica comparou-se o sistema construtivo tensoestruturas aos tradicionais. Observaram-se várias características que a tornam atraente como solução projetual:

- desmontabilidade e curto tempo de fabricação e execução: um tensionado pode ser fabricado e montado em menor espaço de tempo, se comparado às diversas alternativas de coberturas (BERGER, 1999);
- evocação simbólica e aparência lumínica: além das coberturas remeterem a formas orgânicas as membranas possuem opções translúcidas, transparentes ou com *black out*. As primeiras duas opções remetem a um tema muito em voga nos anos recentes: a eficiência energética. Ou seja, aproveitando-se zenitalmente de forma adequada a luz do dia, essas coberturas geram uma economia no consumo de energia elétrica sem prejuízo do conforto ambiental (BERGER, 1999);
- vencimento de grandes vãos e baixo peso da membrana: apresentam peso de duas ordens de grandeza menor do que o de estruturas em concreto armado e uma ordem de grandeza menor que estruturas convencionais de aço. Exemplo: uma cobertura para vãos livres da ordem de 30m apresenta densidade de carga estrutural de até 300N/m², no caso das estruturas metálicas convencionais; com as tensoestruturas, vãos da ordem de 50m a 70m apresentam no máximo 60N/m²;
- custo: o custo da tensoestrutura é mais alto que de qualquer cobertura tradicional, porém mais baixo que de qualquer cobertura translúcida. Com drenagem e fundação simplificadas geram-se menos custos nestas fases. Após construída implica em baixa manutenção. Ou seja, a relação custo-benefício que o sistema traz, devido as suas particularidades, também deve ser levada em consideração (BERGER, 1999).

Além dessas características, o projetista deve possuir um conhecimento do comportamento ambiental das estruturas de membrana tensionadas. Nesse sentido, o estudo de caso proporcionou os seguintes resultados:

- a) parte lumínica: No ambiente interno, a iluminância alcançou máximas de 6,4 klux entre os horários de 9h e 12h30min. Apenas a partir das 18h30min era necessário algum tipo de recurso artificial para iluminar o ambiente. Em momentos de alta iluminância detectou-se ofuscamento no interior da cobertura (Figura 7).

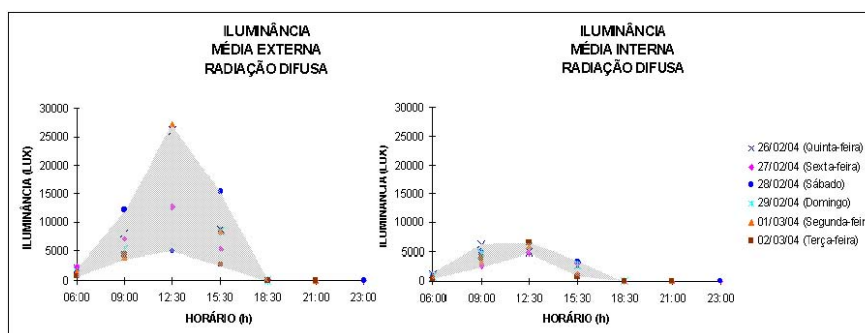


Figura 7 – Iluminação natural: (a) área externa (b) área interna.

- b) parte térmica: Os dados coletados e as análises confirmaram que a baixa resistência térmica da membrana foi o que mais influenciou os resultados térmicos, em especial, ao se compararem às condições de exposição interna e externa à edificação (Figuras 8 e 9). Isso se deve à facilidade de migração do ar externo para o interior da edificação. Nesse sentido, o fenômeno de convecção é de extrema importância em construções de estruturas tensionadas similares à estudada, em uso e forma.

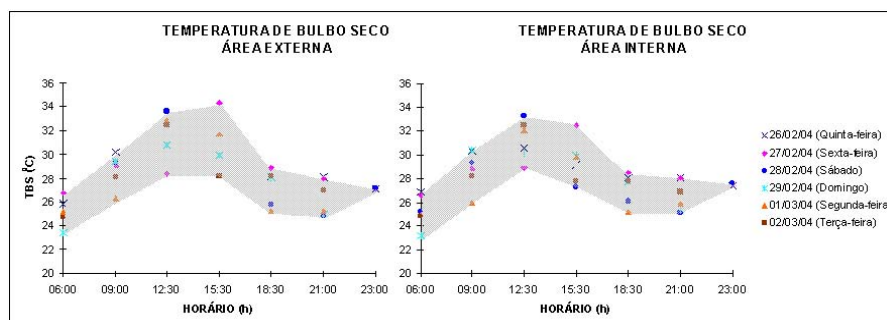


Figura 8 - Temperatura do ar: (a) área externa (b) área interna.

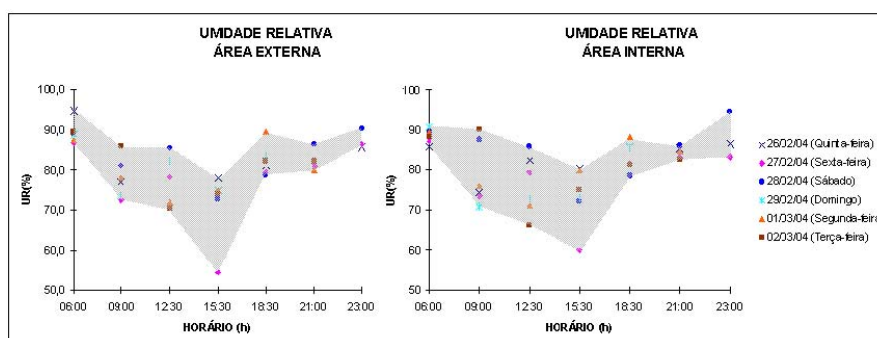


Figura 9 - Temperatura do ar: (a) área externa (b) área interna.

As direções do vento foram bastante variadas ao longo do dia nos pontos externos de coleta de dados. Externamente, a maior incidência de ventos com velocidade acima de 0,1m/s foi às 12h30min. Diversas edificações lindeiras constituem barreiras aos regimes naturais de vento na região urbana onde o restaurante está inserido.

c) parte acústica: Observa-se também que, internamente, o ruído noturno, em especial com a casa lotada, é maior que externamente (Figura 10). O efeito coquetel - ou seja, a conversação cada vez mais alta nas mesas, visando alcançar inteligibilidade - ocasionado pelo grande número de pessoas com a casa lotada, foi a fonte de ruído que mais contribuiu para os níveis de ruído mais altos. Dessa forma, as pessoas eram a fonte e os receptores do próprio ruído.

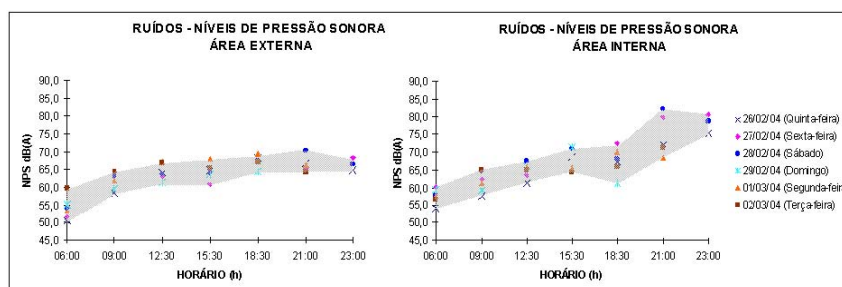


Figura 10 - Níveis de pressão sonora: (a) área externa (b) área interna.

5 CONCLUSÕES

Lenta e gradualmente, o Brasil tem se inserido no mercado mundial das tensoestruturas. Algumas características dessa indústria nacional são entraves ao próprio crescimento do setor. Em geral, as

formas propostas pelas empresas nacionais desconsideram o conforto ambiental, e muitas vezes até mesmo o rigor estrutural. Algumas formas propostas permitem altas sobrecargas, e se tornam instáveis estruturalmente. Ressalta-se, nesse sentido, a extrema importância dos cálculos serem feitos de forma rigorosa, por profissional especializado, e, em geral auxiliados por *softwares*.

Com relação ao conforto ambiental, segundo o estudo de caso utilizado, constata-se que os valores externos muitas vezes se aproximavam dos internos. Isto se deveu ao fato de o espaço ser semi-aberto, estar em lote urbano, confinado, e a cobertura apresentar pé-direito relativamente baixo, em especial nas bordas, para tal sistema construtivo.

Destaca-se, a título de orientação para o desenvolvimento de projetos de tensoestruturas no Brasil:

- atentar para o conforto higrotérmico, adequando o pé-direito, e a ventilação por meios induzidos, sendo cruzada ou por efeito chaminé, ou por meios ativos, trabalhando-se dispositivos nos anéis de suporte dos ápices, por exemplo;
- usar vegetação e materiais mais absorventes nas superfícies e nos mobiliários, visando a reduzir o efeito coquetel;
- utilizar camadas múltiplas de lona, mesmo que intercaladas de ar, tornando a membrana mais espessa, auxiliando assim na redução de ofuscamento e a transmissão de calor solar.

Deve-se ressaltar, portanto, que as coberturas de membrana tensionadas têm amplo campo de aplicações: pavilhões, *foyers*, auditórios e teatros, estádios, quadras e piscinas cobertas, armazéns, hangares, aeroportos e edifícios ecológicos. Esse mercado, em expansão, deve ser explorado por arquitetos, engenheiros e projetistas de forma adequada, visando a melhor adaptabilidade deste sistema construtivo ao clima do País e ao conforto ambiental dos usuários.

6 REFERÊNCIAS

ASCE (American Society of Civil Engineers). **Tensioned fabric structures – a practical introduction**. Edited by R.E Shaeffer. Danvers, 1996.

BERGER, H. **Form and function of tensile structures for permanent buildings**. Engineering Structures, jun 1999, n. 21, p. 669-679.

BLUM, R. **Acoustics and heat transfer in textile architecture**. Techtexil, 2003.
http://www.tensinet.com/documents/working/Techtexil%202003_433_Blum.pdf. Acesso em: 23/06/2004.

FIGUEROLA, V. **Alta Costura**. AU, São Paulo, abril 2004, n. 121, p. 64-67.

FREITAS, C. **A tecnologia de membranas em tecido: estudo de uma arquitetura sustentável em zonas de clima tropical**. In: 1º Simpósio Nacional Sobre Tensoestruturas. São Paulo. Livro de resumos. S.P., 2002

MOLLAERT, M. **Environmental aspects in textile architecture**. Tensinet, Vrije Univerteit Brussel, 2002. Disponível em: <http://www.tensinet.com/documents/enviromental/envaspectsprint.pdf>. Acesso em: 02/04/2004.

OLIVEIRA, M.; BARBATO, R. **Estruturas de membrana: estado-da-arte e tendências do desenvolvimento**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE TENSO-ESTRUTURAS, 1º. Livro de resumos. São Paulo, 2002.

PAULETTI, R. **Evolução das tensoestruturas. Parte I – Primórdios das tensoestruturas & Evolução das pontes suspensas**. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PEF/9915, 1999.

PAULETTI, R. **História, análise e projeto das estruturas retesadas**. São Paulo, Tese de Livre-Docência - Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, USP, 2003, 257 f.

VANDENBERG, M. **Soft canopies – detail in building**. London: Academy editions, 1996.