

Arquitetura têxtil: aplicações em coberturas de eventos

Sasquia Hizuru Obata

Mestre em engenharia civil e doutoranda
em arquitetura – FAAP;
Engenheira Civil.
São Paulo – SP [Brasil]
sasquia@terra.com.br

Este artigo tem por objetivo apresentar os sistemas principais em arquitetura têxtil e exemplos para coberturas de espaços destinados a eventos de todo o tipo. Para atender este objetivo o artigo está, primeiro, estruturado por uma contextualização das arquiteturas têxteis como um painel da evolução e aplicações na construção de coberturas para eventos. Na seqüência, encontra-se o item sobre as condições básicas e direcionamentos técnicos para aplicação das arquiteturas têxteis para coberturas. O artigo é finalizado com exemplos e descrições da aplicação dessa tipologia arquitetônica e considerações que justificam a aderência desse sistema para a construção de coberturas para espaços de eventos.

Palavras-chave: Cobertura de eventos. Arquitetura têxtil.



1 Introdução

1.1 Contextualização

Um das aplicações mais vistas das arquiteturas têxteis, que se destacam pelas dimensões e formas diferenciadas, são as coberturas de eventos, apresentando-se, muitas vezes, para arquitetos e engenheiros, como um potencial tecnológico, por seu contexto histórico e aplicações atuais, fixadas por Drew (1979) como a terceira geração das produções arquitetônicas modernas.

As arquiteturas têxteis, também conhecidas como tensoestruturas, referem-se à classe de estruturas em membranas que apresentam rigidez em razão da geometria, que depende do estado de tensão de tração, ou seja, trata-se de estruturas tracionadas e/ou protendidas.

Fazem parte do conjunto de estruturas, de forma ativa, sendo um sistema sujeito a uma única condição de tensão (ENGEL, 1997).

Tais arquiteturas são reconhecidas e utilizadas desde as mais antigas civilizações, tanto em tendas pelos povos nômades quanto nas mais diversas travessias de rios, córregos e vales, o que viabilizou também o desenvolvimento e as conquistas históricas.

As aplicações atuais, como edificações de maior durabilidade, estão atreladas à própria evolução da tecnologia dos materiais têxteis e do surgimento do aço, destacando-se como *boom* a Revolução Industrial, em que as construções das coberturas atingiram grandes vãos.

Um destaque especial deve ser dado ao arquiteto alemão Frei Otto, que, em meados dos anos 50, transpôs as arquiteturas têxteis da condição de uma construção rústica e desprovida de capacidade estrutural para um tipo de estrutura leve e de formas arrojadas, por meio de métodos físicos e experimentais (ROLAND, 1989).

No caso de Frei Otto, o caminho de seus métodos seguia a construção de maquetes de arame

cobertas com bolhas de sabão, que eram posicionadas na frente de um fundo branco com uma grade milimetrada. Por meio de fotos retiradas desse modelo, eram concebidas as coberturas, nas quais a sombra nas fotos representava a cobertura ideal ou, simplesmente, a superfície minimal (OTTO; RASCH, 1992).

Ainda hoje busca-se a forma e, algumas vezes, o dimensionamento por meio de modelos e maquetes e, em certos casos, com sensores (extensômetros) conectados; no entanto, já existem *softwares* que não permitem apenas a busca da forma, mas também a análise de carregamentos, dimensionamentos e cortes das membranas.

No Brasil, pode-se dizer que as arquiteturas têxteis ainda são consideradas incipientes em aplicações, além de não participarem como disciplina de formação de arquitetos e engenheiros. Entretanto, poderão apresentar-se como oportunidade, dado o anúncio do Brasil como sede para a copa de 2014, que poderá exigir não só a cobertura de estádios, mas também locais temporários para eventos paralelos.

Como exemplo de aplicação das arquiteturas têxteis em coberturas de eventos, este trabalho tem o palco do Rock in Rio, que pode ser considerado uma das grandes obras no Brasil.

2 Os sistemas básicos de arquitetura têxtil para coberturas

Historicamente, a arquitetura têxtil é utilizada desde as ações construtivas mais antigas e rudimentares, como o uso de pele de animais ou o de fios trançados (Figuras 1 e 2).

Cita-se o desenvolvimento das tecnologias mecânicas por seu impacto nas construções de máquinas de transporte e nas edificações engenhosas, anotadas dinamicamente desde o Renascimento e



Figura 1: Tenda negra de povos nômades

Fonte: Oliveira, 2001

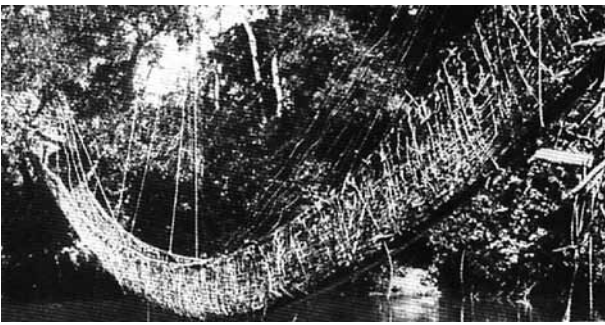


Figura 2: Ponte suspensa feita de cordas

Fonte: Otto e Rasch, 1992.

reformuladas pelo novo pensamento criado na era industrial e no fim do século 19, tendo os balões e dirigíveis como exemplo (Figura 3).

No entanto, somente no início do século 19, esse tipo de estrutura gerou, na engenharia e arquitetura, ações de impacto caracterizadas como contínuas no desenvolvimento de sistemas estruturais novos, além de representar uma inteligência construtiva para os arquitetos (STACH, 2002).

Tal fato é justificado pela maior compreensão dos conceitos físicos e da evolução nas aplicações das ciências, levando a ações de projetos adequados e de maior precisão, promovendo o desenvolvimento de novos materiais e processos que incluem os balões e dirigíveis que ressurgiram como recurso compositivo no ideário da construção de uma cidade instantânea do grupo de arquitetos Archigram.



Figura 3: Dirigível N° 6, de Alberto Santos Dumont, que venceu o prêmio Deutsche, em 1901

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Dirigivelsantosdumont.jpg>

As propostas de coberturas instantâneas do grupo Archigram, representadas nas Figuras 4 e 5, ocorriam em uma associação fluida, participante de diversos concursos internacionais desde 1961, e com várias aplicações de materiais têxteis, segundo Drew (1979).



Figura 4: Cidade instantânea do grupo de arquitetos Archigram, com membranas suspensas por balões

Fonte: http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city_4.html



Figura 5: Cidade instantânea do grupo de arquitetos Archigram, com membranas suspensas por balões

Fonte: http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city.html

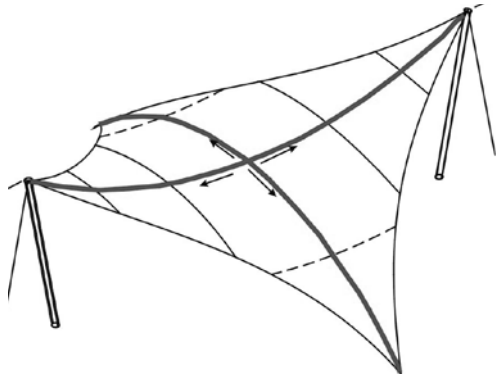


Figura 6: Tenda com apoio externo

Fonte: Os autores

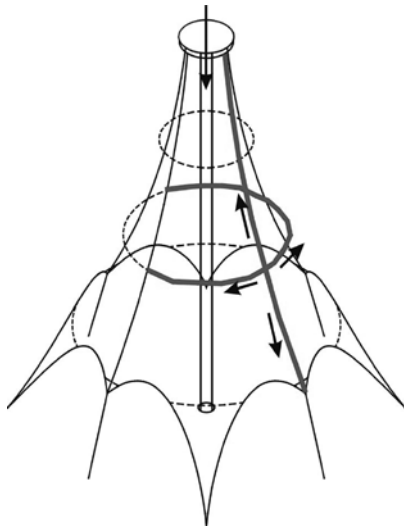


Figura 7: Tenda com apoio interno

Fonte: Os autores

Atualmente, reconhece-se a diversidade de formas aplicadas de arquitetura têxtil, como as apresentadas nos itens 2.1 e 3 deste artigo.

Como direcionamentos às condições correntes de aplicações, seguem os sistemas mais utilizados e seus principais esforços, indicados por vetores (setas), nas figuras: sistema de tenda com apoio externo (Figura 6); sistema de tenda com apoio interno (Figura 7); sistema de tenda revestindo uma malha estrutural (Figura 8), e tenda estruturada pneumaticamente (Figura 9).

Nas tendas estruturadas pneumaticamente, o ar pressurizado em volume fechado internamente suporta o espaço envolvente, estabilizan-

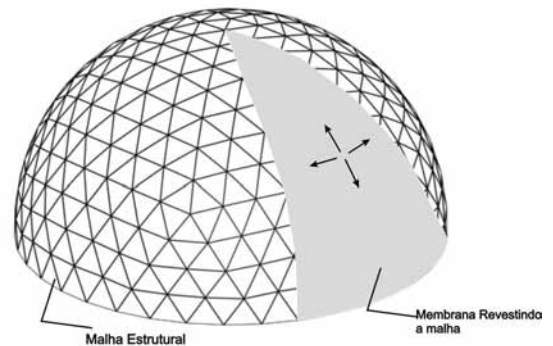


Figura 8: Tenda revestindo uma malha estrutural

Fonte: Os autores

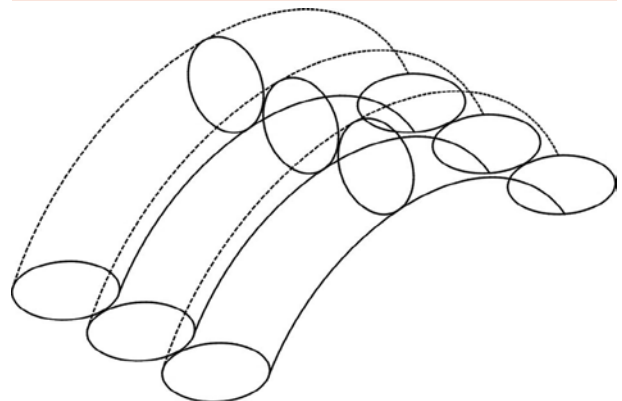


Figura 9: Tenda estruturada pneumaticamente

Fonte: Os autores

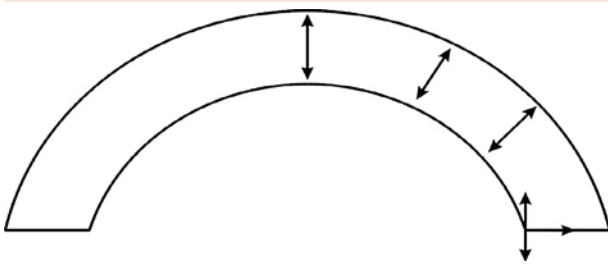


Figura 10: Forças na tenda estruturada pneumaticamente

Fonte: Os autores

do-o contra forças atuantes. A força da membrana é diretamente descarregada nas extremidades, como na Figura 10.

2.1 Vãos de alcance e materiais componentes

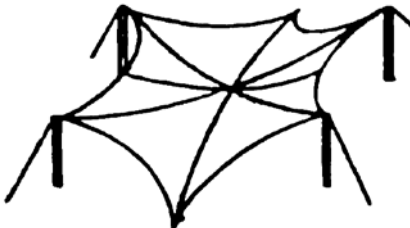
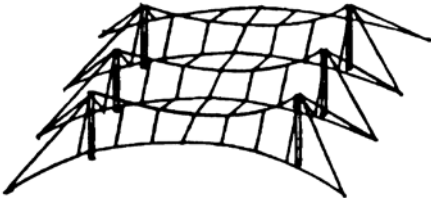

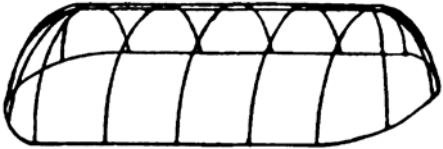
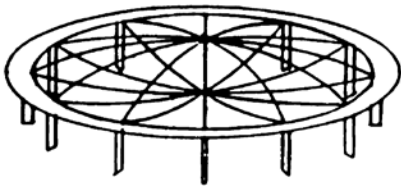
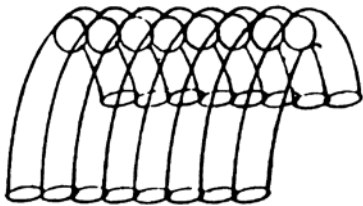
A Tabela 1 apresenta um painel de formas de aplicação relacionando os vãos e materiais correntes para esses sistemas.

Tabela 1: Definição de esquema estrutural de forma ativa, em face do material e vão a ser alcançado



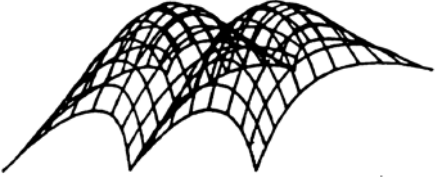
Sistema Estrutural		Materiais Básicos dos componentes	Vãos em Metros	
Tipo	Exemplo		Intervalo Total	Intervalo adequado
Sistemas de Cabos	<p>Sistemas de cabos paralelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Só metal • Metal+Concreto armado 	50 a 550	80 a 500
	<p>Sistemas de cabos radiais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Só metal • Metal+Concreto armado 	30 a 250	60 a 200
	<p>Sistema de cabos biaxiais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Só metal • Metal+Concreto armado/ +Madeira 	25 a 200	50 a 120

Fonte: adaptado de Engel, 1997



Sistema de Tenda	 <p>Tendas apoiadas diretas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Têxtil + Metal /+ Madeira • Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira 	5 a 40	10 a 25
	 <p>Tendas onduladas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Têxtil + Metal /+ Madeira • Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira 	20 a 100	30 a 70
	 <p>Tendas apoiadas indiretas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico/ Membrana + Metal/ +Concreto • Têxtil + Metal /+ Concreto 	20 a 150	30 a 80
Sistema Pneumático	 <p>Sistemas de controle de ar interno</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico/ Membrana + Metal 	Sem estrutura de sustentação	
			10 a 50	10 a 40
			Com estrutura de sustentação	
			70 a 300	90 a 220
	 <p>Sistema de colchão ar colchão de ar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira/ +Concreto 	20 a 120	20 a 70
	 <p>Sistemas de tubos de ar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico/ Membrana 	10 a 70	10 a 50

Continuação da Tabela 1

Sistemas de arcos	 <p>Arcos lineares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto armado • Madeira laminada • Metal 	15 a 100	25 a 70
	 <p>Abóbadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alvenaria 	4 a 30	8 a 20
	 <p>Abóbadas reticuladas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metal • Madeira 	10 a 150	20 a 90

Continuação da Tabela 1

Fonte: adaptado de Engel, 1997

2.2 Algumas considerações sobre aplicabilidade das arquiteturas têxteis

A aplicabilidade dessa tipologia construtiva está muito mais atrelada ao conhecimento da tecnologia construtiva, sendo esta a primeira desvantagem quanto à aplicabilidade, ou seja, o desconhecimento de alguns itens do potencial tecnológico, a saber:

- A possibilidade, por sua própria natureza, de gerar formas não tradicionais e complexas;
- O uso de materiais como as membranas, os têxteis e os filmes, e de novos materiais que conferem uma formação topológica singular;
- Atrêla-se a aderência natural dos materiais têxteis aos conceitos de sustentabilidade e atendimento ao meio ambiente, quanto à pequena quantidade de material que utiliza, pelo aproveitamento da iluminação natural, quanto à translucidez ou à transparência;
- A oportunidade de constituir equipamentos urbanos lúdicos ou de impacto visual, que permitam a aplicação de uma diversidade de cores;
- O fato de as estruturas serem caracterizadas ou mesmo compatibilizadas para atuar como equipamentos de fechamento ou pele ativa em inúmeros projetos já realizados, como, recentemente, o Cubo Aquático de Beijin e Ninho – Estádio Nacional Olímpico da



China e, no ano 2000, o Eden Park, todos em ETFE (Etileno Tetrafluoretileno);

- A gama de tipos de tecidos e membranas permite sua utilização tanto para obras de pequeno porte quanto de grande porte e grandes vãos, como os apresentados na Tabela 1 deste artigo, e de acordo com a resistência estrutural ou não;
- Devido à oferta de membranas e tecidos estruturais de grande durabilidade, que atingem a indicação de até 50 anos de garantia pelos fabricantes, as arquiteturas têxteis não mais ficam confinadas ao patamar de construções transitórias, e sim na qualidade de construções permanentes e compatíveis com os outros tipos de materiais estruturais. Como comparativo, indica-se aqui o concreto estrutural que tem a durabilidade de 50 anos garantida para as ações projetuais, construtivas e de manutenção para edifícios comuns, e de 100 anos, para obras de arte. Essa indicação se faz comparativamente, uma vez que as arquiteturas têxteis não possuem normas sedimentadas e aplicadas ao Brasil, como o concreto e a madeira, entre outros materiais que trazem a indicação inclusive da escolha, segundo a agressividade do meio, pela NBR 6118 (ABNT, 2003), para as estruturas de concreto, e
- Por ser um material de fechamento ou vedação muito leve, cerca de 1 a 3% do peso do vidro, confere a essa tipologia construtiva a habilidade e aderência às construções temporárias e transitórias¹ e equipamentos urbanos transitórios, ou seja, de atendimento a um evento ou mesmo por prazo determinado.

Desse potencial há, sim, desvantagens suplantadas por formas e intervenções técnicas simples, como o problema de condensação de vapores nas coberturas, que são sanados pelo estudo adequado da circulação interna dos vapores e gases e, em situ-

ações críticas, por meio da fixação de equipamentos condensadores ou de ventiladores.

Outro exemplo é a situação de conformação de um “ambiente-estufa”, ou o problema de amortecimento térmico, que pode ser sanado por meio de camadas de membranas e tecidos, assim como se realiza com outros materiais vedantes, ou com a instalação de ventiladores e – em condições extremas – de aspersores de água.

Portanto, existem vários problemas, mas as técnicas são viabilizadas pelo conhecimento e entendimento da tecnologia construtiva. No entanto, sob o ponto de vista do processo projetual, nas arquiteturas têxteis, encontram-se dificuldades físicas e computacionais inerentes a sua constituição estrutural.

Tais dificuldades decorrem das soluções iniciais do projeto e conduzem a uma única aproximação viável, ou seja, por meio de simulações e soluções numéricas que exigem a aplicação computacional – razões levantadas por Lewis (1998) e arroladas a seguir:

- 1 A ausência da rigidez à flexão da membrana inviabiliza a previsão da forma da estrutura, uma vez que a configuração real de equilíbrio é uma incógnita da análise estrutural;
- 2 As cargas aplicadas, as tensões iniciais e a configuração da membrana interagem e esta última adapta sua configuração às cargas aplicadas;
- 3 A combinação das cargas aplicadas com as tensões internas depende da curvatura da membrana, que dá origem a um conjunto de equações não-lineares de equilíbrio;
- 4 A não-linearidade, geralmente, é do tipo geométrico, e as deformações permanecem nos limites de linearidade da relação tensão-deformação do material, e
- 5 A inabilidade da membrana para resistir às tensões de compressão é um fato que se dá pela manifestação de rugas na membrana, o

que prejudica a estética do projeto final e a má distribuição das tensões internas.

Diante desses fatos, pode-se dizer que no contexto atual, há um pleno desenvolvimento de soluções para esses problemas, a partir dos quais já se podem desenvolver métodos computacionais para ajudar os arquitetos e engenheiros em projetos de arquiteturas têxteis. No entanto, no Brasil, esses programas fazem parte apenas das pesquisas acadêmicas e de certa falta de conhecimento do mercado profissional. Diferentemente do Brasil, já existem tecnologias computacionais comercializadas e em uso comum em diversos projetos na Europa, Canadá, Estados Unidos, Japão etc.

3 Exemplos de aplicações: arquiteturas têxteis em coberturas de eventos

A Figura 11 representa a primeira construção de arquitetura têxtil do mundo, projetada por Shukhov, em 1896, localizada em Nizhny Novgorod, Rússia.

Na Figura 12, encontra-se a cobertura retrátil projetada por Bodo Rasch para o Pavilhão da Venezuela, na Expo2000, em Hannover.

A Figura 13, no mesmo evento do Pavilhão da Hungria, também representa uma cobertura com têxtil arquitetônico.

As Figuras 14 e 15 apresentam coberturas pneumáticas temporárias utilizadas no Reino Unido.

4 Cobertura de evento em arquitetura têxtil: o palco do Rock in Rio

O palco do Rock in Rio 2001, Figura 16, projeto do engenheiro civil Nelson Fiedler, foi o

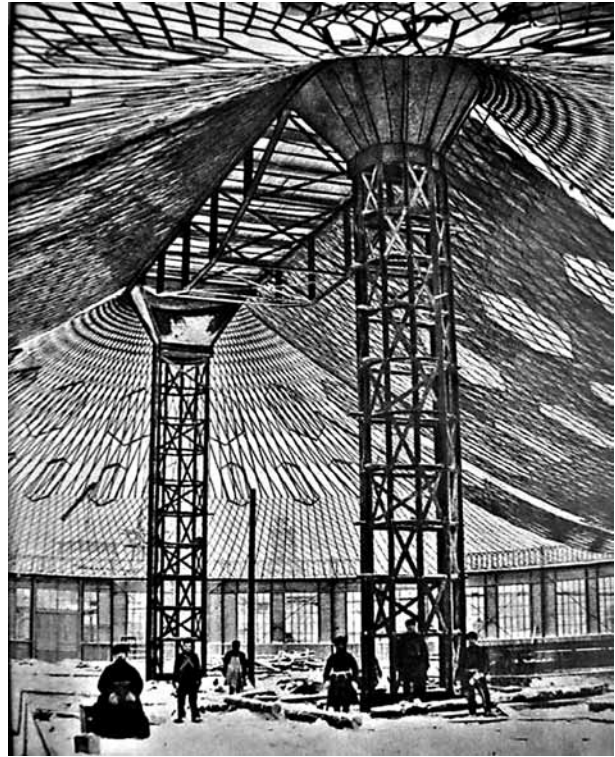


Figura 11: Construção da primeira arquitetura têxtil

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_Shukhov



Figura 12: Pavilhão da Venezuela, na Expo2000, em Hannover

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000

maior palco executado até hoje: 88 metros de diâmetro em vão livre, partindo de uma geodésica composta por icosaedros, formando uma malha estrutural metálica dupla.



Figura 13: Pavilhão da Hungria, na Expo2000, em Hannover

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000

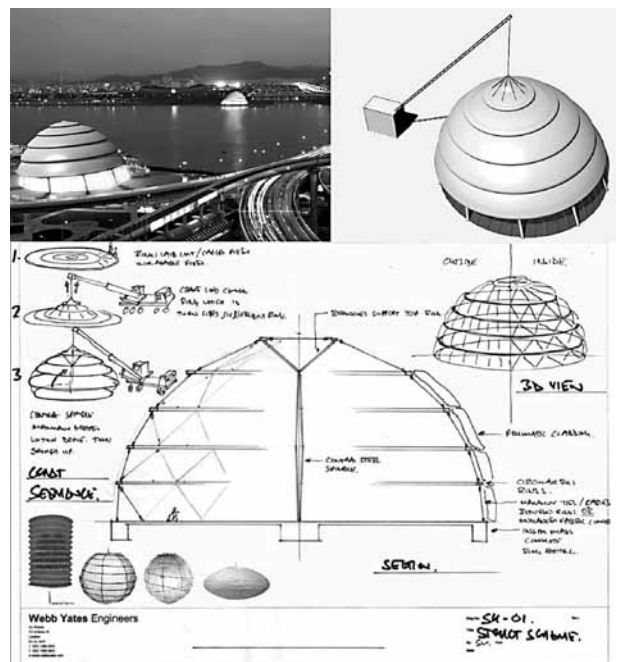


Figura 15: Domo inflável temporário

Fonte: <http://www.inflate.co.uk/i-architecture.html>

A fundação consiste em uma sapata semicircular nervurada, e a superestrutura corresponde a uma treliça metálica tridimensional, geodésica, formada por triângulos de icosaedros em dois planos sobrepostos. Veja o detalhe na Figura 17.

A superestrutura, projetada para absorver as combinações de esforços externos aplicados, rece-



Figura 14: Domo inflável para eventos

Fonte: <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html>



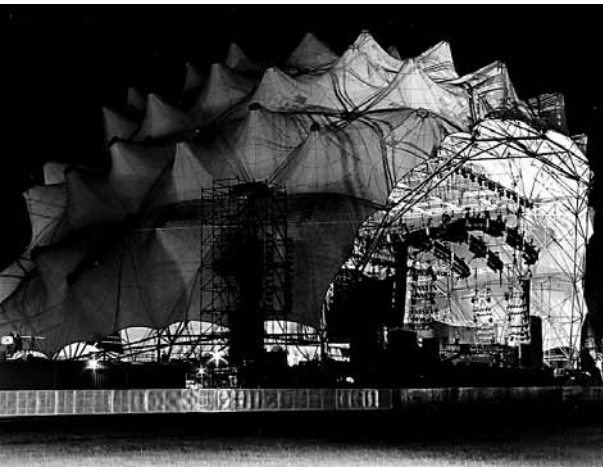


Figura 16: Palco Mundo Rock in Rio 2001, projeto do engenheiro Nelson Fiedler

Fonte: <http://www.inflate.co.uk/i-architecture.html>

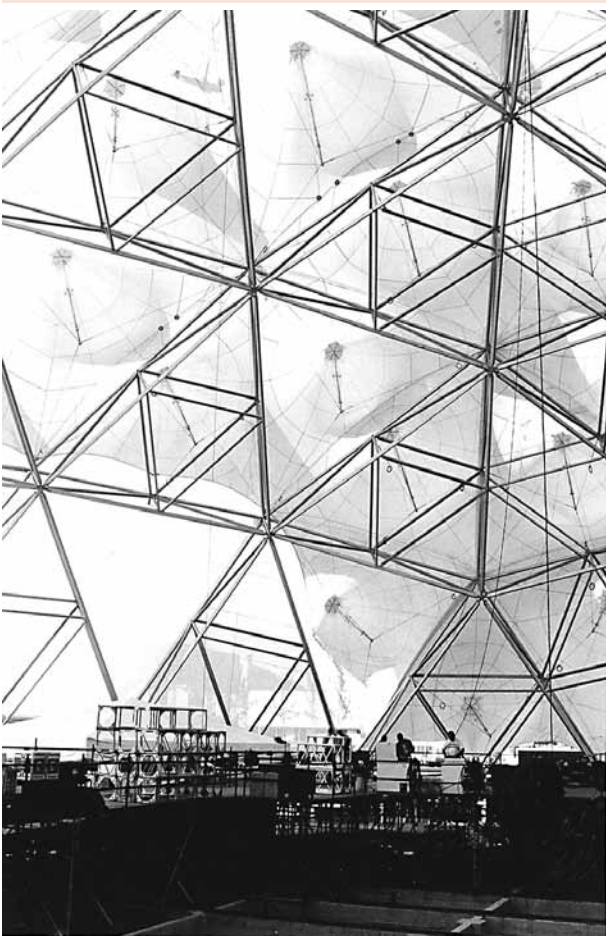


Figura 17: Treliza tridimensional formada por triângulos de icosaedros

Fonte: Obata, Fidler e Patrício, 2001

be como cobertura uma membrana de PVC poliéster, com 11500m², projetada estruturalmente.

A superestrutura e a membrana de cobertura configuram um conjunto estrutural que deve ser analisado como uma tensoestrutura, uma vez que a membrana encontra-se apoiada sobre mastros aéreos suportados por tirantes conectados aos nós da geodésica metálica, fixada à base de concreto.

Para executar esta obra, foram utilizados métodos computadorizados, tornando possível o desenvolvimento da estrutura e dos módulos de sua cobertura.

Nesses métodos, destaca-se um conjunto de softwares específicos, desenvolvidos por Fiedler para modelagem e análise da membrana em sua fase executiva, conforme Figura 18.

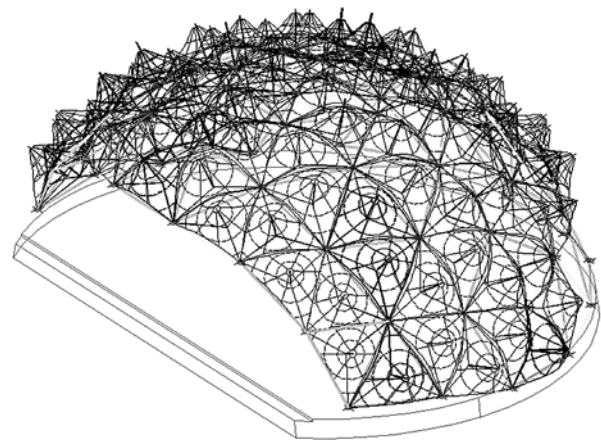


Figura 18: Imagem gráfica pré-execução

Fonte: Obata, Fidler e Patrício, 2001

A membrana final consiste, ao todo, em 88 módulos (Figura 19), subdivididos em 12 setores que se ramificam em 6 subsetores, gerando 6336 peças, compondo um gigantesco quebra-cabeças, que forma toda a cobertura final.

Independentemente de existirem diferentes módulos para executar esse grande laminado sintético, a solução estrutural adotada para estabilizar a forma desejada foi a mesma em todos os casos, isto é, no baricentro dos triângulos do pla-

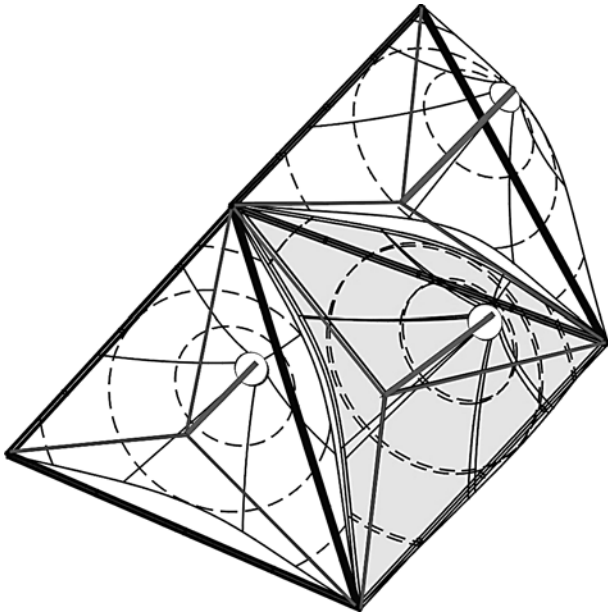


Figura 19: Módulos gráficos da cobertura

Fonte: Obata, Fidler e Patrício, 2001

no mais externo, fixaram-se mastros telescópios ligados por cabos atirantados em seus vértices.

A solução tensoestrutural se resume em cada mastro, trabalhando a compressão e apoiado nos cabos, estende-se gerando tração vertical na membrana, Figura 20.

Tomados esses conceitos e o conhecimento de tensoestruturas, não só o palco, mas todas as

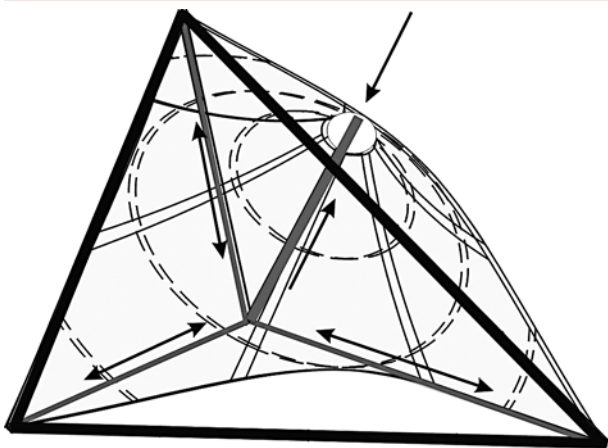


Figura 20: Esquemático da solução tensoestrutural adotada nos módulos

Fonte: Obata, Fidler e Patrício, 2001

tendas do Rock in Rio foram executadas em arquitetura têxtil e demonstram que, além de ser uma tecnologia inovadora, trata-se de uma alternativa aos sistemas estruturais convencionais.

6 Considerações Finais

Acredita-se ainda que a arquitetura têxtil esteja revestida pelo desconhecimento do meio acadêmico e profissional, embora sejam estruturas de extrema beleza estética, agregadas à leveza e à capacidade de vencer grandes vãos.

No entanto, as aplicações em coberturas de eventos propiciam não só uma mostra, mas também uma configuração de avanços com que poucos arquitetos e engenheiros ousaram se envolver até o momento, ou mesmo não utilizaram da tecnologia construtiva das arquiteturas têxteis.

Dessa forma, as coberturas de eventos, por serem, normalmente, direcionadas a grandes públicos, compreende-se o fato de exigirem grandes vãos e necessitarem de agilidade de montagem e desmontagem, e de serem aptas à aplicação de arquiteturas têxteis. Portanto, induzem um aumento de seu uso e uma busca pelo conhecimento, o que poderá resultar no crescimento dos estudos e de incrementos tecnológicos, exigidos tanto para os materiais empregados nesse tipo de estrutura quanto pelos parâmetros projetuais.

Citem-se, ainda, as próximas ações do poder público para reformas e modernização de estádios que aquecerão o mercado das arquiteturas têxteis, tendo em vista a aprovação do Brasil como sede para a copa de 2014.

Fabric architecture: applications in coverings of events

The aim of this article is to present the systems in fabric architecture and examples of cover-

ings of spaces for events of the whole type. For this focus, this article is structured firstly by the context of the fabric architectures as a scheme of the evolution and applications in the construction of coverings for events. After this, there are the basic conditions and technical ways for application of the fabric architectures for covering spaces. The article is concluded with examples and descriptions of the application of this architectural typology and considerations that justify the adherence of this system for the construction of coverings for spaces of events.

Key words: Covering of events. Fabric architecture.

Nota

- 1 Segundo o Código de Obras de São Paulo (PMSP, 2008), são obras de caráter não permanente, passíveis de montagem, desmontagem e transporte, tais como circos, galpões infláveis, caixas automáticas implantadas em imóvel distinto da agência bancária, cabines de recepção de filmes, “quiosques” para venda de lanches etc.

Referências

- ARCHIGRAM.NET. Disponível em: http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city_4.html. Acesso em: 5 jul. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto armado, Rio de Janeiro, 2003.
- DREW, P. Tensile Architect. Granada Publishing. London, 1979.
- ENGEL, H. Sistemas Estructuras. GG. Barcelona, 1997.
- EXPO 2000. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000. Acesso em: 4 jul. 2007.
- INFLATE.CO.UK. Design and Manufacture of Inflatable Structures and Architecture. Disponível em: <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html>. Acesso em: 4 jul. 2007.
- KARELIN, A. The Tensile Steel Lattice Shell of the Oval Pavilion by Vladimir Shukhov, 1895. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_Shukhov. Acesso em: 4 jul. 2007.
- LEWIS, W. J. Lightweight tension membranes – an overview, 1998.
- NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM. Santos-Dumont rounding the Eiffel Tower while in the process of winning the Deutsch prize on October 19, 1901. Taken from the archives of the Smithsonian Institution. SI Neg. No. 85-3941. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Dirigivelsantosdumont.jpg>. Acesso em: 22 jun. 2007.
- OBATA, S. H.; FIDLER, N.; PATRÍCIO C. L. Tenso-estruturas em tendas. Revista Engenharia FAAP, São Paulo, n. 42, 2001.
- OLIVEIRA, M. B. Estudo das estruturas de membrana: *uma abordagem integrada do sistema construtivo, do processo de projetar e dos métodos de análise*. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001.
- OTTO, F.; RASH, B. Finding Form. Menges. Munique, 1992.
- PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Código de Obras e Edificações. Disponível em: http://www2.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/habitacao/legislacao/codigo_de_obras_e_edificacoes/0004. Acesso em: 24 out. 2008.
- ROLAND, C. Frei Otto: *estructuras*. GG. Barcelona, 1989.
- STACH, E. Lightness. Form-Optimized Membrane Structures. In: 1o. Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 38, São Paulo, maio 2002.

Recebido em 16 maio 2008 / aprovado em 3 nov. 2008

Para referenciar este texto

OBATA, S. H. Arquitetura têxtil: aplicações em coberturas de eventos. *Exacta*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 259-271, jul./dez. 2008.

