

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

SASQUIA HIZURU OBATA

CONDICIONANTES PROJETUAIS E TECNOLÓGICOS:

**ARQUITETURAS TÊXTEIS E TENSOESTRUTURAS
COMPLEXAS**

SÃO PAULO

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

Condicionantes projetuais e tecnológicos:
arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas

Tese apresentada à Universidade Presbiteriana Mackenzie como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração *Arquitetura Moderna e Contemporânea: Representação e Intervenção*, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Egídio Alonso.

SASQUIA HIZURU OBATA

SÃO PAULO

2010

O12c Obata, Sasquia Hizuru

Condicionantes projetuais e tecnológicos: arquiteturas têxteis e
tensoestruturas complexas / Sasquia Hizuru Obata – 2010.

418 f. : il. ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.

Bibliografia: f. 379-387.

SASQUIA HIZURU OBATA

Condicionantes projetuais e tecnológicos:

arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana
Mackenzie, como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutora

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

Dr. Carlos Egídio Alonso
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Dr. Wilson Flório
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Dra. Anália Maria Marinho de Carvalho Amorim
Universidade de São Paulo

Dr. Luis Antonio Jorge
Universidade de São Paulo

Dra. Célia Regina Moretti Meireles
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Dedico este trabalho a meu esposo que me permito adjectivá-lo de meu amor, meu companheiro, meu amigo e meu sócio nas tantas exigências desta vida. Amor de virtudes estratégicas como a paciência, a generosidade e a honestidade do Amor Forte e Verdadeiro para que o embate a cada parte se conclua em aperfeiçoamento e certeza da busca para a então felicidade.

Aos meus familiares e aos meus sobrinhos por me permitirem enfrentar as partes do se criar e criar-se.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. Carlos Egídio Alonso, ou melhor, ao Carlão, por sua orientação e preocupação para que o melhor fosse realizado, através dos certos comentários e análises, além das revisões do conteúdo e do desenvolvimento.

Aos Professores das disciplinas cursadas como créditos para a conclusão deste doutorado, que contribuíram para minha formação e muito mais, com foco no sentir e viver a arquitetura e o urbanismo, resultados somente possíveis pela docência sob robustos conhecimentos e na habilidade de formarem uma engenheira que sou em ser a arquitetar-se.

A minha incentivadora prof. Josefa Alvarez Alvavez, que como entrega de uma tarefa focou-me a concluir de fato meus estudos e decidir-me pela Instituição Mackenzie e, nesta que já fora minhas intenções vestibulandas do passado me foi dada a âncora da escolha pela professora decana Dra. Sandra Dotto Stump, que com total desprendimento de seu alto cargo me descreveu o programa que agora concluo.

O apoio profissional constante da prof. Leny Leitão e ao prof. Marcos Simões pela colaboração nas atividades revisões e finalizações para entrega deste trabalho.

Pela constante disponibilidade em me auxiliar e ensinar não só os conceitos e teorias arquitetônicas, como também pela disponibilidade de conviver e de ser não só ombros, mas de ser verdadeira no dividir momentos, agradeço a amiga Cristina Romcy.

Ao Ferdinando, meu amiguinho fiel nesta segunda empreitada e já preparado para quem sabe a terceira, com sua companhia incondicional, chamando a atenção para as pequenas paradas e guardião das infinitas madrugadas de dúvidas, traduções e estudos.

A Fernanda da secretaria de Pós-Graduação, aos demais colegas e todo corpo de serviços e funcionários da Universidade Mackenzie, que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Finalmente agradeço ao decanato do Programa de Pós Graduação da Universidade Mackenzie que me concedeu a bolsa de estudos, tão cara e de fato tão necessária que foi frente a tantas mudanças da atuação profissional- docente e das atribuições da vida.

**Condicionantes projetuais e tecnológicos:
arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas**

RESUMO

As arquiteturas têxteis e tensoestruturas, caracterizadas como construções leves representam formas eficientes de construção e geram grande impacto pela forma, pela flexibilidade e pela tecnologia embarcada que já permitem defini-las como equipamento ou pele ativa de edifícios.

A difusão ampla dos programas computacionais, o desenvolvimento dos materiais e as novas funções impostas às construções representam um grande impacto sobre os procedimentos de conceber e projetar as arquiteturas têxteis e as tensoestruturas edificadas.

Sob este contexto, este trabalho tem por objetivo apresentar o estudo investigativo das atividades de projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas buscando como resultado a identificação das condicionantes das atividades de projetos e as condicionantes formais deste tipo de tecnologia construtiva, bem como, a partir das arquiteturas têxteis e tensoestruturas já consolidadas, constatar que a delimitação de condicionantes para as têxteis e tensoestruturas complexas resulta da própria conjuntura de absorção da tecnologia pelos atores do projeto e por condicionantes tecnológicas e projetuais que afastam estas das tendas e arquiteturas têxteis simples e tensoestruturas simples.

Apresenta-se também neste trabalho uma proposta de avaliação e reconhecimento entre as complexidades formais das arquiteturas têxteis e tensoestruturas através da aplicação de uma estrutura de indicadores de atendimentos a condicionantes projetuais e tecnológicos.

**Project and technological parameters:
complex textile architectures and tenso-structures**

ABSTRACT

The textile architectures and tenso-structures are characterized as lightweight constructions, represent efficient forms of construction and generate great impact on the form, flexibility and technology embedded that already begin to be defined as equipment or activated-skin of buildings.

The wide diffusion of software, the development of the materials and the new functions imposed to the constructions represent a great impact on the procedures to creating and to projecting the textile architectures and the tenso-structures.

Under this context, this presented work has the objective to demonstrate an investigative study of project activities of the textile architectures and tenso-structures with results like project activities parameters and the formal parameters about this constructive technology. At the same time, observing the textile architectures and tenso-structures already consolidated, the research points that the complexity of textile architectures and tenso-structures is a consequence of the conjuncture of the absorption technology by the project players and from the parameters of technology and project, which that divides them between simple and complex textile architectures and tenso-structures.

This work proposes a methodology for the recognition of formal complexities of the textile architectures and tenso-structures through the application of indicators structured to evaluate the project and technology parameters.

SUMÁRIO

Resumo

Abstract

Introdução 10**CAPÍTULO 1 16****1. Contexto das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas 16**

1.1 Definições sobre Arquitetura têxtil e tensoestrutura 21

1.1.1 Arquitetura têxtil e tensoestrutura - ramo das estruturas de membranas e estruturas leves 21

1.1.2 Arquitetura têxtil e tensoestrutura – subsistema de um edifício..... 25

1.2 A contemporaneidade das arquiteturas têxteis e tensoestruturas 30

1.3 As Aplicações das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas..... 33

1.4 Classificação das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas 59

1.4.1 Classificações geométricas 60

1.4.2 Classificação tradicional..... 64

CAPÍTULO 2 68**2. Os Materiais de Vedação/Fechamento das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas 68**

2.1 Têxteis Arquitetônicos 69

2.1.1 Fibras 69

2.1.2 Cobertura..... 70

2.1.3 Filmes Protetivos 71

2.2 Filmes e Lâminas 71

2.3 Características técnicas básicas para escolha do material..... 73

CAPÍTULO 3 75**3. O Projeto para as Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas..... 75**

3.1 As Atividades Projetuais das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas..... 75

3.1.1 O projeto sob o enfoque de engenharia e construção 77

3.1.2 As atividades do projeto sob o enfoque colaborativo entre engenharia e arquitetura 81

3.1.3 A busca da forma como atividade de definição do projeto.....	85
3.2 A Tecnologia Computacional e os Projetos das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas.	93
3.2.1 O propósito da análise computacional nos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas	97
3.2.1.1 Propósito da análise computacional para os projetos de arquitetura	97
3.2.1.2 Propósito da análise computacional para os projetos de engenharia.....	100
3.2.2 O uso dos programas generalistas.....	103
CAPÍTULO 4	107
4. Os Condicionantes Projetuais das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas e sua Compatibilização	107
4.1 Condicionante quanto ao relacionamento entre profissionais para os projetos	108
4.2 Condicionantes quanto à forma de desenvolvimento das atividades de projeto	109
4.3 Compatibilidade dos condicionantes das atividades projetuais das arquiteturas têxteis e tensoestruturas	112
CAPÍTULO 5	117
5. Os Condicionantes Formais para o Projeto das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas.....	117
5.1 Condicionantes visuais e de forma.....	117
5.1.1 Compatibilidade Preliminar Através de Disposições Construtivas: escolha do material.....	138
5.1.1.1 Orçamento ou Custo Preliminar do tipo de material da membrana	140
5.1.1.2 Disposição Construtiva em Relação aos Tipos dos Principais Materiais Disponíveis.....	145
5.2 Condicionantes de mobilidade.....	180
5.2.1 Disposições construtivas e de escolha da mobilidade.....	184
5.2.1.1 Obras Conversíveis.....	184
5.2.1.1.1 Exemplos de Obras Conversíveis	186
5.2.1.1.2 Novas Concepções para Obras Conversíveis	199
5.2.1.1.3 Disposições Construtivas para Obras Conversíveis.....	201
5.2.1.2 Obras Retrâteis	202
5.2.1.2.1 Exemplos de Obras Retrâteis.....	202
5.2.1.2.2 Novas Concepções para Obras Retrâteis	205
5.2.1.2.3 Disposições Construtivas para Obras Retrâteis	206
5.3 Condicionantes técnicos	207

5.3.1 Condicionantes de montagem e instalação no local de uso das arquiteturas têxteis e tensoestruturas	208
5.3.2 Condicionantes específicos do sistema construtivo das arquiteturas têxteis e tensoestruturas	217
5.3.2.1 Membrana com membrana.....	219
5.3.2.2 Membrana com cabo.....	225
5.3.2.3 Conexão e contato do tecido com uma borda rígida ou término de membrana em apoios estruturais barriformes.....	228
5.3.2.4 Conexão de fixação cabo-cabo	249
5.3.2.5 Conexões finais dos cabos ou terminações dos cabos	260
5.3.2.6 Conexão entre cabo e ancoragem de apoio ou de fixação de cabos em apoios	270
5.3.2.7 Conexão de mastros principais e topo	282
5.3.2.8 Conexão de mastros e base de apoio	294
CAPÍTULO 6	299
6. Os condicionantes projetuais e técnicos de caracterização das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.....	299
6.1 Atendimento de requisitos e escolha dos condicionantes de projeto.....	300
6.2 Verificação de atendimento de condicionantes de projeto através da análise de obras consolidadas – requisitos de qualidade da obra atendidos.....	304
CAPÍTULO 7	354
7. Conclusões e considerações finais	354
ANEXO	360
8. “Anexo A”: Panorama de aplicações.....	360
REFERÊNCIAS	379
9. Ordenação das Referências	379
LISTAS	i
Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	xxix

Introdução

O ramo das construções leves, no qual se inserem as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, é muito amplo e vem passando por evoluções contínuas, que incidem de modo progressivo, nas mais diversas atividades de concepção de projeto, construção, execução e manutenção da edificação.

Preliminarmente pode-se destacar que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas possibilitam, pela própria natureza, a geração de formas não tradicionais e complexas pelo uso de materiais específicos, como as membranas, os têxteis e os filmes, e pela aplicação de novos materiais que conferem uma formação topológica singular.

Esta aplicação e configuração e aplicação de materiais de alta flexibilidade formal nas arquiteturas têxteis e tensoestruturas progressivamente evoluiu permitindo uma nova tecnologia construtiva, transpondo estas construções do patamar de construções temporárias para de caráter permanente. Agregando conceitos de flexibilidade ambiental quanta à pequena quantidade de material que utiliza, tem se caracterizado pelo aproveitamento da iluminação natural pela escolha da translucidez ou mesmo pela transparência, diversificando as cores; na última década, através de uma rápida evolução, tem se caracterizado como equipamentos de fechamento ou de pele ativa em inúmeros projetos realizados.

Recentemente, a característica de pele ativa foi consagrada pelo Centro Aquático de Beijing, agregando as transparências dos filmes poliméricos de fechamento à condição de estrutura pneumática complexa, ativada e controlada por sensores, conjugando o condicionamento do espaço interno com uma maneira singular de captar energia para o aquecimento da piscina.

Porém, o desenvolvimento de simples construções temporárias para formas complexas, ou mesmo equipamentos complexos de vedação, de caráter permanente,

provocam impactos sobre as tecnologias construtivas, as formas projetuais e ocasionando uma nova maneira de representação dessas construções.

Essas evoluções e transformações podem ser entendidas sob diversos pontos de vista; como o resultado do desenvolvimento e dos anseios tecnológicos que podem ser atribuídos à própria vontade humana voltada à inovação, pela obtenção de construções de alto apelo arquitetônico, estético, ambiental, suplantando as engenhosidades referenciais temporais; ou como um contexto que se justifica pela maior compreensão das ciências e pelo uso cada vez mais intenso dos sistemas computacionais, levando às ações de projetos maior velocidade de adequação e compatibilidade, inseridas em processos de maior precisão e de desenvolvimento de novos materiais e de novos processos cognitivos.

Enquanto impacto sobre as formas e meios de produção, as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas têm ocasionado mudanças de paradigmas nas metodologias de projetos, tanto para engenheiros quanto para arquitetos, ou mesmo para uma equipe coordenada de profissionais que realizam confrontos sobre hipóteses e possibilidades dos programas computacionais. Caracterizados como um instrumental inovador, esses programas agregam novas ferramentas que são ativas no ato de pensar e possibilitam novas concepções de formas complexas; os instrumentos tradicionais não permitem ou não se apresentam como suportes suficientes para a concepção destas novas formas e espaços de caráter tão complexo.

Com relação a novas tecnologias construtivas, pondera-se neste trabalho o desdobramento nas arquiteturas têxteis e tensoestruturas de formas simples para formas complexas, que podem conduzir as edificações à adoção de fechamentos e vedações, como equipamentos ou peles ativas.

Portanto, a diretriz seguida neste trabalho é de ordem qualitativa, indagando o como deve ser essa nova postura projetual e como melhorar sua compatibilidade com as características formais das arquiteturas têxteis ou tensoestruturas complexas. Com

esse objetivo, busca-se um melhor entendimento dos paradigmas singulares desse tipo de arquitetura, reconhecendo a íntima relação entre forma e tecnologia computacional e, nesse aspecto, qualificando a responsabilidade integradora desses profissionais na elaboração de projetos.

Como atividades-problema desta tese, destacam-se:

- Nas atividades de desenvolvimento de projeto, determinar quais condicionantes provocam impactos na sua maneira de concepção e que possam permitir uma maior compatibilidade entre a forma arquitetural gerada e a sua estrutura/tecnologia, ou seja, determinar o impacto das tecnologias computacionais na geração de uma nova postura projetiva e construtiva.
- Nesse sentido, indagar sobre as mudanças de paradigmas através dos quais a computação deixa de ser uma ferramenta exclusivamente representativa para agir enquanto parte ativa do processo projetivo.
- Determinar condicionantes formais capazes de qualificar determinadas posturas projetuais como inerentes às arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

Justifica-se o estudo destes pontos na medida em que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas hoje se apresentam com um grande potencial construtivo, não apenas no Brasil como em outros países; despertam a atenção por seu conceito de leveza e flexibilidade ao permitirem grandes vãos. Enquanto tecnologia construtiva pode agregar conceitos tecnológicos aderentes às mais recentes exigências ambientais que, por sua vez, requerem, de profissionais arquitetos e engenheiros, o conhecimento e a criação de novas operações projetuais e os meios para sua evolução. Justifica-se também por propor mecanismos que sejam hábeis para a amplificação do uso desses tipos de arquiteturas, desenvolvendo o entendimento quanto aos seus condicionantes e quanto a uma singular metodologia de projeto.

Além destas justificativas específicas, cabe salientar que a tecnologia construtiva empregada nas arquiteturas têxteis e tensoestruturas se caracteriza como um dado

construtivo em que o advento da tecnologia da computação reformula os procedimentos de projeto, embora se constate ainda a pouca incidência, em quantidade e em qualidade, desse tipo de arquitetura no Brasil. Nesse sentido, são identificadas ainda poucas escolas de arquitetura que desenvolvem de forma sistemática este conteúdo projetual. Constata-se também uma situação de desconhecimento por parte de grande número de profissionais sobre esses tipos de construções.

Para atingir tais objetivos, o trabalho tem como metodologia o estudo do contexto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e dos materiais comumente empregados, e também se apóia em uma investigação sobre a compatibilidade de parâmetros de projetos. Em termos de atividades desenvolvidas, a metodologia suportada foi de revisão da literatura, frentes de estudos através de consultas a teses e dissertações pela própria tecnologia ser recente, estudos de projetos concluídos e em andamento através de consultas em páginas de empresas envolvidas, vista e análise crítica de obras visitadas.

Comenta-se que as diretrizes tomadas e que se constituíram na metodologia de estudos deste trabalho partiram de uma série de consultas e conversas com profissionais projetistas sem a formalização e identificação de entrevista dentro do programa de doutorado, período de 2001 e 2002, bem como, visitas as empresas desenvolvedoras de obras com membranas e têxteis no Brasil. Esta fase é declarada pela necessidade de construção e alinhada à atividade docente desta autora nas disciplinas de sistemas estruturais e tecnologias construtivas desde 1992 nos cursos de arquitetura e urbanismo e engenharia civil.

Além da Introdução, das Considerações Finais e das Referências bibliográficas e iconográficas, este trabalho é constituído pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Contexto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

Contempla a contemporaneidade das arquiteturas e tensoestruturas, suas aplicações e classificações.

Capítulo 2: Os materiais de vedação/fechamento das arquiteturas têxteis e tensoestruturas. Aqui são apresentados os materiais têxteis, filmes e lâminas com suas características básicas para a escolha de formas estruturadas, apontando para as diretrizes de outros estudos; apresenta-se uma tabela contendo as características principais desses materiais. Ressalta-se que este capítulo constitui uma referência básica para a apresentação de disposições construtivas e de escolhas entre os diversos materiais que são desenvolvidos no capítulo 5.

Capítulo 3: O Projeto para as Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas.

O intuito deste capítulo é apresentar uma leitura sobre as atividades de projetos, optando-se pelo entendimento do desenvolvimento das atividades sob o enfoque de engenharia e construção, e quando essas atividades possuem um processo colaborativo entre engenharia e arquitetura na busca da concepção e definição das possibilidades formais. O impacto da tecnologia computacional também é tratado neste capítulo através da descrição dos programas computacionais disponíveis.

Capítulo 4: Os Condicionantes Projetuais das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas e sua Compatibilização.

Tendo abordado as atividades de projeto das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, este capítulo tem o intuito de verificar como as relações entre profissionais são desenvolvidas em termos dos relacionamentos e a maneira que essas atividades acontecem. Esta leitura de relações é caracterizada como compatibilidades das atividades projetuais deste sistema construtivo e busca apresentar o contexto e a conjuntura que os projetos podem ocorrer em face da complexidade do produto ou características profissionais dos atores destes empreendimentos.

Capítulo 5: Os Condicionantes Formais para o Projeto das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas.

Objetiva estruturar os requisitos projetuais que podem não apenas caracterizar as formas das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, mas também como dados referenciais para tomadas de decisões projetuais.

Dessa forma, este capítulo apresenta conceitos que podem colaborar com a inteligência projetual das tensoestruturas e arquiteturas têxteis e que são muitos comuns a outras formas construtivas, mas que, neste caso específico, configuravam-

se como informações difusas e descoordenadas que necessitavam de uma análise quanto à construção de novos paradigmas formais.

Esta abordagem foi estruturada através de condicionantes formais classificados como visuais e de forma, de mobilidade e técnicos.

Capítulo 6: Os condicionantes projetuais e técnicos de caracterização das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.

Voltado aos objetivos deste nosso trabalho, este item configura-se pela construção de indicadores qualitativos de atendimentos de requisitos e de escolhas de condicionantes tendo como referência todo o conjunto de especificações e obras analisadas nos capítulos anteriores. Como forma de prova de delimitação da complexidade das arquiteturas têxteis e tensoestruturas pelas condicionantes, este capítulo objetiva apresentar a aplicação dos indicadores qualitativos propostos em algumas obras vistoriadas para este fim.

Mesmo com as diversas frentes de estudos acadêmicos e profissionais que apontam para propostas que identificam as atividades projetuais para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, nota-se que ainda citam ou mesmo indicam sua composição e condicionantes de forma precária. O mesmo se dá sob os enfoques possíveis e sob os enfoques dos campos de atuação profissional. Tentar indicar caminhos para superar essa precariedade é ao que se propõe este trabalho.

Assim, quanto ao estudo das construções leves na forma das arquiteturas têxteis e tensoestruturas houve a preocupação de realizar novas abordagens sobre as indicações de FREI OTTO e de BODO RASCH (1995). De fato, acreditamos que os estudos destas obras constituem o princípio, o foco e meta para o futuro das construções eficientes, pois se deve ter um ponto de inversão de investimentos de pesquisas e estudos por parte dos arquitetos e engenheiros. Parece que, por enquanto, esqueceram como pesquisar estas tipologias construtivas e geralmente, estes profissionais se fixam na produção das tecnologias correntes e tradicionais da construção e na procura por processos de suas mudanças na maneira de produzi-los.

CAPÍTULO 1

1. Contexto das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

Tanto no meio técnico como no meio acadêmico, as arquiteturas têxteis e tensoestruturas atualmente se destacam enquanto marcos construtivos no cenário das construções de grandes vãos, ganhando alcunhas diferentes: “estruturas em membranas” e “estruturas leves”. Porém, as arquiteturas têxteis e tensoestruturas têm seu advento e desenvolvimento relacionados ao próprio desenvolvimento humano, no sentido do uso e da criação de espaços, como as tendas utilizadas nos desertos, as habitações temporárias e hospitais de campanhas emergenciais. Destaca-se também a relação das arquiteturas têxteis e tensoestruturas no sentido do próprio avanço das tecnologias mecânicas e equipamentos de vãos.

Visando a criação de espaços habitáveis e de infra-estruturas, podemos acusar a utilização de fibras trançadas e, depois, de materiais têxteis em tendas e pontes, como ilustrados nas Figuras 1.1, 1.2. e 1.3.

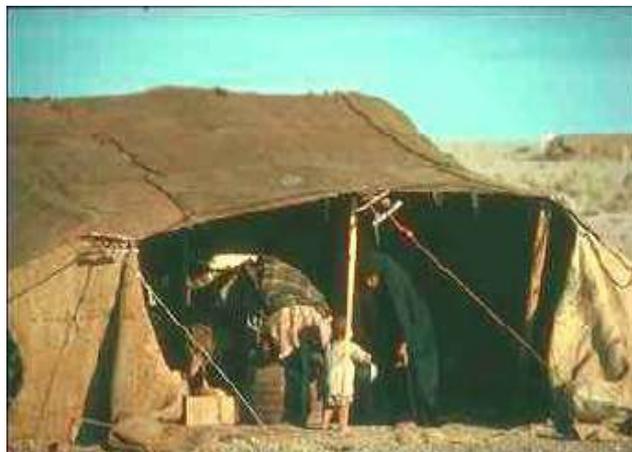


Figura 1.1 Tenda Negra de Povos Nômades (OLIVEIRA, 2001).

No sentido do desenvolvimento das tecnologias mecânicas pode-se citar o desenvolvimento das máquinas de transporte e o das construções engenhosas, anotadas dinamicamente desde o Renascimento e reformuladas pelo novo

pensamento criado na era industrial e ao final do século 19 através dos balões e dirigíveis das Figuras 1.4 e 1.5.

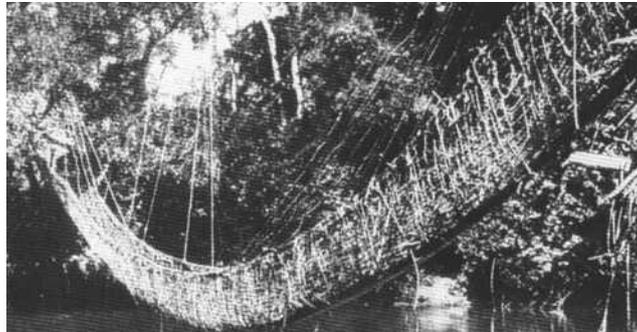


Figura 1.2 Ponte suspensa feita de cordas (OTTO e RASCH, 1995).



Figura 1.3 Rede de Pesca em forma de uma tenda (OTTO e RASCH, 1995).

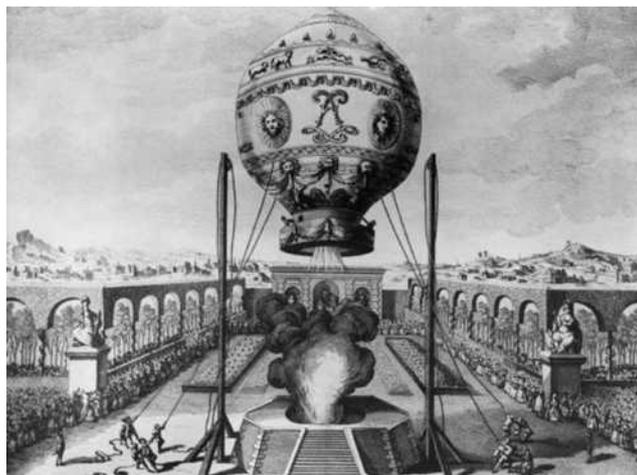


Figura 1.4 Primeiro Balão Tripulado no ano de 1783 em linho dos Montgolfier – fabricantes de papel “Canson” (disponível em <http://sv.wikipedia.org/wiki/Montgolfier> em 05/07/2007).



Figura 1.5 Dirigível N° 6 de Alberto Santos Dumont que venceu o prêmio Deutsch 1901 (disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Santos_Dumont em 05/07/2007).

Mas somente no início do 19º século que, pela primeira vez, se pôde reconhecê-las como sendo estruturas leves e realmente gerando ações de impacto da engenharia sobre a arquitetura, ações que podem ser caracterizadas como contínuas no desenvolvimento de sistemas estruturais novos e que se apresentam aos arquitetos como uma nova inteligência construtiva (STACH, 2002).

Tal fato é justificado pela maior compreensão das ciências, levando às ações de projetos adequados e maior precisão, desenvolvimento de materiais novos e de novos processos.

Assim, pelo lado estrutural, historicamente as construções vêm passando por uma evolução que pode ser caracterizada pelo desejo do homem pelo que é ousado, inovador, que se traduz pela redução da relação entre a carga permanente da estrutura e a carga acidental portante.

Esta relação de redução entre a carga permanente da estrutura e a carga acidental portantes é destacada nas arquiteturas têxteis, nas quais foi reduzida mais que cem vezes quando comparadas às obras antigas, de caráter maciço e de valor muito maior que um.

Esta relação demonstra que o avanço da tecnologia que tem como contrapartida as constantes pesquisas das propriedades de materiais de alta-resistência associadas aos sistemas estruturais onde as forças de tração são preponderantes – as tensoestruturas.

Quanto ao esforço de tração, há a vantagem estrutural por as tensoestruturas trabalharem por esforços puros de tração e sem a necessidade de verificações e dimensionamentos de efeitos de segunda ordem por flambagem, tornando as construções mais leves.

A razão da vantagem comparativa dos sistemas leves é devida pela instabilidade inerente aos sistemas maciços submetidos aos esforços de compressão e flexão, vantagem que permite o avanço de aplicações como a tendência da utilização das estruturas leves nos sistemas mecânicos de alto desempenho estrutural (MAJOWIECKI, 2002).

As arquiteturas têxteis ou coberturas com membranas figuram como o estado da arte das construções para grandes vãos, onde também são indicadas as seguintes tipologias segundo MAJOWIECKI (2002): estruturas tridimensionais ou espaciais, estruturas de cabo, estruturas híbridas como os sistemas de tensegrity, como os da Figura 1.6, e/ou sistemas de viga-cabo na Figura 1.7, e as estruturas retráteis e conversíveis, como podemos verificar na Figura 1.8.

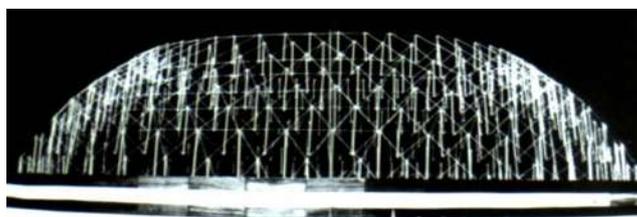


Figura 1.6 Maquete da cúpula geodésica criada por Richard Buckminster Fuller em 1940 sob o emblema de edificações “energetic-synergetic geometry” (COLUMBIA UNIVERSITY, 2001).



Figura 1.7 Sistema Barra-Cabo do Utica Memorial Auditorium em Nova York (COLUMBIA UINIVERSITY, 2001).

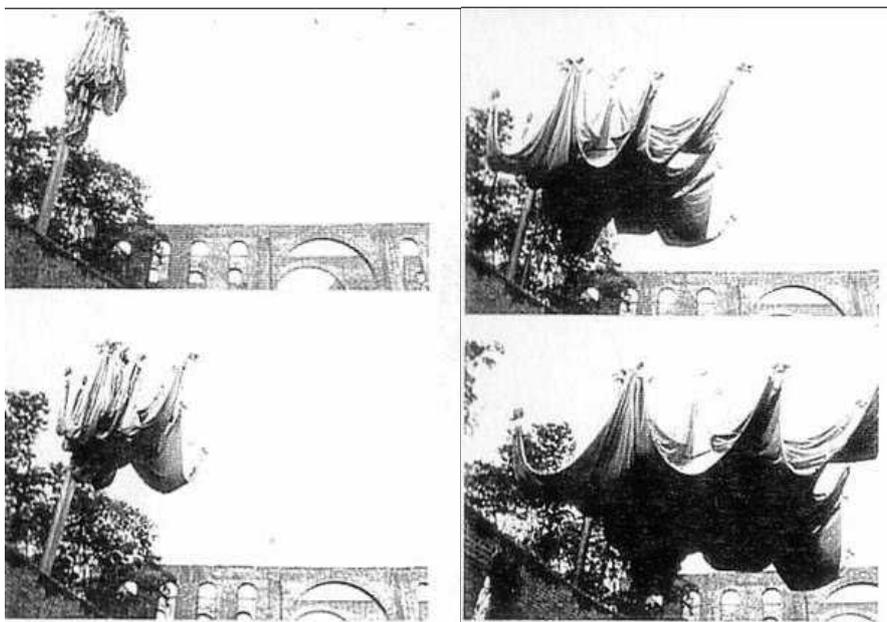


Figura 1.8 Estrutura conversível projetada por Frei Otto, cobrindo em 4 minutos cerca de 1000m² na ruína de Stifskirche, na Alemanha (OTTO e RASH, 1995).

Ainda, segundo NOVÁK (2002), as estruturas de membrana participam da meta de engenheiros e arquitetos de projetar estruturas atendendo às exigências de funcionalidade, da estética e a exigência crescente quanto à durabilidade, visando assegurar uma transferência de carga eficiente e, conseqüentemente, mais econômica. Sem dúvidas, elas são as mais eficientes, vencendo uma área máxima com um peso mínimo.

1.1 Definições sobre Arquitetura têxtil e tensoestrutura

Este subcapítulo se justifica por delimitar os objetos de estudo através de definições relacionadas à tecnologia construtiva como ramo das estruturas leves e estruturas de membranas e como elemento da construção civil.

Como elemento da construção civil¹ entende-se como a oportunidade inclusive didática de poder relacionar conceitos já natos do setor construtivo a um elemento que apesar de presente desde os primórdios hoje se configura em uma nova forma e, portanto um novo elemento, que não possui ainda uma definição formal e normatizada.

Destas circunstâncias entende-se que este trabalho pode colaborar para a de construção de uma definição formal e muito mais, neste momento, para delimitar como dito anteriormente o objeto de estudo.

1.1.1 Arquitetura têxtil e tensoestrutura - ramo das estruturas de membranas e estruturas leves

Para PAULETTI (2003) as estruturas de cabos e as de membranas são estruturas de comportamento estrutural flexível e, estão inseridas no ramo das estruturas leves e deste ramo ao sub-ramo das estruturas retesadas, ou seja, esticadas.

Para as estruturas em cabos e membrana o mesmo autor combate o termo tensoestrutura mesmo sendo já consagrado e difundido. Justificando pela incoerência de ser um termo que comporta o anglicismo e a correlação incorreta da tradução da palavra “tension”, que é tração e não tensão e também a palavra tensão não corresponde ao sistema específico das estruturas retesadas e sim um estado que toda e qualquer estrutura se encontra em sua função.

¹Pelo Grande Dicionário Larousse Cultural da Língua Portuguesa (Nova Cultural, 1999) a construção define-se por um conjunto de técnicas que permitem construir e também como um conjunto de elementos empregados na construção e no sentido geral conjunto que diz respeito à construção.

Mas atualmente constata-se que o termo tensoestrutura já se encontra arraigado² tanto para as coberturas com tecidos tensionados como para estruturas de membranas e cabos, o que leva a sua adoção como identificação neste trabalho.

Já o termo arquitetura têxtil neste trabalho, justifica-se pela necessidade premente desta tipologia e sistema construtivo ser entendido como uma obra da construção civil que exige de fato as atividades projetuais arquitetônicas e não somente o estudo e projeto sob o caráter de estrutura tracionada – tensoestrutura.

Como construção do conceito que envolve as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, inicia-se a seguir a definição do ramo principal a que estão inseridos estes sistemas construtivos – as estruturas leves e, finalmente procura-se formalizar uma definição aplicada a este trabalho.

As definições das estruturas leves são intrinsecamente relacionadas à compatibilização da forma e otimização estrutural, a saber:

- As estruturas leves são caracterizadas pela baixa relação entre sua massa e a carga aplicada. Esta relação é obtida por processos de otimização. Incluem-se nesta categoria as estruturas tensionadas, treliças e grelhas, as estruturas pneumáticas suportadas por ar e infladas, as estruturas de rede de cabo, as estruturas em barra-cabo (também chamada de tensegrity), as cúpulas geodésicas e as cascas em grelhas (LSA - LIGHTWEIGHT STRUCTURES ASSOCIATION, 2003a).
- As estruturas leves e a definição de sua forma são os temas críticos e de grande relevância, dentro da evolução da tecnologia construtiva atual. Neste contexto, uma das muitas e possíveis definições de estrutura leve surge “pelo aperfeiçoamento da capacidade portante da estrutura sem elevação de seu peso próprio” ou, de uma forma mais teórica, “a otimização do caminho das forças para a redução do volume construído” STACH (2002).

² Cita-se como arraigado, pois o mesmo o estudioso PAULETTI indica este termo em seu site e atualmente quando da busca de definição e conteúdos na internet, o termo tensoestrutura já apresenta muitas citações e em uma busca no site GOOGLE (14/11/2008) resulta aproximadamente 1.040 links para o termo tensoestrutura, por exemplo. Fato que não ocorria há cinco anos e muito menos a cerca de dez anos quando a busca era possível somente por termos em inglês como membrane, light structure, entre outros.

- As estruturas leves podem ser definidas pelo estado natural de tensões de tração ou compressão pura, ou seja, utilizam-se da forma para eficiência física. Isto justifica a equivalência da menor quantidade de material para ser construída e, portanto, podendo ser considerada como um partido construtivo ecológico, uma vez que gera a economia de recursos que podem ser destinados às gerações futuras (LSA, 2003b).

Da mesma forma que ocorre com as definições pode-se notar nas descrições a seguir, as tipologias de estruturas leves envolvem a membrana como elemento de cobertura ou mesmo como elemento estrutural do sistema.

Tais descrições são dadas pelo LSA (2003a) que procura divulgar a definição de cada tipologia das estruturas leves visando uma única identificação técnica pelo mercado que são:

- Estrutura tensionada ou tracionada: caracteriza-se pelo sistema de tracionamento da membrana normalmente por cabos e/ou cordas, que garante a estabilidade e apoio da estrutura;
- Estrutura treliçada ou grelha: caracterizada pela associação adequada de barras sem necessariamente a associação com uma membrana ou um capeamento, porém estes últimos podem contribuir para a estabilidade estrutural;
- Estrutura pneumática suportadas pelo ar: uma estrutura que é feita de membrana apoiada pela pressurização de seu interior e, que mantém a membrana conformada e estabilizada;
- Estrutura pneumática inflada: caracteriza-se pela estrutura que associa peças em membranas pressurizadas que sustentam outras peças e membranas. Também se inclui membranas retráteis formadas por camadas de bolsas infladas que se apóiam em arcos rígidos ou vigas;
- Estrutura de rede de cabos: trata-se de cabos espaçados ortogonalmente uns aos outros, formando uma superfície – rede que geralmente recebe como cobertura as membranas;
- Estrutura cabo-barra ou tensegrity: uma estrutura plana de forma curva cobertas normalmente com membranas e composta por uma configuração

coerente onde os elementos-barras estão em compressão descontínua, pois seus extremos são associados cabos;

- Cúpula geodésica: estrutura esférica, casca de simples ou dupla curvatura composta por hexágonos e pentágonos e cobertas geralmente com membranas. Estas estruturas foram originalmente patenteadas por Richard Buckminster Fuller;
- Casca em grelha: superfície curvilínea (sinclástica ou anticlástica) composto de elementos lineares curtos que associados formam quadrados, paralelogramos e/ou triângulos podendo ser cobertas com membranas. Podem gerar superfície de simples ou dupla curvatura e podem também apresentar cabos em seu plano para garantir a estabilidade ou para resistir a efeitos de cisalhamento.

No caso específico das tensoestruturas BERGER (1999) divide as nas seguintes tipologias:

- Estruturas apoiadas em mastros: utiliza-se de mastros únicos formando topos;
- Estruturas apoiadas por treliças: são destinadas em locais onde o apoio esteja localizado no topo através da associação de treliças;
- Estruturas apoiadas em arcos: eficientes para vãos de aproximadamente 100m, onde o arco usualmente é treliçado em aço;
- Estruturas de domos para estádios: destinadas como coberturas permanentes e de vãos grandes a muito grandes.

Conforme NOVÁK (2002) as estruturas de membrana definem-se pelo seu funcionamento perfeito e com durabilidade, exigindo parâmetros básicos como:

- As membranas só funcionarão se for tensionada e conseqüentemente estas forças devem ser definidas, bem como as deformações impostas;
- As tensões adicionais de tração acontecerão para compensar as perturbações (como sucção de vento) devidas ao carregamento;
- As membranas normalmente são protendidas através de cabos tracionados.

Para MAURIN e MOTRO (1998) as estruturas de membranas são caracterizadas por dois parâmetros fundamentais e interdependentes, uma vez que suas formas resultam do equilíbrio estabelecido pelas tensões inicialmente aplicadas:

- A forma geométrica da superfície da membrana;
- A distribuição interna das tensões.

A partir das definições originadas do ramo das estruturas leves e estruturas de membranas apresenta-se como proposta para este trabalho a seguinte descrição para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

São sistemas construtivos gerados pela associação de elementos superficiais de espessura extremamente reduzida, como membrana, pele, filme, têxtil ou tecido, estabilizados por adequado tracionamento, podendo ser suportados por elementos lineares como cabos e/ou barras ou mesmo por outros sistemas estruturais.

Mas ao que concerne o sistema construtivo que engloba as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, sabe-se que podem ser caracterizados como componentes de uma obra ou mesmo ser o edifício, mas na maioria das aplicações vem cumprindo o papel de vedação e/ou cobertura, razão do desenvolvimento do item a seguir.

1.1.2 Arquitetura têxtil e tensoestrutura – subsistema de um edifício

Dadas as definições e tipologias do item 1.1.1, percebe-se a versatilidade das arquiteturas têxteis e tensoestruturas como um sistema construtivo e sob a forte caracterização da função estrutural.

No presente item e tendo já caracterizado a membrana como elemento de fechamento e resultado da aplicação de diversos materiais de extrema esbeltez, ou de diminuta espessura, como o têxtil ou o filme, cabe o relacionamento e descrição como subsistema de um edifício, servindo como isolamento ou como divisão com exterior ou mesmo entre espaços internos de um edifício.

Para a definição proposta neste trabalho como componente de edifícios recorre-se e relacionando-se com a classificação fornecida pelo International Council for Research and Innovation in Building and Construction, CIB, Publication 64 (1982), apresentada pela Tabela 1.

TABELA 1: Classificação dos Subsistemas do edifício segundo a Norma ISO/DP6241 (CIB: International Council for Research and Innovation in Building and Construction – Publication 64, 1982).

SUBSISTEMA DE UM EDIFÍCIO		
ESTRUTURA	<ul style="list-style-type: none"> • FUNDAÇÕES • SUPERESTRUTURA 	
ENVOLTÓRIA EXTERNA	<ul style="list-style-type: none"> • SOB O NÍVEL DO SOLO • SOBRE O NÍVEL DO SOLO 	EXEMPLOS: contenções, arrimos, muros, etc.
DIVISÕES DE ESPAÇOS EXTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • VERTICAIS • HORIZONTAIS • ESCADAS 	EXEMPLOS: vedações e divisões de fachadas e coberturas
DIVISÕES DE ESPAÇOS INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • VERTICAIS • HORIZONTAIS • ESCADAS 	EXEMPLOS: paredes, pisos, vedações e divisões.
SERVIÇOS	<ul style="list-style-type: none"> • SUPRIMENTO E DISPOSIÇÃO DE ÁGUA • CONTROLE TÉRMICO E VENTILAÇÃO • SUPRIMENTO DE GÁS • SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA • TELECOMUNICAÇÕES • TRANSPORTE MECÂNICO • TRANSPORTE PNEUMÁTICO / GRAVIDADE • SEGURANÇA E PROTEÇÃO 	

A partir da Tabela 1, reconhece-se que as tensoestruturas e arquiteturas têxteis podem ser classificadas dado o uso que se comprova em:

- Divisões de espaços externos: através de vedações, divisões de fachadas e coberturas.
- Divisões de espaços internos: através de vedações e divisões.

Algumas destas aplicações conforme os usos encontram-se ilustradas no item 1.3 e no Anexo A, deste trabalho.

Como tendência em função da evolução das tecnologias e das condições materiais indica-se que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas poderão abarcar a condição de subsistemas de serviço, nos casos de:

- Controle térmico e ventilação.

- Suprimento e disposição de água.
- Suprimento de energia elétrica.
- Segurança e proteção.

Esta indicação de tendência pode ser identificada pela atual situação que os componentes de vedação e a divisão entre o meio interno e o externo, divisões entre ambientes, recebem a alcunha de pele.

A identificação da vedação ou divisão entre espaços como pele é devido ao comportamento e desempenho além da simples limitação entre espaços e vedação, portanto com funções adicionais e até funções complexas que pode ter a condição de ser isolado ou mesmo participante como elemento estrutural do edifício.

A complexidade do sistema construtivo de fechamento do edifício, como pele do edifício, dependerá das condicionantes e controles que poderá assumir como o controle térmico, acústico, luminotécnico, de interatividade como tela ativa e também da automação incorporada ao sistema construtivo.

Esta condição leva ao entendimento que vem ocorrendo uma crescente troca e transferência do sujeito dado pela tipologia do material e de ação passiva³ para a condição de elemento com comportamento ativo e de desempenho incorporado ao invólucro. Portanto o conceito de pele concerne o sentido mais amplo que a materialização das vedações e coberturas das construções vem atingindo.

Esta mudança e desenvolvimento tecnológico encontram-se caracterizados em diversos artigos que descrevem as construções em que a fachada tem conceitos tecnológicos embarcados. De modo formal indica-se que a referência utilizada neste item por esta autora foi a tese defendida por MENDONÇA (2005).

Para MENDONÇA (2005) a mudança de desempenho das vedações e coberturas tem como resultado a evolução do conceito de pele exterior e, partiu do descolamento e

³ Utiliza-se o termo “ação passiva” em correspondência ao comportamento mecânico dos materiais que respondem a ações sem intervenções prévias. As intervenções prévias são como as tecnologias de protensões e têmpera que fazem com que o material já tenha uma ação antecipada para seu melhor desempenho, portanto antes de ser levado às ações e ser submetido a esforços. Portanto em contrapartida aos materiais passivos os de comportamento ativo são aqueles que possuem intervenções prévias e também se conformam e se adaptam dinamicamente quando da aplicação de tecnologias domóticas ou de automação.

independência que estes sistemas construtivos obtiveram em relação à estrutura do edifício, isto a partir do uso das fachadas de vidro.

Aproximadamente em 1830 o mesmo autor cita que ocorreu o salto do processo de desmaterialização das fachadas e da diluição do conceito entre parede e janela dos edifícios, atingindo no período de 1910 até os anos 70 o termo de fachada cortina, ou seja, a completa separação desta em relação à estrutura portante.

Já no final dos anos 70 com a crise energética este padrão de vedação começa a receber críticas e para este atendimento uma série de racionalizações foi desenvolvida para atendimento das exigências de desempenho térmico e acústico, impondo que os sistemas de janelas fossem desenvolvidos industrialmente.

Deste impulso industrial partiram-se novas exigências arquitetônicas e aplicações de materiais, tornando a alternativa de uso do vidro em uma multiplicidade de formas e de tipos de aplicações não só dos vidros, mas também de outros materiais, assim como a envolvente exterior dos edifícios passaram a ser o elemento mais importante do edifício, como mediador energético.

Portanto o envoltório externo atualmente possui uma das principais funções do edifício em termos energéticos, ou seja, de conseguir funcionar como uma barreira seletiva, face às condições climáticas exteriores, de forma a permitir manter condições de conforto interiores.

Preferencialmente a barreira formada pelo envoltório externo deve ser sem o uso de recursos de sistemas mecânicos de climatização, portanto de modo passivo, ou com o uso de modo reduzido ao mínimo para atendimento às necessidades, tornando-se um sistema de modo ativo, mas controlado.

O modo passivo da barreira e, portanto sem gasto energético adicional para o edifício, também é chamado de auto-regulação, uma vez que usa uma variedade de funções de controle permitida pelas ferragens e sistemas de caixilharia e oclusão atuais, para regulação térmica e de luminosidade, mas com a intervenção do ser humano ocupante do espaço.

Uma forma emergente de auto-regulação sem a intervenção do ocupante do espaço é a utilização de sistemas passivos com característica de auto-regulação dinâmica e de utilização de propriedades tecnológicas dos materiais, como materiais radio crômicos, que podem alterar as suas condições de transmissão através da radiação solar e os eletrocrômicos através de pequenas cargas elétricas, ou os materiais cromo trópicos

que podem reduzir a transmissão de radiação solar com uma mudança nas condições da temperatura ambiente.

Outra forma emergente são as ações de identificação da sustentabilidade ou impacto ambiental das tecnologias construtivas e dos materiais aplicados, em que os estudos entre as alternativas de materiais permitem grandes ganhos energéticos. Como o ETFE – “Etylen-tetrafluorethylene”, que possui vantagens diferenciadas ao vidro e, portanto de forma passiva melhora-se a eficiência do mediador energético pela substituição de material do envoltório.

A crescente procura de tecnologias de fachada está conduzindo para o desenvolvimento de sistemas de fachadas ativos e dinâmicos, com capacidade de auto-regulação e adaptação às condições exteriores e às solicitações interiores, além da integração de sistemas reativos de controle ambiental pela envolvente exterior que pode permitir o uso destes como elementos de controle térmico.

Mas todo este avanço tecnológico é ponderado por MENDONÇA (2005), pois em alguns casos a complexidade e não a simplificação induz a introdução de sistemas mecânicos, com elevados custos de aplicação e manutenção. Como exemplo indicado por este autor é a fachada do “Instituto do Mundo Árabe” de Jean Nouvel, na qual a existência de mecanismos obturadores complexos movidos eletricamente e comandados por células fotossensíveis, estão constantemente sujeitos às avarias e necessitam de manutenção permanente; levando ao descrédito da solução em relação à redução do impacto ambiental.



Figura 1.9 Brise soleil do museu do Mundo Árabe, disponível em http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Institut_du_monde_arabe (04/07/2007).

A fachada do museu do Mundo Árabe é composta por uma tela metálica tensionada que sustenta motivos geométricos móveis/aberturas motor-controladas que agem como brise soleil, de acordo com o tempo e a estação do ano. O mecanismo cria mudanças dos espaços e no interior conforme a luz é filtrada, efeito constante nas construções da arquitetura islâmica, ou seja, uma aderência com estratégias de orientação climática.

Portanto entende-se que a pele exterior dos edifícios pode se tornar o elemento chave para o futuro das construções bioclimáticas; isto com a introdução de tecnologias que possam controlar a relação de ganhos e perdas entre interior e exterior de forma reativa, aproximando esta pele exterior dos edifícios aos mecanismos da pele biológica, ou seja, um órgão como um paralelo a pele dos seres vivos.

Sob a condição dos itens anteriores, neste trabalho as arquiteturas têxteis e tensoestruturas serão definidas da seguinte forma como componente de edifícios:

São componentes de conformação superficial de um edifício que cumprem a função do subsistema de divisões externas e internas, aplicados em substituições às vedações e isolamentos convencionais, às divisórias externas, às fachadas e coberturas. De espessura extremamente reduzida, como membrana, pele, filme, têxtil ou tecido, que são estabilizados por adequado tracionamento, podendo ser suportados por elementos lineares como cabos e/ou barras ou mesmo por outros sistemas estruturais.

1.2 A contemporaneidade das arquiteturas têxteis e tensoestruturas

Segundo JÖRG (2000) este tipo de construção tem se tornado pertinente e contemporâneo sob as perspectivas ecológicas, social e cultural.

Pelo vigor do modernismo, DREW (1974) indicava que a quantidade mínima de materiais deste tipo de construção justificava sua função e sua utilização.

O funcionalismo apregoado por DREW no livro “Terceira Geração”⁴ vem carregado de ponderações, onde diz que o funcionalismo das estruturas em membranas

⁴ Definido por DREW como grupo modernistas em função do período histórico ou idade.

desenvolvidas por Frei Otto, o precursor moderno da tecnologia de construções leves em membranas e têxteis, não as domina dado o resultado da forma e estética obtidas.

Portanto, o funcionalismo contemporâneo das arquiteturas têxteis segue as colocações de SILVA (2001), onde se faz necessário deixar de lado a compreensão corrente, e pejorativa, de função como elemento formal, como um “estilo”, portanto descolada dos paradigmas de uma época e da “palavra de ordem” como uma estética determinada e datada.

SILVA (2001) diz que a leitura deformada do ideário iluminista, produziu um gênero de arquitetura dita “fria”, “impessoal”, “pobre”. Entretanto, o momento permite substituir o adjetivo “funcional” e “funcionalista” por substantivos aderentes à concepção de projetos, categoria função ou categoria das funções, como um processo de reabilitação de idéias fundamentais e da própria arquitetura, que é totalmente aderente às arquiteturas têxteis, coerentes com as condições atuais de ensino, de projeto e de aplicações.

OTTO e RASCH (1995) indicam que as estruturas em membranas, as redes de cabos, as estruturas com bifurcações/ramificações, representam um novo campo de produtos tecnológicos, que contemplam a redução de energia, a leveza, uma levada flexibilidade e maior integração dos seres humanos.

Por ser um novo campo, OTTO e RASCH (1995), indicam que, apesar de suas metas de produzir arquitetura, no momento os arquitetos esqueceram como pesquisar, pois no passado eles o faziam de modo intenso – nota-se que, constantemente, os arquitetos procuram mudança nos processos de produzir edifícios ou cidades. Desta forma, esses autores indicam as construções ecológicas, a cidade como um sistema ecológico, as construções de massa mínima, as construções de energia mínima, como foco e a meta.

Salienta-se aqui que o intento não é classificar as arquiteturas têxteis em uma ou outra corrente da produção contemporânea, mas fundamentar escopos que se entendem importantes e que deveriam ser considerados nos projetos atuais, permitindo que esta tipologia de construção possa ser entendida e relacionada aos procedimentos projetuais.

Ainda que o site WIKIPEDIA.ORG (2007) possa não se tratar de fonte segura, é sintomático seu alerta quanto à definição precisa de arquitetura contemporânea, na medida em que ainda não há um grupo de “movimentos” ou “escolas” que reúna

sistematicamente as várias opções que têm sido feitas por arquitetos ao redor de todo o mundo e que possa qualificar uma arquitetura como “contemporânea”.

Sinteticamente, pode-se dizer que a arquitetura continuamente apresentada pela mídia especializada como representativa do atual momento histórico (ou, por outro lado, como uma produção de vanguarda) pode ser resumida em quatro ou cinco grandes blocos, mas eles não seriam a reprodução fiel da verdadeira produção arquitetônica cotidiana, vivenciada ao redor de todo o mundo.
(WIKIPEDIA.ORG,2007)

Entende-se que a proposta de estudo do repertório projetual das arquiteturas têxteis, em específico no Brasil, possui a atualidade devido a uma série de desafios e condicionantes de uma maneira não tradicional de edificação, visando flexibilidade ao invés da rigidez, portadora de citação das formas naturais, e implicando na necessidade da multidisciplinaridade profissional. Portanto, implicativa de uma nova ordem de atividades projetuais, de um ensino mais apurado desta tipologia que raramente é desenvolvido em disciplinas dos cursos de graduações em engenharia civil e arquitetura, e do reconhecimento e da aplicação de novos materiais nas edificações. Desta forma, isto está mais além dos conceitos em que está arraigado quanto à sua durabilidade, quanto ao seu uso efêmero e meramente cenográfico, e quanto a isso ser ecologicamente correto.

Ainda há que se salientar a atualidade e a necessidade da revisão da formação profissional, que pode e dever ser entendida como contínua e continuada durante a vida profissional e, que se dá pela crítica constante, como é apresenta nas palavras de MAHFUZ (2002):

Uma boa formação profissional exige que se investigue e ensine o projeto não como é praticado habitualmente, mas como não se o pratica. A formação profissional não deve ser atual; devemos ensinar como já não mais se exerce a profissão, e também como ainda não a exercemos. O conteúdo desse ensino deve ser ao mesmo tempo, anacrônico e vanguardista. Deve estar à margem, quando não à frente, do mundo da eficácia, da aplicabilidade, da rentabilidade e do mercado.
(MAHFUZ,2002).

1.3 As Aplicações das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

Quando se refere ao vigor do uso das arquiteturas têxteis, o direcionamento se torna plausível na demonstração de um panorama da diversidade/criatividade e de formas presentes nesta tecnologia em construções de estruturas e/ou formas complexas e simples.

Sob esta condição e com o intuito de fornecer uma visão ampla da diversidade das realizações constatadas, neste item serão apresentados alguns exemplos e como complementação no sentido de se fornecer um panorama mais consistente, encontra-se no Anexo A, obras adicionais.

Portanto, estabelece-se que este item não esgota todos os seus usos e aplicações, dada à própria inventividade nata ao ser humano e a intrínseca possibilidade de conexões e divisões que a experiência e inteligibilidade permitem. Portanto trata-se de uma forma adotada que se caracteriza aqui como um panorama delimitado de aplicações.

Torna-se também importante citar neste item e de forma generalista, que essas aplicações das arquiteturas têxteis, atendem ao escopo de projeto, referentes às quais o destino e o uso de cada obra serão adotados aqui como tipológicos, a saber:

- Cabanas,
- Cenografias,
- Coberturas “instantâneas”,
- Coberturas de aeroportos,
- Coberturas de arquibancadas,
- Coberturas de auditórios,
- Coberturas de edifícios,
- Coberturas de edifícios para iluminação zenital,
- Coberturas de estações,
- Coberturas de estádios,
- Coberturas para eventos,
- Coberturas de parques,

- Coberturas de pátios,
- Coberturas de praças de pedágio,
- Coberturas de piscinas,
- Edifícios em membranas,
- Estufas,
- Fechamento vertical de fachadas,
- Fechamento vertical interno,
- Fechamento protetivo e de segurança,
- Fôrmas para estruturas moldáveis,
- Forros,
- Impermeabilização e vedação,
- Oficinas e espaços temporários,
- Piscinas,
- Sombreamentos,
- Brises,
- Tendras,
- Outras aplicações.

Segundo estes itens, a seguir estão apresentados algumas figuras e imagens retratam parte das aplicações e usos, da Figura 1.9 a 1.107.

- **Coberturas “instantâneas”**

As coberturas instantâneas foram propostas pelo grupo de arquitetos, ARCHIGRAM, em uma associação fluída e participante de diversos concursos internacionais, segundo DREW (1973) esta associação iniciou-se em 1961 por Peter Cook (n. 1936), Mike Webb (n.1937) e David Greene (n.1937) e complementada em 1967 por Ron Herron (n.1930), Warren Chalk (n.1927) e Dennis Crompton (n.1935), com várias aplicações têxteis.



Figura 1.10 Cidade instantânea do grupo de arquitetos ARCHIGRAM com membranas suspensas por balões, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city_4.html (05/07/2007).

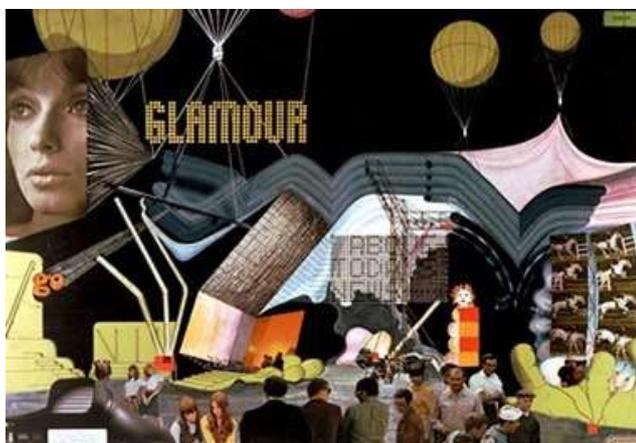


Figura 1.11 Cidade instantânea do grupo de arquitetos ARCHIGRAM com membranas suspensas por balões, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city.html (05/07/2007).

As obras propostas como “coberturas instantâneas” pelo grupo de arquitetos, ARCHIGRAM, Figuras 1.10 e 1.11, são aderentes às arquiteturas têxteis e tensoestruturas pela lógica de se obter a dinâmica e o ritmo das próprias pessoas e das ações da cultura pop. Justificando, portanto, a não utilização das construções sólidas e de grande massa, ou mesmo, as imprimem por si só as condições estáticas e permanentes, em contraposição às que podem possuir mobilidade e de facilidade de montagem e desmontagem e que podem ser consumidas segundo as necessidades do momento em uma grande velocidade.

- **Cobertura de aeroportos:**



Figura 1.12 (a)

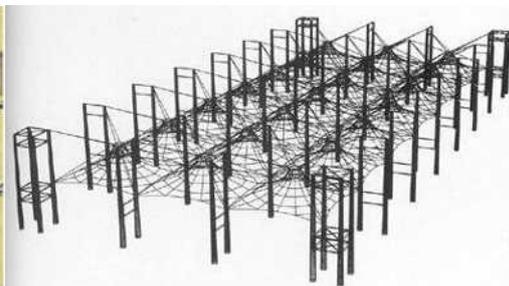


Figura 1.12 (b)

Figura 1.12 (a) e (b) Terminal aéreo: Haj Terminal of the Jeddah International Airport, em Jeddah na Arábia Saudita, em (a) vista aérea dos módulos e (b) a modelagem digital de um dos módulos. Construção de 1982 em têxtil estrutural, disponível em TENSINET (2007).

Do site TENSINET (2007) sobre o projeto do Terminal Haj, Figuras 1.12 (a) e (b), cita-se que em 1977 o escritório de arquitetura SOM (Skidmore Owens & Merrill, Architects and Engineers) foi incumbido pelo governo de Arábia Saudita para projetar um terminal no Aeroporto Internacional em Jeddah para servir aos peregrinos (Hajis) para vista a Meca durante a peregrinação muçulmana anual (Haj).

O projeto possui o escopo de atender 80000 pessoas por dia e que transitam entre ônibus e aviões e com uma área de 440000 m². Como um edifício tradicional nestas proporções e para proteger as pessoas contra o calor do sol de deserto seria economicamente inviável além de absorver o calor, foram realizadas diversas alternativas por Horst Berger da empresa Geiger Berger Associates, ainda pautadas no resultado de um projeto anterior, o espaço do “Bi-centennial” na Filadélfia, no qual se obteve a melhora do conforto térmico em dias quentes utilizando a membrana de fibra de vidro coberta com PTFE – “Polytetrafluoroethylene”, condição da reflexão de 70% da radiação do solar.

A estrutura do terminal aeroportuário de Haj foi então concebida em membrana têxtil dividida em 10 módulos, cada um composto por 21 unidades, compostos por módulos de tendas com uma dimensão em planta de 45,75 x 45,75 m. Cada um dos dez módulos cobre uma área de 320 x 137m.

Cada tenda é reforçada por 32 cabos metálicos radiais ligados a oito cabos em catenária. Dois grupos de cinco módulos são alocados ao longo de dois lados de uma via de acesso central. Há 20 portões para os aviões que ficam estacionados no lado oposto aos módulos.

Para manter o espaço aberto, o conceito estrutural adotado pelo SOM foi suspender as tendas através de mastros altos que ficam nos quatro cantos de cada tenda. Os apoios internos consistem em colunas circulares isoladas. Ao longo das extremidades, fechando o espaço de forma a contraventar, a estrutura é associada a duas ou quatro colunas para resistir às forças laterais.

Para Horst Berger esta concepção estrutural, permitida pelo sistema de apoio, confere à estrutura um conceito de poder e estabilidade, além de permitir um ambiente agradável semelhante a uma floresta diante do deserto.

Como curiosidade cita-se que toda a análise estrutural das tendas foi realizada em 1976 quando ainda os suportes computacionais atuais não existiam.

As conexões metálicas e os mastros com 46m, apresentadas nas Figuras 1.13 (a) e (b) foram desenvolvidos pela YKK, no Japão e trazidas em barcos.



Figura 1.13 (a)

Figura 1.13 (b)

Figura 1.13 Vista do anel superior metálico em (a) e em (b) vista do anel e da conexão junto à coluna disponível em TENSINET (2007).

- **Coberturas de arquibancadas:**



Figura 1.14 (a)



Figura 1.14 (b)

Figura 1.14 Arquibancada para futebol da Praia – Lagoa da Jansen – São Luiz do Maranhão, projeto do arquiteto Carlos Campelo em parceria com a Pistelli, disponível em <http://www.pistelli.com.br> (10/07/2007)

A cobertura tensionada, Figura 1.14(a), do projeto do arquiteto Carlos Campelo em parceria com a Pistelli é destinada para a arquibancada do campo de “beach soccer” em São Luiz do Maranhão. A membrana utilizada cobre uma área corresponde a 680m², de poliéster com cobertura de PVC - Polyvinylchloride e filme de PVDF - Polyvinyl deneflouride.

Na Figura 1.14 (b) percebe-se a estrutura de apoio da membrana, que é formada por vigas horizontais vagonadas em balanços de até 11m em aço.

O equilíbrio vertical é garantido por cabos de aço de estabilização, ou cabo freio, de interferência visual insignificante, cujo objetivo principal é não permitir a inversão da forma da cobertura devido às ações de sucção dos ventos.

- **Coberturas de edifícios para iluminação zenital:**

A cobertura em têxtil estrutural do Alexandra Palace, centro de eventos no norte de Londres, Figura 1.15, com área aproximada de 1100m², teve como objetivo a substituição da cobertura original em estrutura de madeira já deteriorada e telhas cerâmicas.



Figura 1.15 Cobertura do Hall do Alexandra Palace, disponível em <http://www.auracustom.com/#> (04/07/2007).

Atendendo a intenção na reforma de obtenção de uma quantidade máxima de luz natural, utilizou-se o têxtil estrutural em fibra de vidro coberto com silicone, resultando na transmissão clara e correta da luz em 60%.

Além do atendimento a iluminação zenital, que proporciona uma redução do gasto com energia elétrica para iluminação, a cobertura foi dimensionada para proporcionar o melhor condicionamento e absorção acústica.



Figura 1.16 (a)

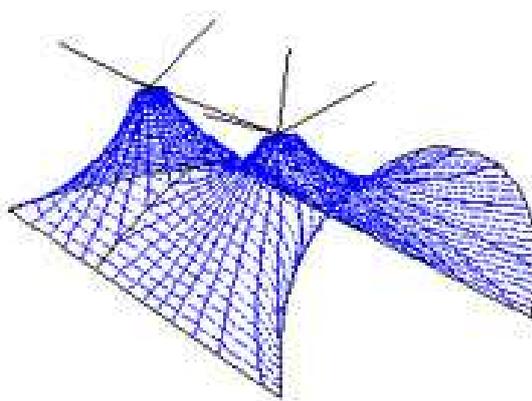


Figura 1.16 (b)

Figura 1.16 Beccles Church, um projeto da empresa Cyril Bromley Architects sob demanda da empresa de membranas Aura Fabric Engineering disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/beccles.shtml> (06/07/2007).

O projeto de reforma da Beccles Church, Figuras 1.16 (a), tem como escopo a busca de luz zenital através de uma forma de cobertura visivelmente diferente e que, portanto pudesse regenerar o uso interno, porém sem alteração das fachadas originais que são de madeira.

Desta forma o projeto estrutural da empresa David Dexter Associates conforme modelo estrutural apresentado na Figura 1.16 (b) resultou em uma busca de forma e modelagem que atendesse estes requisitos com a aplicação de uma membrana em fibra de vidro coberta com silicone.

O resultado final permite 50% de translucidez e ainda garante um brilho interno uniforme. No caso das paredes de sustentação, estas foram dimensionadas com reforços metálicos para as ancoragens da cobertura em membrana e somente em pontos necessários.

- **Coberturas de estações:**



Figura 1.17 (a)



Figura 1.17 (b)

Deste projeto destaca-se, segundo BALHAMÓN (2004), que o fechamento lateral é em tela de aço inoxidável em forma de cone, tornando-se um elemento de fechamento protetivo de segurança elevada, além da alta durabilidade, Figuras 1.17 (a) e (b).



Figura 1.17 (c)

Figuras 1.17 (a), (b) e (c) Estação de metrô próximo ao hospital de Erasmus em Bruxelas projetado pelo escritório de arquitetura Samyn and Partners em membrana PTFE, imagens disponíveis em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

Além dos pontos definitivos e de adoção da aplicação das membranas de cobertura em PTFE, Figura 1.17 (c), como a leveza arquitetônica, iluminação natural e a contrapartida em economia de energia elétrica para iluminação.



Figuras 1.18 Maquetes do projeto que a empresa David Dexter Associates para o terminal modal de Heathrow, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/transport/heathrow.shtml> (06/07/2007).

As maquetes apresentadas nas Figuras 1.18 do projeto realizado pela empresa David Dexter Associates em parceria com a Vector Special Projects são o resultado do projeto de uma cobertura em ETFE do arquiteto Hok.

A área a ser coberta é de 100m por 25m entre o terminal modal número cinco do Heathrow Terminal e o estacionamento e, também o pátio de 625m².

A solução realizada através de arcos em ETFE para a drenagem ao longo de todo o perímetro, além da função de permitir um melhor conforto térmico e permitir a exaustão de fumaça em caso de incêndio. Para esta exaustão estão previstas uma série de aberturas nos pontos principais de fixação da membrana.

Como requisito técnico adicional, a cobertura projetada em ETFE deverá amortecer explosões e impactos de bombas além da ação da neve.

- **Coberturas para eventos:**



Figura 1.19 Vistas da cobertura para apresentações no Piscinão de Ramos no Rio de Janeiro, projeto dos arquitetos Rita Mandarino, Luis Henrique de Paula, Ênio Lajes, em PVC colorido, disponível em <http://www.pistelli.com.br> (10/07/2007).

A área coberta no Piscinão de Ramos é de 1.529 m² em membrana de poliéster com cobertura de PVC, Figura 1.19.

A estrutura é composta por três arcos treliçados com vão livre interno de 45m visando abrigar atividades multiusos em shows e incentivo à arte para a comunidade local.

A face posterior da cobertura em PVC é dotada de cortina que se levanta através de sistema mecânico, viabilizando o uso do palco, com boca para fora, em espetáculos para um grande número de pessoas.

- **Coberturas de parques:**



Figura 1.20 (a)



Figura 1.20 (b)



Figura 1.20 (c)

Figuras 1.20 (a), (b) e (c) Living Coasts no Jardim zoológico de Paignton disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/coasts.shtml#> (06/07/2007).

A estrutura do Living Coasts no jardim zoológico de Paignton situa-se sobre um monte rochoso que está acima do nível do mar cerca de 32m e que sobressai da baía, Figura 1.20 (a), esta situação faz do local um ambiente agressivo quanto às condições climáticas, tanto devido aos ventos como a maresia.

Esta situação indica não somente o uso de materiais de grande durabilidade como também de uma membrana de malha aberta, Figura 1.20 (b), para não ser de tamponamento e vedação dos ventos e sim de controle e limitação do ambiente.

Neste projeto do arquiteto Kay Elliott, a empresa David Dexter Associates desenvolveu a estrutura de malha de polypropyleno com 25 mm de espessura que cobre uma área de 6500m².

A estrutura, conforme Figuras 1.20 (b) e (c), incluiu uma rede primária de cabos apoiada no cume por sete mastros principais no centro e 25 mastros no perímetro, o vão entre mastros é de cerca de 20m.

- **Coberturas de pátios:**

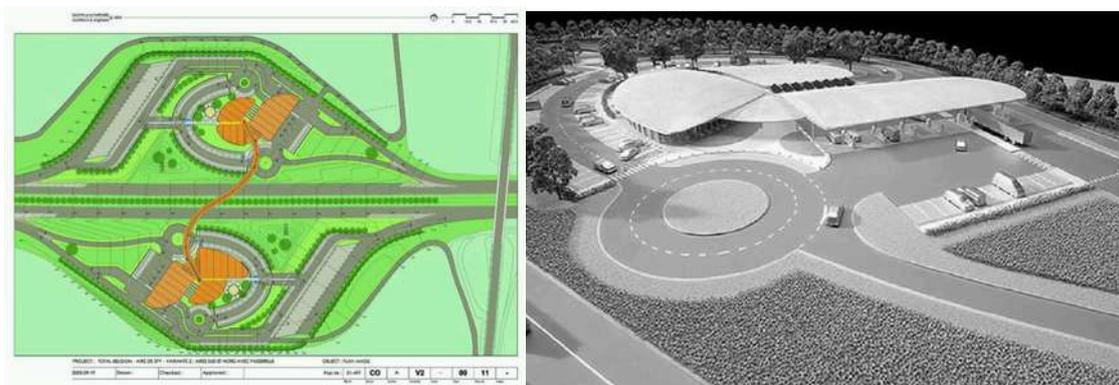


Figura 1.21 (a)

O Projeto da praça de descanso, da empresa TOTAL BELGIUM S.A. - SERVICE STATION e da AIRE DE SPY, Figuras 1.21 (a) e (b), foi desenvolvido pelo escritório Samyn and Partners, sendo a construção iniciada em 2005. Neste projeto foi especificada a estrutura em madeira e madeira laminada e cobertura em PVC, onde são apreciadas as vantagens quanto à camada térmica proporcionada entre a cobertura em membrana de PVC e o telhado dos edifícios.



Figura 1.21 (b)

Figura 1.21 (a) e (b) Projeto da praça de descanso das empresas TOTAL BELGIUM S.A. - SERVICE STATION - AIRE DE SPY, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

Além da minimização do consumo de energia devido à translucidez do material, a forma da cobertura como de um planador foi uma adequação à intenção do projeto e ao material, uma vez que à noite pode ser destacada ao longo da rodovia pela iluminação diferenciada.

- **Coberturas de piscinas:**

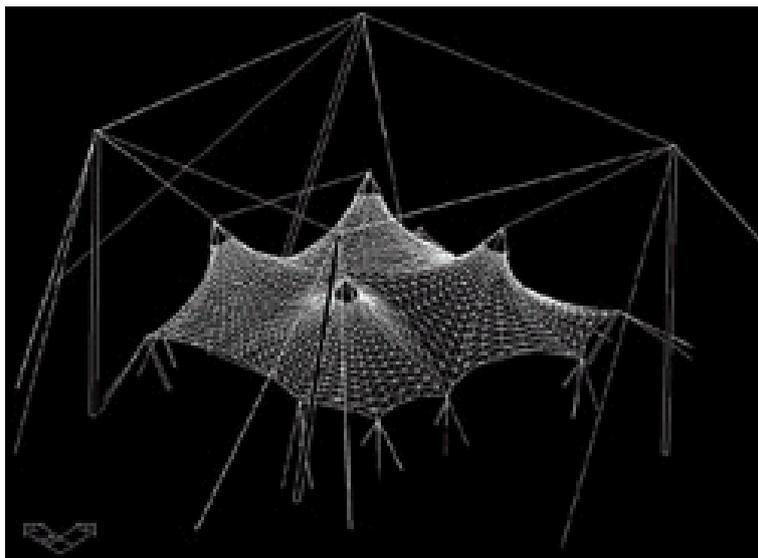


Figura 1.22 Cobertura do complexo aquático Wadi Laban, Arábia Saudita, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/wadi.shtml#> (06/07/2007).

O projeto da cobertura do complexo aquático Wadi Laban foi concluído em 2005 sendo os detalhamentos desenvolvidos pelo escritório David Dexter Associates em parceria com a Tensys Ltd. O projeto destina-se a cobrir uma piscina existente e um complexo de entretenimento com membrana de alta durabilidade, sob a contratação da empresa Architen Landrell.

A estrutura, em forma anticlástica em membrana de fibra de vidro com PTFE, é suspensa por um sistema de cabos e mastros. O vão livre previsto é de 42 metros por 33 metros e área de 1800 m².

- **Edifícios em membrana:**



Figura 1.23 (a)



Figura 1.23 (b)

O Laboratório de Pesquisas da empresa M&G RICERCHE, Figuras 1.23 (a) a (c), situado em Venafro, Itália, trata-se de um edifício formado pela própria cobertura em membrana de PVC. Sua implantação tendo em todo o seu contorno um espelho d'água, como uma delimitação e destaque a importância do local, além de proporcionar reflexos conforme a iluminação natural.



Figura 1.23 (c)

Figuras 1.23 (a) a (c) Vista do Laboratório de Pesquisas da empresa M&G RICERCHE, situado em Venafro – Itália, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

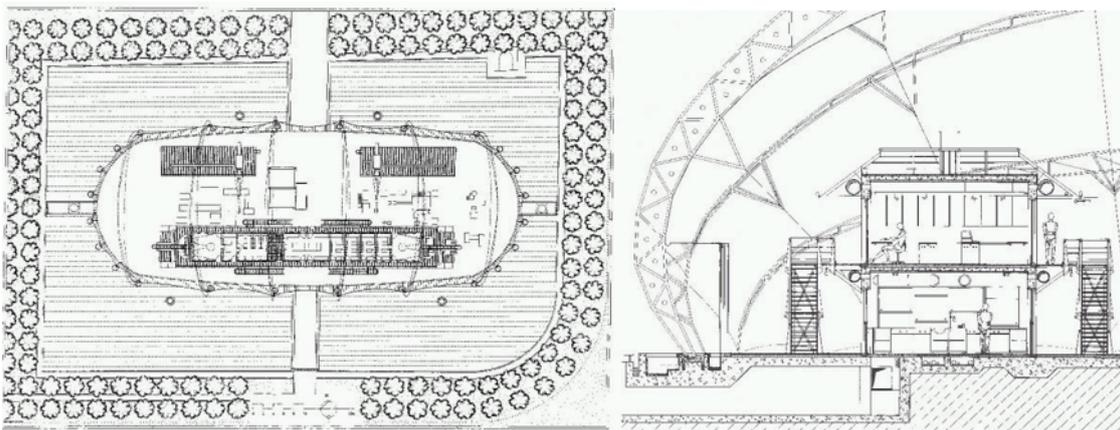


Figura 1.24 (a)

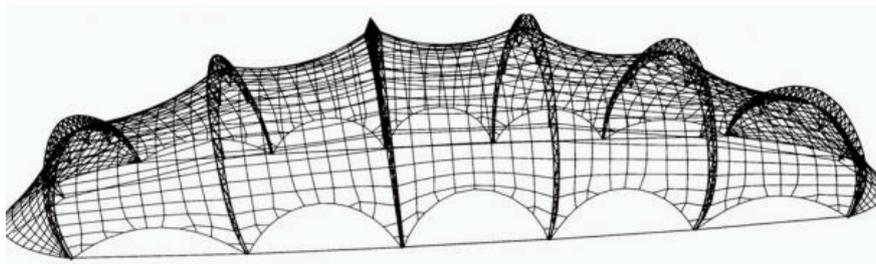


Figura 1.24 (b)

Figuras 1.24 (a) a (b) Imagens do projeto do Laboratório de Pesquisas da empresa M&G RICERCHE, situado em Venafro – Itália, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

Para a estrutura tensionada foram adotadas junções entre a membrana e os meios-arcos de perímetro metálicos com o propósito de destacar estas transições e também proporcionar a entrada da luz natural. Para isto percebe-se nas Figuras 1. 23 (b) que são feitos de um material de PVC transparente flexível, fixado no perímetro dos meios-arcos e no cabo principal de sustentação da membrana.

As dimensões do edifício são de 85mx32m com 15m de altura, Figura 1.24 (a) e, com a modelagem dos elementos de membranas conforme Figura 1.24 (b).

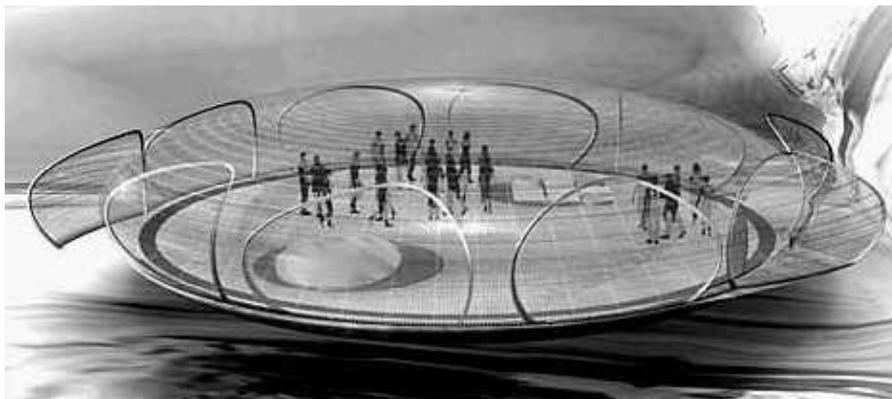


Figura 1.25 Proposta para o futuro de um edifício em fibra de carbono e membrana de plástico disponível em HEINLEIN, F. e SOBEK, W. (2007).

A Figura 1.25 mostra a proposta de HEINLEIN, F. e SOBEK, W. (2007) que é audaciosa, mas refere-se a uma prospecção do futuro das tecnologias aplicadas aos edifícios, e este futuro contemplará estruturas em fibra de carbono e membrana de plástico, portanto, um edifício composto por um fechamento em pele utilizando o material de plástico em razão de sua extrema leveza e ainda podendo ser controlado em graus de transparência ou opacidade.

Quanto a este controle da transparência os estudos e desenvolvimentos indicam uma membrana que terá uma aplicação de uma chapa de eletromagnética que pode ser controlada eletricamente, podendo a membrana ser escurecida, ficar opaca e transparente, tanto em partes ou como em seu todo.

Outra característica em desenvolvimento é ser uma membrana do tipo LOW-E, o qual previne a radiação de calor no interior (no verão) e para o exterior (no inverno).

Ainda no sentido da sustentabilidade, a superfície externa da membrana também comportará células solares aplicadas por meio de um depósito de vapor. Estas células reduzem a transmissão de luz em cerca de 20% mas gera grande parte da demanda de energia elétrica do edifício.

- **Fechamento vertical de fachadas:**



Figura 1.26 Vista frontal do fechamento vertical em PTFE do Burj al Arab Hotel em Dubai no Emirados Árabes, construído em 1999, disponível em TENSINET (2007).



Figura 1.27 Vista interna da vedação vertical do Burj al Arab Hotel em Dubai no Emirados Árabes, construído em 1999, disponível em TENSINET (2007).

A função principal da membrana dupla em fibra de vidro coberta com PTFE é de vedação da fachada principal de 200m de altura do Burj AL Arab em Dubai, Figura 1.26.

A utilização de fechamento da fachada com membrana é pioneira neste edifício, gerando a proteção do sol e dos ventos.

A aplicação da membrana em camada dupla na fachada justifica-se pelo elevado gradiente térmico entre o exterior e o interior, devido à necessidade de um ambiente ameno internamente e permitir um melhor condicionamento térmico. Além deste fato a camada de dupla membrana permite a entrada indireta da luz no átrio. Este procedimento justifica-se pela economia de energia por a região depender da energia elétrica obtida por geradores movidos a petróleo e de algumas termoelétricas que estão próximas a usinas de dessalinização.

A estrutura de sustentação em barras e cabos, Figura 1.27, gera a impressão de leveza, mas também de segurança quanto à estabilidade, notadamente pela subestrutura de contraventamento, Figura 1.28.



Figura 1.28 Vista interna da estrutura de sustentação e da fixação da membrana da fachada do Burj al Arab Hotel projeto de David Dexter Associates, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/ddexter.shtml#> (06/07/2007).



Figura 1.29 Burj al Arab Hotel em Dubai em vista noturna, com efeito, luminotécnico sobre a membrana, disponível em TENSINET (2007).

No período noturno, a fachada do Burj AL Arab pode ser considerada a maior tela de projeção do mundo permitindo projeções de cores e imagens e em ritmos diversos, Figura 1.29.

- **Fechamento vertical interno:**

A Agência de publicidade Foote, Cone & Belding Worldwide foi projetada no ano 2000 pelo escritório Clive Wilkinson Architects que transformou um armazém em um ambiente inovador, Figura 1.30 (a).

Segundo BAHAMÓN (2004) a intenção do projeto foi de romper com os esquemas de espaços tradicionais e imprimir uma personalidade inovadora, notando-se a utilização de membranas como fechamento vertical e também como divisórias de ambientes e, em destaque na Figura 1.30 (b) a forma de aplicação da fixação das membranas na estrutura de sustentação da cobertura através de cabos.



Figura 1.30 (a)



Figura 1.30 (b)

Figura 1.30 (a) e (b) Divisórias verticais na Agência de publicidade Foote, Cone & Belding Worldwide, disponível em <http://www.clivewilkinson.com/work/fcbirvine.htm#> (05/07/2007).

O edifício da Clínica Quiroprática em Minneapolis, segundo BAHAMÓN (2004), é de concreto armado e em seu interior as divisões são constituídas em membrana têxtil customizada pelo fabricante para o projeto, permitindo sua retirada para modulação do espaço assim como lavagens de manutenção.



Figura 1.31 Divisórias na Clínica Quiroprática em Minneapolis, Minnesota, disponível em BAHAMÓN (2004).

Como ambientação, o tecido permite um fechamento interno e divisão de ambientes, mas com a difusão da luz através de uma constante transparência, Figura 1.31.

- **Forros**

Uma das razões de se indicar o uso de membrana em forros corresponde a sua flexibilidade nata de poder criar curvas e superfícies de reflexão da luz, o que equivale a dizer que a utilização da membrana como forro justifica-se à necessidade de um difusor de luz e ainda contribui para a melhoria da acústica do ambiente.

Para BAHAMÓN (2004) estes itens foram aplicados no escritório de arquitetura Van Heyningen y Haward, por se tratar de um antigo estábulo que foi reformado para ser um eficiente escritório de arquitetura, Figuras 1.32 (a) a (d).



Figura 1.32 (a)



Figura 1.32 (b)



Figura 1.32 (c)

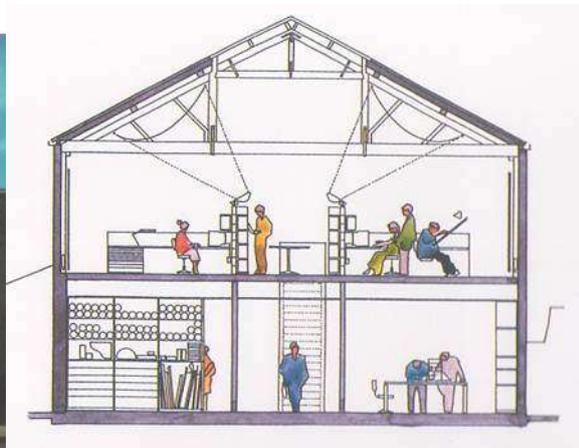


Figura 1.32 (d)

Figuras 1.32 Membrana suspensa como forro no escritório de arquitetura Van Heyningen y Haward, disponíveis Figura 1.32 (a) em <http://www.vhh.co.uk/origins.htm> (05/07/2007), Figura 1.32 (b) em http://www.vhh.co.uk/about_us.htm (05/07/2007) e Figuras 1.32 (c) e (d) em BAHAMÓN (2004).

- **Impermeabilização e vedação:**

A cobertura em ETFE da Swinburne University em Melbourne. Figura 1.33, foi a forma utilizada para conter os vazamentos no estacionamento no nível inferior, devido a várias tentativas más sucedidas com tecnologias de impermeabilização.



Figura 1.33 (a)

Figura 1.33 (b)



Figura 1.33 (c)

Figura 1.33 (d)

Figuras 1.33 (a) a (d) Cobertura em ETFE entre os dois edifícios da Swinburne University em Melbourne, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/swinburne.shtml#> (06/07/2007).

A razão de se locar este caso como impermeabilização na passagem entre os dois edifícios justifica-se, pelo erro de concepção de projeto em que o custo de sua reversão por métodos de impermeabilização seria muito oneroso e ainda os prédios que conformam o corredor teriam de ser reforçados estruturalmente no caso de qualquer outra forma de cobertura.

A solução foi executada com uma cobertura em ETFE sobre uma estrutura metálica com panos de 3,5m para o vão de 21m.

O projeto do ano 2005 da David Dexter Associates foi, portanto a forma efetiva de propiciar a impermeabilização sem aumento da sobrecarga na laje e com a condicionante das ações nos edifícios existentes serem mínimas.

- **Tendas:**



Figura 1.34 Tendas de praia, disponível em <http://www.dupouxdesign.com/> (07/07/2007).



Figura 1.35 Vista geral das tendas e móveis projetados por Stephane Dupoux Miami – Nikki Beach, disponível em www.nikkibeach.com (07/07/2007).

As tendas e os móveis das Figuras 1.34 e 1.35 são o resultado de um projeto de Stephane Dupoux para o Nikki Beach em Miami.

A solução segundo BAHAMÓN (2004) teve como inspiração as tendas dos índios americanos, buscando proporcionar um interior fresco e ainda fornecer intimidade, bem como ter a durabilidade e flexibilidade de uma membrana têxtil, utilizada também na confecção dos móveis.

- **Outras aplicações:**

- **Torres:**

As aplicações das membranas e têxteis arquitetônicos, não são somente e especificamente aderentes à área da construção civil, mas de reconhecida atuação e inspiração de profissionais arquitetos e engenheiros, como podem ser vistas nos exemplos a seguir.

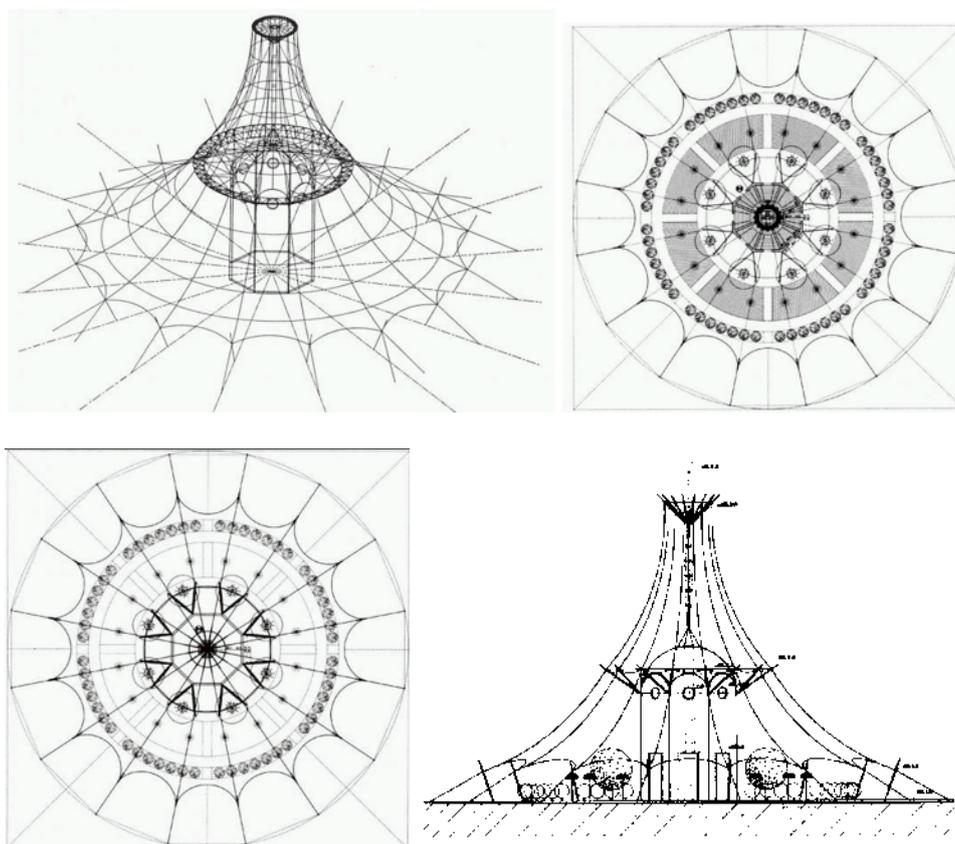


Figura 1.36 Proposta de Caixa d' água elevada para a empresa SONELEC, WATERTOWER – MONUMENT, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

A torre da caixa d' água da empresa SONELEC, WATERTOWER – MONUMENT, na Mauritânia, representada na Figura 1.36, será um tanque prismático de base hexagonal, realizado em concreto e coberto por uma membrana de PTFE de 90m de diâmetro de 50 m de altura.

A proposta de se fazer uma torre em membrana e esta cobrir o tanque fixa-se no fato a membrana servir de proteção à água que abastece a população do clima árido e também abrigar um jardim público sob uma membrana de modo tecnologicamente simples.

Sua iluminação será natural e é proporcionada por uma cúpula envidraçada e por oito janelas circulares, como um aquário, este partido permite aos cidadãos ver a água, por ser um elemento significativo no clima árido da Mauritânia.

- **Obras de arte:**

A escultura da Figura 1.37 foi construída em 2002 no Tate Modern em Londres em membrana de PVC colorida.

A obra atravessa um vão de 135m entre apoios com área de superfície de 3500m², sendo construída em uma peça única. As curvaturas da superfície foram requeridas pelo artista, Anish Kapoor, são muito mais complexas que as construções convencionais em membranas.



Figura 1.37 Obra de Anish Kapoor, disponível em

<http://www.tensinet.com/database/wfw.php?page=instance&objClassId=159&instanceId=4150&mode=view&viewId=&&guid=1868249851> (07/07/2007).

Desta exposição de imagens de aplicações, comprova-se e explicita-se o vigor que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas possuem perante a uma ainda limitada quantidade de publicações e estudos, considerando-as enquanto edificações e projetos das áreas de engenharia e arquitetura.

Pode-se perceber também que a gama de tipos de tecidos e membranas permite sua utilização tanto para obras de pequeno porte como de grande porte e grandes vãos, como os casos apresentados.

Devido à oferta de membranas e tecidos estruturais e de grande durabilidade, que atingem a indicação de até 50 anos de garantia pelos fabricantes, como se apresenta no capítulo 2 deste trabalho, as arquiteturas têxteis não mais ficam confinadas ao

patamar de construções transitórias e sim na qualidade de construções permanentes e compatíveis aos outros tipos de materiais estruturais.

Como comparativo indica-se aqui o concreto estrutural que tem a durabilidade garantida pelas ações projetuais, construtivas e de manutenção, de 50 anos para edifícios comuns e de 100 anos para obras de arte.

Esta indicação de durabilidade se faz como um relacionamento, uma vez que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas não possuem normas sedimentadas e aplicadas ao Brasil, como o concreto, a madeira, entre outros materiais, que se tem a indicação inclusive da escolha do material segundo a agressividade do meio, como a NBR6118 (ABNT, 2003) para as estruturas de concreto.

Ainda cita-se que as membranas por seu caráter flexível e ainda poderem ser notadas como um material de fechamento ou vedação muito leve, cerca de 1 a 3% do peso do vidro, confere a esta tipologia construtiva, a habilidade e aderência às construções temporárias e transitórias e equipamentos urbanos transitórios, ou seja, de atendimento a um evento ou mesmo por um determinado prazo.

Portanto as arquiteturas têxteis e tensoestruturas são aderentes à definição do Código de Obras de São Paulo (PMSP, 2008) para as obras temporárias – são obras de caráter não permanente, passível de montagem, desmontagem e transporte, tal como circos, galpões infláveis, caixas automáticas implantadas em imóvel distinto da agência bancária, cabines de recepção de filmes, "quiosques" para venda de lanches, etc.

1.4 Classificação das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

A classificação mais ampla que se pode indicar para as arquiteturas têxteis refere-se à tipologia construtiva, ou seja, as arquiteturas têxteis e tensoestruturas se inserem na classe das estruturas de forma ativa e de estruturas leves.

A classificação de estrutura de forma ativa é derivada de ENGEL (1997) e, como qualquer estrutura, encontra-se sobre tensão; porém suas conformações se dão pela intrínseca atuação de esforços de tração. Dentro das definições utilizadas no mercado brasileiro, as arquiteturas têxteis pertencem ao ramo da tensoestruturas, denominação que se trata de um anglicismo, por ser tratar de uma tradução incorreta do termo tração em inglês e não tensão.

Quanto à classificação das arquiteturas têxteis e das tensoestruturas com estruturas leves, esta está intrinsecamente relacionada à compatibilização da forma e otimização estrutural, bem como, atendendo às definições já relacionadas no item 1.1.1 deste trabalho.

A partir dessa classificação de caráter mais amplo, pode-se realizar outra classificação levando-se em conta a especificidade da tipologia construtiva.

1.4.1 Classificações geométricas

BARROSO (2007) proprietário da TECHNICA empresa especializada em tensoestruturas, cita que diferentemente das coberturas normais em telhas metálicas, as arquiteturas têxteis tem no tecido a forma e a intrínseca capacidade de resistência aos esforços externos, esta maior ou menor de acordo com a geometria assumida.

Em seu site BARROSO apresenta a classificação quanto à curvatura e à geometria adotada.

Quanto à curvatura as arquiteturas têxteis podem ser sinclásticas e anticlásticas.

1. Nas superfícies anticlásticas, são as de dupla curvatura e as duas curvaturas são as geratrizes da superfície que devem ser em direções opostas, Figuras 1.38.

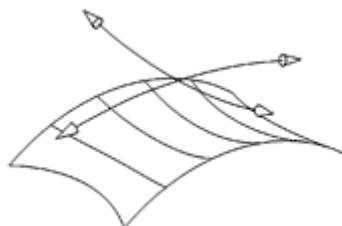


Figura 1.38 Superfície Anticlástica (TECHNICA, 2007).

2. Nas superfícies sinclásticas as duas curvaturas seguem a mesma direção, percebe-se na Figura 1.39 as curvas para a mesma direção (superfície sinclástica).

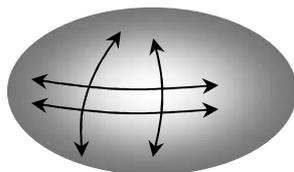


Figura 1.39 Superfície Sinclástica (da autora).

Quanto à geometria para as arquiteturas têxteis, BARROSO (2007) salienta que quase todas possuem formas mistas, derivadas de uma ou mais concepções estruturais típicas, sendo a possibilidade de variações na exploração/elaboração dessas formas primitivas até que seja encontrada a concepção arquitetônica final desejada, item considerado como o grande desafio para o projetista. Das formas primitivas pode-se elencar:

1. Parabolóides hiperbólicos, representados nas Figuras 1.40(a) até 1.40(e).
2. Tendas cônicas ou multi-cônicas, representadas nas Figuras 1.41(a) até 1.41(c).
3. Suportadas por arcos, representadas nas Figuras 1.42(a) até 1.42(d).
4. Onduladas ou plissadas, representadas nas Figuras 1.43(a) até 1.43(c).
5. Tensegrity- (tração integral). Coberturas cujos mastros são flutuantes. Cada extremidade inferior ou superior é ligada aos pontos fixos por um cabo, representadas nas Figuras 1.44(a) até 1.44(c).



Fig.1.40(a)

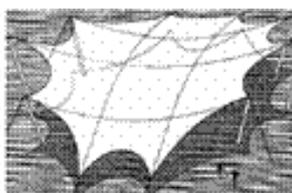


Fig.1.40(b)



Fig.1.40(c)



Fig.1.40(d)

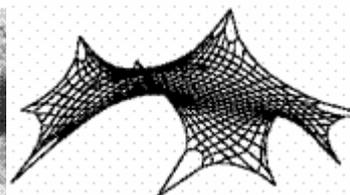


Fig.1.40(e)

Figuras 1.40(a) até 1.40(e) Geometrias em Parabolóides hiperbólicos (BARROSO,2007).

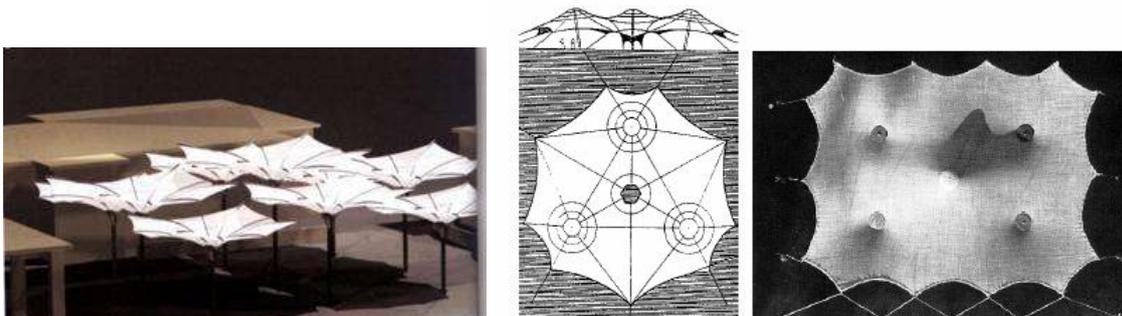


Fig 1.41(a)

Fig. 1.41(b)

Fig.1.41(c)

Figuras 1.41(a) até 1.41(c) Geometrias em Tendas cônicas ou multi-cônicas (BARROSO, 2007).

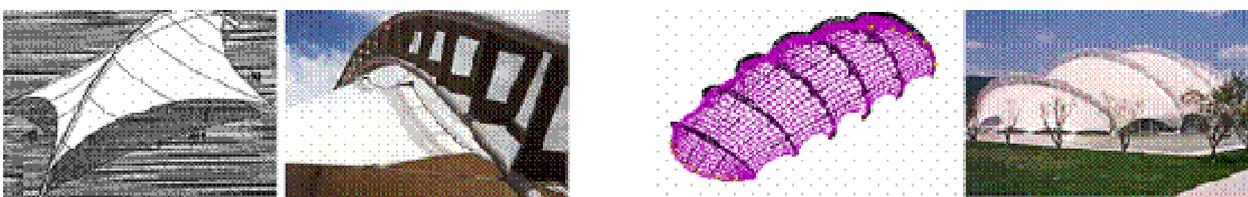


Fig.1.42 (a)

Fig. 1.42(b)

Fig. 1.42(c)

Fig.1.42 (d)

Figuras 1. 42(a) até 1.42(d) Geometrias Suportadas por arcos (BARROSO, 2007).

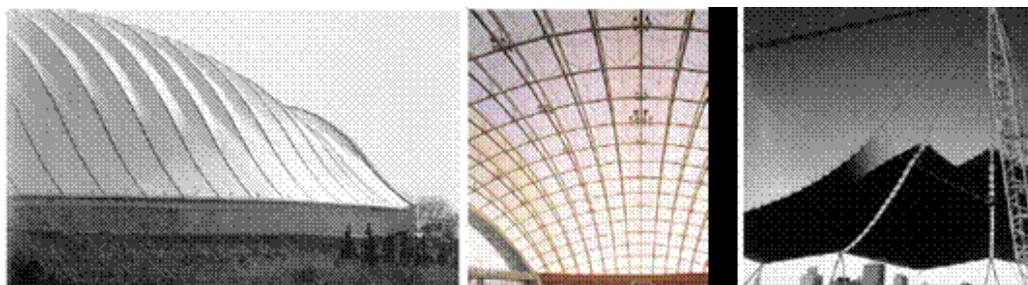


Fig. 1.43(a)

Fig.1.43(b)

Fig 1.43(c)

Figuras 1.43(a) até 1.43(c) Geometrias Onduladas ou plissadas (BARROSO, 2007).

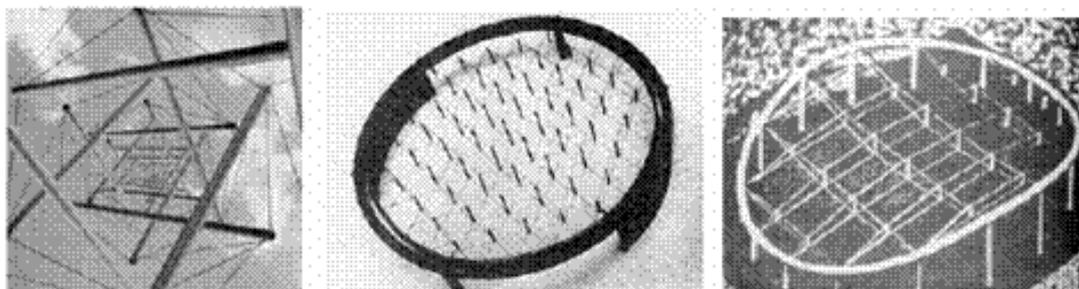


Fig.1.44(a)

Fig.1.44(b)

Fig.1.44(c)

Figuras 1.44(a) até 1.44(c) Geometrias em Tensegrity (BARROSO, 2007).

Outra forma de classificação geométrica é apresentada pela NJIT - New Jersey's Science & Technology University (2002) em que as formas básicas são:

1. Coberturas em sela, Figura 1.45.
2. Tenda radial, Figura 1.46.
3. Sela anticlástica ortogonal, Figura 1.47.
4. Membranas apoiadas em arcos, Figuras 1.48(a) até 1.48(f).
5. Formas obtidas por combinações, Figuras 1.49(a) até 1.49(b).

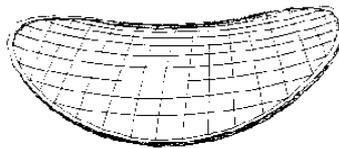


Figura 1.45. Coberturas em sela (NJIT, 2002).

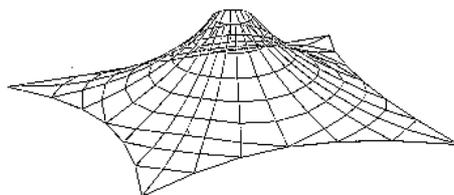


Figura 1.46 Tenda radial (NJIT, 2002).

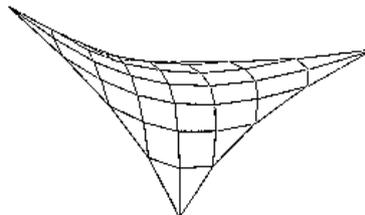


Figura 1.47. Sela anticlástica ortogonal (NJIT, 2002).

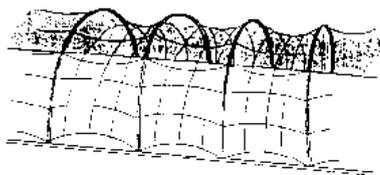


Fig.1.48(a)

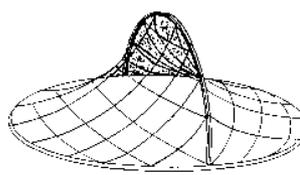


Fig.1.48(b)

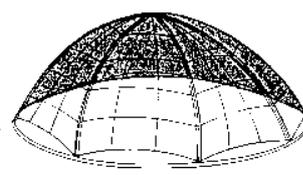


Fig. 1.48(c)

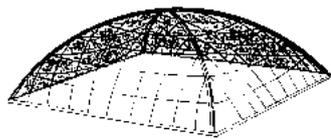


Fig. 1.48(d)

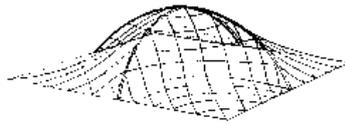


Fig. 1.48(e)

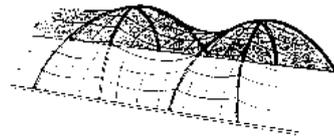


Fig. 1.48(f)

Figuras 1.48(a) até 1.48(f) Membranas apoiadas em arcos (NJIT, 2002).

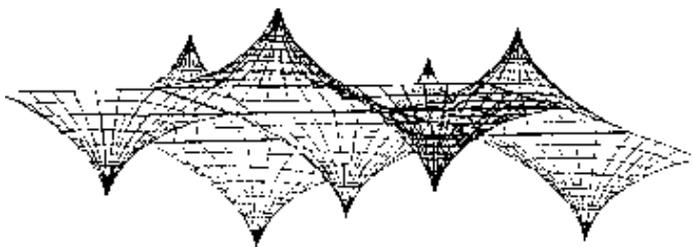


Fig. 1.49(a)

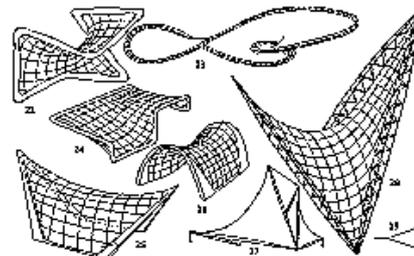


Fig. 1.49(b)

Figuras 1.49(a) até 1.49(b) Formas obtidas por combinações (NJIT, 2002).

1.4.2 Classificação tradicional

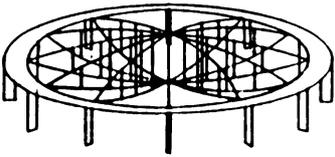
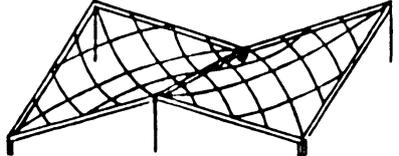
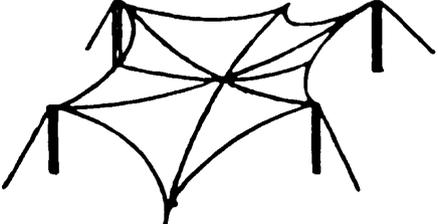
As arquiteturas têxteis e as tensoestruturas são edificações que prescindem de esforços de tração e ainda segundo ENGEL (1997) pertencem aos sistemas estruturais ativos, ou seja, estruturas onde são os esforços atuantes que delimitam sua forma.

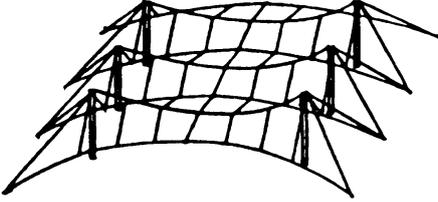
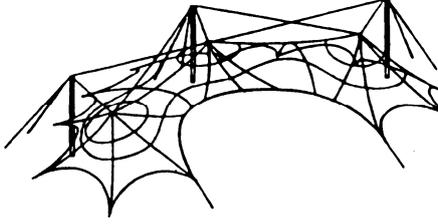
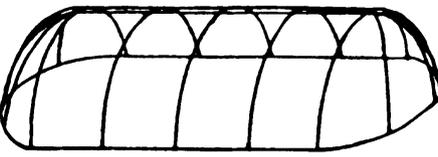
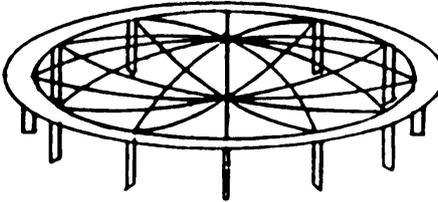
Tendo como escopo a construção do repertório projetual técnico para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas apresenta-se a seguir na TABELA 2 a classificação adaptada de ENGEL (1997) para os sistemas estruturais ativos.

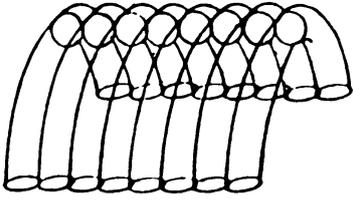
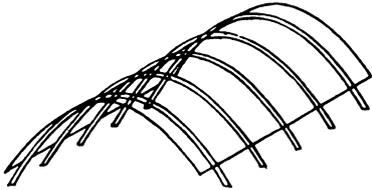
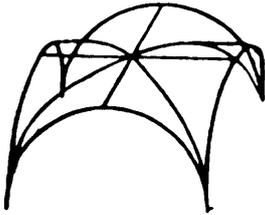
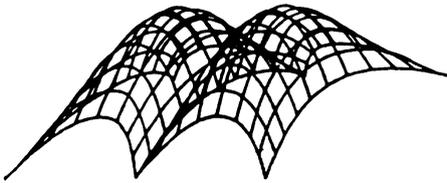
Esta classificação é aqui indicada *como tradicional* por partir de uma primeira *divisão das tipologias tendo como foco a forma estrutural e casos típicos com materiais e vãos* referenciais. Pode-se considerá-la, portanto, como um ponto de partida para se criar no projetista ou futuro projetista a amplitude e visão global destas tipologias arquitetônicas.

Entende-se, portanto que esta classificação responde às primeiras inquietações quanto ao como e quanto se pode vencer em termos de vãos.

TABELA 2: Definição de esquema estrutural de forma ativa face ao material e vão a ser alcançado (adaptada de ENGEL, 1997).

SISTEMA ESTRUTURAL		MATERIAIS BÁSICOS DOS COMPONENTES	VÃOS EM METROS	
TIPO	EXEMPLO		INTERVALO TOTAL	INTERVALO ADEQUADO
SISTEMAS DE CABOS	 <p>Sistemas de cabos paralelos Ou Treliças tensegrity</p>	1) Só metal 2) Metal + Concreto armado 3) Cabos de aço + Membrana	50 A 550	80 A 500
	 <p>Tensegrity radial e/ou Sistemas de cabos radiais</p>	4) Só metal 5) Metal+Con creto armado 6) Cabos de aço + Membrana	30 A 250	60 A 200
	 <p>Sistema de cabos biaxiais</p>	7) Só metal 8) Metal+Con creto armado/ +Madeira 9) Cabos de aço	25 A 200	50 A 120
SISTEMA DE TENDA	 <p>Tendas apoiadas diretas</p>	10) Têxtil + Metal /+ Madeira 11) Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira 12) Cabos de aço	5 A 40	10 A 25

CONTINUAÇÃO DA TABELA 2:				
SISTEMA DE TENDA	 <p>Tendas onduladas</p>	13) Têxtil + Metal /+ Madeira 14) Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira 15) Cabo de aço	20 A 100	30 A 70
	 <p>Tendas apoiadas indiretas Por cabos e/ou com tensegrity</p>	16) Plástico/ Membrana + Metal/ +Concreto 17) Têxtil + Metal /+ Concreto 18) Cabo de aço	20 A 150	30 A 80
SISTEMAS PNEUMÁTICOS	 <p>Sistemas de controle de ar interno</p>	19) 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 de ar</p>	20) Plástico/ Membrana + Metal/ +Madeira/ +Concreto 21) Cabo de aço	20 a 120	20 a 70

CONTINUAÇÃO DA TABELA 2:				
SISTEMAS PNEUMÁTICOS	 <p>Sistemas de tubos de ar</p>	22) Plástico/ Membrana	10 a 70	10 a 50
SISTEMAS DE ARCOS	 <p>Arcos lineares</p>	23) Concreto armado 24) Madeira laminada 25) Metal	15 a 100	25 a 70
	 <p>Abóbadas</p>	26) Alvenaria 27) Madeira 28) Aço	4 a 30	8 a 20
	 <p>Abóbadas reticuladas</p>	29) Metal 30) Madeira 31) Membrana	10 a 150	20 a 90

Dada a TABELA 2, adaptada de ENGEL (1997), nota-se que na coluna de materiais e para as arquiteturas têxteis as tipologias ficariam restritas àquelas indicadas para uso de plásticos, membrana e têxtil. Entretanto, pelo levantamento de aplicações apresentado anteriormente no item 1.3, percebe-se que o direcionamento da aplicação é aderente às necessidades do projeto e não se limitam às condições dos materiais.

Nesse sentido, os condicionantes de projetos estão inseridos em uma forma que pode ser dita como diferente ou mesma nova, que até se pode classificar quanto ao uso e de atendimento por customização pelas empresas dos têxteis e membranas.

CAPÍTULO 2

2. Os Materiais de Vedação/Fechamento das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

Partindo-se da constituição básica das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e como referência as tipologias descritas anteriormente, pode-se especificar que estas edificações podem ser compostas somente pela membrana que é o material de vedação/fechamento ou mesmo ser uma composição entre estrutura de sustentação e a membrana.

Como elenco dos materiais que podem ser aplicados a estrutura de sustentação citam-se os listados na Tabela 2, a saber: madeiras, metais e concretos, cuja tecnologia construtiva enquanto etapas da obra serão consideradas como fora do escopo principal e, portanto complementar a este trabalho. O objeto de estudo deste capítulo se caracteriza pela leveza proporcionada pelo material de cobertura e de fechamento das estruturas, madeiras, metais e concretos, e como de materiais de resistência estruturais.

Cita-se a característica das membranas como estruturais, mas cabe reiterar que a condição ou definição de membrana se refere a um elemento superficial extremamente delgado com a condição de se conformar devido aos esforços de tração e ser estruturalmente de características não lineares, isto é, segundo TABARROK e QIN (1992) de tensões e deformações regidas por equações não lineares.

Da Tabela 2 destacam-se as membranas como sendo as formadas pelos tecidos e plásticos ou poliméricos.

Segundo SHAEFFER (1996) as membranas são definidas como têxteis arquitetônicos, quando aplicadas às estruturas em panos tracionados e quando é o resultado de uma trama de fibras que podem receber cobertura e filmes protetivos.

As membranas quando não forem formadas pela trama de fibras configuram-se em filmes e lâminas que podem ser de materiais plásticos, poliméricos ou filmes sem uma trama de fibras.

De modo geral os filmes, as lâminas e os têxteis arquitetônicos são indicados para as tensoestruturas, ou seja, são aplicados à classe geral das construções leves como fechamento e/ou vedação com membrana.

2.1 Têxteis Arquitetônicos

Os têxteis arquitetônicos são constituídos por um tecido resultado de uma trama de fibras que podem ser naturais, de fibras de vidro, de fibras plásticas, de fibras metálicas e de aramida ou kevlar, que dependendo das características podem ser cobertos por um componente “plástico” ou polimérico e receberem um filme protetivo.

Neste item o objetivo se limitará as descrições referentes ao material em si e com pontuações e indicativos da delimitação quanto à escolha do material, portanto como são apresentados nas referências citadas.

Ainda, cabe salientar que o desenvolvimento das disposições construtivas e sua proposição como condicionante preliminar de forma estruturada entende-se como fator decisivo em projetos, portanto algo ainda não disponível e formalizado em livros e estudos sobre esta tecnologia e de busca que se entende como resposta a tese da relação entre condicionantes formais e projetuais e a qualificação de tensoestruturas e arquiteturas têxteis.

2.1.1 Fibras

São quatro os tipos de fibras mais comuns aplicadas aos têxteis arquitetônicos, são elas: náilon, poliéster, fibra de vidro e aramida ou kevlar, sendo o poliéster e a fibra de vidro as mais utilizadas. As principais características destas fibras segundo (SHAEFFER,1996) são:

- **Náilon:** possui a resistência um pouco superior ao poliéster, mas com menor módulo de elasticidade. Sob condições de variação de umidade suas condições de alongamento tornam-se instáveis, incidindo em cuidados especiais nas atividades de corte e padronagem de panos. Como pode ser degradado com a exposição a raios ultravioletas, sua resistência pode ser perdida, requerendo que para usos de maior durabilidade sejam recoberto com polímero.

- **Poliéster:** sua resistência é levemente inferior ao náilon no caso de tensões de cisalhamento. O poliéster é menos resistente aos raios ultravioletas que o náilon, mas a cobertura polimérica é mais eficiente sobre fibras de poliéster que sobre fibras de náilon, que o torna quando coberto mais resistente a degradação ao UV.
- **Fibra de vidro:** possui os maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência, mas possui a maior desvantagem, que é a fragilidade aos esforços repetidos de flexão, exigindo cuidados especiais no manuseio deste material e afastando-o da adoção em construções temporárias e retráteis. Como não é degradada pelos raios UV é indicada a construções permanentes.
- **Aramida:** também conhecida como kevlar, trata-se de um material orgânico que se deteriora sob a ação de raios UV e possui um grande módulo de elasticidade. Quando comparado ao náilon ou ao poliéster possui menor resistência a flexão, mas é muito mais resistente quando comparado com a fibra de vidro.

2.1.2 Cobertura

Os materiais que normalmente são utilizados na cobertura dos tecidos arquitetônicos são o PVC e o PTFE, descritos por (SHAEFFER,1996) como:

- **PVC – Polyvinylchloride:** trata-se de um polímero macio e flexível que se adapta muito bem as formas arquitetônicas das tensoestruturas e pode ser considerado como o material mais utilizado. Possui resistência aos raios UV e variabilidade de cores. Os têxteis arquitetônicos com PVC possuem normalmente fibras de náilon ou de poliéster.
- **PTFE – “Polytetrafluoroethylene”:** O PTFE também conhecido como Teflon é quase que quimicamente inerte, resistente a umidade e aos micro-organismos e possui uma alta durabilidade. A disponibilidade é dada somente na cor branca, possui elevada resistência ao fogo. Normalmente o têxtil arquitetônico com PTFE é composto com fibras de vidro, resultando em alta resistência, alto módulo de elasticidade das fibras, de alta capacidade de transmissão de luz pela translucidez, porém quando comparado com o têxtil com PVC é muito mais caro.

O PTFE somente é atacado por metais alcalinos líquidos, como também por algumas ligações de flúor sob pressão e temperaturas muito elevadas, ou seja, suporta temperaturas de -200°C até +260°C (INCOMPLAST, 2008).

- **Silicone:** Normalmente aplicado em tecidos de fibra de vidro, resultando em um têxtil de excelente característica em relação aos raios UV, aos esforços de flexão, ao fogo. Permite alta transmissão de luz pela translucidez. Pode-se em termos de propriedades mecânicas classificarem como equivalente ao têxtil com fibra de vidro e PTFE.

2.1.3 Filmes Protetivos

Os filmes protetivos podem ser em Silicone, Acrílico, PFV e PVDF, caracterizados segundo SHAEFFER (1996) como responsáveis pela manutenção das características estéticas e de translucidez dos têxteis, promovendo as condições de material auto-limpante, de reflexivo aos raios UV e portanto da durabilidade. Os filmes protetivos mais comuns são o PFV e o PVDF.

- **PVF- Polyvinylflouride:** aplicado tanto nos têxteis de fibra de vidro e PTFE como nos de poliéster e PVC.
- **PVDF – Polyvinyl deneflouride:** aplicado principalmente em têxteis com fibras de poliéster.

2.2 Filmes e Lâminas

Os filmes também identificados como películas e aplicados em tensoestruturas são normalmente de PVC e ETFE e as lâminas são as de acrílico ou policarbonato, configurando-se em placas sobre tensoestruturas em redes de cabos.

As lâminas ou chapas podem ser dimensionadas e avaliadas pelas condições mecânicas como membranas, mas possuem espessura superior aos filmes e têxteis arquitetônicos, ou seja, os filmes possuem a espessura entre 50 a 250 µm (0,05 a 0,25 mm) e as lâminas de 2mm a 20mm

Segundo Okais no livro organizado por MOLLAERT (2002) os filmes termoplásticos transparentes possuem para as tensoestruturas as descrições básicas elencadas a seguir, bem como, os tipos utilizados estruturalmente podem ser agrupados em três tipologias: ETFE, THV (TFE, HFP, VDF fluoropolymer) e PVC.

- **PVC – Polyvinylchloride:** Possui baixa resistência, assim como módulo de elasticidade e resistência ao calor e resistência às radiações UV também baixos. Portanto de pouca aplicabilidade em tensoestruturas mas utilizado em arquiteturas temporárias e em cenografias.
- **THV:** É equivalente ao PVC para estas aplicações.
- **ETFE – “Etylen-tetrafluorethylene”:** Trata-se de um material amplamente utilizado nas tensoestruturas pelas suas qualidades de resistência, de elasticidade bilinear, isotropia em condições normais e comuns de uso, além de fornecer condições retardantes ao fogo, resistência aos raios UV, adaptabilidade a estruturas pneumáticas, através da formação de colchões que inclusive servem de climatizadores.

As lâminas de acrílico e policarbonato são as mais comuns nas aplicações de vedações de estruturas de cabos e redes.

- **Acrílico:** É o mais comum dos materiais transparentes, possui resistência à impactos com várias possibilidades em tamanhos e espessuras. Trata-se de um material maleável com ótima qualidade e transparência. Pode ser usinado com facilidade assim como receber trabalhos de termoformagem (DAY BRASIL, 2008).
- **Policarbonato:** Trata-se de um termoplástico, ou seja, um plástico que amolece ao ser aquecido e endurece quando resfriado, permitindo que se façam curvas ou outros formatos, sem nenhuma emenda. É de alta transparência, até 90%, resiste a impactos sendo em média 200 vezes superior à do vidro e trinta vezes maior que a do acrílico. Mais leve que o vidro, pode ser curvado a frio e tem proteção contra raios ultravioleta. São três os tipos de chapas encontradas no mercado: as compactas, as alveolares e as refletivas (chapas compactas com tratamento anti-abrasivo e de melhor eficiência térmica). A escolha do produto deve levar em conta fatores como a luminosidade, o raio da curvatura desejada e o conforto térmico, além do efeito estético e o preço (DAY BRASIL, 2008).

2.3 Características técnicas básicas para escolha do material

Okais por MOLLAERT (2002) e VANDENBERG (1996) fornecem dados básicos sobre as propriedades dos materiais mais utilizados em tensoestruturas e arquiteturas têxteis que se apresentam em uma adaptação a seguir pela TABELA 3.

TABELA 3: Características básicas das membranas e filmes (adaptado de MOLLAERT, 2002 e VANDENBERG, 1996).

TIPO DE MEMBRANA	PESO MÉDIO (g/m ²)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO OU PROTENSÃO PARELELA À URDIDURA (N/5CM)	FLEXIBILIDADE RESISTÊNCIA AO ENCURVAMENTO	RESISTÊNCIA AOS RAIOS UVS	DURABILIDADE OU EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL (ANOS)	CORES PADRÕES	EXECUÇÃO DE JUNÇÕES, INSERTOS, SOLDAS E ENCAIXES	APLICAÇÕES FREQUENTES-TIPOS DE CONSTRUÇÕES
POLIÉSTER COBERTO DE PVC TECIDO E MALHA ABERTA	800 A 1450	3000 A 9800	EXCELENTE	ALTA	>20 PODEM TER DURABILIDADE EM MÉDIA DE 3 A 5 ANOS COM ALTA TRANSLUCIDEZ E EM MÉDIA DE 15 ANOS NO PADRÃO BRANCO OPACO	BRANCO-PADRÃO, ATENDE A DIVERSAS CORES SOB ENCOMENDA TRANSLUCIDEZ DE 8 A 30% (OBTIDA COM PVC TRANSPARENTE)	EXECUÇÃO FÁCIL	TEMPORÁRIAS, MÓVEIS, RETRÁTEIS E ESTRUTURAS PERMANENTES EM SISTEMAS PADRÕES.
FIBRA DE VIDRO COBERTA COM PVC	800 A 1550	3500 A 6500	SUFICIENTE	EXCELENTE	>25	BRANCO-PADRÃO, VARIEDADE DE CORES LIMITADAS SOB ENCOMENDA TRANSLUCIDEZ DE 5 A 15% (OBTIDA COM PVC TRANSPARENTE)	EXIGE TÉCNICAS ESPECIAIS	ESTRUTURAS PERMANENTES EM SISTEMAS PADRÕES

CONTINUAÇÃO DA TABELA 3:

FIBRA DE VIDRO COBERTA COM PTFE	800 A 1500	3500 A 6500	SUFICIENTE	EXCELENTE	>30	BRANCO-PADRÃO, VARIEDADE DE CORES LIMITADAS SOB ENCOMENDA TRANSLUCIDEZ DE 5 A 15%	EXIGE TÉCNICAS ESPECIAIS	ESTRUTURAS PERMANENTES EM SISTEMAS PADRÕES
TECIDO COBERTOS COM PTFE	300 A 800	3550 A 3880	EXCELENTE	EXCELENTE	>25	BRANCO-PADRÃO, VARIEDADE DE CORES LIMITADAS SOB ENCOMENDA TRANSLUCIDEZ DE 5 A 10%	EXECUÇÃO FÁCIL	ESTRUTURAS RETRÁTEIS, PRINCIPALMENTE UMBRELLAS (GUARDA-CHUVA)
MALHAS ABERTAS DE FIBRA DE VIDRO COBERTA COM PTFE/PES	300 A 800	5000	DE EXCELENTE A SUFICIENTE	EXCELENTE A ALTA	>20	BRANCO-PADRÃO, VARIEDADE DE CORES LIMITADAS SOB ENCOMENDA	EXIGE TÉCNICAS ESPECIAIS	INTERIORES, PROTEÇÕES SOLARES, OUTDOORS, FECHAMENTOS DE PROTEÇÃO
FILMES DE ETFE	87,5 A 350	52 A 64 N/mm ²	ALTA	EXCELENTE	>25	TRANSPARENTE-PADRÃO OU BRANCO E VARIEDADE DE PIGMENTAÇÃO SOB DEMANDA	EXIGE TÉCNICAS ESPECIAIS, FORMANDO ALMOFADAS	ZOOLOGICOS, JRADINS, ESTUFAS, PISCINAS, ESTÁDIOS, FACHADAS E ÁTRIOS

CAPÍTULO 3

3. O Projeto para as Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

O objetivo neste item é primeiramente o estudo e o levantamento de parâmetros de projetos que se tem o objetivo de comprovar como condicionantes deste.

Conseqüentemente provar que a compatibilidade de parâmetros projetuais apresentase em níveis de complexidade, portanto sob a hipótese que a forma de projetar as tensoestruturas e arquiteturas têxteis está diretamente relacionada a condicionantes.

Apresenta-se neste capítulo e no item 3.1, a composição de projeto através de atividades com o objetivo específico de extrair condicionantes desta atividade enquanto relação entre profissionais e forma de condução e desenvolvimento.

No item 3.2, de modo específico e sob a forma de desenvolvimento do projeto, buscase delimitar o condicionante quanto à tecnologia computacional, ou seja, enquanto ferramenta e ou sua forma de aplicação e uso. Já no item 3.3, serão tratadas as condicionantes que estão presentes no projeto como variáveis de decisão para os projetos.

Portanto este capítulo se estrutura pela definição de condicionantes da atividade de projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, elencando como esta atividade é desenvolvida para uma obra e edificação, ou seja, como uma atividade que possui condicionantes para a sua realização em termos físicos e formais.

3.1 As Atividades Projetuais das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

As atividades de projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas podem ser caracterizadas como de desenvolvimento de um projeto comum, sendo estes projetos de arquitetura ou de engenharia.

Partindo-se do conceito mais amplo e da definição de projeto e, normalmente aplicada em engenharia:

Projeto é uma atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução (MELHADO e AGOPYAN, 1995).

Mas citando-se como parâmetro BITTERMANN em seu artigo publicado por ORCIUOLI (2004) que para definir o processo de projeto arquitetônico, várias metáforas podem ser realizadas, pois a mente do arquiteto resolve problemas tentando representar uma relação complexa dos elementos envolvidos e das informações básicas por um desenho de conceito, ou forma conceitual, cuja qualidade de representação é muito influenciada pela compatibilidade das experiências anteriores e as informações que se tem sobre o projeto.

Sob a mesma visão, pode-se neste item caracterizar que o projeto é uma atividade ou mesmo um processo que contempla uma série de ações, mas que pelas reflexões de KOWALTOWSKI et alli (2006) sobre o projeto arquitetônico, são grandes as dificuldades de se enquadrar as características do processo projetivo em metodologias de projeto, uma vez que o processo de criar formas em arquitetura é na maioria das vezes informal, individual ou simplesmente pertence a escolas de regras estéticas.

Portanto das diretrizes anteriores, justifica-se neste trabalho a não aderência total de definições para o projeto de engenharia e de arquitetura, mas sim, pela descrição das atividades projetuais das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e não como processo de projeto, atende a uma complexidade muito maior e ao caráter intrínseco das áreas de engenharia e arquitetura.

Julga-se neste item que uma forma ou metodologia consolidada de projeto pode ser vista como sistêmica e de organização de atividades como proposto por MELHADO e AGOPYAN (1995), ao que se pode chamar de projeto de engenharia ou projeto de construção.

Mas sob a visão do projeto arquitetônico a caracterização está muito mais para processos de decisão que segundo KOWALTOWSKI et alli (2006) situa-se numa área intermediária entre ciência e arte, respondendo a questões não perfeitamente definidas e que permite múltiplas abordagens, além de poder utilizar a descrição verbal, gráfica ou simbólica, isto é, vários mecanismos de informação, para antecipar analiticamente um modelo e seu comportamento. Portanto trata-se de um processo de criação que não possui métodos rígidos ou universais entre profissionais, muito embora possam ser atestados alguns procedimentos comuns entre projetistas.

Desta forma, a seguir apresentam-se as atividades projetuais para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas sob os enfoques da engenharia e construção e o enfoque de projeto colaborativo entre engenharia e arquitetura, este último sob a condição de propostas de projetistas deste tipo de tecnologia. Portanto, objetivo deste item de modo específico se fixa no campo das atividades projetuais, não se limitando ou fixando o projeto arquitetônico enquanto uma estrutura ou método sistematizado.

3.1.1 O projeto sob o enfoque de engenharia e construção

As ações da engenharia que levaram e levam a racionalização construtiva, podem ser caracterizadas como o projeto pautado na busca de novas formas estruturais e de melhorias contínuas. Esta forma é constatada e presente, no fim do século 19, nos balões, dirigíveis, máquinas voadoras, formas que foram geradoras das idéias de novas formas, métodos construtivos que impulsionou a arquitetura têxtil e as tensoestruturas para uma base moderna e conseqüentemente para as condições atuais.

Basicamente, os macro-campos de estudo de qualquer edificação em geral são o projetivo, o construtivo, o executivo e o de manutenção; destes fixar-se-á ao projetivo, dado a especificidade deste item.

Os projetos de engenharia e construção das arquiteturas têxteis e tensoestruturas diferem em muito do projeto de uma construção convencional devido à condição formal de uma distinta geometria, necessária às condições de estabilidade obtida na etapa denominada de busca ou geração de formas, “form-finding”.

Esta etapa de busca da forma é representada por uma atividade da concepção da forma, configurando-se pela precisão mesmo antes de uma análise estrutural de fato, pois prescinde da necessidade de se estabilizar uma forma em seu equilíbrio natural e de definição da geometria que manterá o equilíbrio das tensões no material. A forma obtida pelo “form-finding” seria a geometria fisicamente passível de existência em um sistema governado por esforços de tração.

Outro ponto distinto ao modo clássico de projeto e das construções convencionais são os seus elementos construtivos e aos materiais que as compõem, que são a membrana ou filme, os cabos, mastros e acessórios e as técnicas correspondentes para a consecução destas obras.

Uma seqüência geral para o projeto de engenharia e construção das arquiteturas têxteis e tensoestruturas divide-se em três etapas principais: busca da forma, análise e padrões de corte. Conforme TABARROK e QIN (1992) podem ser descritos como:

1. Busca da forma: a determinação da forma inicial de equilíbrio que satisfaça as exigências arquitetônicas e estruturais;
2. Análise dos carregamentos: a investigação do comportamento das estruturas sob várias cargas de serviço, como cargas de vento e neve. Esta etapa requer a solução de um conjunto de equações não lineares;
3. Padrões de corte: a partir de uma forma definida parte-se para a determinação dos padrões de corte da membrana, tecido planificado. Esta etapa também requer a solução de um conjunto de equações não lineares.

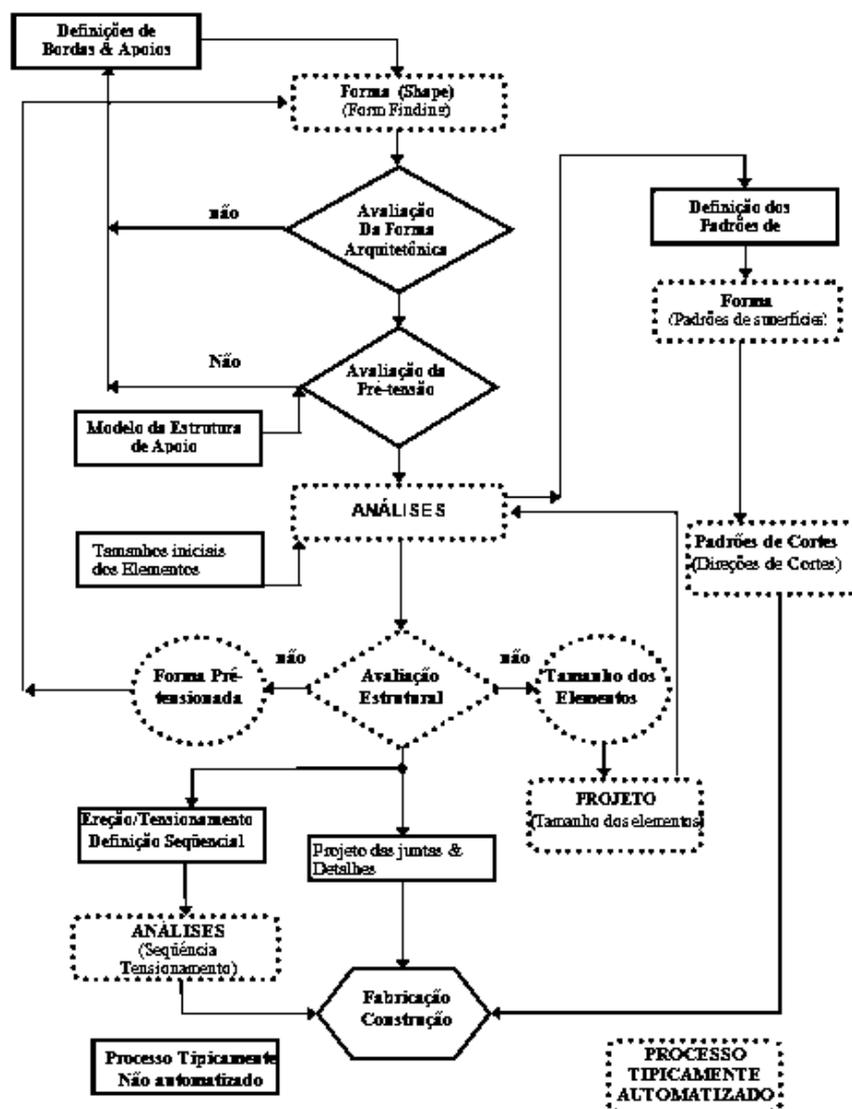


Figura 3.1 Fluxograma de projeto e construção de uma estrutura em membrana (CAMPBELL, 1991 e 2003).

Já a metodologia geral proposta por CAMPBELL (1991 e 2003) para o projeto e construção de uma estrutura de membrana tensionada é ilustrada no fluxograma mostrado na Figura 3.1.

Nota-se, nesta Figura, que as atividades já são tipicamente automatizadas/computadorizadas com base em metodologias iterativas, uma vez que a antecipação dos resultados na concepção de uma estrutura reduz o esforço geral envolvido no projeto e na criação do sistema.

Tal metodologia já é considerada como apropriada para uma grande variedade de sistemas tensionados, devido à presença de vários algoritmos/programas já utilizados com sucesso.

O projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas é um projeto de estruturas especiais e de grandes vãos, segundo MAJOWIECKI (2002), seguem o esquema da Figura 3.2, onde as três fases principais são equivalentes aos projetos convencionais: o projeto conceitual, o modelo analítico, e o projeto funcional; porém, o processo de projeto deve ser conferido de modo mais intenso em cada uma destas fases devido à própria tipologia estrutural e da grande necessidade da interatividade projetual.

A partir da Figura 3.2 entende-se que o autor procura já estabelecer alguns itens para composição de um projeto integrado, estabelecendo possibilidades, citando de forma não ordenada e sem prioridades de relacionamentos profissionais, como por exemplo, indica o perito, mas não fornece as condições desta exigência.

Desta forma pode-se notar que a proposta deste item no trabalho insere-se não só como configuração distinta projetual, mas também se propõe como um processo contínuo de construção do conhecimento para o ato de projetar. As atividades de projetos que poderão ser aplicadas ou até mesmo exigidas em diversos momentos, como na própria definição da forma até o momento da construção, na definição das etapas de içamento e manutenção deste tipo de estrutura, ou seja, considerando como um processo que gere a funcionalidade, desempenho e durabilidade.

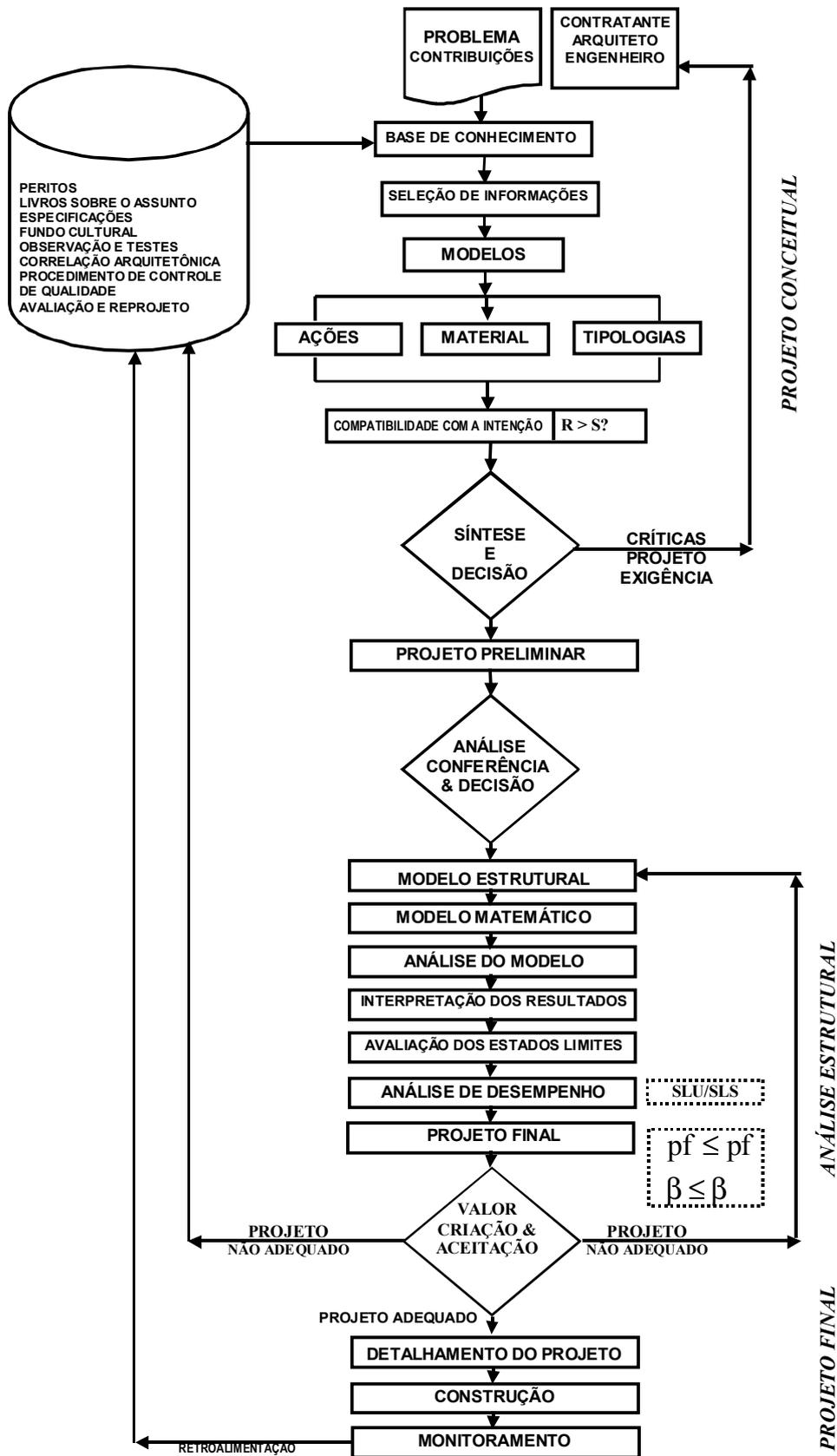


Figura 3.2 Sequência de projeto estrutural de obras especiais (MAJOWIECKI, 2002).

3.1.2 As atividades do projeto sob o enfoque colaborativo entre engenharia e arquitetura

A diretriz de um projeto colaborativo entre engenharia e arquitetura vincula-se às arquiteturas têxteis e as tensoestruturas de modo arraigado onde há o estabelecimento do conceito de busca de forma⁵ como um processo de projeto, bem como um processo de melhoria contínua.

Para entender melhor os processos de projeto e concepção destas construções, há que se defini-los como os estudos que compatibilizam seus parâmetros, ou seja, governam a associação entre: formas, forças, materiais, formas estruturantes e tecnologia. Assim, as diferentes fases de projeto e o processo de concepção podem viabilizar condições ou mesmo levar ao aparecimento de princípios estruturais novos no domínio da construção.

Este entendimento é muito claro para MOTRO (2003) que coordena a equipe “**Conception en Structures**” na França e, estão empenhados no desenvolvimento de trabalhos de pesquisas de cunho histórico-crítico e de base científica aplicável aos processos de concepção das estruturas leves e arquiteturas têxteis, nos quais a preocupação com a morfologia estrutural é tratada como a “mais importante” para adequação do parâmetro forma com um ou vários outros parâmetros; além dos estudos que fazem de aproximação dos sistemas estruturais aos sistemas da natureza.

Neste ponto pode-se citar um exemplo da compatibilização, melhoria e conseqüente busca de formas de modo cronológico como das estruturas de transposição desenvolvidas pelos arquitetos construtores, que antes atendiam empiricamente a um determinado carregamento através de arcos sucessivos em pedras e alvenaria e hoje, através de balanços sucessivos em concreto armado e/ou aço, até as modernas pontes estaiadas e pênséis, tratando-se da evolução de formas haja a vista os projetos mais recentes do arquiteto Norman Foster para a ponte de Milau na França (FOSTER AND PARTNERS, 2008) e do arquiteto Santiago Calatrava para as diversas pontes projetadas como a Felipe II em Barcelona e Turtle Bay nos Estados Unidos (METÁLICA, 2008a).

⁵ A particularização da técnica de busca da forma é relativa ao estudo morfológico dos sistemas estruturais, ou seja, o estudo sob o ponto de vista da forma, que segundo SILVA e SOUTO(1997), deve considerar suas origens, morfogênese, e a evolução; visando a síntese, análise e concepções estruturais que respondam aos anseios funcionais, técnicos e culturais. Enquanto que a morfogênese de um sistema estrutural corresponde às razões determinantes de suas formas, constituição, compatibilização e otimização a seu uso, aplicação e desempenho. Onde a fase de compatibilização e otimização traduz se num ciclo de evolução e integração sucessiva às origens da forma.

Outro exemplo que pode ser citada a integração profissional, não só entre arquitetos e engenheiros sob novas tecnologias construtivas, mas vinculado às descobertas biotécnicas do biólogo Heackel, no início dos anos noventa, tendo como resultado a construção na Inglaterra das estufas em estrutura leve e cobertas em membranas de ETFE- “Ethylene Tetrafluoroethylene”, do Éden Park, Figuras 3.3 e 3.4, sob forte aplicação de materiais novos e projeto viabilizado através de diversas simulações e análises por computador (STACH, 2002).



Figura 3.3 Vista interna do Éden Park (The Eden Project, 2001).



Figura 3.4 Vista externa do Éden Park (The Eden Project, 2001).

Assim, devido à recente utilização das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e o processo de projeto ter particularidades ao ponto de ser reconhecido como distinto das estruturas ditas convencionais ou mesmo, possuir terminologias não usuais, as ações e seqüências de projeto deveriam ser tratadas como um sistema construtivo em que a engenharia e arquitetura necessitam de um trabalho solidário, como “um andar juntas”, em todas as etapas de projeto.

OLIVEIRA em sua tese do ano de 2001 defendeu a visão mais ampla de projeto das estruturas em membranas. Segundo esta autora, seria o rumo a ser desenvolvido no Brasil, ou seja, uma metodologia de construção e projeto das estruturas de membrana

que por envolver muitas áreas de conhecimento exigirá um modelo integrado de pesquisa em estruturas de membrana, análogo a um disco, o qual está esquematizado na Figura 3.5.

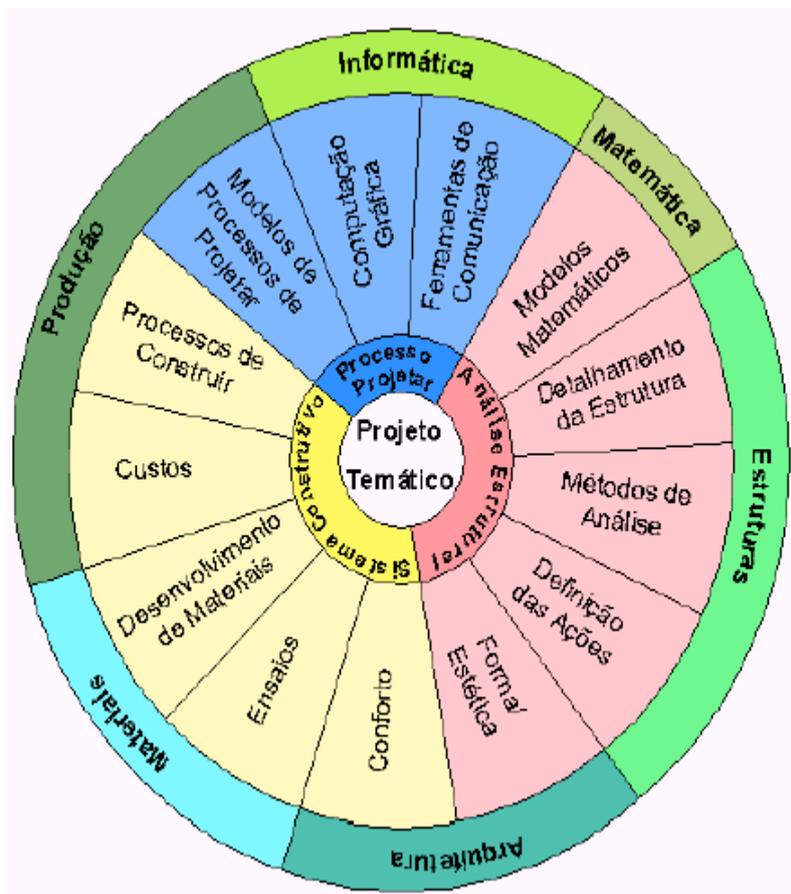


Figura 3.5 Fluxograma de projeto e construção de uma estrutura em membrana (OLIVEIRA, 2001).

Da tese de OLIVEIRA (2001) comenta-se que esta Figura 3.5 é composta por quatro faixas. Ao centro, tem-se o projeto de pesquisa temático, o qual busca a integração das áreas de conhecimento nas investigações científicas ou tecnológicas a serem desenvolvidas. A segunda faixa é dividida em três setores de pesquisa que compõem o modelo. A terceira faixa representa os temas das pesquisas e, a última faixa, dividida em seis setores, os quais representam as áreas de conhecimento que podem contribuir para o desenvolvimento das estruturas de membrana.

Esta preocupação quanto a uma visão ampla e de todo projeto das arquiteturas têxteis, visando o trabalho conjunto do arquiteto e dos engenheiros projetistas de estruturas, é fundamental, pois segundo MAJOWIECKI (2002), durante as fases iniciais do projeto arquitetônico, a intervenção de engenharia estrutural está muitas vezes quase ausente.

Ainda, segundo o mesmo autor, na fase inicial, a geometria, tipologias e materiais estão preliminarmente definidos em base insuficiente quanto ao conhecimento estrutural. Às vezes acontece sob condições políticas e financeiras particulares, em uma fase onde a inércia do processo de projeto não permite qualquer alteração do projeto original mesmo que conceitualmente definido. Quando tal situação é criada, os engenheiros estruturais são forçados a achar soluções sob condições limites e muito rígidas.

Portanto, a proposta de MAJOWIECKI (2002) é que ocorra desde o projeto conceitual uma visão ampla e integrada da obra para que se traduza em um projeto coordenado e que seja a síntese das diversas áreas como proposto na Figura 3.6, uma vez que os erros conceituais são muito difíceis de serem analisados e removidos nas fases subseqüentes.

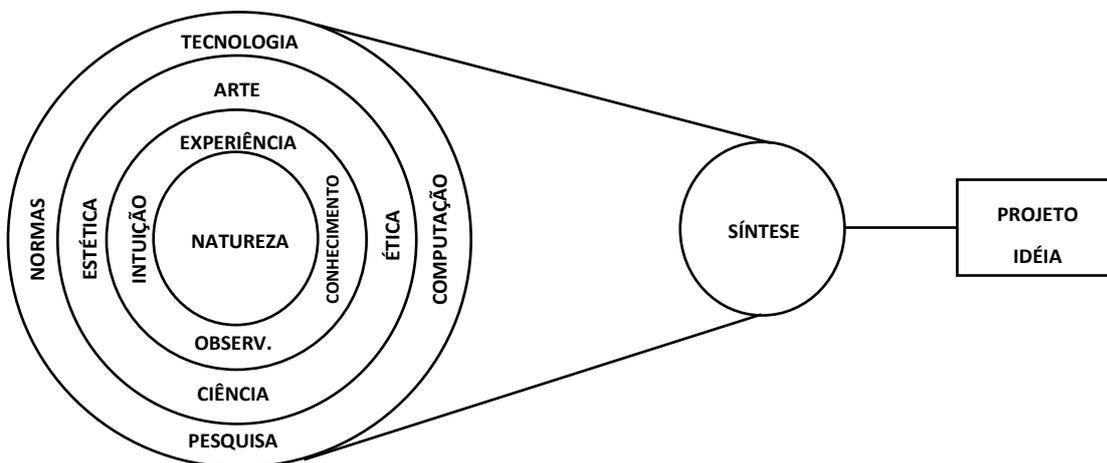


Figura 3.6 Visão holística do Projeto conceitual (MAJOWIECKI, 2002).

Neste sentido é válido ser considerado, dentro de uma metodologia de projeto, a própria qualidade do processo e a qualidade do projeto que podem ser associadas às normalizações e códigos de construções ou mesmo através de auto-verificações e autocontroles.

Vale ainda salientar que, métodos formalizados de garantia da qualidade atendem normalmente a necessidade da instituição ou empresa projetista de alcançar a "segurança planejada", mas que não implica no alcance, de fato e diretamente, das exigências de segurança estrutural, uso e durabilidade.

Ainda, salienta-se que a formalização excessiva dos métodos é reconhecidamente ideal para produtos industrializados e não para procedimentos de controle do processo de projeto conceituais como os exigidos pelas arquiteturas têxteis e tensoestruturas, pois, segundo MAJOWIECKI (2002), muitos problemas e acidentes acontecem, não pela falta de informação técnica, mas devido a erros de procedimento e falhas na comunicação e uso da informação disponível.

Além destes itens e por se caracterizar como uma nova tecnologia construtiva seria necessária uma avaliação adequada e sistemática da resposta do projeto, monitorando-se o desempenho de tal estrutura, para que qualquer forma de insuficiência projetual possa ser avaliada e se assegurar um nível de confiança.

Desta forma pode-se notar que a proposta neste trabalho insere-se não só no momento de análise das atividades projetuais, mas como um processo contínuo de construção do conhecimento para o ato de projetar de uma tecnologia não convencional.

Entende-se, portanto, que as atividades nos projetos das tensoestruturas e arquiteturas têxteis poderão até ser desenvolvidas de modo isolado por área ou até mesmo exigidas em diversos momentos como na própria definição da forma até a construção, na definição das etapas de içamento e manutenção deste tipo de estrutura. Mas os grandes ganhos em projetos já consolidados foram em estudos integrados, desenvolvidos computacionalmente e de projetos colaborativos⁶ entre engenheiros e arquitetos, como um processo cíclico e interativo para a geração da funcionalidade, desempenho e durabilidade desta tipologia construtiva.

3.1.3 A busca da forma como atividade de definição do projeto

Independentemente do enfoque dado às atividades de projeto para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, a busca da forma é considerada a atividade comum e de definição do projeto.

TABARROK e QIN (1992) citam que a forma de uma estrutura tensionada de membrana não pode ser prescrita a priori, ou seja, trata-se de um resultado da atividade de busca da forma, uma vez que a membrana não tem rigidez se não for tensionada e não possui seção resistente à flexão, bem como as cargas sobre a

⁶ Segundo Ceceil Bhaumon e o escritório de Ove Arup em sites das próprias empresas.

estrutura e as tensões internas interage de modo não linear nas equações de equilíbrio.

Estes autores citam que o projeto preliminar das estruturas em membranas envolve a determinação do equilíbrio de uma pré-tensão específica e uma configuração inicial da membrana, esta última atendendo ainda, requisitos arquitetônico, estéticos e estrutural/resistência e estabilidade, bem como, a forma final irá depender do tipo de apoio, do espaço, vão e material.

Estas posturas, na verdade retratam metodologias distintas de busca da forma, sendo que o atendimento aos requisitos arquitetônicos/ estéticos está voltado aos métodos por modelamento geométrico, pautados na construção de maquetes virtuais ou físicas e a outra postura corresponde aos métodos numéricos que atendem aos requisitos estrutural/ resistência e estabilidade, estes pautados em métodos computacionais e de análise por elementos finitos.

De modo específico, os métodos numéricos de busca da forma são utilizados nas etapas de projetos de engenharia para verificação de projetos ou mesmo para a viabilidade de projetos arquitetônicos. Dentre os métodos utilizados no estudo da busca da forma das estruturas em membranas, e com imprescindível implementação computacional citam-se:

- Análise não linear dos deslocamentos,
- Relaxação dinâmica,
- Método da densidade de forças.

Quanto aos métodos geométricos pode-se se citar que se trata do primeiro método e utilizado por Frei Otto, precursor das arquiteturas têxteis. Citado em várias fontes bibliográficas, trata-se de um modelamento geométrico através de filmes de sabão que eram fotografados de modo estéreo 3D, como pode ser demonstrada pela Figura 3.7.

Porém este método não se mostrou prático por representar condições específicas de tensões mínimas.

Outro método geométrico a ser citado refere-se ao método da grelha ou malha de Horst Berger, usado inicialmente para criar uma forma geométrica tendo como base as forças de equilíbrio, determinadas pelos valores das coordenadas em z e na equação de equilíbrio das forças.

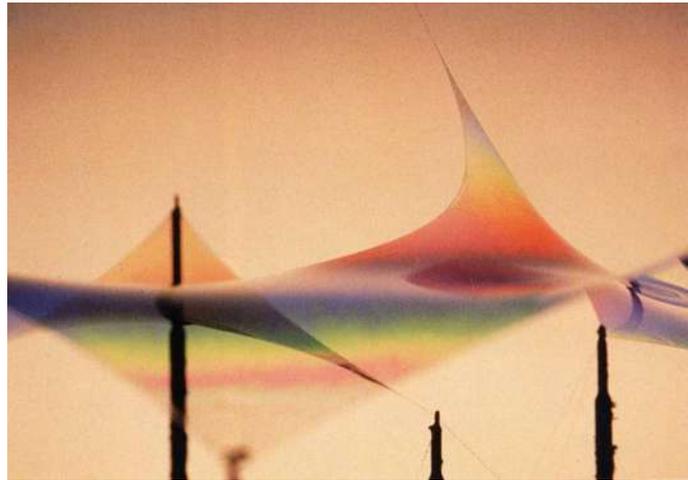


Figura 3.7 Membrana em filme de sabão fotografada em estéreo foto 3D (NJIT, 2002).

Este processo pode ser descrito nos seguintes passos e ilustrados pelas Figura 3.8 e Figura 3.9:

1. Inicie com uma planta inserida em uma grelha ou malha de nós.
2. Dê elevação ao ponto central.
3. Determinar o equilíbrio das forças nos nós circunvizinhos de modo sucessivo.
4. Reitere as novas coordenadas de z nas equações de equilíbrio.
5. Converter a forma isométrica para a geodésica através da rotação das coordenadas do sistema ortogonal a cada nó.
6. Reitere as novas coordenadas x , y , z nas equações de equilíbrio.

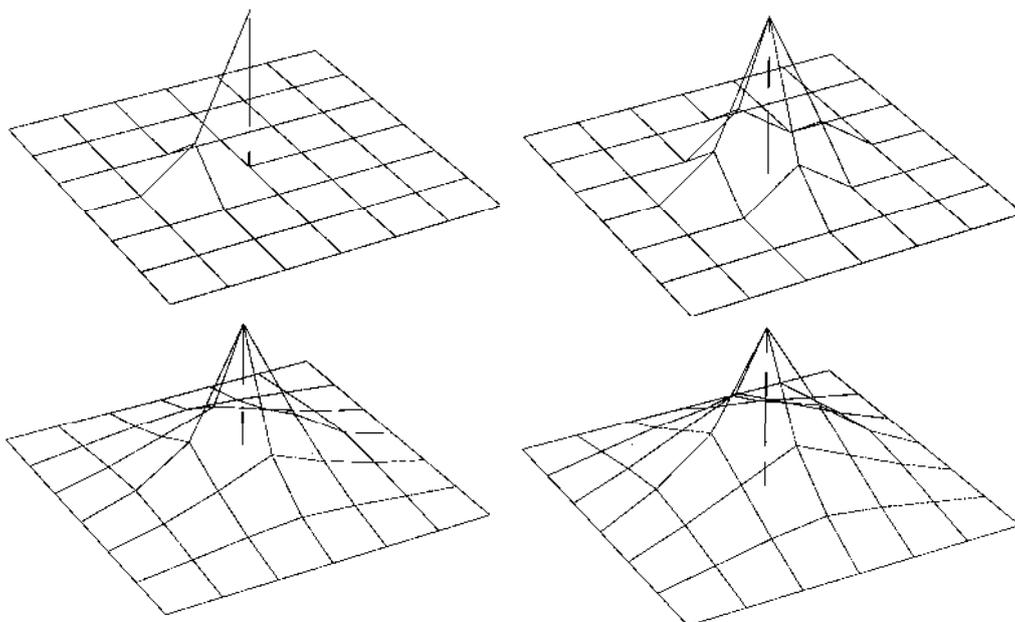


Figura 3.8 Passos do método de Horst Berger na forma isométrica (MIDDENDORF, J., 2002).

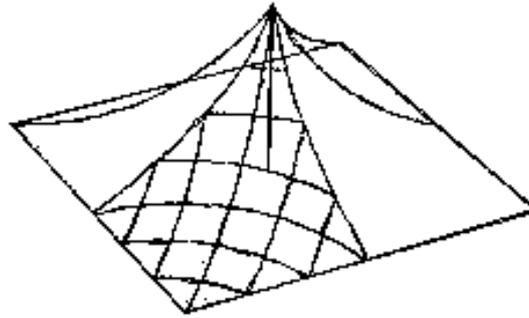


Figura 3.9 Passo de transformação das coordenadas isométricas em geodésicas, segundo o método de Horst Berger (MIDDENDORF, J., 2002).

Da descrição de passos anteriores, o modelamento geométrico pode ser desenvolvido com modelos físicos e maquetes utilizando cabos, fios e tecidos, porém já se encontra consolidado em programas computacionais, gerando a construção de modelos virtuais, sendo os conceitos básicos de estabilidade observados pelas Figuras 3.10 e 3.11.

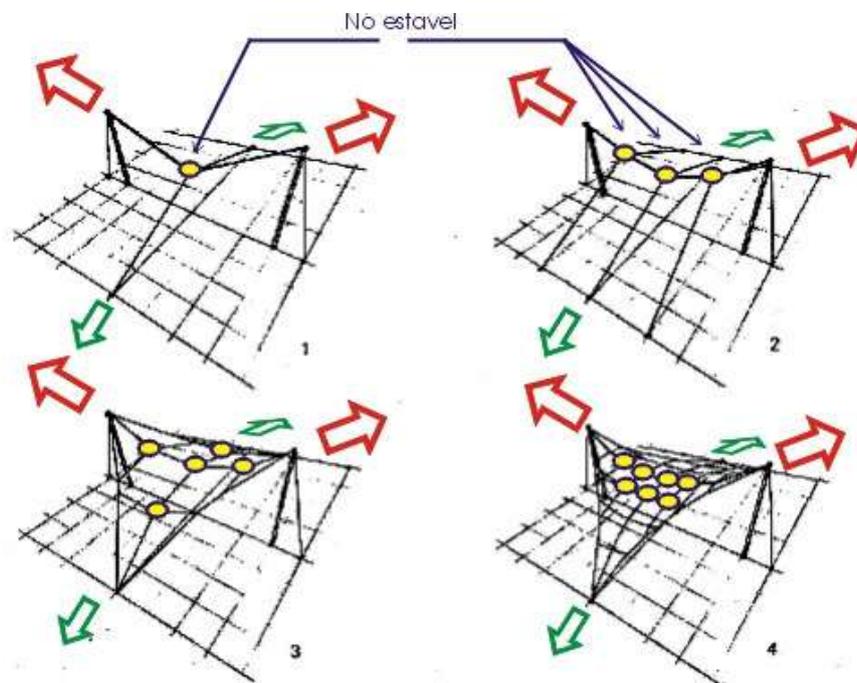


Figura 3.10 Etapas da busca de forma pelo método geométrico e os conceitos de estabilização por nós (autora. s/d.).

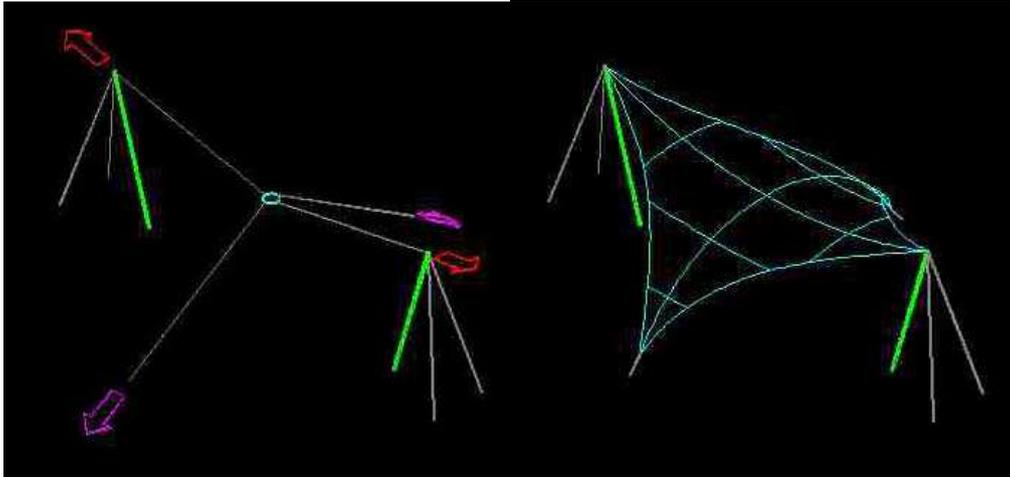


Figura 3.11 A configuração inicial da busca da forma pelo método geométrico em sela e a configuração final (autora, s/d.).

Mas, mesmo com o advento dos programas computacionais específicos, ou mesmo sendo mais dispendiosos, os modelos físicos são ainda muito utilizados para o estudo da forma e da geometria por representarem uma grande conectividade com a intenção e a forma arquitetônica procurada, bem como, permitir certa modelagem de prova-de-carga, como antecipação dos processos de içamentos e tensionamentos e acoragem.

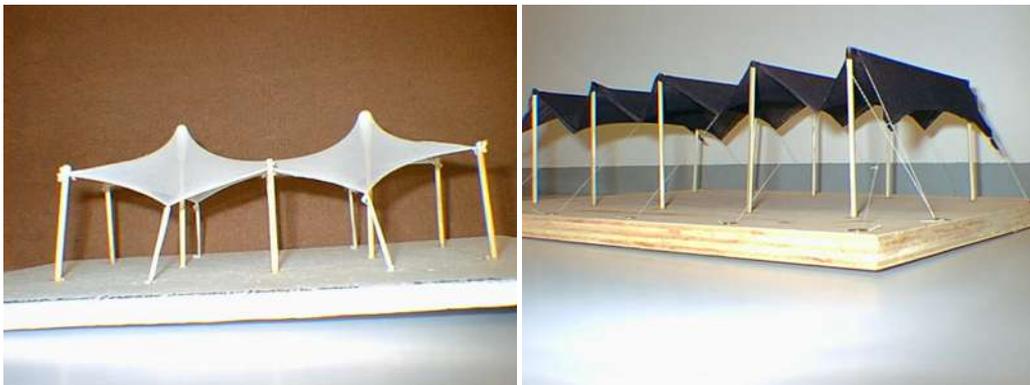


Figura 3.12 (a)

Figura 3.12 (b)

Figuras 3.12 (a) e (b) Maquetes de formas básicas de arquiteturas têxteis desenvolvidas por alunos do 8º semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAAP (autora, s/d.)

Cita-se ainda que para o ensino e o conhecimento prévio da forma, a modelagem física através de maquetes pode ser dita como de grande consistência⁷, como resultado na busca de formas básicas apresenta-se as Figuras 3.12 (a) e (b), bem como, ser o referencial para a modelagem virtual, Figura 3.13, a seguir.



Figura 3.13 Projeto Complexo Aquático - Jogos Panamericanos do aluno Guilherme Canhisares Amadeu, menção honrosa no concurso Ópera Prima – projetando com PVC – 2004, sob orientação da autora, disponível em http://www.projetandocompvc.com.br/opera_prima/anterior/vencedores.asp.

No desenvolvimento projetual formal, de fato, ambos os métodos, numéricos e geométricos, são interdependentes, pois para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas os requisitos estéticos obviamente seguem as leis de equilíbrio, estabilidade e resistência, como qualquer edificação. Portanto, dependendo do método, um passa a ser a diretriz e o outro a verificação ou compatibilidade.

Outra forma de modelamento físico e de comprovação da busca da forma é a prototipagem, sendo que a Rede Nacional de Prototipagem Rápida (2001) cita que o modelo físico representa a materialização de todo o trabalho executado nas fases de concepção, desenvolvimento e elaboração de um produto.

Na maioria dos casos em que a forma geométrica é preponderante utiliza-se como concepção do projeto programas de modelagem, como o programas reconhecidos comercialmente como *Mechanical Desk Top*, *Rinocerus*, *Solids Works* entre outros, mas a impressão de perspectivas antecede em muito a prototipagem, ou seja, a prototipagem aplica-se como último recurso de representação devido aos custos ainda elevados.

⁷ Pode-se comprovar através, dos anos de 1998 a 2008, da atuação desta autora no ensino desta tecnologia, na disciplina de Tecnologia das Construções no curso de Arquitetura e Urbanismo da FAAP que a consolidação de maquetes com “lycra” traduz as condicionantes quanto à busca da forma.

Mas através do levantamento sobre as condições projetuais das estruturas em membranas no Brasil⁸ e das descrições em sites de projetos internacionais, percebeu-se que as metodologias utilizadas para a busca da forma são preponderantemente através dos programas computacionais, mesmo que passem pelo modelamento físico na busca da forma, as condições de tensão da superfície de membrana são quase que exclusivamente determinadas através de técnicas computacionais, além do tempo de respostas entre cada um dos métodos.

Como visão inovadora⁹ da aplicação dos programas computacionais e aderentes à busca de forma como etapa de definição do projeto é o processo utilizado para o Cubo de Beijing ou Centro Aquático Nacional para as olimpíadas 2008, Figura 3.14, onde houve a transferência da busca da forma por modelagem virtual à análise estrutural e esta a uma prototipagem, ou seja, através dos seguintes passos: desenho auxiliado por computador (CAD), processos de engenharia auxiliados por computador (CAE) e finalmente manufatura do modelo físico auxiliado por computador (CAM), Figura 3.15, incluindo no caso da manufatura, a padronagem e cortes dos filmes de ETFE.



Figura 3.14 Vista noturna com controle luminotécnico do Cubo de Beijing, disponível em <http://www.china.org.cn/english/environment/241755.htm> (27/02/2008).

O projeto do Cubo de Beijing foi o resultado de um concurso internacional entre dez consórcios, sendo o consórcio vencedor formado pela empresa de engenharia Arup - divisão Ásia Oriental, a empresa PTW de arquitetura, CSCEC (China State

⁸ Contatos pessoais com as empresas Fidler, Tensotech e ao projetista prof. Dr.Ruy Paletti.

⁹ Descrição do programa sobre as novas tecnologias construtivas na China – canal Discovery.

Construction and Engineering Corporation) e a CSCEC - Shenzhen Design Institute (CSCEC+DESIGN), em julho de 2003 (ARUP- EAST ASIA (a), 2008).

A proposta se valeu de uma busca de forma para as vedações tendo como referência a formação natural de bolhas de sabão e o aspecto orgânico. Sob a consultoria de dois físicos, Weaire e Phelan, o Consórcio obteve a formulação de uma organização de bolhas de sabão em uma ordem infinita como por ser visto pelo protótipo a seguir.

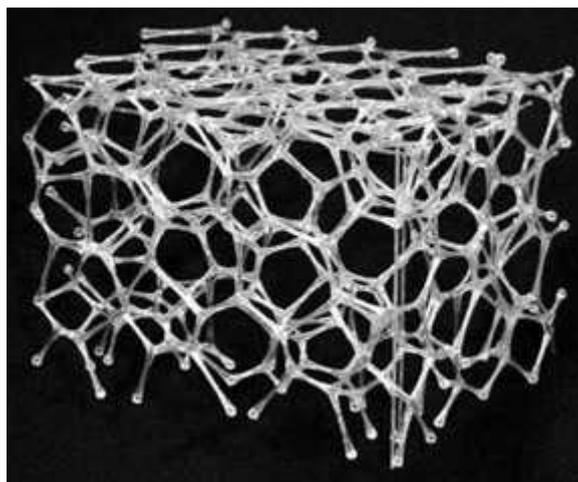


Figura 3.15 Modelo resultado da prototipagem por deposição de acrílico para análise do projeto do Cubo de Beijing, disponível em http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-ar_7969.pdf (27/02/2008).



Figura 3.16 Vista da estrutura primária e a secundária, disponível em <http://www.beijingbirdnest.com/beijingbirdnest/PhotoGallery/Olympic/Venues/NationalStadium/200805/15053.shtml> (02/07/2008).

Tal definição de inovação de busca de forma se justificou pela grande complexidade da forma proposta, em que somente a prototipagem poderia demonstrar a consistência formal, dificilmente uma representação gráfica e muito menos manual, para fornecer a possibilidade da execução de fato, ponto de definição para os projetistas e para os investidores, segundo entrevista transmitida pelo canal Discovery.

Nesta mesma linha de inovação quanto à busca de forma e para o mesmo complexo olímpico o Estádio Nacional de Beijing, também conhecido como “ninho de pássaro” foi o resultado de uma busca de forma realizada pelos engenheiros da empresa Arup, os arquitetos Herzog & De Meuron e a empresa China Architecture Design & Research Group.

Os elementos estruturais entrelaçados da fachada produzem uma única superfície na qual são organizados elementos adicionais de uma maneira caótica para criar a distinção entre a estrutura primária e a estrutura secundária, Figura 3.16.

Segundo descrição da empresa de engenharia ARUP a forma de toda a estrutura e a própria forma da cobertura com a geometria de sela e, descrita como um “ninho” foi desenvolvida a partir de uma elipse. Para a busca e definição de sua forma utilizou-se um programa computacional da própria empresa (ARUP – EAST ASIA (b), 2008).

O fechamento superior externo é em filme de ETFE e na parte inferior e interna é em membrana em PTFE, formando uma dupla camada que corresponde ao tratamento acústico e controle da iluminação.

3.2 A Tecnologia Computacional e os Projetos das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

As etapas de um projeto de arquiteturas têxteis podem ser consideradas como um problema relativamente complexo e como anteriormente apresentado nota-se que a utilização e a contribuição da tecnologia computacional estão presentes em todas as descrições das etapas de projeto deste tipo de obra.

A necessidade do uso computacional pode ser sob primeira instância pela distinta característica geométrica das arquiteturas têxteis, sua base projetual se dá de forma topológica, em função da superfície e não sob as condições das formas convencionais ou euclidianas.

TABELA 4: Comparação entre as geometrias, euclidiana e topológica, das formas arquitetônicas (FLÓRIO, 2005).

GEOMETRIA EUCLIDIANA – CARTESIANA	GEOMETRIA TOPOLÓGICA
<ul style="list-style-type: none"> Opera com ponto, linha e plano. 	<ul style="list-style-type: none"> Opera com vetores no espaço
<ul style="list-style-type: none"> Opera bidimensionalmente no suporte físico 	<ul style="list-style-type: none"> Opera tridimensionalmente no meio digital
<ul style="list-style-type: none"> Pontos coplanares determinam um plano. 	<ul style="list-style-type: none"> Vetores posicionados no espaço não necessariamente coplanares.
<ul style="list-style-type: none"> Controlado por medidas no plano: comprimento, largura, altura. 	<ul style="list-style-type: none"> Controlado por vetores no espaço: posição, direção, velocidade.
<ul style="list-style-type: none"> Simplicidade – leis Gestalt (<i>corrente psicológica que lida com a percepção: todo sempre maior que a parte</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> Complexidade.
<ul style="list-style-type: none"> Limites e contornos claros – interno/ externo; dentro/ fora; início/ fim – descontinuidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Limites indefinidos - mutação; instabilidade; fita Möebius (não há dentro e fora; interno/ externo, início/ fim – continuidade, fluidez).
<ul style="list-style-type: none"> Baseia-se em regras lineares – proporção, ritmo e harmonia entre as partes – eixos, simetria, hierarquia. 	<ul style="list-style-type: none"> Baseia-se em regras não lineares – múltiplas possibilidades de proporção e de ritmo – não hierárquico, assimétrico.
<ul style="list-style-type: none"> Puro, rígido, integral – não deformáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> Híbrido, flexível, fracionário – deformáveis.
<ul style="list-style-type: none"> Representação estática – projeções ortogonais. 	<ul style="list-style-type: none"> Simulação dinâmica – animações e múltiplas perspectivas.
<ul style="list-style-type: none"> Previsibilidade e certeza. 	<ul style="list-style-type: none"> Imprevisibilidade e incerteza.
<ul style="list-style-type: none"> Composição finita. 	<ul style="list-style-type: none"> Manipulação infinita nos níveis topológicos – vértice, aresta, face.
<ul style="list-style-type: none"> Facilidade de modificação manual. 	<ul style="list-style-type: none"> Facilidade de modificação pelo computador.
<ul style="list-style-type: none"> Formas estáticas e unidirecionais – sugere algo estático. 	<ul style="list-style-type: none"> Formas dinâmicas e multidirecional – sugere algo dinâmico.
<ul style="list-style-type: none"> Facilidade de manipulação de formas mentalmente. 	<ul style="list-style-type: none"> Facilidade de manipulação de formas por computador.
<ul style="list-style-type: none"> Ênfase nas formas físicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Ênfase nas relações e interconexões – independe das formas.

Da Tabela 4, FLÓRIO (2007) traça com propriedade um comparativo quanto à manipulação e condições entre as formas topológicas e as euclidianas, portanto nos conduzindo ao uso de programas computacionais no caso das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, dadas não só pela facilidade de entendimento de sua complexidade geométrica que podem possuir, mas pelas condições dinâmicas de decisões e de simulações imprescindíveis para este tipo de obra.

Quanto às dificuldades físicas e computacionais inerentes a este tipo de obra, cita-se que as soluções do projeto **conduzem a uma única aproximação viável**, compatibilizando o programa arquitetônico e as condições tecnológicas, ou seja,

resultado de simulações e soluções numéricas que exigem a aplicação computacional. As principais razões levantadas por LEWIS (1998) são:

1. A ausência da rigidez à flexão da membrana inviabiliza a previsão da forma da estrutura, uma vez que a configuração real de equilíbrio vem a ser uma incógnita da análise estrutural;
2. As cargas aplicadas, as tensões iniciais e a configuração da membrana interagem e a membrana adapta sua configuração às cargas aplicadas;
3. A combinação das cargas aplicadas e tensões internas dependem 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 dentro dos limites de linearidade das relações tensões-deformações do material;
5. A inabilidade da membrana para resistir às tensões de compressão. Este fato se dá através da manifestação de rugas na membrana, o que prejudica a estética do projeto final e a má distribuição das tensões internas.

Diante destes fatos, pode-se dizer que o contexto atual é de desenvolvimento de soluções para estes problemas, onde já se podem constatar métodos computacionais para ajudar os arquitetos e engenheiros no projeto de arquiteturas têxteis, sendo que no Brasil muitos destes programas ainda fazem parte do âmbito das pesquisas acadêmicas. Diferentemente do Brasil, já existem tecnologias computacionais específicas, sendo comercializadas e em uso em diversos projetos na Europa, Canadá, Estados Unidos, Japão, etc.

Dentro da categoria das tecnologias computacionais mais utilizadas para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, podem ser identificados os programas generalistas e os dedicados, termos utilizados por PAULETTI (2002) ou mesmo sob a descrição de programas de propósito geral e programas de propósito específico segundo TABARROK e QUIN (1997); que serão apresentados nos itens 3.2.1 e 3.2.2, a seguir.

Mas o campo das tecnologias computacionais ainda pode ser considerado como de grande necessidade de estudos e que está permitindo não somente aos projetos das arquiteturas têxteis uma nova abordagem e forma de desenvolvimento do projeto, neste sentido FLÓRIO (2005) destaca na Figura 3.17 as formas como a tecnologia computacional pode ser aplicada aos projetos arquitetônicos.

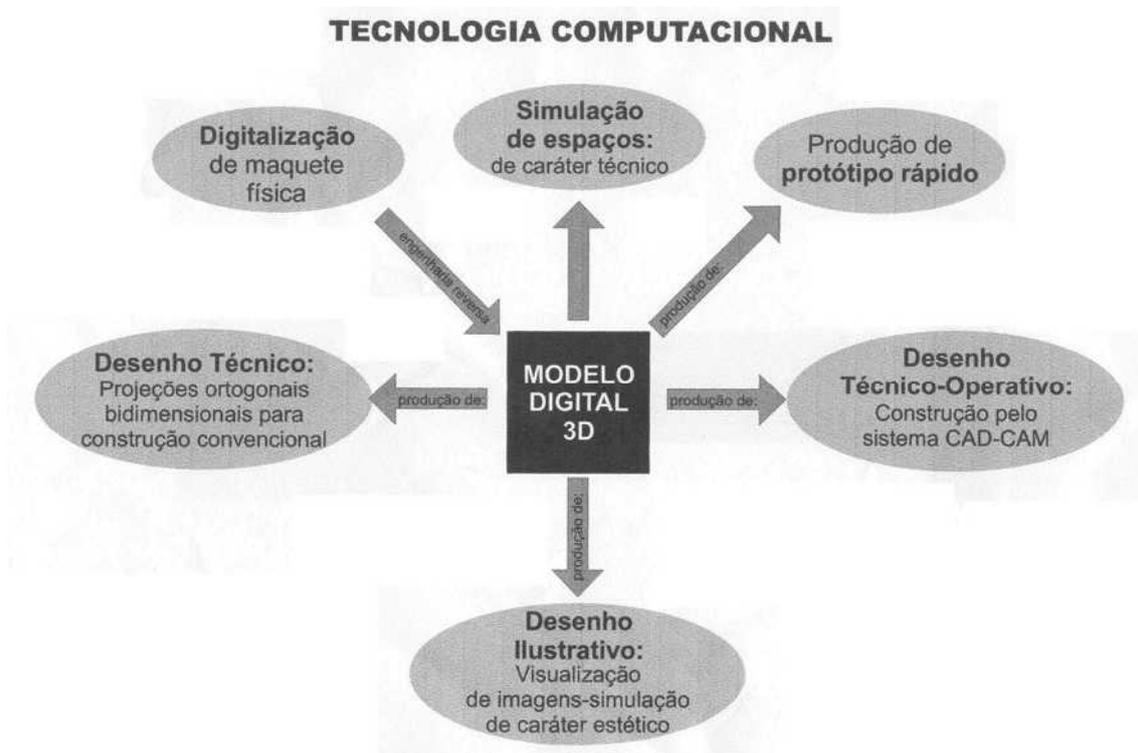


Figura 3.17 Atividades da Tecnologia Computacional (FLÓRIO, 2005).

Sob esta perspectiva de aplicações da tecnologia computacional indica-se aqui que a produção de projetos arquitetônicos, segundo ALONSO (2007) vive uma mudança de paradigma, no qual o posicionamento deve ser da não equivalência entre projetos desenvolvidos em todas suas etapas com recursos computacionais e os projetos manuais. Desta forma não há equivalência entre prancheta e computador, podendo partir da própria quantificação da quantidade de força motriz aplicada a cada um, assim a impressão computacional não pode e não terá a expressividade de um desenho manual, por ser este um ato mecânico e de personalidade, portanto produtos e resultados distintos, mas ambos os são projetos.

O posicionamento do projeto sob o enfoque de participativo da computação e participativo da diversidade de profissionais gera produtos diferentes, justificando a noção que processos diferentes de projetos geram produtos e resultados diferentes, portanto a busca da forma toma vetores diferentes em relação ao somente optados por especialidade de atuação como a estética, a tecnológica, a arquitetônica, etc. Assim o uso e a busca do melhor uso de cada recurso da tecnologia computacional podem e poderão ser observados pela diferenciação entre produtos.

3.2.1 O propósito da análise computacional nos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas

Exposto que o contexto da busca das formas e necessidade da análise computacional já é intrínseco aos projetos de formas complexas, citados o “Cubo” e o “Ninho” de Beijing, e tendo-se definido as classes dos programas como específicos ou dedicados e os generalistas ou de propósito geral. Cabe neste item e com foco no objetivo deste trabalho fornecer o propósito da aplicação dos programas computacionais, ou seja, quais são as condições gerais de utilização e aplicação nos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

É importante também delimitar que ambas as classes de programas computacionais podem ainda responder a escopos específicos tanto da engenharia como da arquitetura. Os escopos específicos podem ser de análise da estética final das formas, das linhas de cortes e soldas entre panos, em contraposição a otimização quanto à perda de materiais devido aos cortes dos panos de membranas, condições ambientais como conforto térmico e iluminação em relação às condições de segurança a incêndio, resistência e durabilidade.

Os programas computacionais cujo propósito é geral podem ser também denominados como de prateleira ou comercial cujo objetivo é atender diversos tipos de formas ou produtos e com o escopo para os projetos de engenharia ou para os projetos arquitetônicos.

3.2.1.1 Propósito da análise computacional para os projetos de arquitetura

ROITHMAYR (2003) em sua tese na Universidade de Tecnologia de Viena sobre o conceito do programa computacional como ferramenta para auxílio aos arquitetos na definição preliminar de estrutura forma-ativa elenca uma série de condições quanto ao uso de programas computacionais e o próprio posicionamento dos profissionais para sua adequação às atividades de projeto das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, a saber:

- Poucos escritórios de arquitetura possuem programas computacionais de busca de forma e mesmo os que possuem o arquiteto responsável pelo projeto não o utiliza, ficando a cargo de projetistas.
- O não conhecimento e a não utilização pelos arquitetos dos programas disponíveis resulta em uma não melhoria destes pelos próprios desenvolvedores.
- Quando um profissional se habilita aos processos computacionais este se torna um detentor do conhecimento, mas isto perante a esta conjuntura tanto de nova tecnologia como nova forma projetual, faz este profissional ser um “expert” e, portanto, esta é sua margem de diferenciação e de auto-preservação.
- As bibliografias sobre este assunto não dão a diretriz formativa para o arquiteto se tornar apto na busca de formas de estruturas ativas, como são as arquiteturas têxteis e as tensoestruturas.

Diante desta condição, ROITHMAYR, salienta primeiramente que o conhecimento desta tipologia construtiva é da mais alta importância por representar a ponte para as novas tecnologias e que uma forma de vencer esta conjuntura de distanciamento dos arquitetos pode ser a própria disposição de uma ferramenta computacional de comunicação adaptada à leitura e entendimento deste profissional.

Portanto, o propósito que os programas computacionais deveriam ter para propiciarem aos arquitetos esta habilidade projetual é o embarque dos conceitos de engenharia e a fusão de conhecimentos, dando a acessibilidade das informações técnicas no momento que se está manipulando o programa.

O resultado dos estudos de ROITHMAYR se consolidou em um programa computacional denominado “*FORMFINDER*”, que pode ser definido como um programa dedicado aos projetos arquitetônicos das tensoestruturas e arquiteturas têxteis com engenharia embarcada. Atualmente o programa de ROITHMAYR já é comercializado e se encontra consolidado nas aplicações desta tipologia construtiva (FORMFINDER, 2008).

A seguir apresentam-se algumas das telas da apresentação do programa pela Figuras 3.18.

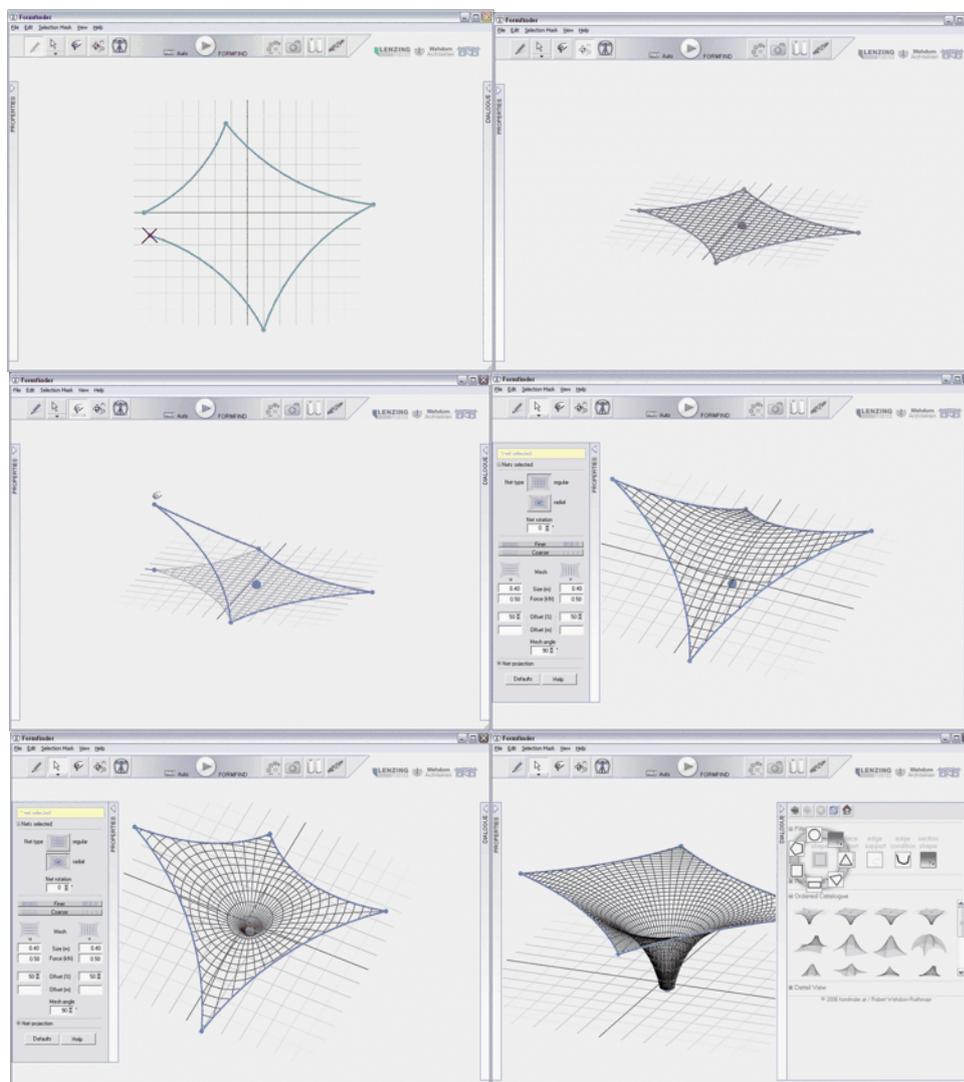


Figura 3.18 Telas do processo de busca de forma pelo programa FORMFINDER (FORMFINDER, 2008).

Desta exposição quanto ao propósito da análise computacional em projetos arquitetônicos, pode-se salientar que a tese de ROITHMAYR é recente, o que pode nos levar a deduzir que as características projetuais no Brasil não estão ou serão tão diferentes e que, portanto os conhecimentos desta tipologia construtiva, agregada a sua forma projetual se justificam.

Como exemplo de outros programas computacionais específicos que possuem também o caráter de ser dedicado às arquiteturas têxteis e tensoestruturas, compreendendo todas as etapas desde a busca da forma

até a etapa de corte dos panos, ou faixas de membrana e têxteis .Porém, sob condições de interação e suporte para arquitetos em menor intensidade, pois a função destes programas é a definição final com os dimensionamentos de engenharia, portanto exigindo um conhecimento maior sobre a tecnologia, são, por exemplo:

- Patterner disponível no site <http://www.patterner.co.uk/>
- Tensys disponível no site <http://www.tensys.com/>

Portanto, é desejável a possibilidade de entender ou mesmo ter o conhecimento prévio de algumas configurações e condições físicas das arquiteturas têxteis e tensoestruturas em membranas e para que a utilização de um programa computacional seja eficiente. Esta condição conduz a adotar que parte do repertório projetual que contemple uma formulação de condicionantes, possa ser articulada e possa permitir um maior entendimento e aquisição da habilidade projetual, através da aplicação de programas dedicados ou das condições enfrentadas quando da aplicação destes programas.

3.2.1.2 Propósito da análise computacional para os projetos de engenharia

Este item tem o objetivo de apresentar o contexto que se inserem os projetos de engenharia, ou seja, destacar o propósito dos desenvolvimentos dos projetos através de análises computacionais.

Razão não só de demonstrar a forma como são tratados os projetos das arquiteturas têxteis, mas ser um tópico para extrairmos condicionantes projetuais, este sim objetivo maior deste trabalho.

Os programas computacionais de propósito gerais e para atendimento da engenharia são os que possuem a análise de elementos finitos, permitindo a análise não linear e preferencialmente devem agregar a análise estática e dinâmica, face às próprias características deste tipo de obra. Portanto, estes programas são entendidos como de escopo integral aos projetos de engenharia, podendo ser aplicado desde a definição da forma a etapas complementares de análise.

Os programas específicos, portanto destinados às arquiteturas têxteis e tensoestruturas se caracterizam por rotinas que consideram os itens anteriormente citados, que na realidade configuram-se por condições e experiências projetuais embutidas por seu implementador.

Segundo CAMPBELL (1991 e 2003), a análise das estruturas de membranas tensionadas e das arquiteturas têxteis sob o enfoque do projeto de engenharia exige o uso de computadores, por ser mais complexa que as estruturas mais convencionais, como consequência, os modelos envolvidos são relativamente mais complexos e de natureza não linear. Até muito recentemente, os modelos típicos de análise eram muito complexos mesmo para os computadores pessoais, mesmo com a geração de processadores mais poderosos, mas se as tendências tecnológicas atuais continuarem, isto tudo certamente mudará, uma vez que o modelamento destas obras ainda exige máquinas de capacidade ainda maior.

Hoje a grande maioria das empresas utiliza computadores pessoais para o projeto de estruturas em membranas, uma vez que a divisão em sub e micro sistemas de análise já provaram ser bastante útil para uma grande variedade de modelos estruturais. Por outro lado a análise estrutural destas obras pode ser tranqüilamente considerada como um desenvolvimento relativamente recente e que se deu na medida em que modelos complexos foram propostos e o uso de computadores mais potentes tornou-se necessário.

A primeira aplicação e uso de um supercomputador - CRAY I, segundo CAMPBELL (1991 e 2003), foi em 1978, para o Haj Terminal em Jeddah na Arábia Saudita, Figura 3.19, o maior terminal do mundo, para a análise do procedimento de içamento, tensionamento e ancoragem, e em 1982, com o CRAY II, para o projeto e a análise do tensionamento sucessivo da cobertura do Lindsay Park Sports Centre no Canadá, Figura 3.20.

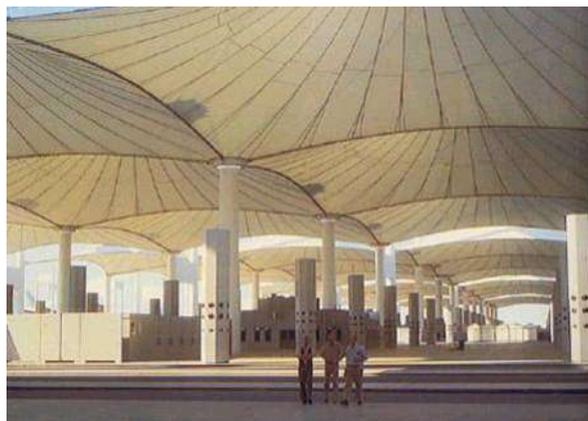


Figura 3.19 Haj Terminal em Jeddah na Arábia Saudita (MIDDENDORF, 2002).



Figura 3.20 Lindsay Park Sports Centre em Calgary, Alberta, Canadá (GEIGER,2004).

Para MAJOWIECKI (2002) a análise e o próprio projeto de engenharia e construção das arquiteturas têxteis e estruturas em membranas têm o uso da programação em computador como fator essencial, por viabilizar uma aproximação aos modelos teóricos e mais precisos, além de permitir aos projetistas, devido à agilidade de respostas, novas alternativas e busca de soluções diferentes. Assim preferencialmente, os programas devem possuir:

- Análise inicial para busca da forma adequada;
- Consideração da não linearidade do material;
- Consideração da não linearidade geométrica; devido aos grandes deslocamentos para a análise estática e dinâmica;
- Análise dinâmica estocástica do vento quanto à estabilidade aerodinâmica e análise da frequência da estrutura, das pressões internas e externas;
- Aplicação das técnicas de melhoria estrutural;
- Análise da sensibilidade paramétrica estocástica e análise de confiança.

Como considerado por PAULETTI (2002), um bom programa de análise não-linear por elementos finitos além das análises estáticas e dinâmicas, pode ainda oferecer, como é o caso do programa ANSYS, a Versão 5.7.1.,

análises modais e de estabilidade, de interação fluido-estrutura, de transferência de calor, de acoplamento de campos, opção de escolha quanto os elementos baseados em diferentes teorias estruturais, como sólidos, cascas, pórticos e treliças, além de diversas alternativas de carregamentos e modelos de materiais, incluindo materiais ortótropos, elásticos não-lineares, elasto-plásticos, podendo também agregar rotinas de melhorias, análise de problemas de contato, adaptação de malha, entre outras rotinas mais ou menos especializadas.

Devido a estas diversificações, os programas de propósitos gerais podem até atingir o caráter de indispensáveis ou mesmo contribuir para a expansão dos limites da aplicabilidade das arquiteturas para grandes vãos, por permitir estudos de projetos diferenciados, ou seja, destinado a outro tipo de análise e se exigir opções de modelagem não prontamente disponíveis nos programas específicos (PAULETTI, 2002).

Neste sentido, dos diversos artigos consultados como TABARROK e QIN (1997 e 1992); OLIVEIRA (2001); PAULETTI (2002); OLIVEIRA, BATISTA e RIBEIRO (2002), ARCARO (2004) entre outros, demonstram que os programas generalistas têm sido muito utilizados, proporcionando um melhor entendimento do comportamento da estrutura, bem como, levando às adaptações das rotinas por parte dos usuários. Estas adaptações são caracterizadas por PAULETTI (2002) de customização do programa generalista, ou seja, “a implantação de macro-rotinas especializadas, empregando como sentenças básicas, as rotinas intrínsecas do programa que, por sua vez, exige do usuário um maior conhecimento, das fases do processo que já estão embutidas nos programas específicos, seja de sintaxe e de recursos do programa generalista efetivamente empregado”.

3.2.2 O uso dos programas generalistas

Os programas generalistas são voltados a aplicações que exigem modelagens e imposição de condições para que sejam compatíveis ao tipo de edificação ou estrutura analisada, portanto exigindo um conhecimento mais específico das condições e limitações oferecidas pelo programa computacional, dos materiais, da tipologia da edificação, razão de exigir uma adaptação e constituição de formas para utilização do programa computacional - um modelamento.

Entre estes programas o ANSYS, é o mais utilizado, ou seja, de maior preferência em relação ao SAP para análises de estruturas em membranas, devido aos seus recursos de modelagens. Outros como o NASTRAN e o CATIA, são adequados, porém são mais aderentes às estruturas da engenharia mecânica e aeronáutica.

No ANSYS as aplicações apresentadas na tese de OLIVEIRA (2001) em seu estudo das arquiteturas têxteis pneumáticas, conforme a Figura 3.21 e dos estudos de tese de livre docência de PAULETTI (2003) através da Figura 3.22, bem como, no desenvolvimento do software em na tese de OLIVEIRA V.M. B (2003), ilustrado na Figura 3.23, demonstram que o uso deste programa passa ter as condicionantes reconhecidas e comprovando-se a maior utilização para este tipo de edificação no Brasil.

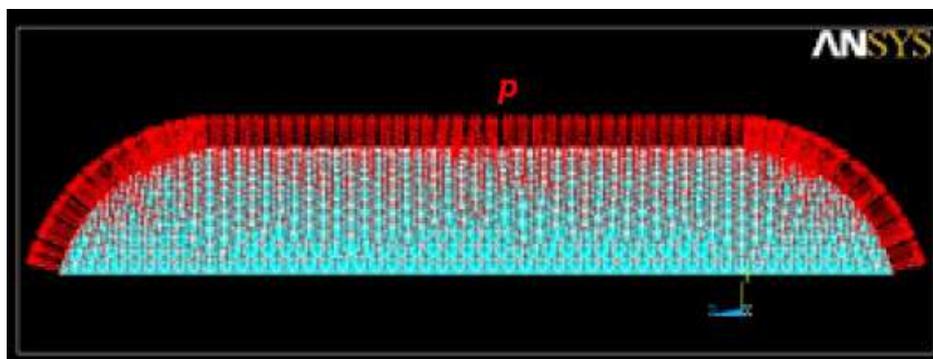


Figura 3.21 Membrana pneumática sob ação da pressão interna estruturante (OLIVEIRA, 2001).

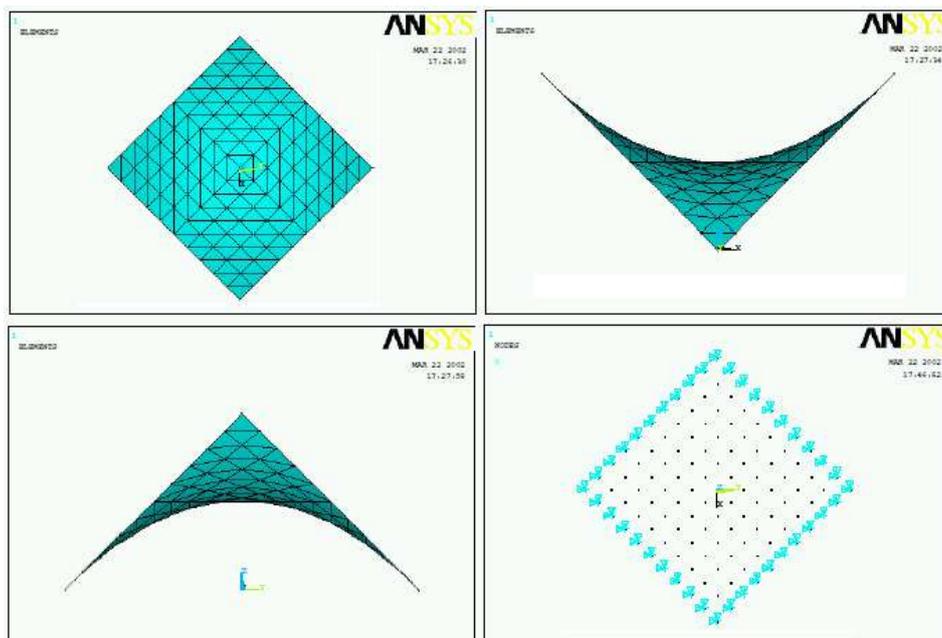


Figura 3.22 Modelo em elemento finito utilizando o ANSYS – parabolóide hiperbólico (PAULETTI, 2003).

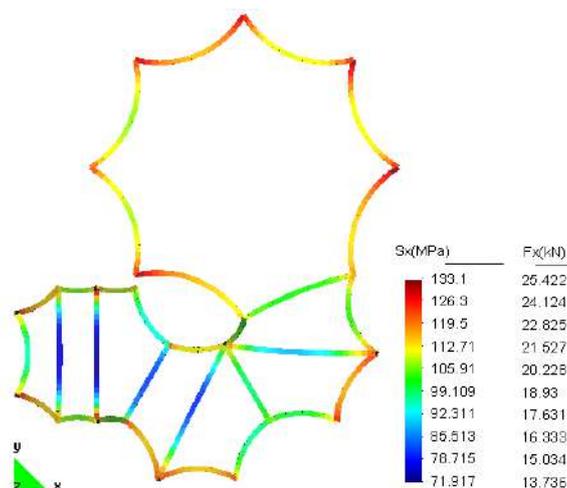


Figura 3.23 Distribuição de tensões nos cabos de aço de montagem da arquitetura têxtil, com a legenda da correlação entre as tensões e forças nos cabos (OLIVEIRA V.M.B., 2003).

Outro programa generalista utilizado para o estudo das arquiteturas têxteis e sendo aplicado em aulas da disciplina IC304 desde 2006 pelo Prof. Dr. ARCARO na UNICAMP é o GID versão 7.02, para análise de elementos finitos, porém suportado pelo programa “membrane” desenvolvido pelo próprio professor ARCARO (2006).

Desta disciplina apresentam-se nas Figuras 3.24 a 3.27, a seguir alguns resultados do trabalho de busca de forma de MINCHILLO, OBATA e ROSA (2006).

O uso adequado de programas generalistas demonstra que se trata de um recurso sob enfoque e aplicação de engenharia para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, e no caso específico do programa GID, ainda há previamente o controle através do programa “membrane” do prof. Dr. Arcaro, devido às grandes mudanças de formas e a compatibilidade de forma e resistência do material.

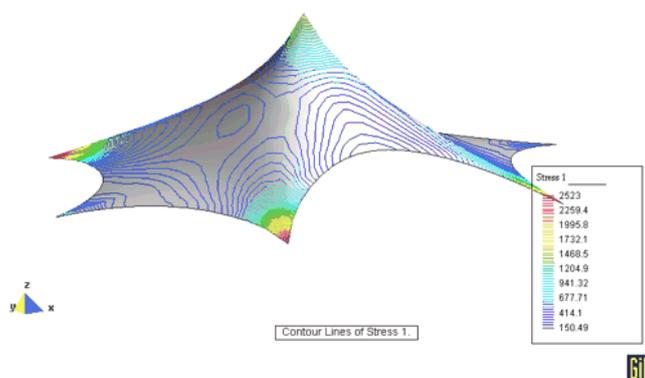


Figura 3.24 Isocurvas de Tensão na Membrana (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).

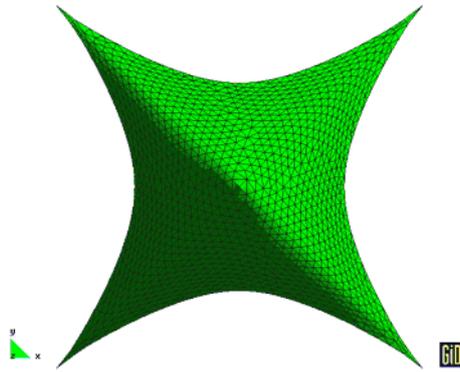


Figura 3.25 Vista Superior da Malha de Elementos na Membrana Deformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).

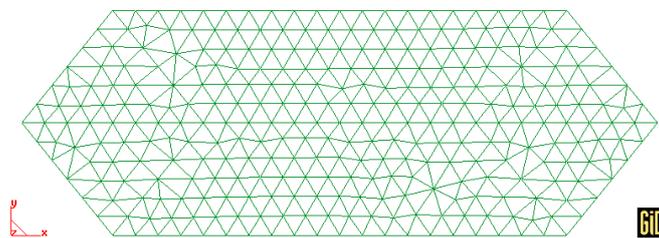


Figura 3.26 Malha de Elementos Finitos para a Geometria Indeformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).

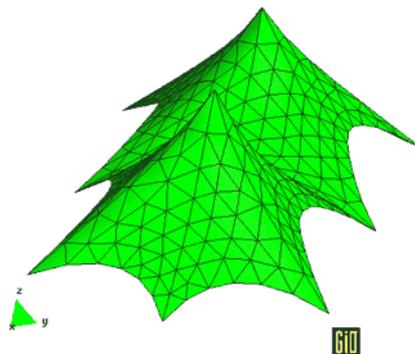


Figura 3.27 Vista em Perspectiva e Malha de Elementos Finitos na Membrana Deformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).

Frente a estas aplicações pode-se caracterizar que o uso de programas generalistas nos projetos pode ser um recurso consistente para o desenvolvimento de projetos de arquiteturas têxteis e tensoestruturas, já considerando o projeto vinculado a busca da forma e compatibilidade estrutural. Porém entende-se que para o desenvolvimento de projetos com esta tipologia de programa computacional exige-se um conhecimento aprofundado e experiência das rotinas e processamentos e caracteriza-se então como uma atividade que pode ser considerada de grande complexidade para os processos decisórios e atividades de projetos arquitetônicos.

CAPÍTULO 4

4. Os Condicionantes Projetuais das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas e sua Compatibilização

A partir dos itens anteriormente apresentados, podem-se identificar parâmetros projetuais que se identificam como condicionantes das atividades de projetos.

Estes condicionantes das atividades de projetos por sua vez se relacionam a uma das duas seguintes condições:

- A forma de relacionamento entre profissionais para os projetos.
- A forma de desenvolvimento das atividades dos projetos.

Portanto, sob a compatibilidade destes parâmetros e a identificação do grau de impacto decisório nas atividades de projetos busca-se determinar a relação com as novas tecnologias construtivas e de representação.

Para esta determinação, ou seja, como os condicionantes em projetos com formas e espaços complexos com materiais têxteis e membranas, delimitam e levam a definição das arquiteturas têxteis e tensoestruturas sob o grau de complexidade como complexas e simples.

Sob os dois enfoques quanto à atividade de projeto apresentados anteriormente, primeiramente se desenvolverá o item sobre o relacionamento entre profissionais e em seqüência será desenvolvida a forma dos projetos.

4.1 Condicionante quanto ao relacionamento entre profissionais para os projetos

Quanto à relação entre arquitetos e engenheiros no caso específico das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, segundo levantamento de SHAEFFER (1996) deverá se manter como uma relação de dependência sobre as qualificações e experiência das partes envolvidas, bem como, das características do próprio projeto.

Esta dependência se torna característica às arquiteturas têxteis e tensoestruturas por ser uma nova tecnologia e um contexto específico do desenvolvimento das técnicas projetuais desta tipologia de construção.

O contexto apresentado por Shaeffer é que mesmo nos EUA com milhares de escritórios de projetos a quantidade que é especializada em arquiteturas têxteis e tensoestruturas ou que possui em seu corpo técnico profissionais especializados que conhecem com profundidade os conceitos deste tipo projeto, é mínima e que podem ser contados nas mãos.

No Brasil quando do início das pesquisas em curso de pós-graduação por esta autora, início de 2001, eram conhecidas três empresas, a saber: Pistelli, Tensotech e Fidler, atualmente além destas citam-se a Tecnostaf e a Technica, sendo outras empresas presentes no mercado mas não atuantes especificamente para projetos de tensoestruturas e arquiteturas têxteis, ou seja, voltadas para galpões e tendas.

A melhoria da atuação de arquitetos e engenheiros fica entendida como aderente a busca pela difusão do conhecimento tecnológico desta tipologia construtiva, bem como, julga-se como de total aderência as delimitações de ROITHMAYR (2003) apresentadas no item 3.2.1.1 deste trabalho.

Destacando-se também que a maioria das arquiteturas têxteis e das tensoestruturas possuem uma forma topológica que não é regrada ou euclidiana, exigindo-se conforme a complexidade da forma e do espaço uma maior integração dos profissionais em face da imprescindível compatibilidade de condicionantes através do modelamento computacional.

Este relacionamento entre arquitetos e engenheiros devido à diversidade de parâmetros a serem tratados, atualmente conduz a atuação de profissionais

coordenadores, com experiência e conhecimento sobre projetos e tecnologia construtiva das tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas e tendas.

A partir deste cenário, a seguir desenvolvem-se os condicionantes quanto à forma de desenvolvimento das atividades de projetos que subsidiará a estruturação do item sobre a compatibilidade entre estes condicionantes.

4.2 Condicionantes quanto à forma de desenvolvimento das atividades de projeto

Partindo-se da condição e entendimento que para um profissional ser considerado especialista em projetos de tensoestruturas e arquiteturas têxteis este deve ser capacitado na determinação precisa da forma com todas suas condições e ainda, na análise de tensões tanto da cobertura como da estrutura de sustentação, nos procedimentos de cortes dos panos e sua montagem, nos remete a um status de especialização ideal e como se trata de uma tecnologia que se considera recente, é possível afirmar que se tratam de profissionais raros, e ainda do momento ser de formação destes.

Podem-se indicar como profissionais raros e ainda em formação, pois diferentemente de outras tecnologias o salto da evolução dos materiais têxteis é muito recente e no máximo de 30 anos, diferentemente das tecnologias das construções reticuladas ou maciças como o aço e o concreto respectivamente, em que o boom tecnológico se deu na revolução industrial.

Em relação aos têxteis, a evolução foi derivada de desenvolvimentos de materiais que surgiram na segunda grande guerra, como o tecido em poliéster com PVC, assim como o tecido em fibra de vidro com PTFE e o próprio ETFE, que surgiram da necessidade de serem materiais isolantes, de menor impregnação de resíduos e de alta durabilidade e resistência, estas características por serem a base de materiais da indústria bélica e de conquista e domínio do espaço aéreo e espacial.

No mesmo sentido do desenvolvimento recente e que faz da tecnologia construtiva das arquiteturas têxteis e tensoestruturas em desenvolvimento tem-se o uso e difusão da tecnologia computacional a partir dos anos 80 e atualmente do uso massivo de

computadores pessoais, fato que permitiu a alavancagem da velocidade de respostas dos problemas de não linearidade e alta flexibilidade deste tipo de construção.

Sob estas condições a grande maioria dos projetos é desenvolvida tendo a direção de um arquiteto com atribuições generalistas e assumindo a responsabilidade de coordenação da diversidade de especialistas. Esta posição pode ser definida como de destaque em razão da habilidade profissional e de formação quanto à integração de conceitos técnicos com as necessidades do usuário e do uso das construções.

O resultado de projetos coordenados por arquitetos no caso específico das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, conduz, segundo SHAEFFER (1996), uma complexidade projetual muito maior e uma determinação estratégica na compatibilização dos diversos condicionantes muito maior, mas em contrapartida, um projeto melhor.

O mesmo autor ainda indica que mesmo sob atribuições generalistas e com responsabilidade de coordenador e realizar a compatibilização, poucos arquitetos conseguem atuar, ou mesmo poucos engenheiros; pois estas ações dependem do domínio de pormenorizar e detalhar todos os elementos de um projeto que não se tem a mesma familiaridade e os mesmos conhecimentos empíricos como dos materiais correntes.

Portanto o desenvolvimento das atividades de projeto e a forma de projetar as tensoestruturas e arquiteturas têxteis estão relacionados com o grau de compatibilidade entre condicionantes formais de projeto, onde se conta muito com a experiência e o conhecimento desta tipologia construtiva, bem como, do conhecimento das formas de representação que esta tipologia construtiva exige.

Estes pontos conduzem para um descolamento entre as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas e as tendas, estas últimas, sob a grande possibilidade de serem modeladas através de métodos geométricos e com maquetes físicas ou virtuais.

Assim, em contraposição a condição primária de modelagem das tendas, as tensoestruturas e arquiteturas têxteis com formas complexas exigem um suporte diferenciado de representação, busca de forma e análise da forma suportada por programas computacionais, pois a viabilidade de traçado e representações em pranchetas e traçados manuais demandaria tempos e esforços manuais e mecânicos descomunais perante prazos e tempos considerados como comuns.

Portanto a aplicação dos programas computacionais para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas, que podem ser dos tipos dedicados ou gerais, dependerá do grau de experiência do profissional envolvido tanto no uso do programa computacional como em projetos deste tipo de edificação, onde o escopo das maquetes físicas ou virtuais é quanto à aderência a forma e forma no sentido da possibilidade construtiva e estrutural.

Diz-se quanto à viabilidade construtiva e estrutural por se delimitar as tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas neste item do trabalho como sendo as governadas por novas formas projetuais e caracterizadas por formas complexas ou grandes vãos onde os programas computacionais se tornam imprescindíveis na representação, análises e construção.

Sob a condicionante de composição consideram-se as tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas como ambiente e espaço construído compostos por estrutura suporte, conexões e vedação com membrana, filme, tecido ou têxtil, sendo a estrutura suporte formada por elementos únicos ou em composição como cabos, barras, tensegrity, estruturas reticuladas, entre outras formas estruturais.

Diferentemente de ENGEL e BARROSO indicados nos item 1.3.2 e 1.3.1 respectivamente, delimitam-se como “tendas” as obras em membranas, filmes, tecidos ou têxteis que diferem das colocações anteriores, pois a viabilidade não é restrita a análise e representação por programas computacionais, haja vista os projetos desenvolvidos anteriormente sem o uso de softwares de elementos finitos e de programas específicos de busca da forma.

Deste exposto, pode-se ainda fornecer o cenário de desenvolvimento dos projetos período de 2001 e 2002 no Brasil, que em contato e entrevistas com as empresas atuantes, constatou-se que as análises das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas eram realizadas sob modelamentos e simplificações geométricas e quando a obra oferecia variabilidades de forma, vãos maiores ou carregamentos especiais realizavam-se o modelamento físico com uso de extensômetros, como uma pré-montagem e prova-de-carga.

Atualmente o desenvolvimento dos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas é principalmente realizado através de programa computacional, como os projetos desenvolvidos por PAULETTI e ARCARO, assim como, podem ser notados desenvolvimentos de diversas dissertações sobre a utilização desta tecnologia computacional.

4.3 Compatibilidade dos condicionantes das atividades projetuais das arquiteturas têxteis e tensoestruturas

Destaca-se o objetivo deste item, que é de se consolidar como a forma de desenvolvimento de projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas é de dependência da forma do relacionamento entre profissionais e conseqüentemente da forma como as atividades projetuais são desenvolvidas. Portanto, a forma de desenvolvimento, como através de programas computacionais ou de integração de partes através de programas computacionais ou mesmo através do modelamento de maquetes físicas e avaliação por extensometria, são como contorno do relacionamento entre profissionais projetistas desta tecnologia.

Para esta consolidação parte-se da condição comum de que os projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas englobam as etapas desde a definição do escopo, das dimensões do projeto até a entrega e acompanhamento do desempenho da obra.

Esta delimitação se faz necessária entendendo-se que a discussão de um ordenamento de atividades que compõem o projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas ou mesmo sua proposição não se configura em sistema lógico e interativo único, pois o ordenamento das atividades e a condução de projetos estão intrinsecamente conectadas a inventividade e ao desenvolvimento repertorial que os profissionais desenvolvem e podem infinitamente variar.

O que se pode formular é que as propostas de seqüenciamento das atividades projetuais apresentadas para o enfoque de engenharia, Figuras 3.1 e 3.2, tornam-se importantíssimas como elementos didáticos e de aprendizado, servindo como uma contextualização prévia aos iniciantes e estudantes desta tecnologia construtiva.

Da mesma forma as proposta de projetos sob o enfoque colaborativo fornecem a necessidade da integração de idéias e das atividades entre a diversidade de profissionais para a melhoria dos atendimentos às expectativas do projeto e conseqüentemente de um projeto com desempenho elevado e de grande amplitude.

Sob a proposta apresentada na Figura 3.5, pondera-se e busca-se aqui apresentar que ela tem em si o princípio coerente da necessidade de integração das especialidades acadêmicas e profissionais, mas fornece produtos e atividades de

caráter estanque a estas especialidades e de certo peso reducionista quanto à atuação das profissões indicadas.

Esta condição de restrição e delimitação de atividades de produtos portanto, não é representativa e não traduz o desenvolvimento dos projetos já realizados ou mesmo os mais recentes projetos executados e os projetos em andamento.

Quanto à proposta da Figura 3.6 esta responde prudentemente sobre a integração e sinergia imprescindível dos condicionantes somente para a etapa do projeto conceitual e não como um fluxograma e imagem que tenha o forte viés de contextualizar as atividades de projeto até a construção.

Como delimitação para a compatibilização das atividades de projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas coloca-se destas análises a premissa da necessidade de integração entre profissionais.

Mas em contrapartida é sabido que o desenvolvimento das construções no caso específico das arquiteturas têxteis e tensoestruturas como relacionada às estruturas leves, no item 1.1.1 e, também relacionado e utilizado como subsistemas de edifícios, conforme item 1.1.2, ambos os itens do início deste trabalho, são produtos atribuídos ao campo profissional dos arquitetos e dos engenheiros civil tanto no Brasil como em qualquer outro país que possuem estas categorias profissionais regulamentadas.

Sob a condição de atribuição profissional a proposta de compatibilidade dos condicionantes das atividades projetuais tomará este primeiro nível de relacionamento como sendo o possível e, que tem como condição intrínseca a atuação e desenvolvimento de projeto com uma diversidade de outros profissionais segundo o escopo e especificidade de cada projeto.

Com o referencial dos estudos sobre as atividades de projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e tendo expressado as análises críticas toma-se então a diretriz de se citar que das diversas referências a atividade estratégica e de definição do projeto destas construções é a etapa de busca da forma, portanto se caracteriza como limite entre as formas simples e complexas e as tecnologias aplicadas.

Já em relação à tecnologia computacional aplicada aos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas sabe-se que estas evoluem a saltos largos, tanto que da oferta de programas computacionais antes somente generalistas já se notam programas dedicados e com um embarque de conceitos mais amigáveis aos projetistas arquitetos, conforme item 3.2.1.1.

Além de se adotar o referencial quanto ao campo profissional, as formas e a definição estratégica dos projetos, a interação dos projetos e as tecnologias computacionais tornaram-se um divisor de enfoques e forma projetual, portanto, não se quer indicar aqui a relevância com que os programas computacionais respondem como ferramentas de precisão, de fornecimento de dados decisórios em tempos mínimos e de simulações e modelagens, mas sim como elementos imprescindíveis quanto a representação da forma tanto na etapa de busca da forma como de análises para as tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas.

Desta forma entende-se que a utilização dos programas computacionais atualmente são os definidores e o indicador da fronteira da complexidade das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, portanto de fornecer a qualificação de tenda e das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.

Sob a perspectiva de evolução tanto da tecnologia como do conhecimento do processo de projeto das tensoestruturas e arquiteturas têxteis pode-se representar e já considerando a atuação e envolvimento dos programas computacionais o seguinte painel ilustrado na Figura 4.1.

Portanto a Figura 4.1 permite através de uma análise global e em nível macro da atividade projetual, entender que os campos profissionais podem e poderão atuar de modo integrado como também de modo isolado, sendo estas integrações dependentes do escopo do projeto e do nível dos relacionamentos entre os profissionais.

Como evolução e resultado da integração destes profissionais têm-se ao centro da Figura o que se denomina “projeto integrado de arquitetura têxtil e tensoestrutura”, comportando o patamar ideal da compatibilidade das atividades projetuais.

Destaca-se finalmente que a Figura 4.1 proposta responde que a compatibilidade das atividades de desenvolvimento dos projetos das arquiteturas têxteis e tensoestruturas não se justificam por um ordenamento de atividades ou mesmo de um mapeamento destas e sim dependentes da forma de relacionamento entre profissionais e destes como a tecnologia específica destes projetos e, da forma de desenvolvimento das atividades dos projetos, delimitados principalmente pela busca da forma e pelo uso dos recursos computacionais, no aspecto e impacto das tecnologias computacionais na geração de produtos de formas simples e formas complexas.

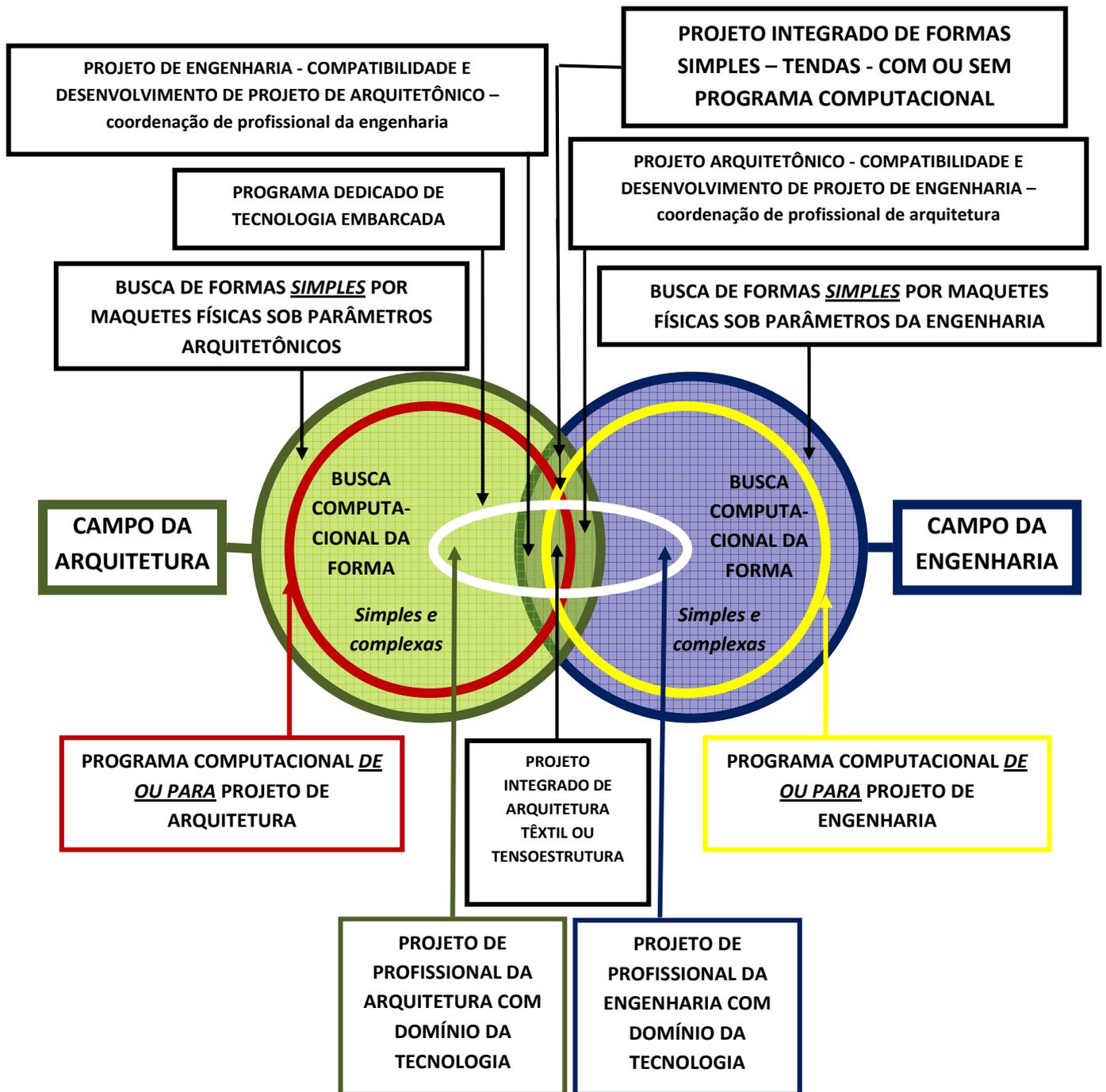


Figura 4.1 A forma projetual tendo como condicionantes as atividades projetuais (da autora, 2009).

Portanto, o argumento básico no campo tecnológico e em relação à leitura do relacionamento profissional refere-se ao campo específico da tecnologia das

tensoestruturas e arquiteturas têxteis, que se inserem no campo das construções leves. O que se sugere e se considera como atividades inseridas no escopo maior que é a tecnologia das construções e esta por sua vez na resolução de problemas, no atendimento de anseios do ser humano ou mesmo na antecipação destes, como na oferta de um novo produto que pode se tornar uma necessidade.

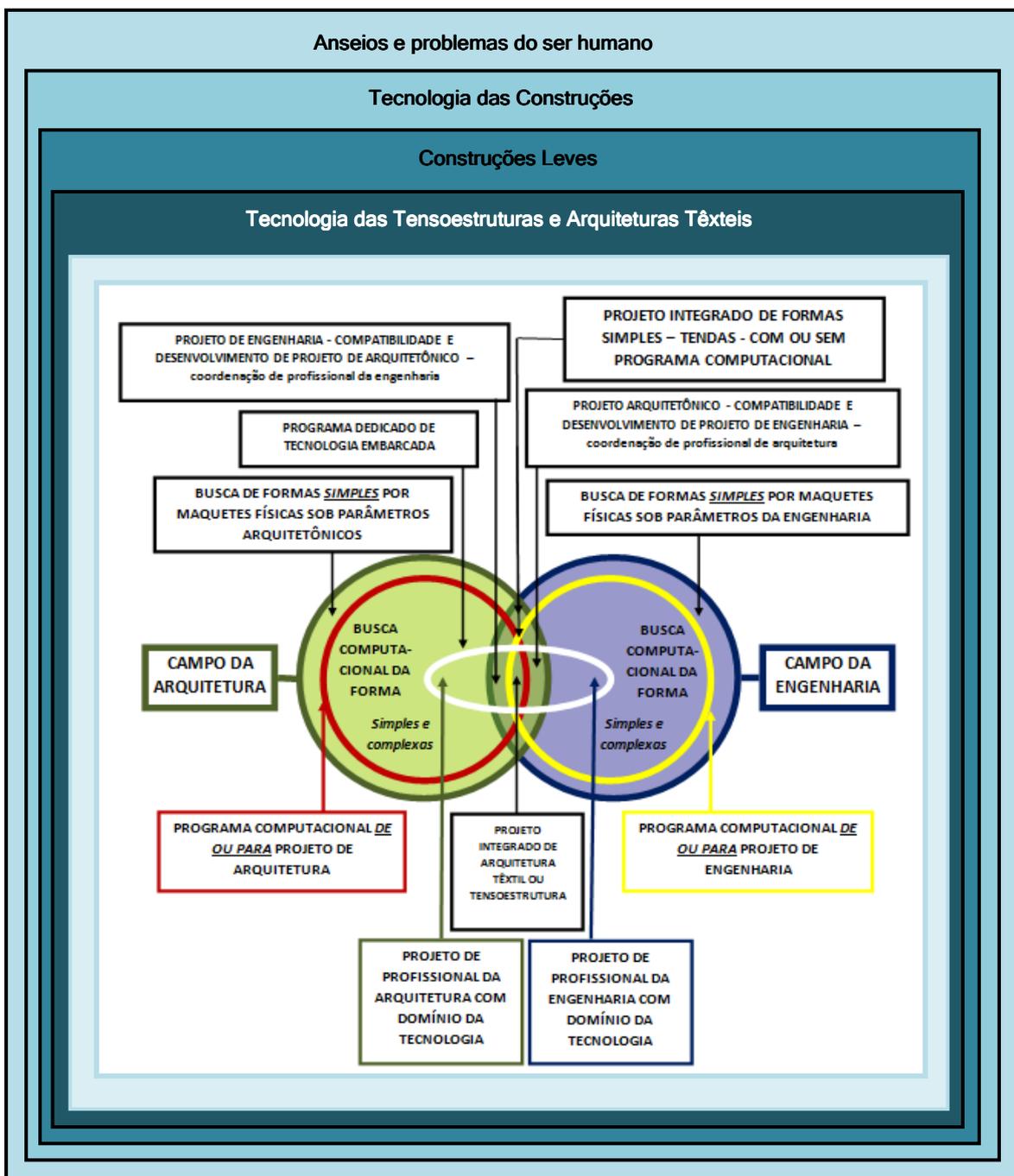


Figura 4.2 A forma projetual como escopo específico da tecnologia das tensoestruturas e arquiteturas têxteis (da autora, 2009).

CAPÍTULO 5

5. Os Condicionantes Formais para o Projeto das Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas

Quanto aos condicionantes formais para o projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas pode-se identificar de modo geral e em função dos dois primeiros capítulos anteriormente apresentados, uma relação destes condicionantes, a saber: a tipologia do material e as características técnicas, a forma e complexidade da superfície, as condições visuais da obra, as técnicas e detalhes construtivos e a mobilidade.

A partir deste elenco de caráter amplo, a seguir delimita-se e se desenvolve deste campo de condicionantes formais o grupo formado por:

- Condicionantes visuais e de forma,
- Condicionantes tecnológicos – conexões e detalhes construtivos,
- Condicionantes de mobilidade e
- Condicionantes de integração e decisão.

Esta delimitação de condicionantes permite neste momento criar e fornecer as condições básicas e na possibilidade de cobrir as decisões projetuais de maior intensidade e de definição do escopo principal do projeto. Entende-se que a partir destas delimitadas condicionantes básicas, o desenvolvimento de um projeto poderá levar até outras condicionantes de maior precisão e de refinamento específico de cada projeto, portanto não sendo o objetivo deste trabalho a apresentação e a discussão das razões que podem conduzir a condicionantes específicas.

5.1 Condicionantes visuais e de forma

As arquiteturas têxteis e tensoestruturas podem ter condicionantes aos quais se denomina de visuais por impactarem em toda a obra ou parte desta pela forma da superfície, pela cor e pelo grau de transparência, translucidez e opacidade.

Quanto à forma, dadas as aplicações desenvolvidas das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, resume-se aqui que estas podem ser de modo geral o resultado da combinação entre a estrutura suporte e a vedação, a saber:

- De formas simples de vedação e estrutura suporte de forma simples: como por exemplo, as membranas apoiadas em estruturas de formas convencionais: arcos e estruturas reticulares,
- De formas simples de vedação e estrutura suporte de forma complexa: como por exemplo, as membranas apoiadas em estruturas de cabos e tensegrity,
- De formas complexas de vedação e estrutura suporte de forma simples: como por exemplo, as membranas pneumáticas ou de formas rebuscadas e apoiadas em estruturas de formas convencionais: arcos e estruturas reticulares,
- De formas complexas de vedação e estrutura suporte de forma complexa: como por exemplo, as membranas pneumáticas ou de formas rebuscadas e apoiadas em estruturas de cabos e tensegrity

Destas combinações de formas pode-se indicar que somente a de vedação e estrutura suporte de formas simples pode ser considerada como tenda, as demais como arquitetura têxtil e tensoestruturas complexas, justificando um contexto diferenciado de projeto e de uso imprescindível de programas computacionais.

Sob o enfoque dos condicionantes visuais citam-se primeiramente os parâmetros básicos que podem ser indicados como comuns a qualquer tipo de material da membrana de cobertura ou vedação de uma determinada construção, já os dependentes do tipo do material e, portanto específicos e que condicionam as formas e condições visuais que serão tratadas a seguir no item 5.1.1.

Um dos parâmetros básicos que geram impactos visuais e indicados como de expressão são os devidos ao próprio resultado da formação e composição da superfície da arquitetura têxtil e das tensoestruturas, ou seja, a formação de painéis costurados ou soldados entre si e as juntas onde se alojam os cabos, alinhamentos que permitem o atendimento da curvatura-forma e tensão projetada.

Na Figura 5.1 a seguir, podem ser notados os alinhamentos correspondentes as bainhas de passagem dos cabos e os alinhamentos de costura entre painéis.

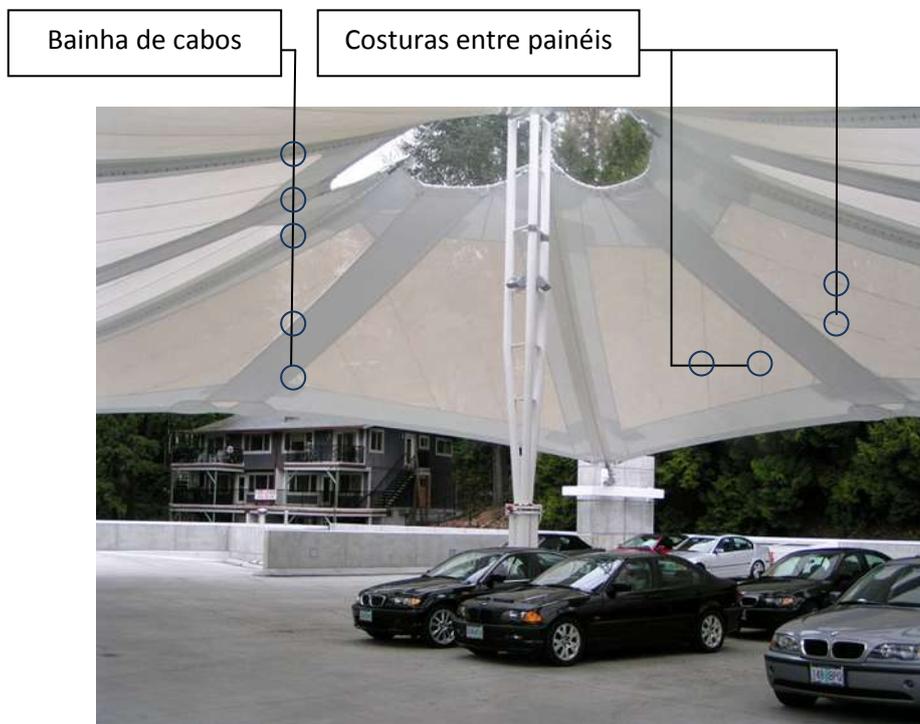


Figura 5.1 Cobertura de uma concessionária de carros no Oregon - The Rasmussen BMW Dealership in Portland, Oregon, disponível em <http://www.tensionstructures.com/rasmussen.htm> (04/07/2007).

A união entre painéis é considerada uma atividade de alfaiataria ou de design de moda, pois de modo correlato a estas duas últimas atividades procura vestir um corpo e sempre procura um bom atendimento da forma, como o citado “caimento do tecido”, através de espaçamento das costuras, procura de espaçamentos padrões e que atendam os rolos dos tecidos de maneira a minimizar o desperdício.

Portanto, da semelhança entre a alfaiataria e até do design de moda utiliza-se das orientações das costuras considerando que o direcionamento das costuras horizontais ou verticais em roupa pode conduzir efeitos ao usuário como aparentar-se alto e magro ou baixo e forte, portanto, o designer de tecido de arquiteturas têxteis deve considerar o padrão das faixas de costuras e como podem direcionar o olhar como, por exemplo, para o alto e para as costuras no

topo ou mesmo levar o observador a acompanhar uma determinada curvatura e ainda ter o cuidado de se projetar o encontro adequado de costuras a curvatura.

Um exemplo de arquitetura de interiores onde se destacam as curvaturas e encontros de superfícies aliado a tecnologia de iluminação e luminotécnica é o projeto de Stephane Dupoux para o Hotel Oriental na Malásia, ilustrado na Figura 5.2.



Figura 5.2 Projeto com têxtil no teto do designer Stephane Dupoux do Sultan Lounge no Hotel Mandarin Oriental em Kuala Lumpur na Malásia, inauguração prevista para 2008 e disponível em <http://www.dupouxdesign.com/> (07/07/2007).

As costuras devem possuir orientações muito bem projetadas para atender também a forma de modo elegante e também se aproveitar do fato que as costuras são alinhamentos em que o tecido é enrolado e colado entre estas dobras ou soldado, gerando a redução da translucidez.

A redução da translucidez das costuras e a forma de seus alinhamentos apresentam-se de modo expressivo quando arquiteturas têxteis e tensoestruturas são vistas de dentro sob condições da luz do dia, destacando-se faixas escuras e claramente visíveis, vide exemplo da Figura 5.3, similarmente pode ser visto este efeito de fora quando luzes artificiais de dentro da construção brilham através da membrana entremeada por faixas escuras do tecido no período da noite, Figura 5.4.

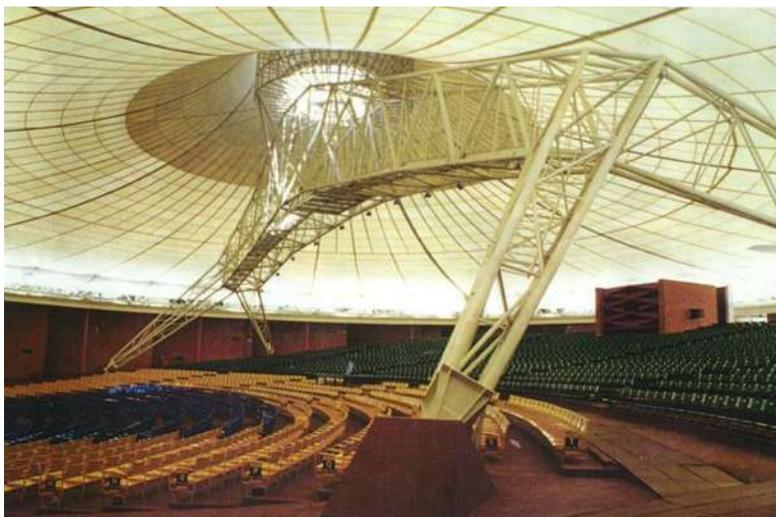


Figura 5.3 Anfiteatro Araújo Viana em têxtil estrutural, Porto Alegre, arq. Carlos Maximiliano Fayet- cob .Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO(2001).

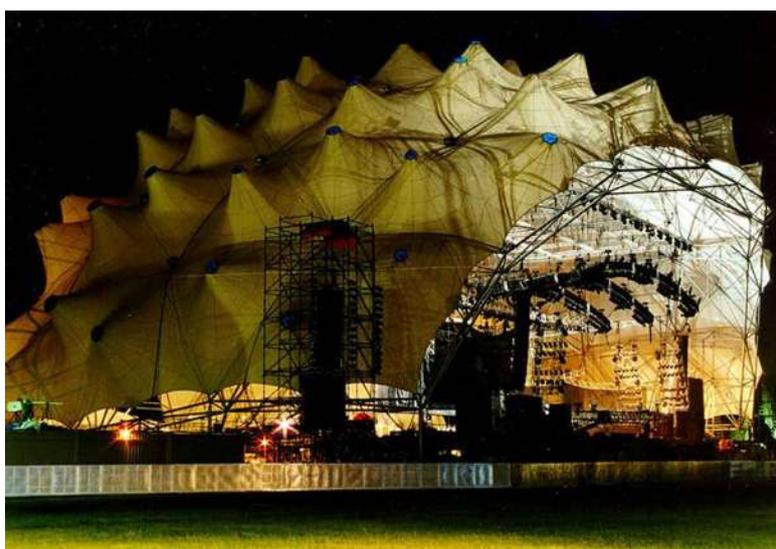


Figura 5.4 Palco Mundo Rock in Rio 2001, projeto eng. Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001).

O contrário a sobreposição em uma costura ou solda entre painéis pode-se ter o condicionante visual e formal de demarcação de alinhamentos de costura abertas que podem ser adotados por proporcionar maior circulação do ar ou mesmo por opção da forma em si, como pode ser observado nas Figuras 5.5 e 5.6.



Figura 5.5 Vista das costuras abertas no período noturno e em detalha a luz do dia da cobertura em PVC branco e transparente de pátio de um posto de gasolina em Wanlin na estrada the Brussels-Luxembourg - E411 highway, projeto do escritório Samyn and Partners, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).



Figura 5.6 Visão sob cobertura onde se percebe os alinhamentos abertos das costuras da membrana de PVC branco e transparente de um pátio de um posto de gasolina em Wanlin na estrada the Brussels-Luxembourg - E411 highway, projeto do escritório Samyn and Partners, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

Em casos de necessidade de maior resistência estrutural entre painéis as costuras abertas são uma opção e após a instalação são soldadas faixas sobre estes alinhamentos que servirão somente de vedação, este exemplo de aplicação por ser constatado nas figuras da etapa de construção de estádio Georgia Dome no item 5.3.1 deste trabalho. Bem como se indica que o detalhe tecnológico e específico das costuras entre membranas encontra-se desenvolvido no item 5.3.2 deste trabalho.

Quando no período noturno comparando-se com os exemplos anteriores, nos quais o material de vedação é uma membrana tipo têxtil, com característica de translucidez é possível destacar o impacto visual que o **ETFE** pode proporcionar **por ser transparente**, serem desenvolvidos colchões **sem emendas e em painéis de filmes contínuos** e permitir uma coloração acentuada com a instalação de iluminação com LEDS como no exemplo do projeto do estádio Allianz Arena na Figura 5.7.



Figura 5.7 O estádio Allianz Arena sob controle luminotécnico em que ETFE pela sua transparência permite mudanças de cores devido à iluminação artificial instalada, disponível em http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Allianz_Arena_Diongillard.jpg (04/07/2007).

Outro exemplo de aplicação do ETFE é o projeto residencial denominado “Vila Nurbs” do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, na cidade de Girona na Espanha, que se destaca pela busca diferenciada da forma e o impacto da iluminação colorida e sob a forma e utilização de camadas de filmes impressos de ETFE, gerando curvas concêntricas como curvas de nível topográficas ou bolhas brilhantes, Figura 5.8. Para o crítico de arquitetura NICOLAI OUROUSSOFF (2009) na revista NYTIMES.COM/TMAGAZINE a cobertura é definida pelo próprio arquiteto de olhos robóticos e a construção como um sistema mecânico enclausurado ou mesmo um invólucro astronáutico.

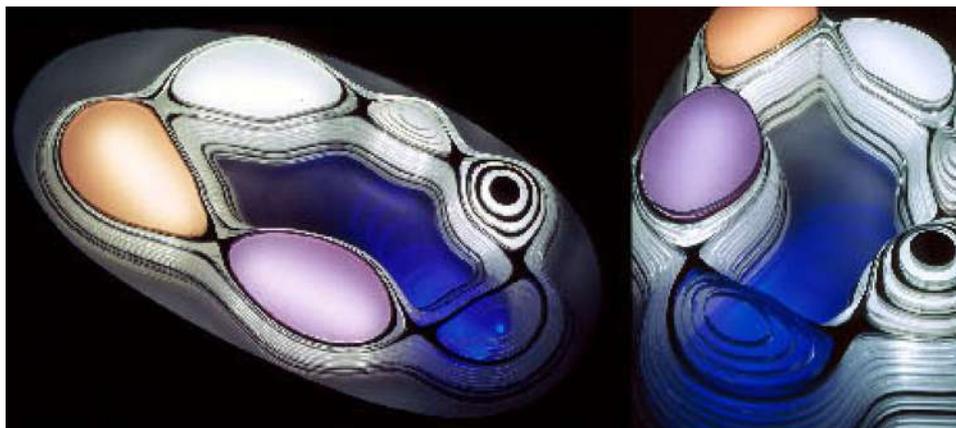


Figura 5.8 Projeto do efeito do sistema de iluminação na cobertura do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).

Os estudos de simulação da iluminação do Vila Nurbs não se limitaram ao visual e aparência externa, como na Figura anterior e na Figura 5.9, mas também as variações da iluminação e os sombreamentos da parte interna que os controle das camadas com pontos impressos dos colchões de ETFE poderiam proporcionar, como por ser visto na Figura 5.10 e em destaque as sombras no piso, correspondentes as aberturas parciais dos filmes internos dos colchões de ETFE, Figura 5.11.



Figura 5.9 Projeto do efeito do sistema de iluminação na parte externa do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).



Figura 5.10 Filmes impressos de ETFE e controle pneumático do colchão da cobertura do Villa Nurbs (disponível em http://www.ruiz-geli.com/04_html/04_villanurbs.html, acesso em 06/07/2009)

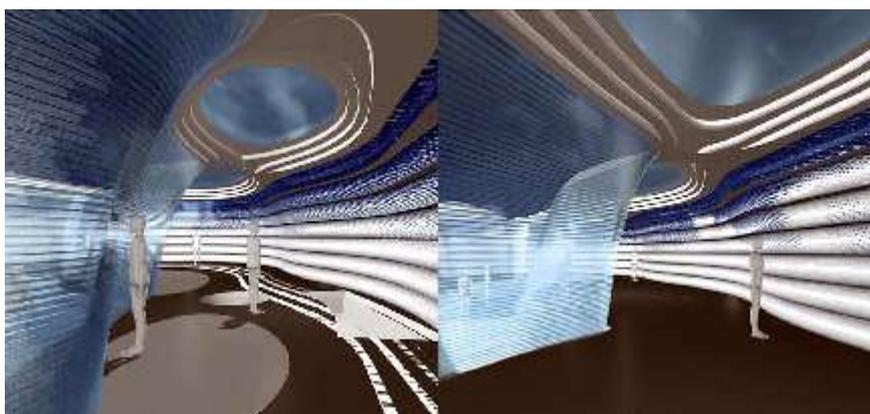


Figura 5.11 Simulação do efeito do sistema de iluminação do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).

O resultado deste arranjo de materiais inovadores e de alto desempenho permite formas orgânicas da construção, segundo o arquiteto Enrique Ruiz-Geli este resultado pode ser traduzido como de total acento a condicionante de forma e visual e que pode conduzir a obra a uma condição de marco ou mesmo um ícone: “a arquitetura com mobilidade e desempenho e os materiais acompanhando isto... e o material ETFE permite que o cliente tenha uma arquitetura icônica” e pode se transformar em um elemento ativo e “com vida” (VECTOR FOILTEC, 2009).

Das figuras anteriores nota-se portanto, que a delimitação e os alinhamentos não se referem a costuras de painéis ou soldas entre filmes e sim da estrutura de apoio, que para manter a uniformidade da forma para a estrutura de apoio são utilizados perfis delgados e tubulares de aço como podem ser notados nas Figuras 5.12 e 5.13.



Figura 5.12 Vista superior da obra do Vila Nurbs, tendo com vista os tubos estruturais de fechamento da obra, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).



Figura 5.13 Vista da obra do Vila Nurbs, tendo com vista os tubos estruturais de fechamento da obra, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).

Todo o fechamento ou envoltória externa da Vila Nurbs, Figura 5.14, tem recorrência na aplicação da tecnologia de membranas e cabos tensionados, portanto além do próprio fechamento em ETFE, a base do fechamento em Corian branco, placa rígida de plástico translúcido, Figura 5.15, e das placas cerâmicas, Figura 5.16, é a sustentação e apoio através de uma rede de cabos fixadas na estrutura tubular envoltória e como vedação e isolamento entre face externa e interna há um membrana plástica tensionada.

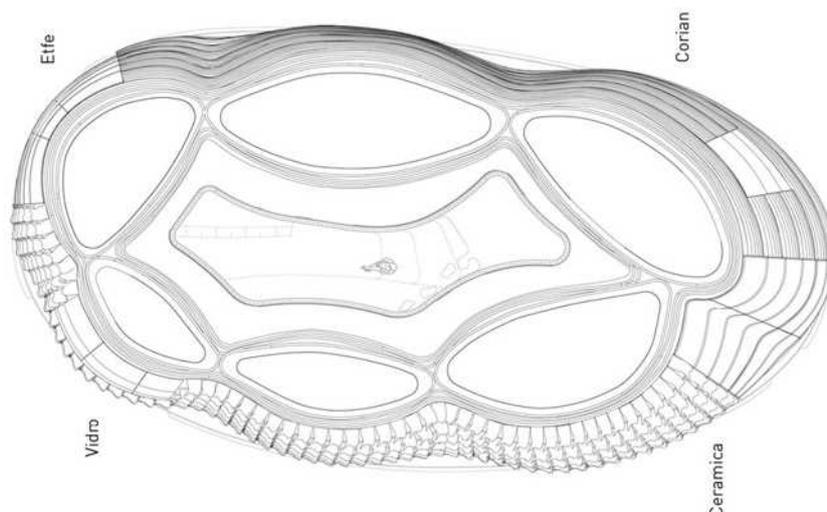


Figura 5.14 Disposições dos tipos de materiais de fechamento do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).



Figura 5.15 Placas Brancas de Corian sobre membrana e rede de cabos tensionados do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).

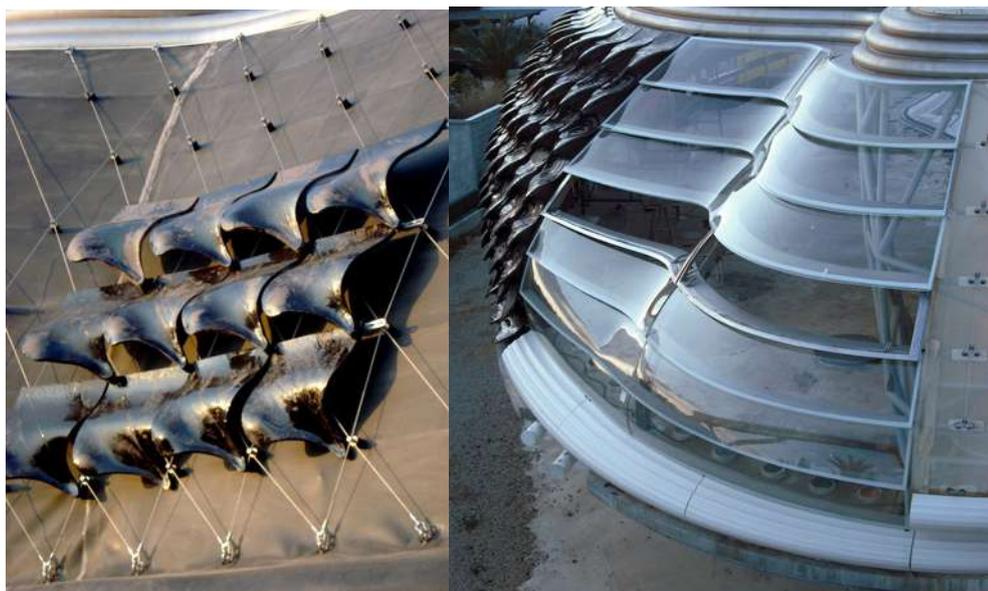


Figura 5.16 Vista frontal e lateral das placas cerâmicas sobre membrana e rede de cabos tensionados do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009).

Outro exemplo de mudança do visual da construção em tensoestrutura e arquitetura têxtil devido à iluminação, porém como uma membrana não corrente no mercado, ou seja, de papel, encontra-se ilustrada na Figura 5.17, referente ao projeto do arquiteto Shigeru Ban para o Pavilhão do Japão na Expo de Hanover.

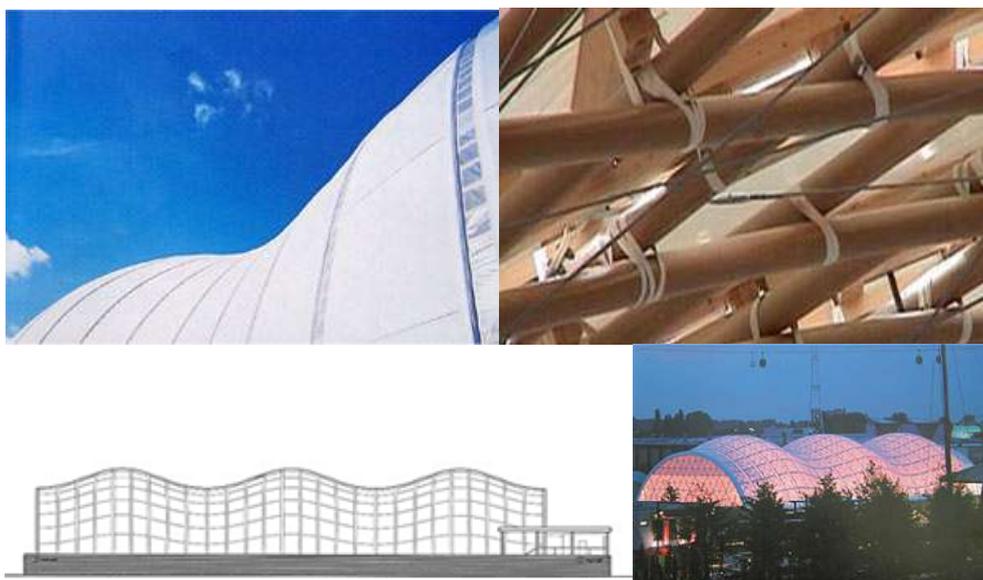


Figura 5.17 Pavilhão do Japão na Expo 2000 em Hannover, projetado por Shigeru Ban em Membrana de Papel e estrutura de tubos de papel, disponível em http://www.designboom.com/history/ban_expo.html (04/07/2007).

Neste projeto não só a aplicação da membrana é de papel, mas também na estrutura de apoio através do uso de estrutubos de papelão, aplicação desenvolvida pelo arquiteto Shigueru Ban desde seus primeiros projetos em construções leves na década de 80 e de principalmente evolução tecnológica quando do atendimento socorrista com obras de construções leves e emergenciais para o desastre do terremoto de Kobe em 1995, como residências, igrejas e alojamentos.

Notadamente podem-se visualizar as emendas coladas da membrana de papel e o efeito da iluminação interior, demarcando as emendas e os alinhamentos da própria estrutura de apoio.

Dentro do contexto básico, mas de caráter específico da forma e do impacto visual das arquiteturas têxteis e tensoestruturas refere-se neste item sobre a forma e da superfície de topo ou mesmo o ponto mais alto dos mastros, pois a forma pontiaguda e de terminalidade em um único ponto entre mastro e membrana ou entre topo e membrana é fisicamente impossível e, como citado por HUNTINGTON (2004) as construções em membrana em cones e com picos agudos geralmente ocorrem somente na mente do artista e do desenhista e, o projetista deve satisfazer os problemas visuais e estruturais associados a este ponto, muitas vezes com o design de um anel tensor.

Portanto um condicionamento visual e de forma é própria conformação dos topos de superfícies conoides e topos onde há a ligação entre mastros e membranas ou de barras de apoio com membranas, condicionante de forma onde são necessárias conexões e juntas específicas e, portanto a configuração real não é de pico agudo e sim um ponto de grande impacto na forma e visual das arquiteturas têxteis e das tensoestruturas como podem ser observados pela Figuras 5.18 (a) com a vista externa do topo e do mastro lateral e a Figura 5.18 (b) a vista interna da mesma obra como um ponto de destaque e central.

No caso do topo da arquitetura têxtil do El Monte Resort, Figuras 5.18 (a) e (b), localizado no deserto de Taos no Novo México, os projetista chegaram a esta configuração para que a forma fosse adaptada à adversidade do clima local, de neve no inverno e de sombreamento no verão, além da indicação de um ventilador automatizado no topo.



Figura 5.18 (a) Vista externa do El Monte Resort, no Novo México (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.18 (b) Vista interna do El Monte Resort, no Novo México (HUNTINGTON, 2004).

Diferentemente do topo do El Monte Resort, na arquitetura têxtil do anfiteatro National Semiconductor o topo é coberto com um capuz, Figura 5.19 e 5.20, que possui um caráter econômico, mas, também de praticidade para as reprotensões devido à relaxação, ou seja, deformação reológica do tecido, mas também é muito aplicado para formatos irregulares que requerem ajustes pelo topo no momento de montagem, nota-se respectivamente nas Figuras 5.19 e 5.20, os cabos de estabilização horizontal e de ancoragem.



Figura 5.19 Vista da face interna do Anfiteatro National Semiconductor com topo com capuz (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.20 Vista externa do anfiteatro National Semiconductor (HUNTINGTON, 2004).

O detalhe deste topo pode ser visto na Figura 5.21 onde se observa a fixação do tecido em placas sanduíche de metal e estas até o mastro através de esticadores. HUNTINGTON (2004) destaca outro ponto economicamente forte

desta configuração de topo, ou seja, a possibilidade de alocar roldanas, duas neste caso para içamento da cobertura e ainda o mastro, se utilizado para a fixação de cabos temporários para montagem, acima dos cabos das roldanas.

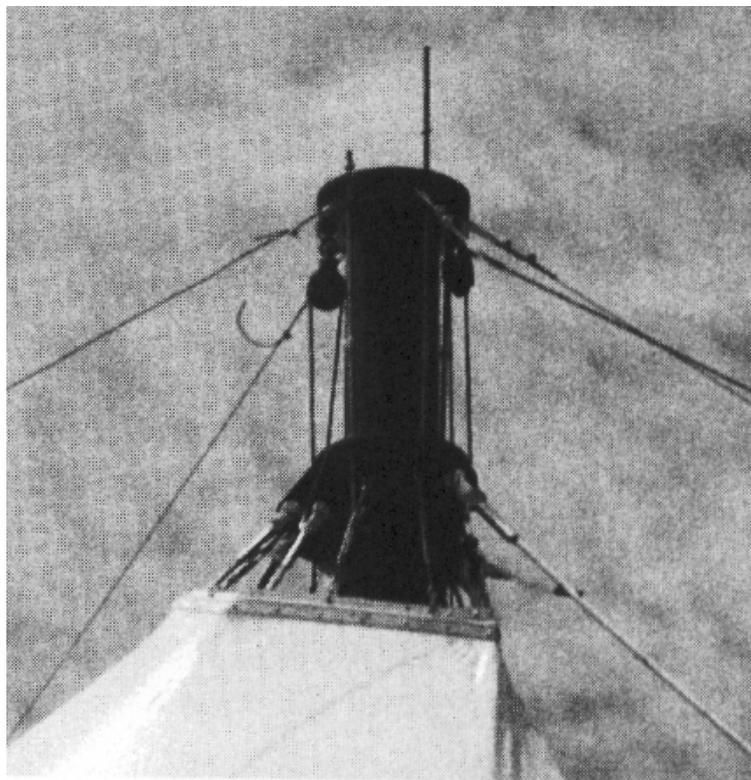


Figura 5.21 Detalhe do topo sem capuz do Anfiteatro National Semiconductor (HUNTINGTON, 2004).

Para topos que podem permanecer abertos podem ser utilizados anéis terminais em aço que fixam a membrana e fazem a transição de apoio da membrana com o mastro e, na busca de um maior impacto visual, os mastros tem sido aumentados, estendendo-se o comprimento do topo do tecido e do anel tensor. O cabeamento externo em si serve primeiramente para estabilizá-lo no caso de um vento forte ou prevenir um rasgo no tecido. Uma aplicação desta forma pode ser observada nas Figuras 5.22 e 5.23 destacando-se o posicionamento da arquitetura têxtil na cobertura do edifício garagem do aeroporto em Recife.



Figura 5.22 (a)



Figura 5.22 (b)

Figura 5.22 (c)

Figura 5.22 (a), (b) e (c) Vistas das duas estruturas em membranas gêmeas projetadas pelo arquiteto Ubirajara Moretti com a empresa Pistelli usando a membrana de poliéster com cobertura de PVC e filme de PVDF no aeroporto de Guararapes, disponível em <http://www.pistelli.com.br> (10/07/2007).



Figura 5.23 Vista aérea do aeroporto internacional do Guararapes em Recife, que sobre a cobertura do edifício garagem foi instalada duas estruturas em membranas, gêmeas, disponível em

http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1215
(10/07/2007).

Os mastros podem ser suspensos como nas estruturas de apoio em tensegrity, cabos e barras de aço, que também se utilizam de anéis que fixam a membrana e fazem a transição de apoio da membrana com o mastro, a sistemática de aplicação desta forma pode ser observada na Figuras 5.25 e os exemplos com fechamento do anel com PVC transparente, Figuras 5.26 e 5.27.

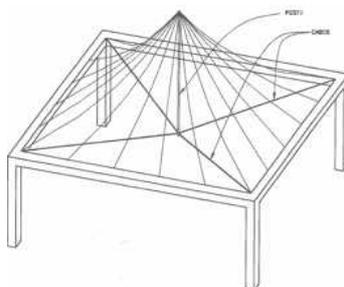


Figura 5.24 Sistema de apoio com mastro suspenso (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.25 Sistema de apoio com mastro suspenso, tensegrity, do Terminal de trem Folkestone Chunnel (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.26 Membrana estruturada em tensegrity no Grande Arco, Paris, projeto do arquiteto Johan Otto Von Spreckelsen, disponível em ROLAND (1989).

Percebe-se que a utilização de mastros suspensos possibilita o alcance de vão maiores sem interferência do mastro no ambiente e espaço de utilização como na Figura 5.25 e também quando utilizados em múltiplos mastros geram uma superfície de membrana diferenciada como no Grande Arco, Figura 5.26.

A utilização de topos apoiados em mastros suspensos pode ser alternativamente substituída por pinçamento da membrana através de conexões em cones de aço e suspensos por esticadores a cabos de apoios e cabos de ancoragens, Figuras 5.27 e 5.28.



Figuras 5.27 Vista da cobertura e detalhes de ancoragens do Swimming Pool Boulevard Carnot em Paris construído em 1967 devido ao clima rigoroso no inverno e verões medianos, disponível em TENSINET (2007).

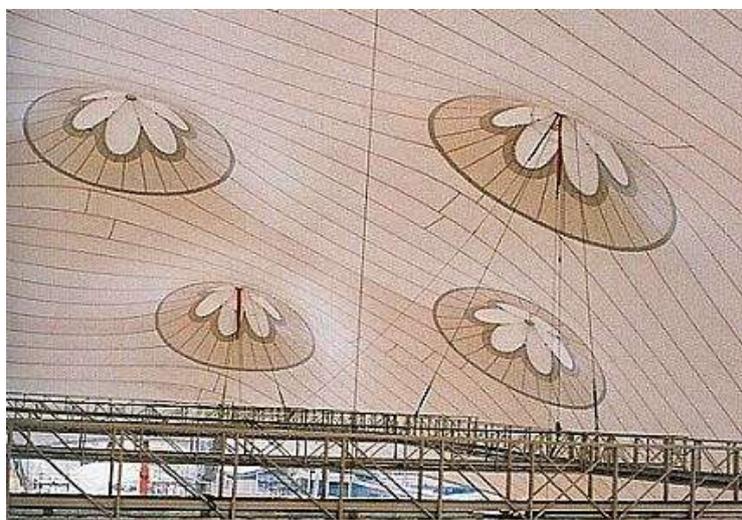


Figura 5.28 Cobertura do Complexo Aquático em Kuala Lumpur, disponível em PISTELLI (2007).

Uma conformação de pontos suspensos e de, portanto, impacto visual diferenciado também pode ser demonstrado com a utilização de redes de cabos de apoio da membrana e esta rede de cabos pode ser ainda utilizada como apoio de “aberturas” para iluminação zenital, Figuras 5.29 e 5.30.



Figura 5.29 Cobertura do Munich Rink, vista interna (HUNTINGTON, 2004).

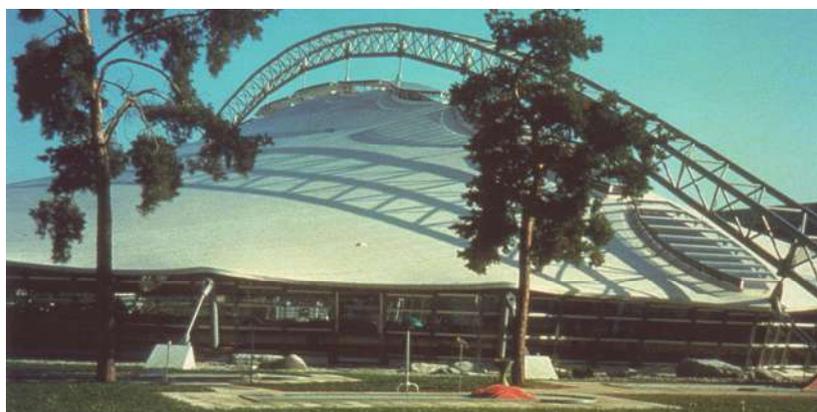


Figura 5.30 Cobertura do Munich Rink, arco treliçado de apoio e aberturas de iluminação natural (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.31 Tenda Brasil Rock in Rio 2001, Rio de Janeiro, design Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001).

Quando a opção pela forma sejam topos com formas mais circulares ou abobadadas, as condicionantes se fixam na utilização de estrutura suporte e membrana funcionando de vedação para obtenção da forma como por ser vistos na Figura 5.31 e na Figura 5.32 para o caso de uma membrana pneumática.

No caso das tensoestruturas pneumáticas podem-se utilizar placas de metal que conformem a forma em abobada ou utilizar membranas apoiadas em anéis de tensão e ainda, quando são obras temporárias e transportáveis, indica-se o pinçamento de pontos da membrana para as atividades de içamento, detalhe que pode ser observado nas imagens ilustrativas das etapas de montagem do domo inflável de um grupo de arquitetos irlandeses, Figura 5.32.

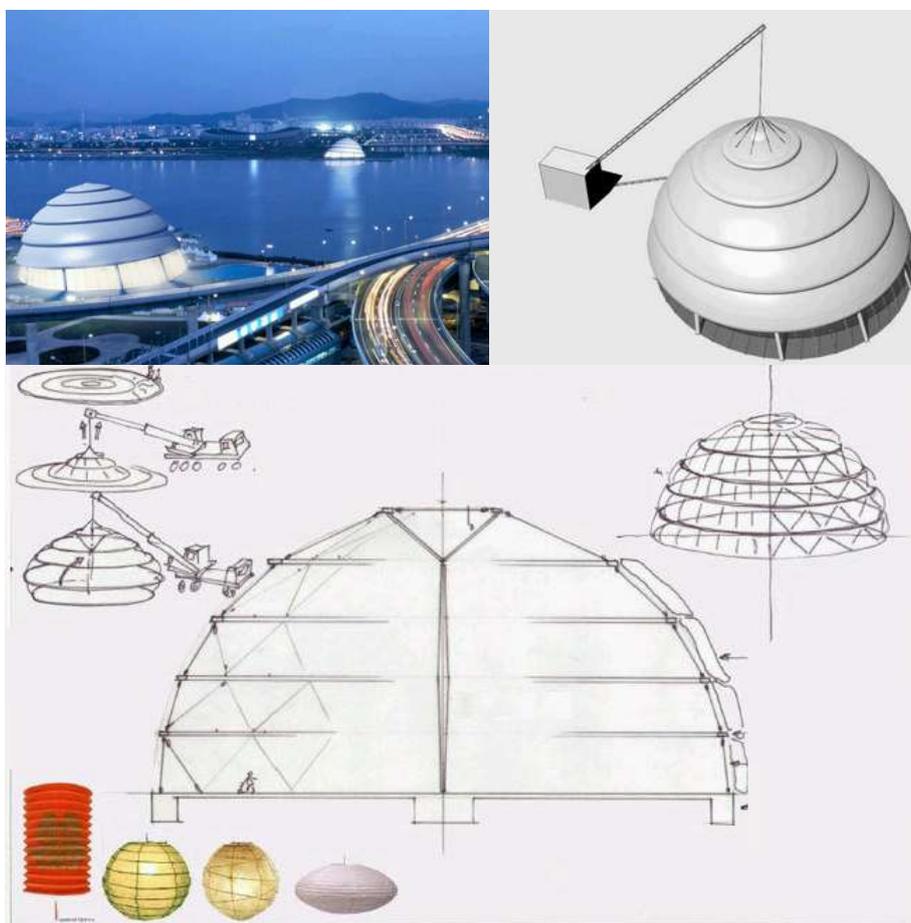


Figura 5.32 Domo inflável temporário, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-architecture.html> (04/07/2007).

Os exemplos de encontros de mastros em topos e pontos de pinçamento em membranas normalmente são mais correntes em membranas com têxtil, pois a

aplicação de filmes como o ETFE está intensificada no sentido de seu maior desempenho, ou seja, em estruturas pneumáticas, mas há a ocorrência de simples fechamentos em que a forma da estrutura de apoio é que impõe a forma e assim o material é utilizado devido a sua transparência e durabilidade.

Uma vez apresentados os parâmetros básicos quanto à forma e visual das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, a seguir serão tratados os parâmetros específicos e tendo como objetivo elencar um roteiro no qual as condicionantes visuais e de forma impactam nos projetos como disposições construtivas e de escolha do material de vedação.

De fato pode-se notar que mesmo as condicionantes básicas exigem uma compatibilidade inicial, ao que primariamente pode-se classificar como delimitação formal e visual, razão de objetivamente e em atividades de projetos estarem na definição do escopo e forma como atividade primária, descrição neste trabalho pontuada como compatibilidade preliminar no item 5.1.1 e de modo específico e já em ponderação aos tipos de materiais utilizados nas tensoestruturas e arquiteturas têxteis, item 5.1.1.2.

5.1.1 Compatibilidade Preliminar Através de Disposições Construtivas: escolha do material

Dentro das condicionantes visuais pode-se contar com algumas prescrições, como um arranjo ou mesmo uma indicação que permitam uma escolha prévia entre os tipos de materiais de vedações para a tensoestruturas ou arquiteturas têxteis, ao que se identifica neste trabalho como disposição construtiva.

A disposição construtiva permite ao projetista de tensoestrutura e arquitetura têxtil realizar uma compatibilidade inicial que não exclui o desenvolvimento de cálculos de carregamentos e dimensionamentos, mas pode-se considerar como sendo a indicação preliminar ou mesmo de utilização desta disposição como um simples referencial, uma vez que se fixa aqui uma proposta por alguns parâmetros a saber:

- resistência necessária e tensão que a obra estará submetida: de exigência de material de característica estrutural ou não,

- obra com exigências estéticas quanto à cor, textura, etc.
- necessidade de flexibilidade e de dobramentos
- grau de atendimento às normas de incêndio,
- translucidez, transparência e opacidade,
- estanqueidade e arejamento,
- conforto acústico do local,
- conforto térmico do local,
- previsão da vida útil e desempenho ao longo do tempo e conforme o ambiente,
- orçamento previsto.

Destes parâmetros e tendo-se como referência as características dos materiais, disponíveis em tabelas como a apresentada no capítulo 2, e as aplicações correspondentes no capítulo 1 e 2; este item fixa-se na oportunidade de contribuir com parâmetros projetuais e como foco a prova de serem condicionantes da ação de projetar as tensoestruturas e arquiteturas têxteis.

Indica-se a seguir uma estrutura de disposição construtiva que se optou pela inserção inicial de valores monetários das membranas, considerando que a opção, a partir das características puramente técnicas do capítulo dois e de exemplos de aplicações, pode conduzir a uma escolha ou opção de um material ou alguns materiais, levando, portanto, uma análise para escolha final pelo custo preliminar e uma simples expectativa de orçamento por unidade de área de construção. Entende-se aqui que os custos podem representar uma condicionante de decisão, mas também uma decisão que será determinante das condicionantes de formas e visuais que se optam pela escolha pelo custo do material.

5.1.1.1 Orçamento ou Custo Preliminar do tipo de material da membrana

Antes mesmo das descrições sobre as disposições construtivas onde são relacionados às características técnicas e parâmetros para a aplicação dos tipos de membranas, destaca-se como primeiro item o custo ou a expectativa de orçamento para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, entendendo que não cabe neste item a definição de uma composição e constituição de um preço e sim um referencial da prática corrente divulgada sobre este item e, portanto, dos materiais mais utilizados.

Salienta-se ainda que os valores citados a seguir sejam de datas e anos distintos, que tem como objetivo a rastreabilidade dos dados, e ao término deste item encontra-se um quadro comparativo considerando uma projeção única para o ano de 2009, correspondente a este estudo.

No que concerne ao custo ou orçamento, SHAEFFER (1996) e HUNTINGTON (2004), indicam que geralmente é composto pelo tecido, cabos, mastros ou arcos, conexões perimetrais; portanto, exclui as fundações, paredes ou vigas de terminalidade.

No Brasil o site ARCOweb (2008) indica que o custo total varia conforme a durabilidade pretendida, a complexidade do projeto, o tipo de material usado e as dimensões do conjunto, o resultado, ou seja, uma tensoestrutura montada com todos os componentes nas obras de altíssimo padrão, como as coberturas de estádios, pode podem atingir o valor de R\$ 3 mil, para projetos comuns o preço inicial é em torno R\$ 300,00 / m², valor este citado por PRIMI (2006) entrevistando Nelson Fiedler, e confirmando o custo de aproximadamente R\$ 300, 00/ m² (R\$360,00 para o ano de 2009).

No site PINIweb.com.br (1998) indica-se que os custos de tensoestrutura são muito variáveis, cujo referencial pode ser: a diferença de preços de mantas, as particularidades de elementos de ancoragem e fundações, o corte das mantas, as estruturas podem ser pontuais e de borda – esta última condição induz a um consumo maior de aço, ou seja, mais caras. Sendo indicados os valores da

época da referência citada e entre parênteses os valores¹⁰ estão atualizados e cita-se:

- Estruturas modulares de pequeno porte com mantas de PVC e incluindo projeto, materiais e instalação, o preço para estruturas pontuais varia entre R\$ 150/m² e R\$ 180/m² (R\$ 360/m² e R\$ 432/m²); para estruturas de borda, R\$ 200/m² e R\$ 250/m² (R\$ 480/m² e R\$ 600/m²). A diferença nos valores entre as formas estruturais de apoio resulta do impacto dos projetos de dimensionamento das estruturas que em média é de R\$ 3/m² (R\$ 7,20/m²) para estruturas armadas e R\$ 12/m² (R\$ 29/m²) no caso de estruturas tensionadas.
- Tensoestruturas de maiores dimensões e fibra de vidro são em média três vezes mais caras do que estruturas de pequeno porte. Como referência estima-se que a cobertura do Estádio de Riad, na Arábia Saudita, executada em 1985, tenha tido um custo final de R\$ 800/m² e a cobertura do aeroporto de Jedah em torno de R\$ 450/m².

Tomando como dados de referência os valores do estádio da Arábia Saudita e do aeroporto de Jedah, é importante salientar que se referem a projetos de escritórios que atuam de modo globalizado e com representação em diversos países da Europa, nos Estados Unidos e ainda sob condições de um mercado em que já se tem consolidado este padrão de tecnologia construtiva.

Esta diferença pode ser muito bem caracterizada pelo fato de não termos ainda no Brasil, institutos e representações profissionais ou mesmo um definido grupo de especialistas focado nestas práticas e em sua normatização, diferentemente das bases e precificações que puderam ser obtidas não só

¹⁰ Valores indicados foram ajustados em 2,4 vezes, aproximadamente 9,4% por ano, dos valores originais da referência citada, tomando-se como base o ano de 1998 da citação e o ano vigente. O valor 2,4 foi estimado como aumento do custo pela média entre o valor em reais do dólar nestes últimos dez anos (1,16 e 2,10), o valor do m² da construção (341,00 e de 790 a 805) e da gasolina (0,71 e 2,87). Como a construção não é uma mercadoria, não se fixou somente um referencial como o dólar, que no mês de fevereiro de 2009, após a explosão da crise financeira do final de 2008, e sob ações do governo estabilizou no valor de R\$2,31.

pelas consultas em artigos técnicos como na própria ASCE – American Society of Civil Engineers, AIA – American Institute of Architects e a IFAI – Fabrics Association Internacional.

Justifica-se, portanto, que uma estimativa de custo é um dado coberto pela dificuldade de busca e ainda por este dado ser específico e pontual nas referências do Brasil, exigindo um direcionamento das ações de busca por estes dados pela tomada por consulta aos poucos projetistas e principalmente da série de indicações em caráter generalistas e sob as condições de custo e benefício.

Esta situação demarca a tecnologia emergente que é a arquitetura têxtil e as tensoestruturas e ainda, os dados atuais ainda não permitem ao público comum e a grande maioria dos profissionais da engenharia civil e arquitetura a possibilidade comparativa e de estabelecimento de limites entre as construções tradicionais em alvenaria e estruturas convencionais e as tensoestruturas e arquiteturas têxteis.

Desta forma e em vista a definição de condicionantes projetuais de decisão, e no sentido de colaboração quanto ao maior conhecimento desta tecnologia, a seguir são apresentados valores mundiais de custo médio das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, tendo como fonte, profissionais e publicações associados a entidades de classe, já citadas e já estruturadas em torno deste assunto.

Obra com membrana de poliéster com PVC:

- \$12/m² – o tecido (HUNTINGTON, 2004).
- \$75 a 100/m² – a tensoestrutura pré-fabricada e modular (SHAEFFER, 1996).
- \$150 a 300/m² – a tensoestrutura em formas de complexidade baixa a mediana (SHAEFFER, 1996).
- \$400 a 700/m² – a tensoestrutura (HUNTINGTON, 2004)
- \$370/m² – a tensoestrutura (TALARICO, 2000).

Obra com membrana de fibra de vidro com PTFE:

- \$60 a 80/m² – o tecido (HUNTINGTON, 2004).
- \$300 a 900/m² – a tensoestrutura (SHAEFFER, 1996).
- \$500 a 1000/m² – a tensoestrutura (HUNTINGTON, 2004).
- \$560/m² – a tensoestrutura (TALARICO, 2000).

Obra com membrana de Polietileno:

- \$6/m² – o tecido (TALARICO, 2000)
- \$185/m² – a tensoestrutura (TALARICO, 2000).

Obra com filme de ETFE:

- \$15 a 25/m² – o filme (HUNTINGTON, 2004)
- Não há valor referencial para a tensoestrutura (HUNTINGTON, 2004; TALARICO, 2000 e REEDER, 2008): a variação da estrutura de apoio, sua concepção inovadora, o número de camadas, o nível de tecnologia embarcada para automatização levam a uma indefinição de um patamar do custo e exigindo a necessidade de um estudo integrado da equipe ou mesmo de projetos isolados.
- Um parâmetro adicional de consideração quando da realização do orçamento de uma obra com ETFE é o a redução no custo da instalação do ETFE quando comparada com o custo de uma instalação em vidro, neste caso o ETFE permite no mínimo uma redução do custo de 24% em relação a uma instalação com vidro e pode chegar até 70% (VECTOR FOILTEC, 2009).

TABELA 5: Resumo de valores da membrana e da tensoestrutura e arquitetura têxtil, segundo as citações, e estes valores parametrizados e atualizados para o ano de 2009 (da autora, 2009)

MATERIAL	FONTE	ANO	VALORES EM R\$ POR m ² DA REFERÊNCIA		VALORES EM R\$ POR m ² PARA ANO DE 2009	
			MEMBRANA	TENSOESTRUTURA	MEMBRANA	TENSOESTRUTURA
PVC	HUNTINGTON	2004	20,00	400 a 700	25,20	840 a 1470
	SHAFFER	1996	-	150 a 300	-	315 a 630
	TALARICO	2000	-	492	-	777
	Valor Médio (2009)				25,20	806,40
PTFE	HUNTINGTON	2004	100,20 a 133,60	835 a 1670	126 a 168	1050 a 2100
	SHAFFER	1996	-	300 a 900	-	630 a 1890
	TALARICO	2000	-	744,80	-	1176
	Valor Médio (2009)				147,00	1369,20
POLIETILENO	TALARICO	2000	7,98	246,10	12,60	388,50
ETFE	HUNTINGTON	2004	25,10 a 41,75	-	31,50 a 52,50	-

Após este painel de custos básicos, apresentado de modo resumido e uniformizado para o início do ano de 2009, Tabela 4, pode ser entendido como um dos parâmetros projetuais e, sendo os últimos valores como padrões mundiais e de referencial ao Brasil.

Como referencial ao Brasil, cita-se ainda que os valores médios obtidos para as tensoestrutura em PVC apresentam valores aderentes ao metro quadro de uma construção convencional e os de PTFE por correspondência, aderentes a valores de construções de maior complexidade, portanto trazendo de fato a leitura que não se trata de um sistema construtivo muito mais caro que o convencional.

Aloca-se, portanto, o sistema construtivo das tensoestruturas e arquitetura têxtil como de valores de mercado das construções convencionais, por outro lado justifica-se que este posicionamento de paridade é devido à tecnologia construtiva, pois se nesta relação fosse contemplada a quantidade de materiais, as tensoestruturas e arquiteturas têxteis estariam com valores de custos muito inferiores que a construção convencional.

Como direcionamentos principais a seguir serão elencados as disposições técnicas por material, ou seja, o tipo de membrana (tecido + cobertura ou filme) e, correspondentes exemplos de aplicações em que as disposições foram aplicadas.

5.1.1.2 Disposição Construtiva em Relação aos Tipos dos Principais Materiais Disponíveis

Membrana com tecido de poliéster e cobertura em PVC branca ou colorida:

Material que pode ter a condição não estrutural e também estrutural, utilizada para vedação, de impacto estético devido à cor, possui flexibilidade ou de dobramento previsto, com opacidade, proporciona superfície estanque e quando da necessidade de conforto térmico e acústico indica-se a adoção de projetos da forma e de curvatura adequadas além da possibilidade de uso em multicamadas ou o sistema pneumático ou sistemas de colchões de materiais isolantes e, sob a aplicação de equipamentos adicionais através de condicionamento de ar ou aspersão de água no caso de climas quentes. Ainda, a membrana de poliéster com PVC é indicada em projetos de curva acentuada e de pequenos vãos.

Pode ser aplicado como revestimento de impermeabilização ou como contenção de água, possui durabilidade de cerca de 5 anos para os casos de membranas coloridas e 15 anos para a cor branca. Este tipo de membrana pode ser também indicado para sombreamento quando a malha do tecido de base for aberta e também o uso de filme preto intermediário, denominado de blackout, para ambientes de exigência de translucidez zero.

Exemplos de aplicações:

O uso em estruturas pneumáticas e caráter diferenciado por ser de intervenção/interação com o público é apresentado pelo exemplo da obra do arquiteto Alan Parkinson na praça Somerset House, com cores vermelho, azul, verde, amarelo e prata, inspirada nas águas vivas, Figuras 5.33 (a) e (b), .

Segundo ROMNEY, J (2000) a intervenção Levity 2000, ou seja, Leviandade 2000 em tradução literal, foi uma obra eventual ou transitória de 4 dias com 800 metros quadrados, que proporcionou de modo lúdico e divertido experiências sonoras, de sopros e contato com a superfície de PVC inflada.



Figura 5.33 (a)

Figura 5.33 (b)

Figura 5.33 (a) e (b) Vista Geral da obra e um visitante no interior, respectivamente (OBATA, 2001).

Da estrutura pneumática Levity 2000 cita-se que a aplicação em membrana de poliéster com PVC justifica-se além do estético e do tato a condição de carregamento que a obra estaria submetida, ou seja, as pessoas podiam circular internamente e conseqüentemente a membrana tinha que ter a flexibilidade para atender a esta dinâmica de ações. Além deste fato a obra que recebia o preenchimento de ar, portanto sua condição inicial é de estar dobrada e enrugada para com a pressão do ar ser conformada a superfície, exigindo novamente flexibilidade do tecido.

Outra obra que pode ser considerada um diferencial da aplicação da tensoestrutura e arquitetura têxtil é a que pode ser apreciada no projeto do Institute of Cell and Molecular Science no Queen Mary College, London - United Kingdom, em que a cor e estética são impactantes e até de formação da ambientação nas visitas monitoradas para crianças,

com estruturas suspensas e espaços referenciados as formas celulares, Figuras 5.34 a 5.36.



Figura 5.34 Em detalhe duas obras em que se destacam as cores, a flexibilidade e vivacidade da obra do Institute of Cell and Molecular Science, Queen Mary College (Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1], disponível em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008).



Figura 5.35 Vista ao fundo de duas outras obras do Institute of Cell and Molecular Science (Disponível em <http://www.designbuild-network.com/projects/queenmaryuni/queenmaryuni4.html> 05/08/2008).



Figura 5.36 Cores para uma ambientação intencional (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008)

Cita-se também que os ambientes criados pelas tensoestruturas e arquiteturas têxteis são apoiados em estruturas metálicas e foram projetados com o condicionamento térmico como pode ser observado nos cortes das Figuras 5.37 a 5.40.

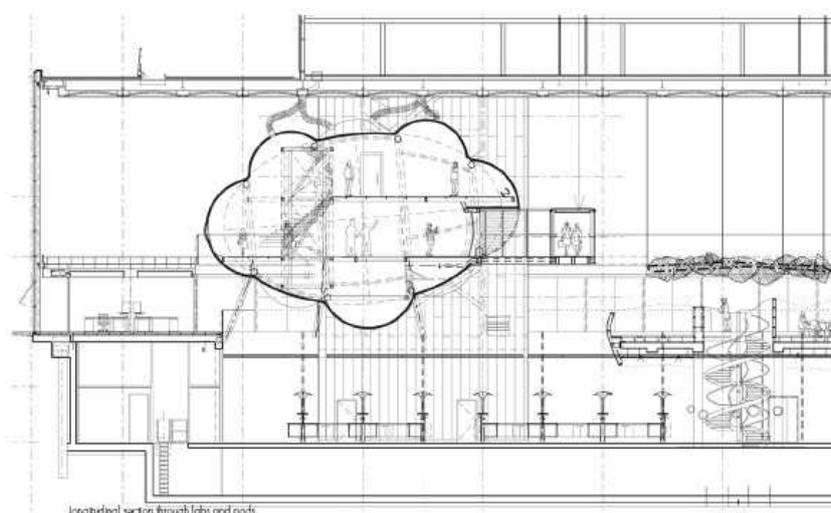


Figura 5.37 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as instalações de condicionamento do ar no topo da tensoestrutura vivacidade da obra (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1] em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008)

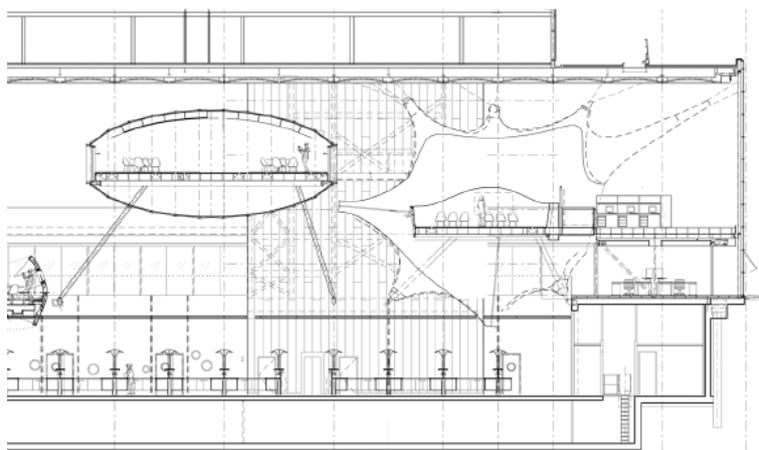


Figura 5.38 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as estruturas de apoio e também a fixação na estrutura de cobertura do edifício. (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 0306FA_DigitalEdition[1] em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008)

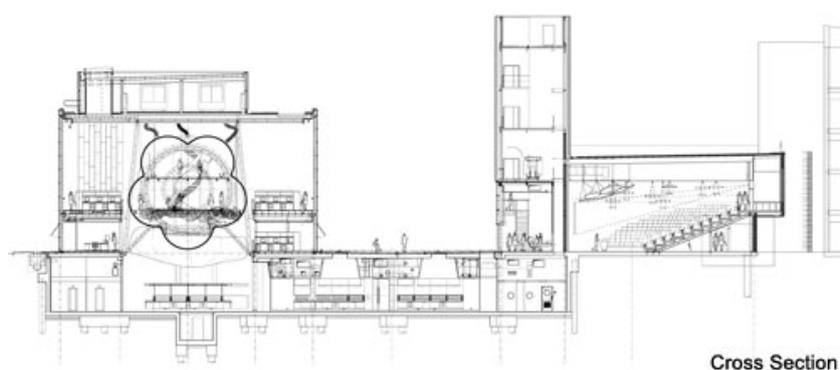


Figura 5.39 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as estruturas de apoio e também as instalações de condicionamento da tensoestrutura. (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008)

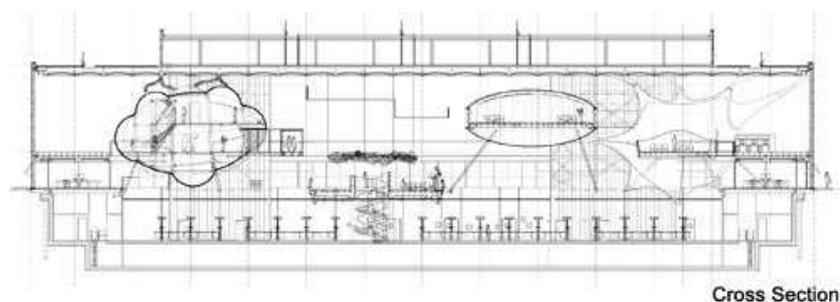


Figura 5.40 Vista das quatro obras em tensoestrutura em PVC colorido (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008)

Quanto à aplicação e funcionando inclusive como camadas de isolantes acústicos e térmicos em colchões de têxtil em poliéster e PVC, cita-se o Circo Voador no Rio de Janeiro do escritório DDG Arquitetura, Figura 5.41.

A aplicação de colchões de PVC preenchidos com lã mineral sob a cobertura também de PVC teve como função a redução dos índices de emissão sonora, formando uma membrana com espessura média de 20 cm e peso de 20 Kg/m² (METÁLICA, 2008b).

Os colchões isolam o som tanto de dentro para fora como no sentido inverso, garantindo qualidade acústica no interior da nave para música eletroacústica e acústica.

Cita-se que tecnicamente a escolha da membrana de poliéster com PVC justifica-se primeiramente pela necessidade de preenchimento dos colchões, exigindo um tecido com muita flexibilidade e que permitisse a trabalhabilidade e manipulação do material, ainda por formar gomos de curvaturas de raios diminutos, não seriam adequadas ao tecido em fibra de vidro.

Uma aplicação que pode ser classificada como de contenção refere-se ao reservatório de água projetado pelo escritório SL-Rasch GmbH, conforme Figura 5.42, o dimensionamento do tecido em poliéster da membrana fica em função do volume de água e da sua trama, este último por ser o responsável pela resistência ao carregamento, já a cobertura em PVC é responsável pela impermeabilidade e flexibilidade em relação à variação do nível d água.

Por ter sua capacidade de carga flutuante em função do uso e abastecimento da água em seu interior, a flexibilidade de se amoldar a contenção da água e, portanto aos empuxos da água fazem da escolha da membrana de PVC a de melhor desempenho.

Em condições de esvaziamento do reservatório a membrana pode estar totalmente dobrada, quando totalmente vazia e, em seguida a forma pode ir se conformando à medida que a caixa vai sendo preenchida.

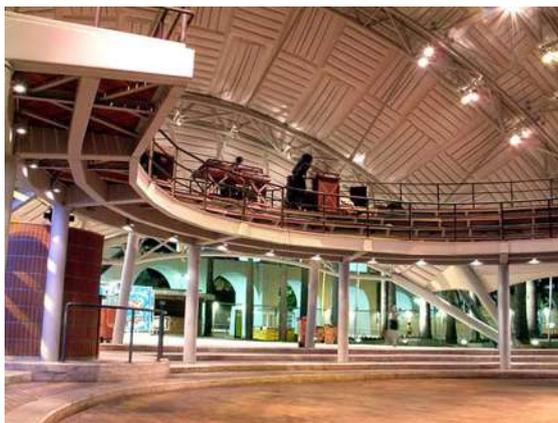


Figura 5.41 Vista dos colchões acústicos de PVC instalados no Circo Voador
(disponível em 13/08/2008 no site
http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1312).

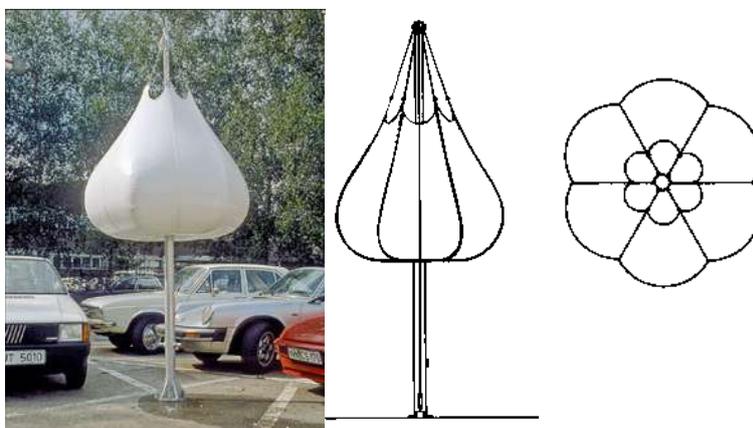


Figura 5.42 Reservatório de água em PVC (SL-Rasch GmbH, 2008).

Pelos exemplos anteriores percebe-se que a flexibilidade do material das arquiteturas têxteis e tensoestruturas em membrana de poliéster com cobertura em PVC branca ou colorida é o de maior destaque em quantidade de obras, sendo aderente a vãos menores e que portanto, exigem menores resistências do tecido.

Mas apesar de ser mais barato e ter uma menor durabilidade em relação ao material com um tecido em fibra de vidro e cobertura de PTFE, como pode ser comprovado pela Tabela no capítulo 2, seu uso é muito intenso pela facilidade construtiva e por permitir que os painéis parciais de uma tensoestrutura ou arquitetura têxtil possam ser dobrados, sem ter o problema de “quebra” do tecido e, portanto não exigindo um ordenamento e logística rigorosos de armazenamento e montagem da obra.

Membrana com tecido de poliéster e cobertura em PVC transparente:

Material que pode ter a condição não estrutural e também estrutural, utilizada para vedação, de impacto estético e com transparência requerida, indicado para obras temporárias, com flexibilidade ou dobramentos previstos, superfície estanque quando de malha fechada e quando da necessidade de conforto térmico e acústico indica-se a adoção de projetos da forma adequado além da possibilidade de uso em multicamadas ou o sistema pneumático e, sob a aplicação de equipamentos adicionais através de condicionamento de ar ou aspersão de água no caso de climas quentes. Indicado para obras temporárias, de ambientação ou cenografias e fechamentos temporários de piscinas a membrana de tecido não estrutural em poliéster com PVC transparente ou mesmo o filme de PVC transparente.

Exemplo de aplicação:

Uma obra de durabilidade reduzida e para atendimento temporário, durante o prazo do evento (cerca de um mês), foi a proposta de uma cobertura de passarela na CASA COR 2004 em São Paulo, Figuras 5.43(a) e (b), da empresa Fiedler Design E Engenharia em filme de PVC transparente.

A situação de aplicação do filme de PVC transparente justifica-se pela leveza proporcionada e ainda pelo reduzido tamanho dos painéis, pode-se utilizar como delimitação a própria largura do rolo de PVC, 1,10 a 1,50m.

Outra aplicação de poliéster com PVC transparente justificam-se para coberturas temporárias e conversíveis manualmente de piscinas. A Figura 5.44 corresponde ao projeto de uma piscina de 12X25m, estruturada por doze arcos de aço que quando aberta cobre uma área de 18X30m e quando fechada sua projeção é de 18X1m, os apoios são sobre rodas de alumínio que após aberta é estaqueada ao solo e as bordas devem ser preenchidas com água, para formar uma bolsa que veda a passagem do vento entre a cobertura e o terreno (ESCRIG e SANCHEZ, 2008).

Além da função melhoria da vedação, as bolsas de água nas bordas desta tipologia de tensoestrutura e arquitetura têxtil possuem a função de absorver aos efeitos de sucção dos ventos, ou seja, de se evitar que

sejam levantadas, portanto, trabalhando como um freio ao arrancamento.

Para içar este tipo de cobertura utiliza-se uma pequena grua e a operação total de montagem leva menos de quatro horas.

Destaca-se o material em poliéster com cobertura em PVC transparente no atendimento ao aproveitamento a luz natural e a flexibilidade proporcionada pelo tecido e cobertura justificam a aplicação em coberturas conversíveis, suscetíveis a ciclos contínuos de dobramento e desdobramento.



Figura 5.43 (a)

Figura 5.43 (b)

Figura 5.43(a) e (b) Respectivamente vista geral e do interior da passarela na CASA COR 2004-SP (disponível em <http://www.fiedler.eng.br/site/html/2k4/p03.htm#> em 13/08/2008)



Figura 5.44 Vista da cobertura desmontável – temporária de ESCRIG e SANCHEZ (disponível em <http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm> em 05/08/2008)

Membrana de tecido de poliéster e cobertura com PTFE:

Comparando-se com a cobertura de mesmo tecido, mas de cobertura de PVC a de PTFE é mais cara, mas tem maior durabilidade, podendo chegar até 30 anos. Melhor quando indicada para a condição estrutural e tanto pode ser de vedação como sombreamento dependendo da abertura da malha, normalmente na cor branca, indicado para obras permanentes, com flexibilidade ou dobramento previsto, com translucidez requerida em torno de 8%, superfície estanque e quando da necessidade de conforto térmico e acústico indica-se a adoção de projetos da forma adequado além da possibilidade de uso em multicamadas ou o sistema pneumático e, sob a aplicação de equipamentos adicionais através de condicionamento de ar ou aspersão de água no caso de climas quentes.

Exemplo de aplicação:

O projeto do sombreamento e, portanto, do controle climático para os fiéis que não conseguem acesso e ficam em frente da Mesquita Al-Hussein, Figura 5.45, a área coberta corresponde a 750 m², cada unidade de cobertura com um vão de 23mX23m, projetado pelo escritório SL-RASCH GmbH (2008). Cada conjunto foi pré-fabricado na Alemanha e instalado no local, sendo cada unidade com peso de 10 toneladas. Estruturalmente possui quatro braços principais e oito secundários, a membrana em poliéster com PTFE da cobertura tem a resistência e flexibilidade garantida de 30 anos com dois ciclos de abertura e fechamento por dia.

Projeto similar a este e de responsabilidade dos mesmos autores é a cobertura realizada em 1992 da Mesquita do Profeta Holy, Figura 5.46, sobre a qual é citada a exclusividade que foi o desenvolvimento da membrana de PTFE para atender os dobramentos cíclicos e a durabilidade e desempenhos necessários, como incêndio, ataques químicos e da radiação solar (TENSINET, 2008). Hoje este material é considerado um material ideal para tensoestruturas e arquiteturas têxteis que exige flexibilidade e resistência, porém de valor maior que as membranas de cobertura de PVC.



Figura 5.45 Etapas de abertura das “umbrellas” da Mesquita Al-Hussein no Cairo, Egito (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

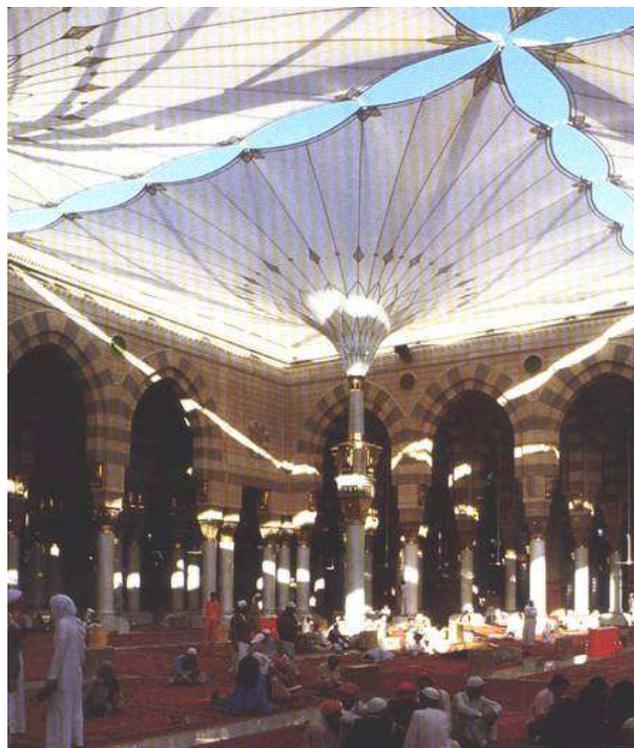


Figura 5.46 Mesquita Prophet's Holy, Madinah, projetada pelo arquiteto Bodo Rash, disponível em OTTO e RASCH (1995).

Membrana com tecido de fibra de vidro e cobertura com PTFE:

Trata-se da membrana mais aplicada no caso de exigência de resistência estrutural elevada, bem como, destinadas para grandes vãos ou grandes solicitações de carregamentos.

Possui durabilidade mínima de 30 anos, uma vez que há fabricantes fornecendo a garantia de durabilidade de até 50 anos.

Pela constituição de seu tecido base em fibra de vidro, têm um bom atendimento as condições de incêndio e de manutenção. Na cor padrão branca, possui pouca flexibilidade devido ao tecido base que pode “quebrar”, portanto não sendo indicada às estruturas sujeitas a dobramentos ou mudanças bruscas de formas. Exige estudos específicos de montagem e içamento e para não ocorrer quebra do tecido em fibra de vidro.

Portanto a superfície de uma tensoestrutura ou arquitetura têxtil com membrana de fibra de vidro e cobertura com PTFE deve ser fornecida em panos previamente cortados e em rolos seguindo um plano de locação, tensionamento e soldagem entre membranas. Em termos de valor entre todas as membranas, a de fibra de vidro com cobertura de PTFE é a mais cara. Normalmente devido a estas indicações a disposição construtiva básica é para construções de tensoestruturas e arquiteturas têxteis permanentes, de grande desempenho estrutural e que transformam em destaque no cenário destas construções.

Exemplos de aplicação:

Diversos projetos podem ser destacados com a aplicação em membrana de fibra de vidro com cobertura de PTFE, dos quais se encontram ilustrados neste trabalho, como: a cobertura do terminal aeroportuário de Denver (Figura A6); o Haj Terminal (Figura 1.12 e 3.19); a estação de metro de Erasmus (Figura 1.17); a cobertura do estádio Georgia Dome (Figura A18); a cobertura do Centro de Convenções de San Diego (Figura A27); o Millennium Dome, projeto marco da virada do milênio do arquiteto Norman Foster (Figura 5.51 e 5.184); a cobertura do complexo aquático de Wadi Laban (Figura 1.22); a fachada do hotel Burj al Arab (Figuras 1.26 a 1.29); a cobertura da caixa d água da empresa Sonelec (Figura 1.36), entre outros que como estes podem ser caracterizados como obras de grandes vãos.

Como marco histórico de aplicação da membrana de fibra de vidro e cobertura de PTFE cita-se a obra do professor Kikutake para o café no Museu de Edo no Japão, Figura 5.14. Esta cobertura com 500 m² foi a primeira obra em PTFE totalmente realizada com o auxílio de programas computacionais, ou seja, desde a etapa de busca da forma até a etapa de corte dos panos (SKYSPAN, 2001).



Figura 5.47 Cobertura em PTFE no Museu de Edo, Japão (SKYSPAN, 2001).

- **Membrana de tecido de polietileno e cobertura de polietileno (PE/PES):**

Comparando-se com a cobertura de PVC a de PE/PES é 50% mais barata e em relação às membranas anteriores, possui maior flexibilidade, pode ter a característica de ser translúcido ou opaco, ter cores diversas, e é a única membrana que é 100% reciclável e ainda possui um processo de reciclagem mais eficiente por ser um mono material, isto é, tecido base e cobertura da mesma matéria.

Porém as desvantagens são a baixa durabilidade em relação às membranas padrões, de 3 até 5 anos já considerando tratamento anti UV, portanto, destinado a coberturas temporárias.

Portanto, justifica-se pelo custo e sua resposta ambiental, quando este material estiver associado a uma aplicação de característica temporária ou quando são programadas trocas de panos da construção e com a pré-definição da reciclagem.

Normalmente a membrana de polietileno e cobertura de polietileno nas duas faces, se destina a fechamentos e vedações sem responsabilidade estrutural por parte deste tipo de membrana, mas segundo TALARICO (2000), considerando como membrana para construção de tendas e arquiteturas têxteis e tensoestruturas simples, trata-se de um material muito novo e que os resultados das aplicações são muito recentes, ou seja, surgiu em 1994.

Desta forma a membrana de polietileno e cobertura em polietileno nas duas faces representa uma grande perspectiva de avanços para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, estando na condição de receber grandes impactos em termos de tecnologia e ciência dos materiais dado seu caráter ecológico.

O caráter ecológico também é destacado pela empresa fabricante, Intertape Polymer Group Inc. através de sua divisão ECP- Engineered Coated Products (2008), em que além da reciclagem em 100% possui a relação mais baixa de custo entre materiais limpantes de manutenção quando comparado às membranas de PVC que exigem lavagens com alguns solventes e detergentes, para membranas de PE/PES indica-se o uso de sabão comum e água.

Exemplo de aplicação:

No Brasil este tipo de membrana é mais conhecido como tecido de ráfia e é destinado a estufas para agricultura, conforme apresentado na Figura 5.48. Para este tipo específico de aplicação, a comercialização é feita em bobinas que podem chegar a 1500 metros e largura de 1,50 a 3,00 metros e com as especificações básicas apresentadas na Tabela 6.

TABELA 6: Especificações técnicas (adaptado de Plásticos do Paraná, 2008).

Característica	Unidade	Valores referenciais
Gramatura	g/m ²	182 ± 5% a 200 ± 5%
Espessura	Micra	250
Resistência à Tração (típica)	Kgf/5 cm	94 X 79
Alongamento	%	20 X 16
Transparência:		70 ou 80 %



Figura 5.48 Cobertura para cultivos forçados em estufas (disponível em <http://www.plasticospr.com.br/agroforte.html> em 27/08/2008).

Porém as aplicações mais recentes e os avanços deste tipo de membrana, foi realizado pela empresa Intertape Polymer Group Inc., obtendo uma membrana de polietileno com cobertura em ambas as faces de polietileno que apresenta a melhor relação entre peso e resistência além de desempenho estrutural equivalente a membrana de PVC.

Este resultado é devido em parte ao sistema de trama do tecido do polietileno como pode ser observado pela Figura 5.49 a seguir.

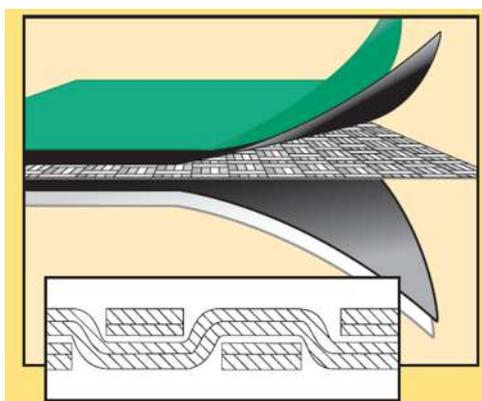


Figura 5.49 Trama da membrana de polietileno e cobertura em ambas as faces de polietileno da empresa Intertape Polymer Group Inc. (disponível em [http://www.intertapepolymer.com/IPGLiterature/EngineeredCoatedProducts/EngineeredCoated%20Products](http://www.intertapepolymer.com/IPGLiterature/EngineeredCoatedProducts/Engineered%20Coated%20Products) em 28/08/2008).

Esta característica pode ser observada pelas aplicações que já foram realizadas com este material, como nas Figuras 5.50(a) e (b).



Figura 5.50 (a)



Figura 5.50 (b)

Figura 5.50 (a) e (b) respectivamente uma cobertura de quadras de esporte com vão de 40m; uma cobertura temporária com vão de aproximadamente 20m, tendo ao fundo o Millenniun Dome e a outra Figura, um galpão agropecuário com vão de cerca de 25m (disponível em 28/08/2008 no site <http://www.intertapepolymer.com/IPGLiterature/EngineeredCoatedProducts/Engineered%20Coated%20Products>).

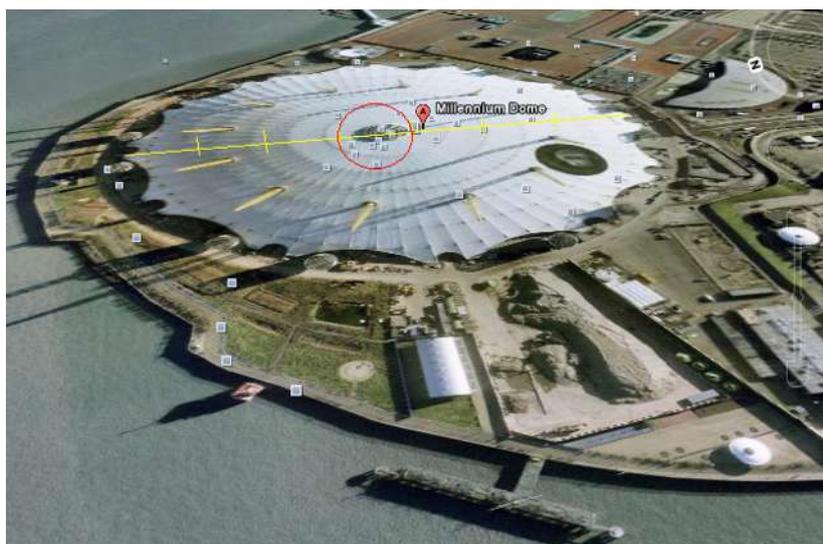


Figura 5.51 Imagem do Millenniun Dome obtida através do Google Earth com indicações da autora deste trabalho sobre as proporções entre uma obra próxima e as dimensões do próprio Millenniun Dome (GOOGLE EARTH, 08/2008).

A Figura 5.51 apresenta uma visão comparativa do Millennium Dome, projetado pelo arquiteto Richard Rogers, em Londres com vão de 365m como referência da característica estrutural da membrana de fibra de vidro com PTFE, na régua de cor amarela e uma indicação de um círculo em vermelho, como forma comparativa de um vão de 50m, ou seja, a sétima parte em termos de vão, e que atualmente é viável economicamente com a membrana de PE/PES.

- **Membrana de ETFE:**

Este material é indicado quando há a necessidade de transparência e translucidez, diferentemente dos materiais anteriores o ETFE não é formado por tecido com cobertura, trata-se de um filme plástico extrudado de superfície extremamente lisa, e tem a mesma origem química que o Teflon.

Devido a sua origem química ser equivalente ao Teflon e, como é de se esperar, tratar-se de um material resistente a adesão de pó e sujeiras, sendo normalmente suficiente a ação das chuvas e o próprio vento para uma auto-limpeza. REEDER (2008) indica a necessidade de limpeza completa em intervalos de cinco a dez anos para edifícios com vedações e coberturas em ETFE.

A transparência é de aproximadamente a 94 a 97%, segundo REEDER (2008), mas quando utilizada em curvas, como nos colchões, esta transparência fica reduzida devido à curvatura e normalmente devido às curvaturas diferentes entre as camadas de ETFE.

É reconhecido no meio construtivo como plástico da era espacial não só pela sua origem na empresa aérea espacial dos Estados Unidos – NASA, como pelo conceito tecnológico que permite formas construtivas “espaciais” e orgânicas. O ETFE é mais bem indicado para a condição estrutural e construções permanentes, porém no caso deste material temos a citação de MOLLAERT (2002) com durabilidade superior a 25 anos e de HUNTINGTON (2004) de somente 15 anos e ainda da própria empresa, Vector Foiltec, fundada em 1981 por Ben Morris e Stefan Lehnert, que introduziu no mercado da construção civil o material e hoje é a principal

distribuidora, indica que a durabilidade mínima é de 50 anos, mas pode chegar a 200 anos (VECTOR FOILTEC, 2009).

Sobre este item há algumas considerações a serem levantadas e em relação aos outros tipos de membranas, ou seja, o ETFE é um material ainda de características de aplicações muito recentes, justificando esta distância de tempo entre as citações do parágrafo anterior.

De fato o que se pode colocar como comum entre as construções com fechamentos em ETFE e outros sistemas é que a durabilidade é dada em função do tempo, as condições de agressividade do meio, a manutenção e os carregamentos. Em relação aos carregamentos a resistência e durabilidade são em razão e da condição própria de flexibilidade e de dimensionamento como membrana, além do fato que em vedações e fechamentos como sistemas ativos, impõem ciclos de variação de forma e de tensionamentos distintos que como sistemas mecânicos implicam relaxações e condições de fadiga do material.

O diferencial em relação a qualquer outro material é que os sistemas construtivos em ETFE permitem substituições de partes com menores impactos logísticos, bem como, das condições estruturais e formais da construção.

Preferencialmente, aplica-se o ETFE em obras pneumáticas como colchão de controle térmico, aplicação já comprovadas pelas mais recentes obras e de grande vulto, Complexo Aquático de Beijin e o Éden Park, que demonstraram a versatilidade de um material plástico e que pode ser utilizado como elemento integrador entre edifício e vedação, portanto, de condição pele-estrutura e com alto desempenho tecnológico-ambiental.

Como comparativo da eficiência térmica em relação aos fechamentos em dupla camada de placas de vidro, o ETFE resulta em melhor desempenho, mas o que se nota é a aplicação de três camadas de filmes de ETFE, esta condição tem como partido o controle dinâmico das ondas de calor e da iluminação, controle este obtido através da mobilidade da camada intermediária dos colchões, como pode ser observado na Figura 5.52.

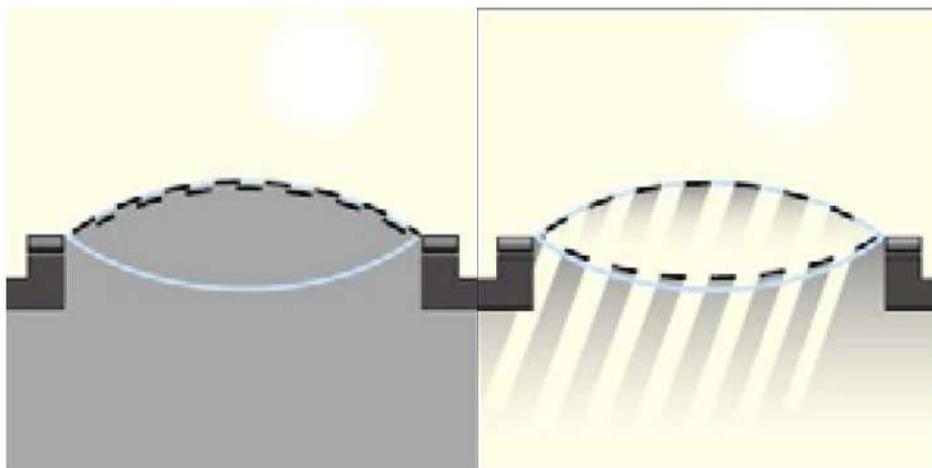


Figura 5.52 Aplicação de três filmes de ETFE em posição horizontal e o controle automatizado de movimentação do filme intermediário. BASSIGNANA, M (2008).

A aplicação em fachadas de edifícios e a condição de controle dinâmico das ondas de calor e da iluminação pode ser observada no projeto do centro MediaTIC, Barcelona, projetado pelo arquiteto Enrique Ruiz-Geli. Nas Figuras 5.53 e 5.54, a seguir, nota-se a simulação dos feixes de luz e como um controle individualizado permitirá um maior conforto às condições exigidas por pavimento ou mesmo em função da atividade desenvolvida por área e/ou pavimento.

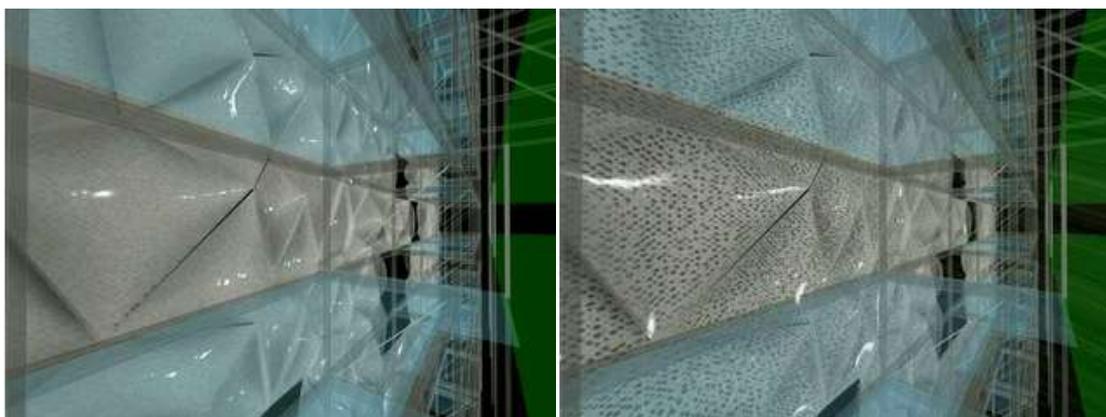


Figura 5.53 Simulação dos feixes de luz através dos colchões de ETFE no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz-Geli, dis <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008

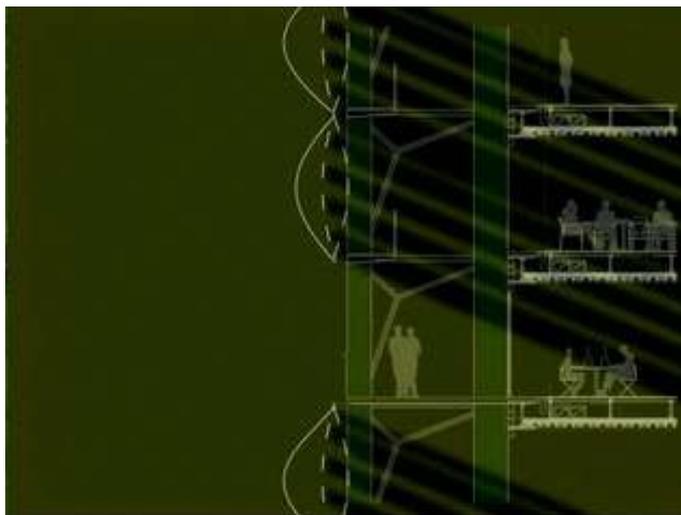


Figura 5.54 (a) Controle individualizado da iluminação pelo colchões de ETFE com entrada de faixas de luz no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz Geli, <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008

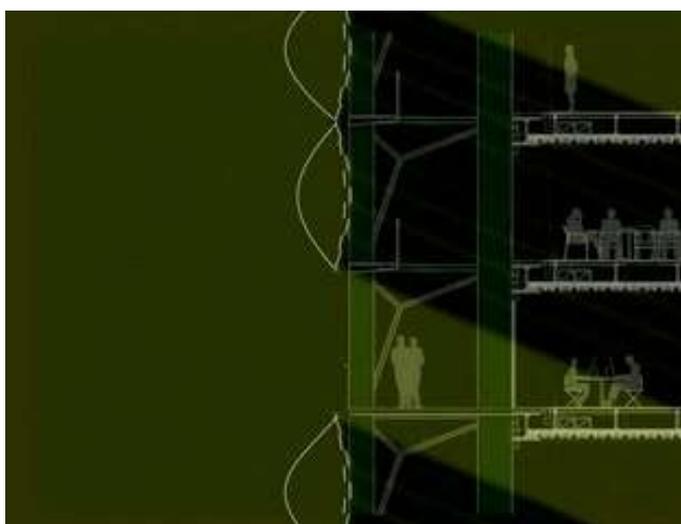


Figura 5.54(b) Controle individualizado da iluminação pelo colchões de ETFE, fechamento parcial de alguns colchões, no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz Geli, <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008

A graduação da transparência até a translucidez ou mesmo até a opacidade é obtida muito mais pela pigmentação ou pela impressão de pontos muito próximos ou de espaçamento entre pontos dimensionados pela necessidade, Figura 5.55, ou mesmo com a impressão de imagens sobre o filme, pigmentações que podem gerar desde uma cenografia ou simplesmente um controle lumínico.

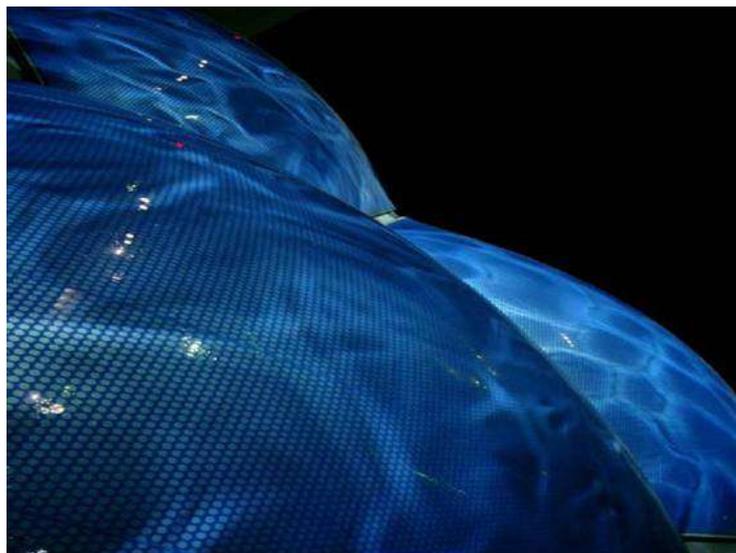


Figura 5.55 Impressão de pontos nos filmes do Eden Park em ETFE que controla a translucidez de 45 a 85% conforme o modo que for inflado, descrição da empresa SKM, disponível em <http://www.skmconsulting.com/> em 23/11/2007.

A característica de o ETFE poder ser impresso com imagens, Figura 5.56, é similar a serigrafia realizada em vidros, porém o ETFE se afasta pelo peso próprio reduzido que é de 1% (um por cento) em relação ao vidro e ainda com elevada resistência a flexão e ser extremamente dúctil, características que o vidro não possui devido a sua fragilidade.



Figura 5.56 Serigrafia em filmes de ETFE. (BASSIGNANA, 2008).

A aplicação do ETFE em relação ao vidro fixa-se não só em relação ao peso próprio, segundo GONCHAR (2008), as técnicas de fixação do vidro exigem muitas vezes estruturas secundárias e, somando-se a isto as

aplicações em camadas de ETFE, a partir de três, resultam em melhores desempenhos em relação à acústica e isolamento térmico que o vidro, por este último não ter a condição de flexibilidade, de poder ser inflado ou insuflado e ainda com a condição de mudar a forma de sua superfície e ser adaptado a qualquer geometria, desde que dimensionado aos carregamentos que estará suscetível, principalmente aos ventos, chuvas e neve quando for o caso.

Mas a condição de ser utilizado o ETFE em colchões, conduz a um embarque tecnológico de automação predial e de poder transformar o edifício através de controles, muitas vezes no sentido de proporcionar o controle da luz natural e o aproveitamento do aquecimento do ar nos colchões para conversão em outras formas de energia ou mesmo para aquecimento de água, exemplos de aplicações que se encontram desenvolvidas e em uso no Complexo Aquático de Beijing.

Estas condições diferenciadas justificam a membrana de ETFE para grandes empreendimentos e como salientado por TALARICO (2000), o fato de seu uso e escolha como material em tensoestrutura e arquiteturas têxteis poder indicar muito mais o viés filosófico e do partido arquitetônico, o viés do signo que a obra carrega, não tangenciando o viés econômico inicial e muito mais de encontro às inovações e dos desconhecimentos tecnológicos.

Portanto, pode-se afirmar que o custo das obras em ETFE não é normalmente ponderada tão somente pelo custo da construção ou do projeto, caso este fosse o parâmetro, sua aplicação seria sempre considerada inviável perante aos outros tipos de membranas e outros tipos de materiais como as placas de policarbonato e de vidro.

Para REEDER (2008) trata-se de uma análise de contextos que podem ser encaradas pelo impacto na redução da estrutura portante, na economia com transportes, que é de no mínimo 1/10 do que se gasta com o transporte de placas de vidros, além de poder ser reciclado quando do término da vida útil para a fabricação de filmes de ETFE.

Diferentemente dos outros tipos de membranas, o ETFE não pode ser costurado, pode ser somente soldado e fixo em um caixilho, que

normalmente é de alumínio e em formato especial para sua fixação, principalmente quando se aplica em colchões infláveis.

Nas construções em que os colchões são essenciais devido à agressividade climática do meio ambiente, a utilização de controles automatizados e de gerados para condições de emergências passam a ser a condição padrão para o funcionamento como elemento construtivo e, portanto, como um equipamento mecânico ou como um pulmão em analogia do invólucro com a respiração que deve ser controlada para não ficar sem ar e nem explodir com o excesso de ar. As Figuras 5.57 e 5.58 ilustram as instalações que compõem o sistema mecânico-pneumático dos colchões de ETFE.

Uma das desvantagens do ETFE é sua baixa resistência ao corte, podendo ser perfurada e rasgada com uma simples faca ou estilete. No caso de se evitar trocas de panos e de estragos indesejados em painéis com geometrias diferenciadas, indica-se sua aplicação em níveis e em alturas que afaste o vandalismo e ações que levem a perda do material, sendo o ideal em coberturas e átrios.

Além destes itens, pode-se considerar que entre os tipos de membranas citadas anteriormente, o filme de ETFE é o que tem obtido os maiores impactos de aplicações tecnológicas. Pondera-se ainda que a sua aplicação e seu uso como simples vedação passa a ser um desperdício de seu potencial.

Deste painel e descrição de condicionantes pode-se dizer que muito mais que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas com os materiais têxteis, as que se utilizam filmes de ETFE em vedações e coberturas se caracterizam como uma nova especialidade de projeto e execução, sendo muitas vezes transformadas em pele de edifícios e ou mesmo na própria construção, ou seja, exigindo que seus projetos tenham em si o embarque da condição de equipamento ativo, de invólucro de sistemas mecânicos e automatizados sobre uma estrutura base.



Figura 5.57 Tubulação para inflar colchões e contato da estrutura metálica com a de concreto (disponível em <http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp> 04/08/2008)



Figura 5.58 Conexões metálicas de fixação dos colchões de ETFE e as tubulações para inflar (disponível em <http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp> 04/08/2008)

Como citação desta aplicação, indica-se que no projeto do MediaTIC, Figura 5.59, do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, a condição de controle dinâmico das ondas de calor e da iluminação é realizada com a adição de nitrogênio no processo de preenchimento dos colchões.



Figura 5.59 Maquete do projeto MediaTIC, Barcelona de Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.ruiz-geli.com/> acessado em 11/08/2008



Figura 5.60 Nuvens de nitrogênio no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.ruiz-geli.com/> acessado em 11/08/2008

No projeto do MediaTIC, Figura 5.60, a ação de partículas de nitrogênio são combinadas com o ar no processo de inflação dos colchões verticais, este processo permite o aumento da densidade do ar interno nos colchões levando a formação de nuvens que diminuem a irradiação de modo automatizado e controlado por sensores térmicos, portanto, são características que vão definindo algumas das condicionantes visuais e formais da arquitetura de desempenho ou de performance.

Exemplo de aplicação:

No Brasil ainda não temos obras¹¹ em ETFE, acredita-se que uma das razões para esta não presença de obras no Brasil é o desconhecimento profundo das condicionantes projetuais, que evidentemente incluem os custos, bem como, há ainda o desconhecimento e a não criação dos canais de importação tanto do material como das tecnologias construtivas.

A aplicação de maior vulto e que se considera de difusão da tecnologia construtiva em ETFE é o Éden Park, Figura 3.3. Já, o exemplo mais recente e de maior destaque na mídia desta aplicação é o Estádio Nacional Beijing – “Ninho de Pássaro”, Figura 3.16, e o Cubo Aquático de Beijing, ambos construídos para as Olimpíadas de 2008.

Para o Complexo Aquático de Beijing, ou simplesmente Cubo Aquático, as principais e mais avançadas disposições construtivas para a aplicação do ETFE foram desenvolvidas pelo escritório Ove Arup - divisão australiana e, neste trabalho estarão referenciados no artigo de GONCHAR (2008).

No projeto inicial do Cubo Aquático foram inseridos colchões de ETFE em paredes duplas, formando uma cavidade, e com a automação de controles de iluminação e sombra, bem como, de aproveitamento passivo da radiação solar, descritos a seguir conforme a ilustração numerada da Figura 5.61.

¹¹ Tem-se o conhecimento de estudos preliminares de uma abóboda em vidro para um edifício comercial e as indicações e direcionamentos para a alteração para o uso do ETFE, incluindo-se a indicação pela empresa Colaço e Monteiro Arquitetos Associados S/C Ltda para contatos junto a VectorFoilTec (no primeiro bimestre de 2008).

1. Ar fresco externo circula por dentro da cavidade durante o verão.
2. Os colchões de ETFE funcionam como uma barreira térmica, criando um sistema de estufa. A cavidade da dupla pele permite o confinamento do calor durante o inverno.
3. Os colchões são controlados, através da variação do posicionamento da membrana intermediária, que permite durante o dia a entrada de luz de modo adequado e simultaneamente o calor da radiação seja transferido passivamente para a piscina, ou seja, utiliza-se do conceito de massa térmica da água para reter calor durante o dia e liberá-la durante a noite.
4. Os colchões também são operáveis permitindo o sombreamento adequado no interior do edifício.
5. A ventilação é controlada de forma que o ar pré-aquecido seja encaminhado para piscina.

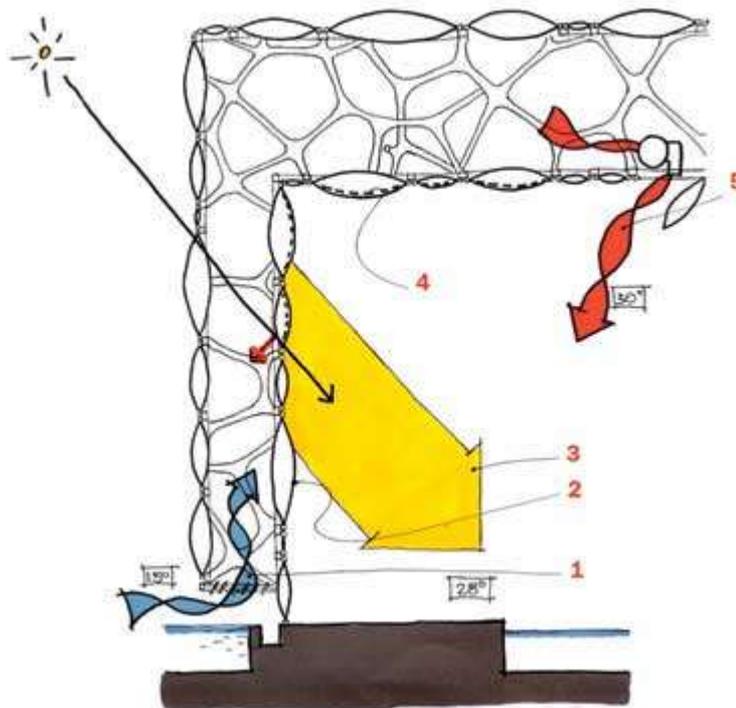


Figura 5.61 Sistema de funcionamento de paredes duplas com cavidade ventilada de colchões de ETFE no projeto do Cubo Aquático (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).

Como disposição construtiva e no caso do Cubo Aquático, as cavidades ventiladas verticais possuem 12 metros entre as paredes e as cavidades de teto possuem 8,25 metros, sistema que permite a proteção da estrutura de aço devido à umidade corrosiva da piscina.

Do projeto inicial e correspondente as propostas do concurso para escolha dos projetos, com exceção aos colchões de sombreamento, o sistema de paredes duplas com cavidade ventilada de colchões de ETFE foi construído com pouquíssimas alterações.



Figura 5.62 No interior do Cubo Aquático: durante o dia o sistema em ETFE oferece luz solar difusa para a iluminação (Iwan Baan apud GONCHAR, 2008).



Figura 5.63 O sistema em parede dupla de ETFE no Cubo Aquático no período noturno, efeito de uma caixa azul brilhante pela instalação de LEDs (PTW apud GONCHAR, 2008).

A justificativa para a não aplicação do sombreamento pelo teto através do controle dos colchões pela opção do ETFE aluminizado que bloqueia de 10 a 95% de luz, atendendo aos locais onde é desejável a iluminação direta e onde o reflexo poderia atrapalhar.

Este sistema de parede dupla ou pele dupla com cavidade segundo o escritório Arup, projetista do Cubo Aquático, proporciona uma absorção de 20% da energia solar que incidem no edifício, o que corresponde a 30% de economia em iluminação e 50% da energia necessária para o aquecimento de modo geral.

O resultado do sistema em parede dupla de ETFE pode ser notado na Figura 5.62 a seguir, em que é visível uma iluminação interna adequada e sem reflexos da água da piscina e durante a noite com iluminação por LEDs, Figura 5.63.

Porém o sistema de parede dupla, como um sistema passivo, não é suficiente para gerar o conforto térmico de modo específico, ou seja, há necessidades opostas entre os atletas e os espectadores, sendo que estes últimos preferem ambientes mais frios, razão da instalação de refrigeradores de ar.

O efeito do peso reduzido do sistema em ETFE no caso do Cubo Aquático, justifica-se pela adoção do envelopamento de um ambiente e também em atendimento às condições sísmológicas de Beijing, onde a parede dupla inclusive colabora pelo aumento da eficiência estrutural pela redução das cargas laterais e efeitos de segunda ordem em situações de tremor.

A forma estrutural do edifício teve como base os estudos dos físicos Weaire Denis e Robert Phelan que modelaram espumas como poliedros de 12 e 14 faces, desta modelagem os projetistas da ARUP criaram uma variedade de células, Figura 5.64 que foram multiplicadas tridimensionalmente até a formação de um prisma.

A partir da obtenção deste prisma, este foi rotacionado e seccionado, bem como extraídas três camadas correspondente ao espaço interno, como mostra a Figura 5.65, constituindo uma superfície de 584 m² e 102 m de altura, o invólucro correspondente ao Cubo.



Figura 5.64 Modelagem das células para definição da forma estrutural do Cubo Aquático (Arup apud GONCHAR, 2008).

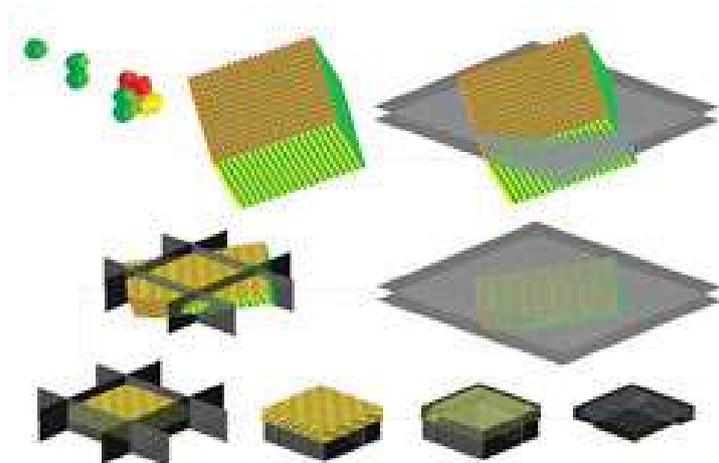


Figura 5.65 Definição do invólucro do Cubo Aquático (Arup apud GONCHAR, 2008).

O edifício possui vários trechos em que foi possível a utilização da forma pura Weaire – Phelan, como o espaço a seguir ilustrado pela Figura 5.66. Nesta Figura pode-se notar que o ETFE não apresenta qualquer limitação quanto à fixação e adaptação à forma.



Figura 5.66 A compatibilidade da forma estrutural com o ETFE no Cubo Aquático (PTW apud GONCHAR, 2008).

O Cubo Aquático é coberto por 4000 colchões de ETFE de características únicas, pois cada colchão tem suas dimensões e orientação de posicionamento diferente, mas que podem ser classificados em 15 tipos para as paredes e 7 para o teto. São obtidos a partir de filmes com 1,65 m de largura e cada membrana é montada através de soldagem, gerando tamanhos finais com cerca de 10 m de largura.



Figura 5.67 A vista em detalhe dos quadros de canto e borda superior do Cubo Aquático (PTW / China State Construction Engineering apud GONCHAR, 2008).

A maior parte das almofadas é composta por três camadas de filmes de ETFE, mas nas regiões de altas cargas de vento e especialmente nos cantos, o colchão é formado por cinco ou seis filmes, chegando ao total, máximo, de 0,2mm de espessura.

A opção por uma quantidade maior de filmes ao invés de uma espessura maior justifica-se pela maior resistência de conjunto e maior flexibilidade, resistindo à pressão e sucção, já que filmes espessos e acima de 0,01cm (0,001mm) já se tornam frágeis.

Dadas as características formais dos colchões de ETFE, a fabricação dependia fortemente de informações digitais. Neste caso os arquivos digitais controlaram o funcionamento dos equipamentos de corte dos filmes, assim como os arquivos de CAD para executar uma plotagem.

Mas alguns passos no processo de fabricação não foram totalmente automatizados, como as bordas do prédio, cantos e aberturas onde a forma é interrompida¹² e a produção manual foi exigida, Figura 5.67.

Segundo GONCHAR (2008), o projeto começou no final de 2003 até o ano de 2008 onde se utilizou um software especialmente desenvolvido pela ARUP que teve a capacidade de analisar cada um dos 22000 tubos e de todos os nós. O software permitiu que cada uma das informações fossem registradas em modelos 3D para poderem produzir os documentos para a construção e toda a logística de montagem.

Devido ao elevado grau de automatização e com base em processos paramétricos, a equipe podia gerar um conjunto completo de novos documentos de construção em menos de uma semana, mesmo diante de uma alteração significativa na configuração da forma.

Tal situação demonstra a velocidade do processo, mas muito mais o grau de precisão, uma vez que mesmo antes da construção a equipe projetista emitia o modelo 3D, os desenhos padrões em 2D (plantas e cortes) que

¹² O entendimento, segundo a autora deste trabalho, do forte impacto humano também fica evidente na produção das membranas em todo o encontro das peças de apoio na base do edifício, como pode ser notado na Figura 3.55. Nestes pontos há uma fragmentação e interrupção de faces e correspondente introdução de conexões metálicas e insertos, razão de cortes manuais.

alimentavam os bancos de dados dos contratados. Um exemplo de modelo 3D apresentado encontra-se ilustrado na Figura 5.68.

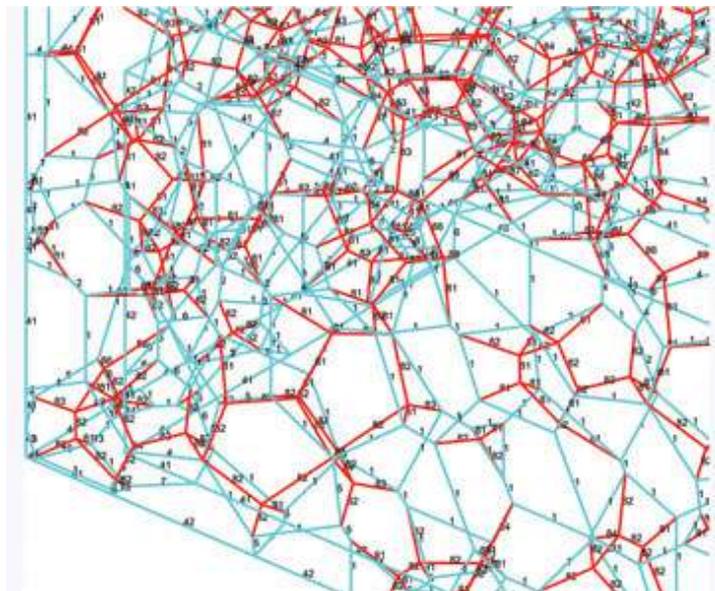
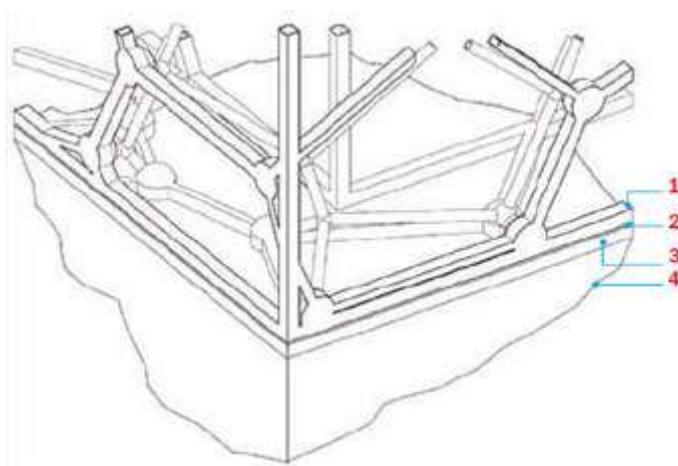


Figura 5.68 Desenho em 3D com identificações de determinadas barras a serem analisadas (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).

Sob este contexto, a gestão automatizada da informação permitiu a minimização de conflitos e erros de comunicação, falhas que normalmente impactam na construção sob toda e qualquer forma. Um exemplo indicado como crítico e de detalhamento preciso refere-se ao encontro base-parede de ETFE, Figura 5.69.



Onde:

1. Base das paredes de ETFE.
2. Ligação entre a base das paredes de ETFE e o inserto de ligação.
3. Chapa de aço, inserto de ligação entre a estrutura de apoio em concreto e a base das paredes de ETFE.
4. Base de concreto.

Figura 5.69 Detalhe típico do encontro das paredes de ETFE e a base de apoio em concreto (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).

Cada painel de ETFE segue um sistema de montagem que passa pela fixação dos filmes em um perfil de alumínio extrudado que após a montagem é içado ao local e encaixado ao quadro estrutural.

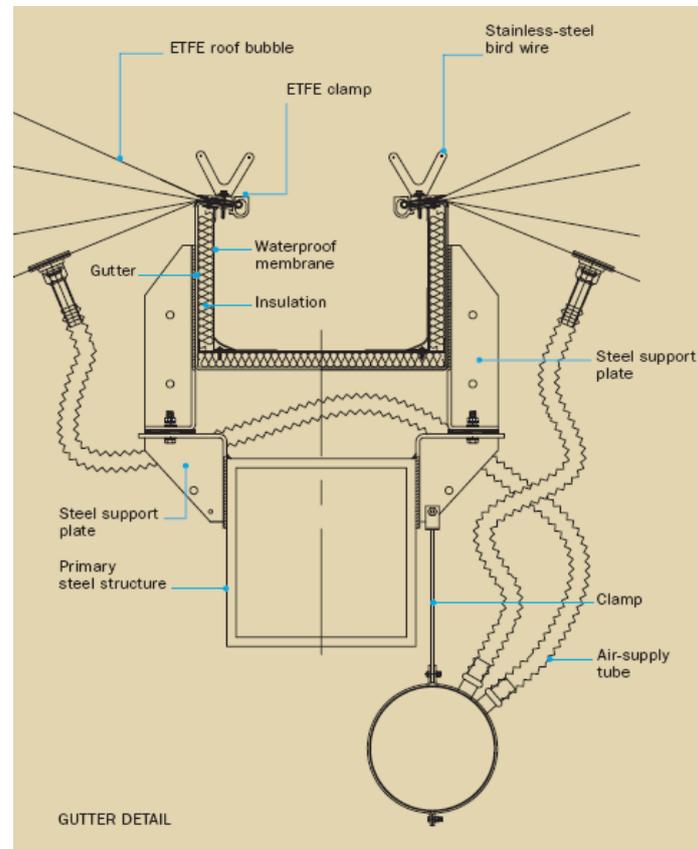


Figura 5.70 Detalhe da fixação dos colchões de ETFE ao quadro estrutural, fixação que altera conforme a localização (Vector Foiltec apud GONCHAR, 2008).

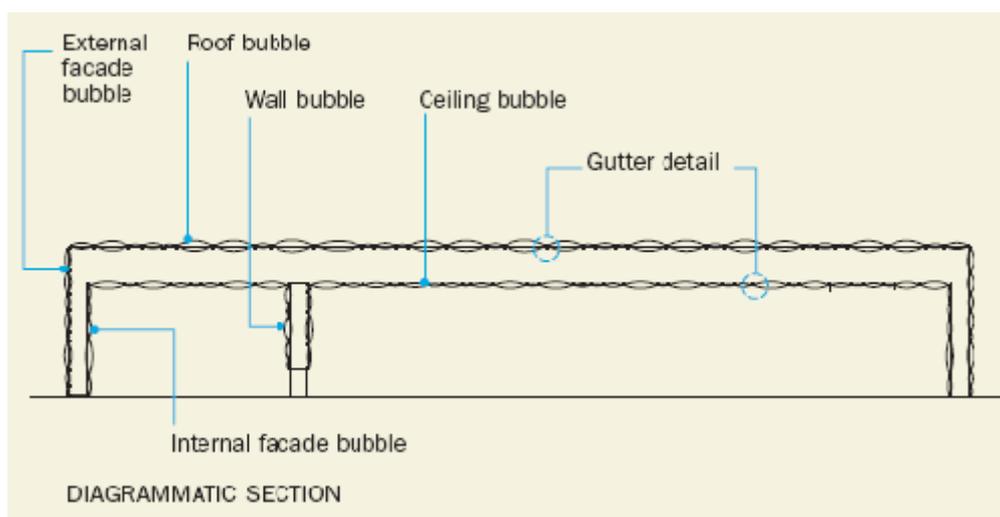


Figura 5.71 Posicionamento do detalhe da fixação dos colchões de ETFE apresentado na Figura 3.55 (Vector Foiltec apud GONCHAR, 2008).

Uma vez fixado ao quadro estrutural, os painéis dos colchões são inflados por 18 ventiladores radiais, equipamentos que estarão permanentemente no edifício e serão de funcionamento contínuo. Em função da tipologia e localização, o sistema de fixação possui um detalhamento específico. A Figura 5.70 é um exemplo de uma destas formas de fixação, com o posicionamento apresentado pela Figura 5.71.

O controle de pressão dos colchões é constante uma vez que é comum haver perdas graduais, ou seja, o edifício é monitorado constantemente para ter suprimento adequado de ar filtrado e quando a pressão e umidade ficam fora do nível desejado.

O ETFE é considerado normalmente como um material auto-limpante, como dito anteriormente, da mesma base do TEFLON, mas no caso de Beijin, mas especificamente a poluição local, com poeiras e outros materiais particulados em circulação com o ar, exigem limpezas e lavagens manuais, ações ilustradas na Figura 5.72.

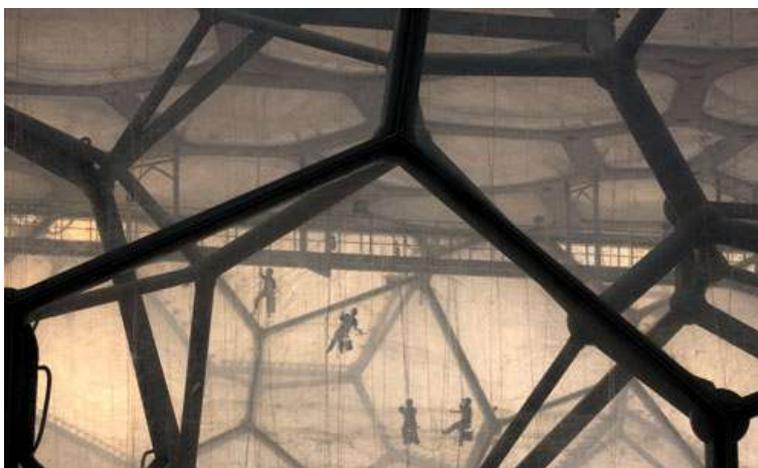


Figura 5.72 Lavagens e limpezas manuais devidas a poluição em Beijin (Michael Goodman apud GONCHAR, 2008).

Outros aspectos do Cubo Aquático podem também serem considerados inovadores, como o sistema de manejo e reuso da água. Ao contrário da maioria dos complexos aquáticos, que despejam as águas servidas para o sistema municipal a água servida é tratada e retorna para a piscina, o mesmo ocorre com as águas pluviais que circulam sobre os colchões de ETFE.

5.2 Condicionantes de mobilidade

Por serem as arquiteturas têxtil ou tensoestruturas construções leves a condição de serem transportáveis e poderem ser deslocadas de um local a outro sem ter uma permanência intrínseca da construção convencional, e de sua edificação ser mais uma montagem e instalação, elevam as suas condições de aderência a condição de construções móveis e com mobilidade.

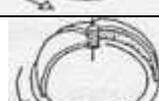
Um exemplo de aplicação e de definição de espaços foi desenvolvido por MARTINS (1998) em sua tese sobre o projeto de um teatro móvel, múltiplo e transformável, na qual destaca que as estruturas de membrana são leves e podem ser projetadas para se montar, desmontar e transportar. Por possuírem mecanismos para este fim e possuírem variedade formal e tipológica podem conduzir a espaços de usos múltiplos, além de possuírem um forte potencial compositivo, de modulação e de transformação que os espaços cênicos exigem e trazerem em si o conteúdo do ser ambulante e de portabilidade.

Como delimitação entre portabilidade, condição das arquiteturas têxteis e tensoestruturas serem transportáveis e a condição de possuírem mobilidade, neste trabalho aplica-se a condicionante de mobilidade relacionando-a a possibilidade de movimento da arquitetura têxtil ou tensoestrutura, portanto, não se relacionando especificamente a possibilidade de serem transportáveis de um local a outro, caracteriza-se, portanto, como a condição de uma edificação ou parte desta ser fixa ou ter mobilidade.

Justifica-se esta condição pelo entendimento que a condição de leveza e o sistema construtivo são totalmente aderentes aos espaços transportáveis e transformáveis, e como sendo um atendimento específico de escopo e projetos dos mecanismos de fixações e detalhes para estas condições e valendo-se da idéia de peculiaridade, delimita-se este trabalho na construção de condicionantes das arquiteturas têxteis e tensoestruturas que podem ter a condição de mobilidade e não de espaços cênicos e transformáveis.

Relacionando-se a condição de mobilidade das arquiteturas têxteis ou tensoestrutura a movimentos que podem ser projetados, cita-se a publicação Frei Otto pelo Instituto de Estruturas Leves, na qual apresenta uma matriz de movimento relacionada ao sistema construtivo de coberturas classificadas como conversíveis, ilustrada a seguir, na Tabela 7.

TABELA 7: Matriz de movimentos de coberturas conversíveis (OTTO, F., 1971* apud WALTER, M., 2006)

SISTEMA CONSTRUTIVO	TIPO DE MOVIMENTO	DIREÇÃO DO MOVIMENTO			
		PARALELO	CENTRAL	CIRCULAR	PERIMETRAL
MEMBRANA APOIADA EM ESTRUTURA FIXA	PUXADAS OU IÇADAS				
	ENROLADA				
MEMBRANA APOIADA EM ESTRUTURA MÓVEL	DESLOCADA OU TRANSLADADA				
	DOBRADA				
	ROTACIONADA				
CONSTRUÇÃO RÍGIDA	DESLOCADA OU TRANSLADADA				
	DOBRADA				
	ROTACIONADA				

* Institut for Lightweight Structures, Univ. Stuttgart, IL5 Convertible Roofs, 1971.

A partir desta classificação podem-se definir os tipos de movimentos e a direção correspondente, porém a Tabela proposta por OTTO não contempla a combinação de movimento e também as recentes tecnologias que estão conduzindo a mobilidade para as estruturas pneumáticas e a condição de mudança de forma e desempenho de modo ativo e não somente e anteriormente concebido como de definição de forma e sustentação pneumática.

Dado este entendimento a proposta de adaptação às inovações tecnológicas recentes, seria a classificação de modo mais amplo pela mobilidade, sendo a classificação anterior a classificação específica da forma de movimentação.

Portanto a mobilidade, também pode ser definida pela condição de movimento e transformação de forma que podem ser basicamente de duas formas, ou seja, conversível e retrátil.

- As obras conversíveis são as que a forma é transformada por conversão e correspondendo a uma mudança da forma, como de dobrar e desdobrar, inflar e desinflar.
- As obras retráteis¹³ são as que possuem mecanismos que permitem que sejam movimentadas para terem parte ocultas/ recolhidas ou no sentido de ficarem aparentes.

Estas formas de mobilidade são também denominadas atualmente de arquiteturas cinéticas¹⁴ e inseridas no termo criado pelo arquiteto Nicholas Negroponte no final dos anos 60 de arquitetura responsiva¹⁵, como sendo arquitetura que responde e reage de modo inteligente ou arquitetura soft, por esta não ser estática e fixa, portanto no sentido contrário da rigidez e dureza das construções convencionais.

ESCRIG e SANCHEZ (2002) salientam que a arquitetura antiga era móvel, tanto devido ao caráter nômade dos povos ou mesmo devido à desocupação das cavernas, mas que no futuro a exigência será pela mobilidade das obras arquitetônicas como plataformas de espaços, cidades móveis e caminhões que podem se transformar conforme as funções e necessidades de espaços e em localidades diversas.

Esta exigência futura e as buscas atuais pela mobilidade das obras arquitetônicas decorrem em parte das demandas energéticas e ecológicas quanto à proteção ambiental e, portanto de construções inteligentes.

¹³ Por opção desta autora e segundo o Grande Dicionário Larousse Cultural da Língua Portuguesa, retrátil corresponde à propriedade de retrair-se, encolher-se, contrair-se, mas quando aplicado a propriedade de retratibilidade e como exemplo a aplicação aos materiais, a retração não se dá por dobramento e sim pela aproximação intersticial, portanto diferenciando-se de conversão enquanto mudança de forma.

¹⁴ A arquitetura cinética ou “kinetic architecture”, a Wikipedia, mesmo não sendo uma bibliografia de atendimento ao rigor científico, indica como um novo campo de projetos de construções que são estruturalmente mecanizadas e que se transformam conforme o clima ou a necessidade (http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_Architecture, disponível em 01/08/2008).

¹⁵ A arquitetura responsiva ou “responsive architecture” e ainda “soft architecture machines” conforme a Wikipedia, define-se como a área que estuda os projetos de estruturas que mudam a forma do edifício conforme as necessidades dos usuários ou devido a mudança do clima (http://en.wikipedia.org/wiki/Responsive_architecture, disponível em 01/08/2008).

Sob outro ponto de vista, a mobilidade permite a noção oposta de eternidade e durabilidade de forma que transmitam as obras convencionais, permitindo a aderência integral da estética formal ao tempo, este último, fugaz e mutante e, de adaptabilidade entre funcionalidade e imaginação. Segundo ESCRIG e SANCHEZ (2002) a mobilidade pode corresponder à arte e partido arquitetônico, como nos projetos concebidos pelo arquiteto Santiago Calatrava¹⁶.

No que concernem às arquiteturas têxteis e tensoestruturas a condicionante de mobilidade é incidente devido à condição de construções leves e de flexibilidade. A leveza destas obras permite que a aplicação de mecanismos e automações seja viabilizada sem grandes impactos na motorização e na energia envolvida e a flexibilidade do têxtil, dependendo de sua constituição, permite a repetição de movimentos de dobramento e desdobramento ou inflar e desinflar no caso de estruturas pneumáticas, sem que o material entre em ruptura por fadiga.

A mobilidade como condicionante projetual e quando for estabelecida como requisito recomenda-se a aplicação do conceito desde a concepção por representar grandes impactos nas fases iniciais (ESCRIG e SANCHEZ, 2002), na busca do partido, na composição da equipe projetual e custos de mecanização e automação quando requerido.

Mas muitas vezes a decisão de adoção de mobilidade, mesmo que permita a flexibilização do espaço, ganhos energéticos e condicionamento térmico em regiões de climas adversos, sua adoção pode ser um ato político e de atendimento a impactos diversos.

Neste sentido cita-se o exemplo recente do Estádio Nacional de Beijing, Figura 5.73, cuja mudança da cobertura mesmo perante a uma obra em andamento e com o projeto executivo contemplando uma cobertura retrátil em membrana, as autoridades chinesas decidiram parar a obra e mudar o projeto, excluindo a cobertura retrátil de automação deslizante e inclusive reduzindo o vão em balanço dos 24 semi-pórticos¹⁷.

¹⁶ Vide obra do museu de Milwaukee na Figura A38 deste trabalho.

¹⁷ Segundo o National Geographic Channel (2008) esta mudança incidiu somente sobre a estrutura metálica de fechamento, pois toda a infra-estrutura de concreto já se encontrava consolidada em 6 módulos com juntas flexíveis e a mudança foi em decorrência ao impacto do acidente do aeroporto de Paris Charles De Gaulle, em 23 de maio de 2004, onde 30 m de um

A justificativa da intervenção, mesmo tendo o projeto contemplado e as obras em andamento estarem de acordo com o projetado, foi a redução do peso em face aos problemas sísmicos locais e em contrapartida também a redução do volume de aço utilizado (National Geographic Chanel, 2008).



Figura 5.73 Visão frontal dos semi pórticos (disponível em <http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp> em 04/08/2008).

5.2.1 Disposições construtivas e de escolha da mobilidade

Neste item a condicionante de mobilidade será determinada entre **conversível e retrátil** como definidas anteriormente atendendo as seguintes disposições básicas para cada uma delas, a saber:

5.2.1.1 Obras Conversíveis

Para as **obras conversíveis** em que à mudança de forma se dá na própria forma da superfície da tensoestrutura ou arquitetura têxtil, a escolha recai sobre duas formas, a saber, ou quanto ao tipo pneumático ou quanto ao tipo dobrável.

estrutura em arco de concreto ruiu provavelmente devido a qualidade dos materiais ou mesmo erro executivo e não pela variação térmica ou gradiente térmico elevado entre o interior e exterior, razões amplamente divulgadas e cogitadas (http://www.redorbit.com/news/business/1317912/terminal_to_reopen_at_pariss_de_gaulle_structure_was_rebuilt/index.html , disponível em 04/08/2008). Sendo a decisão pela mudança da forma do estádio de Beijin, muito mais pela possível aderência da forma da estrutura perante o sentimento geral e ao que o público e a mídia poderiam fazer e comentar.

Para o **tipo pneumático** cita-se a opção por todos os tipos de têxtil sendo a escolha definida em função da opacidade e transparência, da resistência e do padrão estético quanto à cor e tato.

- Para pneumáticos com exigência de transparência ou de transparência controlada indica-se o ETFE, o cubo de Beijin e o Éden Park descritos anteriormente, em que membranas internas e intermediárias podem ser movimentadas e a pressão dos colchões pode ser alterada (Figura 5.52).
- Para pneumáticos com exigência de cores diversas e de contato físico comprovado, indica-se o PVC, vide Figuras 5.33 (a) e (b), Levity 2000 e as umbrelas pneumáticas de Osaka, Figura 5.85.
- Para pneumáticos estruturais, mas de curvaturas reduzidas indica-se o PTFE.

Para o **tipo dobrável**, como ordenamento neste trabalho, esta autora adota as seguintes definições quanto à forma de dobramento: total ou parcial do têxtil de vedação e dobramento conjunto da estrutura e vedação de forma parcial ou total, que podem ser também definidos como pantográficos de abertura total ou parcial.

Quanto às estruturas pantográficas estas podem ainda possuir a flexibilidade de serem estruturas temporárias, permitindo a montagem e desmontagem conforme a necessidade.

Estas tipologias básicas podem ser combinadas formando-se dobramentos mistos e complexos, como resultado das pesquisas realizadas quanto a aplicações destes dobramentos, pode-se ainda apresentar uma classe em função do sentido do dobramento, ilustrados a seguir e conforme as indicações.

- Dobramento em faixas simétricas ou dobramento pregueado ou plissado¹⁸, vide respectivamente Figuras 5.74 a 5.76 e também a Figura 5.44, cobertura desmontável para piscina dos arquitetos ESCRIG e SANCHEZ e a A28, cobertura de uma estufa,

¹⁸ O termo pregueado ou plissado refere-se a tradução do termo “pleated”.

- Dobramento pontual suspenso ou dobramentos pontuais suspensos, Figuras 5.77 a 5.80, Estádio Rothenbaun e da Plaza de Toros e, vide também a Figura 1.8, estrutura na ruína de Stifskirche e, Figura 5.32, domo inflável e dobrável,
- Dobramento de base de apoio central: estruturadas do tipo guarda-chuva, vide Figuras 5.45, mesquita no Cairo e Figura 5.46, Mesquita de Holy e a tipologia de dobramento central e suspensa, Figuras 5.42, reservatório em PVC.
- Dobramento nas bordas, vide Figuras 5.81, cobertura de um clube nas ilhas Canárias.
- Dobramento pantográfico com ou sem a possibilidade de montagem e desmontagem, vide Figuras 5.82 a 5.84 e vide também as Figuras 5.90 e 5.91 Pavilhão da Venezuela Expo 2000.

5.2.1.1.1 Exemplos de Obras Conversíveis

Algumas aplicações são apresentadas a seguir, e parte delas foi coletada no portfólio de projetos desenvolvidos de ESCRIG e SANCHEZ (2002), especialistas em estruturas conversíveis do tipo dobráveis.

As Figuras 5.74 (a) e (b) apresentam as etapas de dobramentos da cobertura do Auditório La Alameda em Jaen, Espanha, formada por arcos metálicos.

Para estudos das movimentações e compatibilidade dos dobramentos os projetistas optaram pelo suporte dos modelos reduzidos que foram desenvolvidos parte em madeira.

Na Figura 5.75 apresenta-se o Auditório já em uso.

Projetado pelo escritório SL-Rasch GmbH em 1987, a cobertura da Mesquita Quba em Madinah, consiste de uma estrutura treliçada tubular em alumínio que apóia em cada uma de suas extremidades as membranas. As membranas possuem a função de sombreamento tendo, portanto, a malha de tecido aberta. Para um melhor desempenho foram aplicadas membranas sobrepostas, em dupla camada.

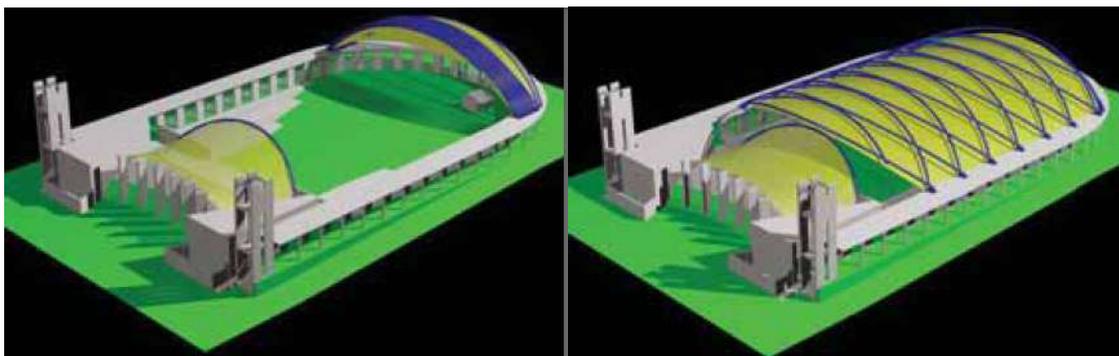


Figura 5.74 (a)

Figura 5.74 (b)

Figura 5.74 Fabric Architecture march/april 2006 (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1] em 05/08/2008 no site www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf).



Figura 5.75 Auditorio Al Alameda de Escrig-Sanchez (disponível em <http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm> em 05/08/2008).

Nas Figuras 5.76 apresentam-se as etapas de desdobramento que se desenvolvem sob cabos guias e de conexões da sustentação do sistema, as membranas por suas vezes são suspensas e uniformemente fixadas em cabos retráteis.

A cobertura do Estádio Rothenbaun - Rothenbaum Tennis Court, em Hamburgo, desenvolvido pelo escritório Architen Landrell em membrana de PVC branco e tecido base de poliéster, devido à alta flexibilidade e resistência requerida nas movimentações de dobramento e desdobramento, bem como, do devido tensionamento na posição coberta.

A cobertura tem um vão total de 102m sendo a parte dobrável de diâmetro de 63m, como complemento, todo entorno possui uma estrutura fixa de suporte da parte retrátil, mas igualmente coberta com membrana de poliéster e PVC.

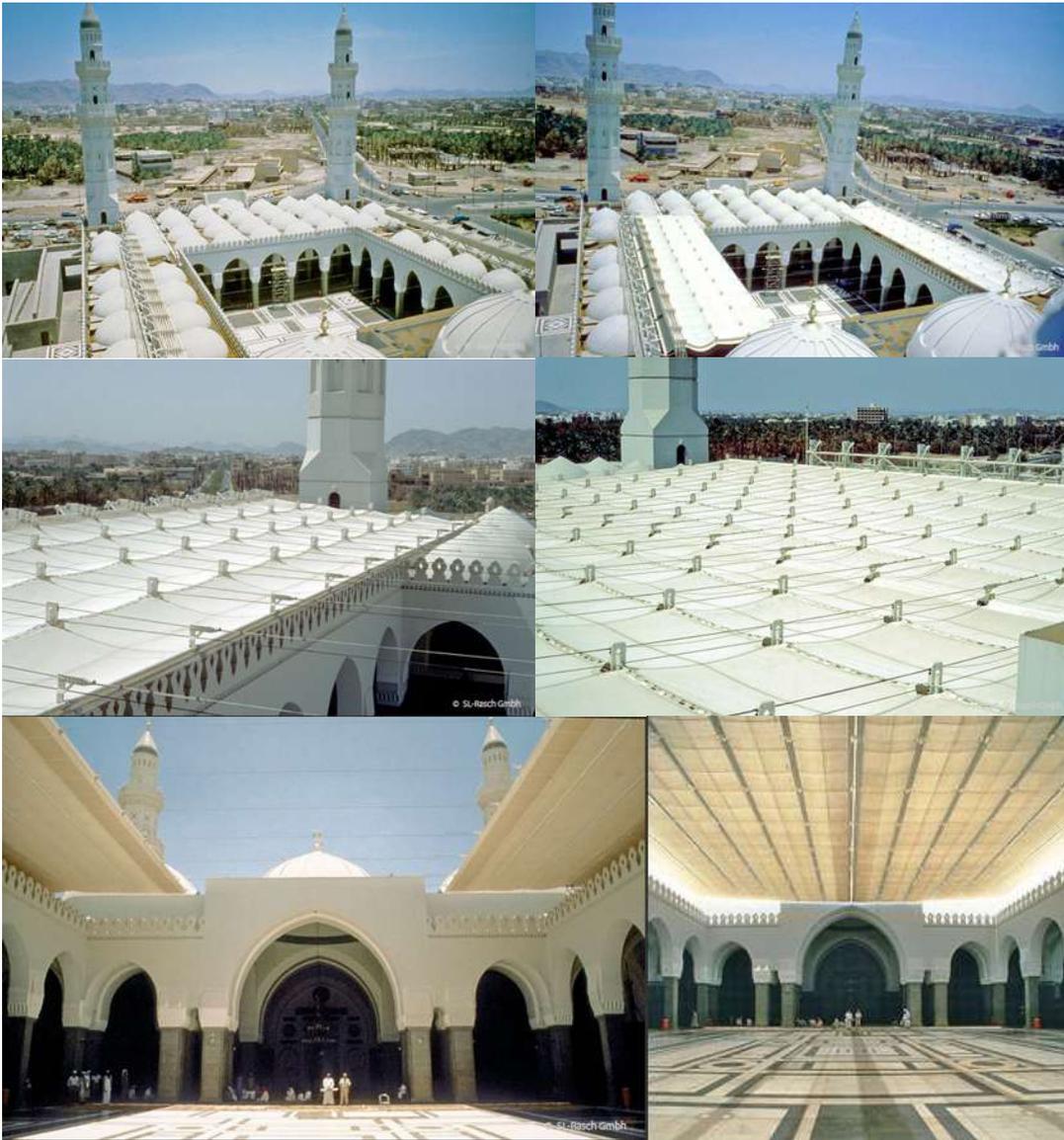


Figura 5.76 Cobertura da Mesquita Quba em Madinah (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

Na Figura 5.77 tem-se a cobertura central totalmente fechada, na qual se destaca os cabos de sustentação da cobertura de borda e os cabos guias e de sustentação da cobertura conversível.



Figura 5.77 Vista lateral superior da cobertura fechada do Estádio Rothenbaun (disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml#> em 07/07/2007).

Na posição da membrana fechada de abertura total do vão da cobertura do estádio, percebe-se que o ponto de sustentação não é central, mas deslocado e da mesma forma não se percebe a sobra da cobertura sobre a quadra, Figura 5.78.



Figura 5.78 Vista superior do Estádio Rothenbaun em Hamburgo na posição da membrana aberta - Rothenbaum Tennis Court. (disponibilizado por SPACE MODULAR em http://space-modulator.jp/sm81~90/sm90_contents/sm90_e_curv02.html em 06/07/2007).

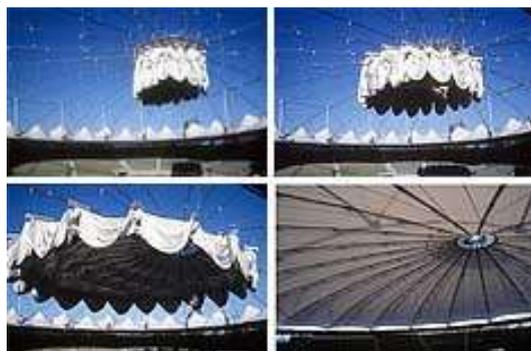


Figura 5.79 Fases da membrana conversível do Estádio Rothenbaun (disponibilizado por SPACE MODULAR em http://space-modulator.jp/sm81~90/sm90_contents/sm90_e_curv02.html em 06/07/2007).

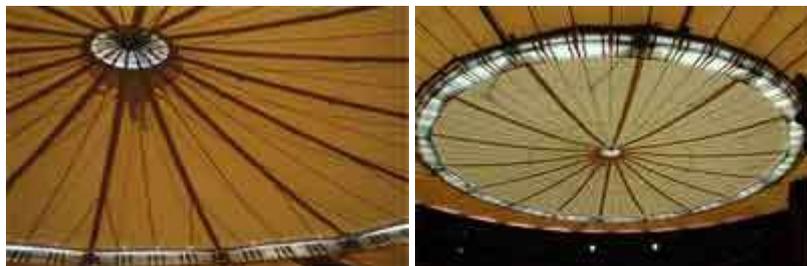


Figura 5.80 Projeto do arquiteto Juan Monjo Carrió, Plaza de Toros de Zaragoza, Espanha (disponível em <http://www.grupoestran.com/simposio/monjo.html> em 05/08/2008).

Portanto destaca-se neste projeto que o dobramento pode ser controlado e posicionado conforme a incidência solar e não simplesmente para abrigar das condições adversas e climáticas.

Como referência as fases de fechamento desta cobertura estão ilustradas nas Figuras 5.79 e na Figura 5.80 a cobertura da Plaza de Toros que possui uma cobertura suspensa e conversível com recolhimento somente no ponto central



Figura 5.81 (a)

Figura 5.81 (b)



Figura 5.81 (c)

Figura 5.81(a) a (c) Respectivamente a área descoberta do Robison Club com destaques os cabos inoxidáveis, a cobertura fechada e as estrelas correspondentes aos pontos de conexões metálicas e finalmente na figura (c) a vista superior da cobertura (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

O projeto da cobertura do clube Robison nas Ilhas Canárias, Figura 5.81, foi desenvolvido com o intuito de abrigar um auditório para 500 pessoas com uma área de 350 m². A cobertura conversível é suspensa por nove eixos de cabos de aço inoxidável para resistir às condições de ventos salinos.

O dobramento da cobertura ocorre na borda e as laterais possuem conexões móveis para que no momento de tensionamento da cobertura em estado de membrana em aberto não ocorram dobras e enrugamentos, bem como vencem até os limites e de encontro com a própria construção que possui beirais.

Para suportar as movimentações a membrana é em poliéster coberta com PVC e quando totalmente aberta nota-se que os pontos de fixação das conexões metálicas optaram-se pelo reforço em outra cor de membrana e na forma de estrelas

O projeto de cobertura do tipo pantográfica, desenvolvido pelos arquitetos Escrig e Sanchez em 1994, para o Complexo Desportivo de San Pablo em Sevilla teve como partido a solução de ser uma cobertura dobrável e desmontável e consolidou-se em dois módulos pantográficos que se acoplam como pode ser visto nas Figuras 5.82 (a) e (b), sendo na Figura (a) a localização centralizada na piscina vazia e em (b) a abertura do segundo módulo de cobertura sendo aberto.

Em estágio de montagem pré-acoplamento uma das coberturas fica sobre bases de apoio de extremidade que só passam a se contraventar mutuamente quando conectadas.



Figura 5.82 (a)

Figura 5.82 (b)



Figura 5.82 (c)

Figura 5.82 (d)



Figura 5.82 (e)

Figura 5.82 (a) a (e) Complexo Desportivo de San Pablo em Sevilla (<http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm>, disponível em 08/08/2008).

Percebe-se tanto nas Figuras (b) como em (c) e (d) que a estrutura metálica de sustentação fica na parte exterior e a membrana é suspensa por conexões e cabos a estrutura metálica como pode ser observado na Figura (e) após a montagem e já em uso.

A linha de estruturas pantográficas com membranas dos arquitetos Escrig e Sanchez originou antes mesmo do projeto do Complexo San Pablo, anteriormente descrito.

A dupla desenvolveu ainda em 1993 os estudos de estruturas pantográficas geminadas, Figura 5.83, através de modelos reduzidos e protótipos para estudos das movimentações e só então lançaram as bases para o projeto do complexo de San Pablo.

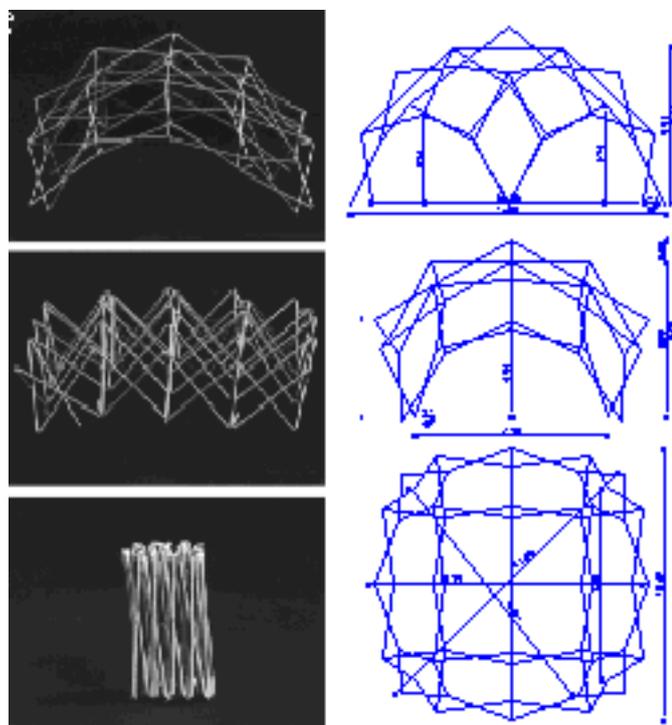


Figura 5.83 Primeiro projeto da dupla Escrig e Sanchez para estruturas conversíveis (disponível em <http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm> em 08/08/2008).

As Figuras 5.84 (a) e (b) apresentam duas das etapas de movimentações da cobertura da arquibancada em Stuttgart, Alemanha, projetada pelo escritório SL-RASCH GmbH.

A estrutura conversível pantográfica de barras de alumínio é dobrável em módulos com cobertura em têxtil de poliéster com cobertura de PVC (SL-RASCH GmbH, 2008).

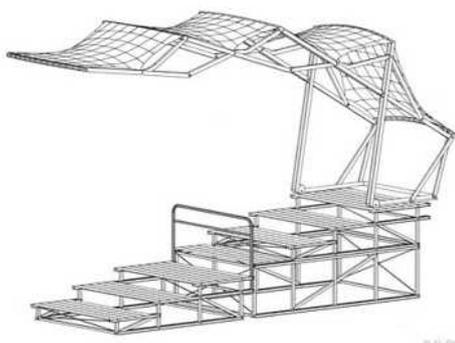


Figura 5.84 (a)

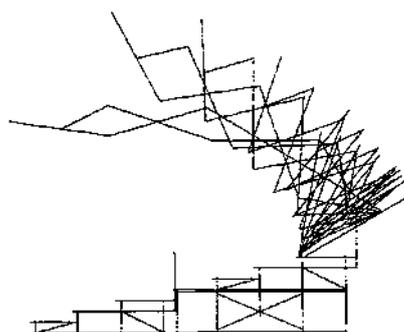


Figura 5.84 (b)

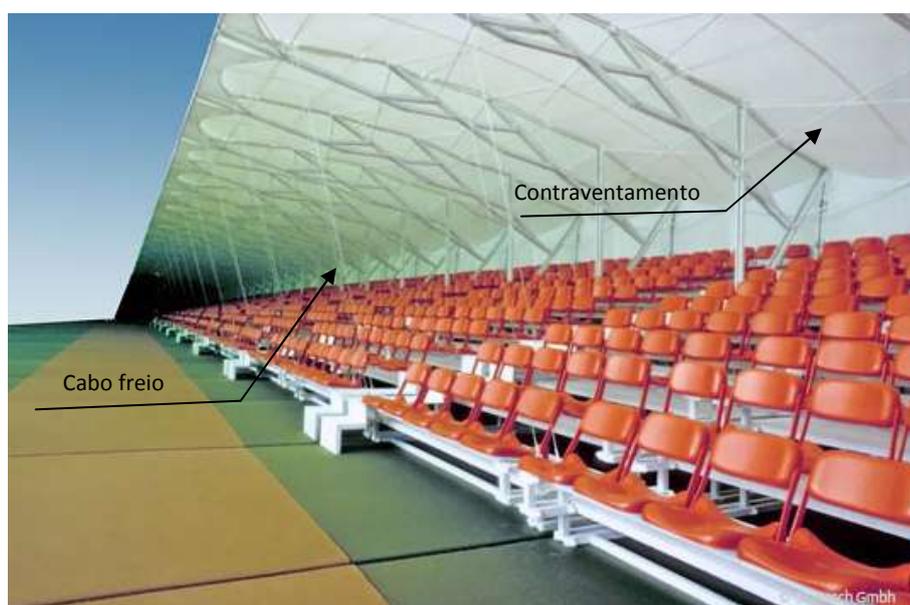


Figura 5.84 (c)

Figura 5.84 Cobertura de arquibancada em Stuttgart (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

No estado totalmente aberto, e inscrições desta autora, notam-se na Figura 5.84 (c) cabos freios para evitar a sucção devido às ações de ventos como pode ser notados no término de cada módulo estrutural, bem como, cabos de contraventamento dos módulos na parte superior.

Tais condicionantes construtivas devem ser destacadas, uma vez que as estruturas conversíveis ou dobráveis devem ser estáveis em qualquer condição de forma, em cada uma das infinitas fases tanto em sua montagem como em desmontagem, bem como, em seu estado final e em uso.

A Associação da Expo 70, no Japão na cidade de Osaka e ano de 1970, através da parceria entre as empresas Tanero Oki Architects, Engineers Shigeru Aoki Research Office e a Architen Landrell Associates Ltd. desenvolveram uma proposta de guarda-chuvas pneumáticos, Figura 5.85, para espaços públicos em climas temperados, de verões amenos e invernos frios, tanto para uso permanente bem como indicado para construções temporárias e que se seguem as descrições principais segundo a TENSINET (2009).



Figura 5.85 Mush-balloon na Expo de 1970 em Osaka (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009)

A expectativa de vida útil proposta para os balões-cogumelos de Osaka foi de no mínimo 5 anos dependendo do tipo de material, que poderiam ser em têxtil de poliéster coberto com PVC ou mesmo de membrana de vinil.

As dimensões básicas para a formação de cogumelos pneumáticos com vinte metros de diâmetro e dezenove metros de altura, conforme elevação e planta na Figura 5.86 a área destinada a todo o projeto foi de 1550m².

Os balões-cogumelos são formas em cones invertidos e suspensos por 45 cabos que passam do topo ao mastro através do centro do balão. São fechados internamente por costuras e também contidos por uma trama interna de cordas, conforme Figura 5.87. As curvaturas de cada gomo variam da extremidade ao centro e quando aberto geram as maiores tensões nos cabos de sustentação, comparável aos cabos de protensão de peças em concreto protendido.

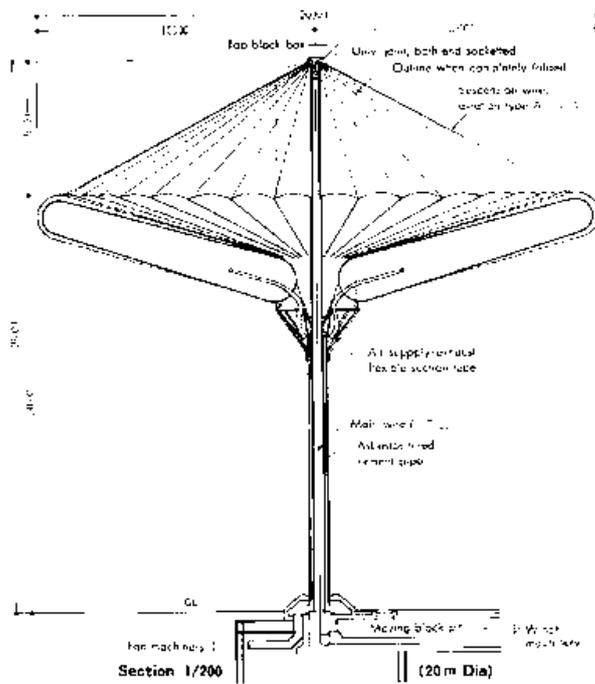


Figura 5.86 (a)

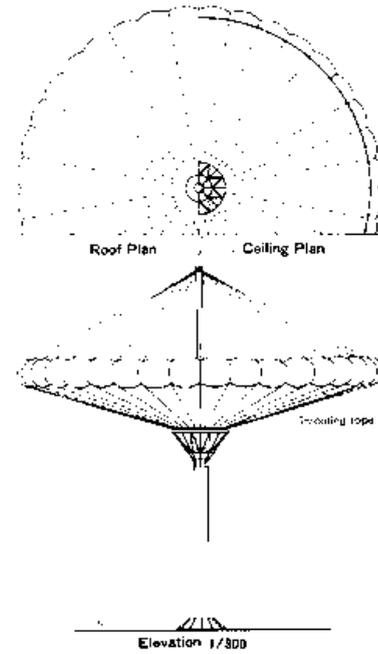


Figura 5.86 (b)

Figura 5.86 (a) e (b) Elevações e planta da Mush-balloon na Expo de 1970 (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009).

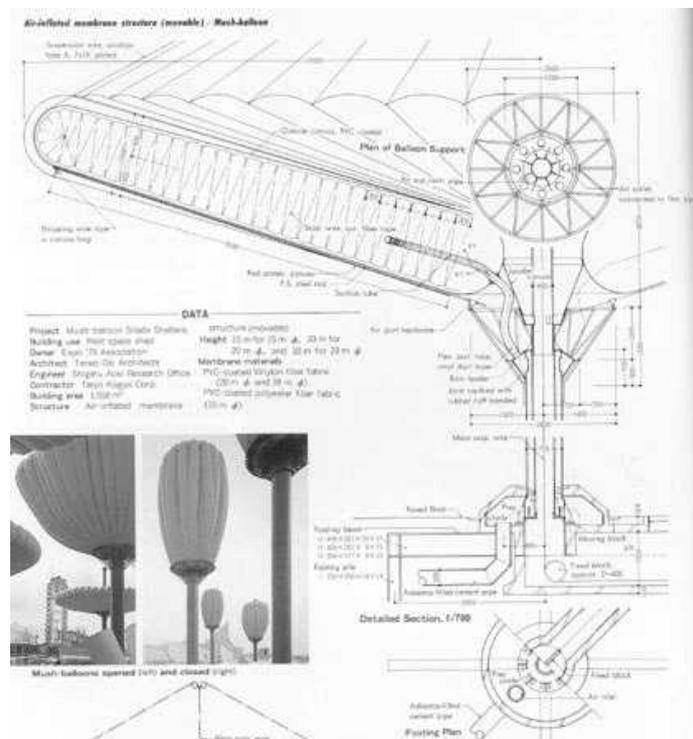


Figura 5.87 Sistema de costuras internas da Mush-balloon na Expo de 1970 (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009)

A pressão interna de ar nos balões é de 150mmAq ou 1500Pa em estado aberto e entre 100 a 50 mmAq ou 1000 a 500Pa durante a operação de abertura ou fechamento.

As ações de vento foram projetadas para uma velocidade de 15m/s quando aberto e de 60m/s quando fechado, isto considerando a locação do Japão, ou seja, uma região de tufões e rajadas intensas de ventos. Outras opções projetuais seriam possíveis como o aumento da rigidez dos balões para combater o efeito das vibrações (flutter) através do aumento da pressão interna, ou simplesmente aumentar as resistências dos materiais como um todo.

Destas alternativas a de maior viabilidade econômica é a possibilidade do controle do fechamento, portanto a adotada e que se encontram ilustradas nas Figuras 5.88 (a) e (b) fases de movimentações das Mush-balloons.



Figura 5.88 (a)

Figura 5.88 (b)

Figura 5.88 (a) e (b) Situação de maior resistência da Mush-balloon aos ventos e fases de fechamentos, respectivamente ilustrados (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009).

Para que o procedimento de enchimento ou esvaziamento não gerasse distorções de tensões entre os cabos de sustentação e as membranas, bem como a perda de forma, perda de forma que também implicaria em maiores ações dos ventos e maior vulnerabilidade do sistema estrutural, assim, o

esvaziar e preencher permitiu a compatibilidade entre as tensões nos cabos e a pressão e ventilação nos balões através de um sistema automatizado onde são monitoradas estes extremos por um software de controle.

Na Figura 5.89 encontra-se ilustrado o esquema de controle, de um lado a pressão e ventilação nos balões e de outro todo o sistema de cabos em roldanas até um motor e, ambos os extremos controlados por um sistema automatizado.

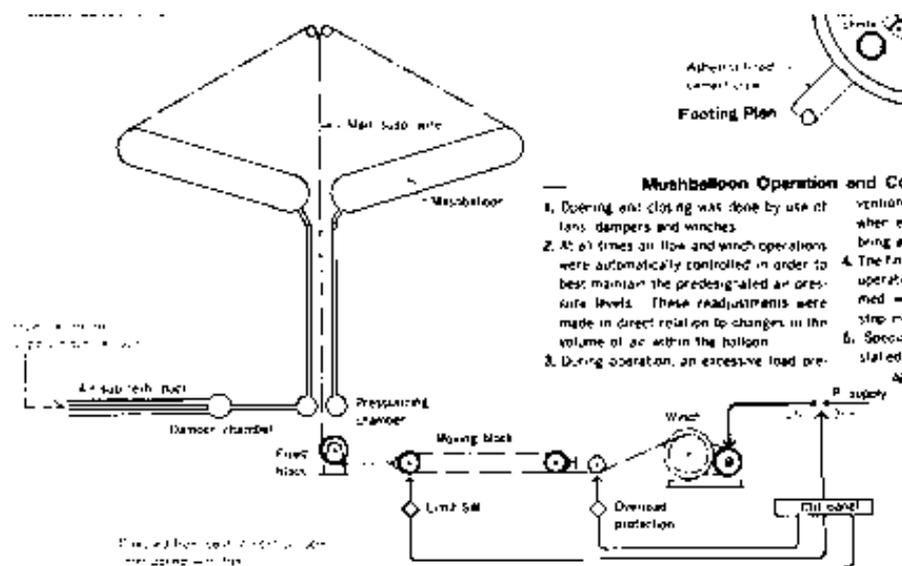


Figura 5.89 Esquema do sistema de controle automatizado dos balões e dos cabos (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009).

O Pavilhão da Venezuela da Expo 2000 em Hannover é uma estrutura conversível composta por um pilar central que apóia a cobertura e também o elevador central e dezesseis asas ou pétalas, Figura 5.90.

As asas são automaticamente controladas, através da movimentação de hastas cilíndricas de acionamento pneumático, Figura 5.91, para proporcionar a variabilidade do sombreamento, bem como, a ventilação requerida ou mesmo proporcionar a total cobertura do edifício, que dura 100 segundos. Quando fechado possui um diâmetro de 32 metros e aberto de 40 metros. O têxtil é pré-tensionado de cobertura de PTFE (SL-RASCH GmbH, 2008).

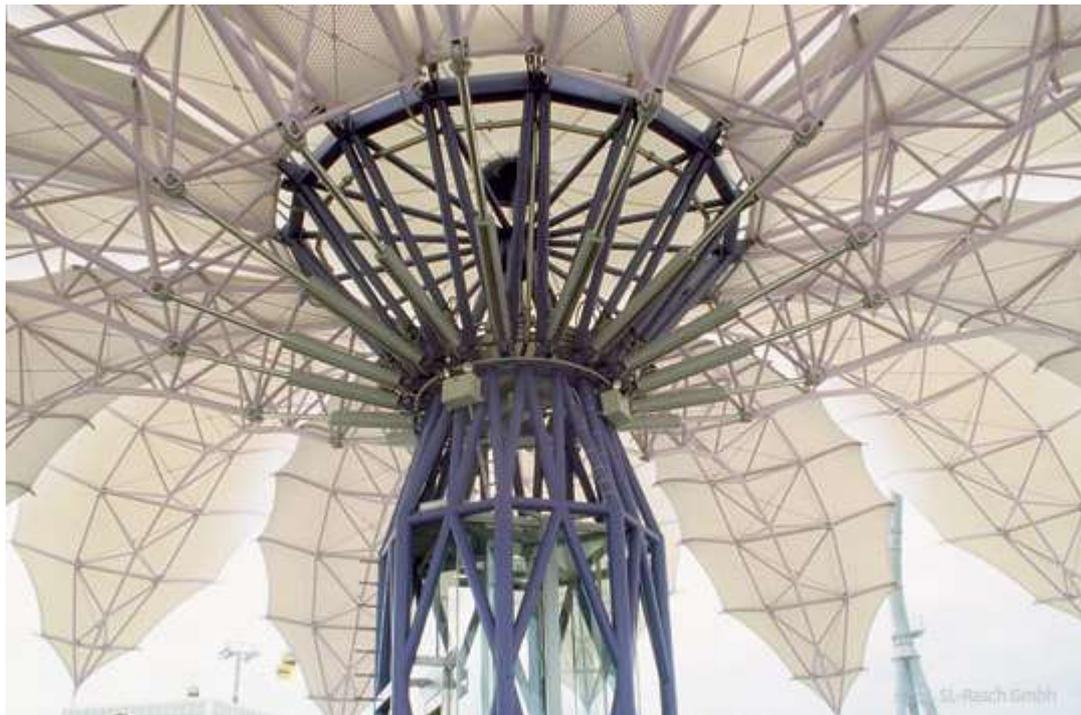


Figura 5.90 Asas do Pavilhão da Venezuela EXPO 2000, Hannover (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

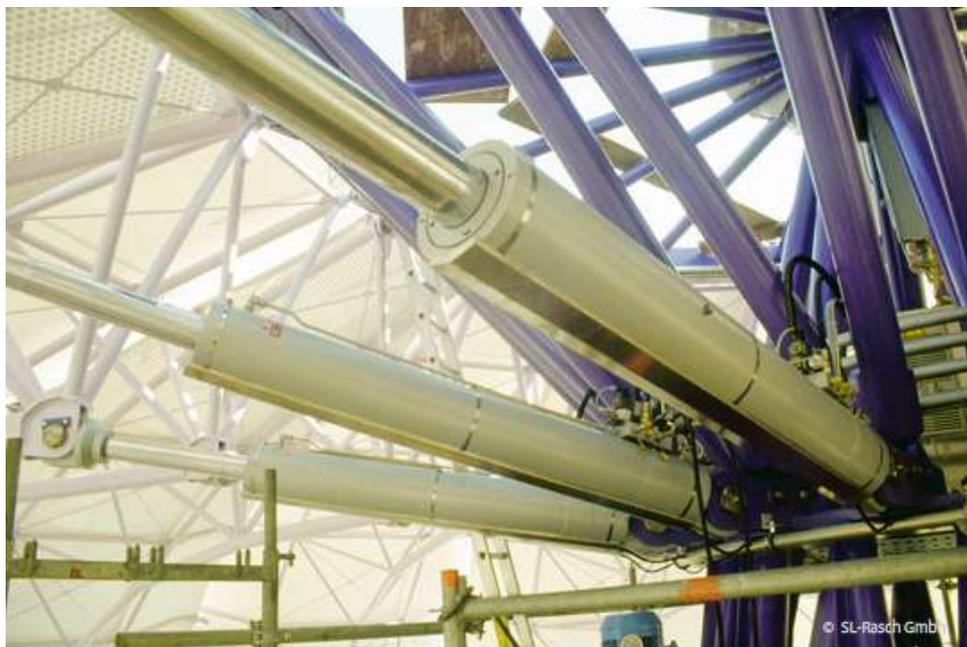


Figura 5.91 Hastes de controles de movimentações do Pavilhão da Venezuela EXPO 2000, Hannover (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008).

5.2.1.1.2 Novas Concepções para Obras Conversíveis

As obras conversíveis têm como perspectiva de tecnologia construtiva a aproximação a equipamentos automatizados, sendo que uma série de estudos já foram realizados buscando-se as obras com estruturas conversíveis com coberturas em membranas e têxteis com base em forma geodésicas móveis. Tais estruturas poderão ser construídas através de treliças com nós cilíndricos que permitem a rotação e de barras retráteis quando a forma exigir.

Apesar dos estudos estarem em andamento no momento e em diversas universidades do mundo, ainda não se constata esta tipologia consolidada em um grande volume de edificações, justificando a perspectiva de tecnologia de impacto de um futuro próximo e, portanto, que trarão novas concepções para as obras conversíveis.

A Figura 5.92 apresenta a constituição básica e de formação da conversão da estrutura que é representada em um conjunto de barras que podem ser conectadas em nós cilíndricos ajustáveis e móveis, podendo se transformar em uma cúpula ou mesmo em uma superfície cilíndrica.

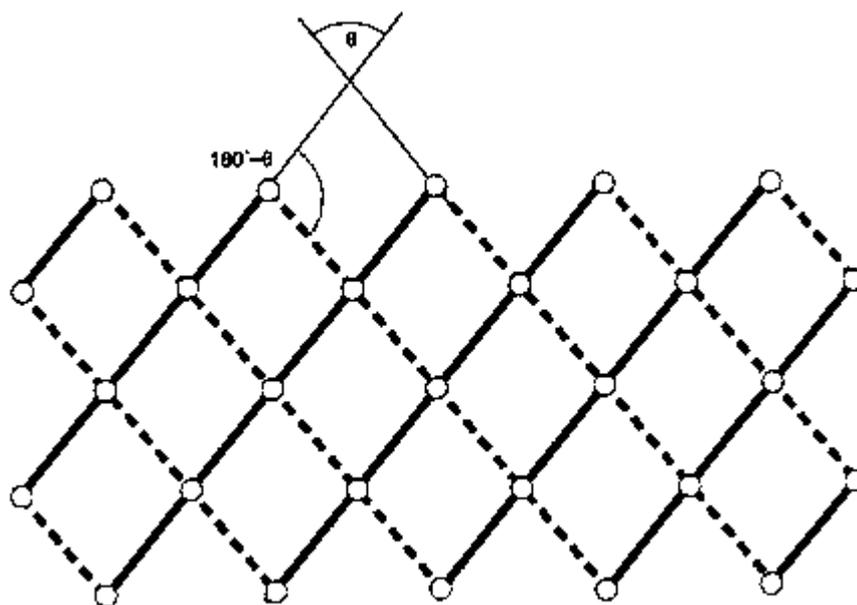


Figura 5.92 Sistema básico de mobilidade de barras (WALTER, M., 2006. Disponível em http://www.statik.bv.tu-muenchen.de/content/teaching/ferienakademie/handouts/14_walter_handout.pdf em 10/05/2007).

Outro modelo de estrutura conversível, desenvolvido na Universidade Técnica de Munique, com o princípio de treliças móveis, é apresentado na Figura 5.93.

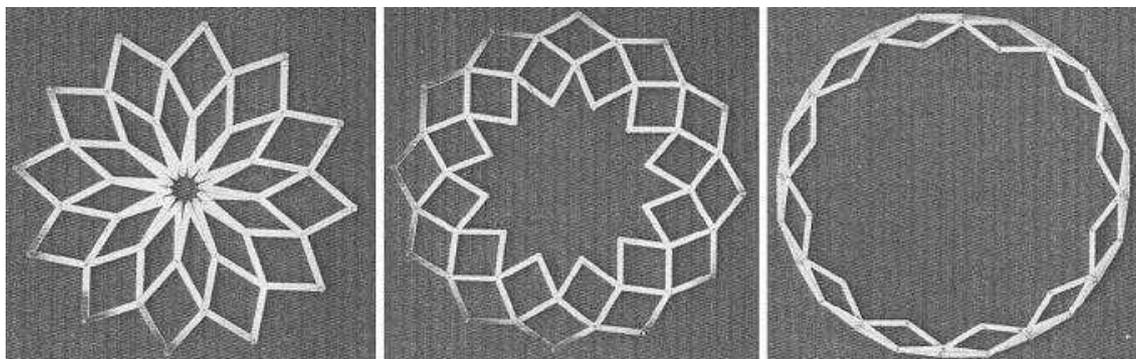


Figura 5.93 Modelo de estrutura conversível de treliças móveis (WALTER, M., 2006. Disponível em http://www.statik.bv.tu-muenchen.de/content/teaching/ferienakademie/handouts/14_walter_handout.pdf em 10/05/2007).

Outro estudo e desenvolvimento de estruturas conversíveis têm como princípio os modelos de simulações dos ângulos dos elementos, como a cúpula dos estudos de Frank Jensen sob orientação do Prof. Sergio Pellegrino na Universidade de Cambridge, Figura 5.94.

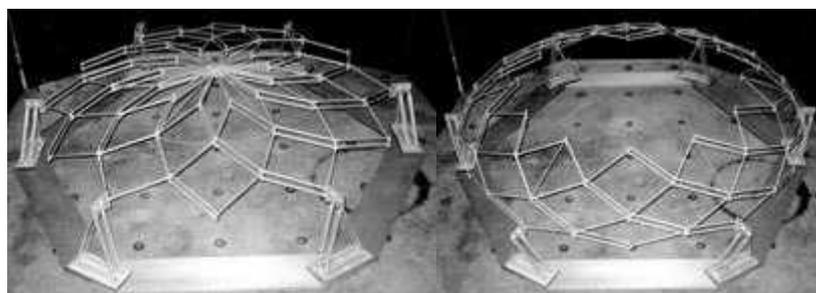


Figura 5.94: Cúpula com habilidade de conversão - “Deployable spherical structure” (JENSEN, 2009. Disponível em <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13> em 26/02/2009).

Atualmente as estruturas hábeis ao dobramento ou de conversibilidade elevada estão já em uso em ambientes inóspitos ou de alta periculosidade como indicado no site do Departamento de Estruturas da Universidade de Cambridge, “Deployable Structures Laboratory” (<http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/> em 26/02/2009), ou seja, são estruturas que podem mudar a forma, a partir de uma forma muito compacta até uma forma expandida.

Esta condição de alta conversibilidade pode ser uma exigência devido ao transporte, armazenamento ou devido a qualquer outra condição que exige a ocupação limitada de espaço. Um exemplo de alta concentração e de uma ampla expansão pode ser tomando como base o exemplo de uma bomba, ou mesmo ter a concepção dos raios solares.

Na engenharia aeroespacial há as antenas de aeronaves, ou seja, elementos que são compactamente alojados ou concentrados em um ponto e para seu uso e lançamento deve automaticamente desdobrado e expandir-se ao estado final de uso em poucos segundos.

5.2.1.1.3 Disposições Construtivas para Obras Conversíveis

Após estas apresentações de aplicações e, portanto de comprovado levantamento de condicionantes de projetos, a seguir encontram-se as disposições construtivas para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas conversíveis e com dobramentos sucessivos.

Para estes tipos de dobramentos a indicação de uso de estruturas auxiliares e cabos guias são imprescindíveis e facilitam a adoção da automação e manutenção.

Quanto à disposição de escolhas dos materiais para as obras conversíveis por dobramentos indica-se basicamente:

- Para dobráveis com exigência de transparência ou de transparência controlada indica-se o ETFE.
- Para dobráveis com exigência de translucidez elevada indica-se o tecido de poliéster com cobertura de PVC transparente.
- Para dobráveis com exigência de cores diversas e de contato físico comprovado, indica-se o tecido de poliéster com cobertura de PVC colorido.

Percebe-se que a disposição do PTFE é limitada, pois sua base têxtil é em fibra de vidro que não permite dobramentos, podendo ser indicada quando a estrutura de apoio é dobrável e a vedação é fixa. A mesma situação é válida para as placas e lâminas, portanto sendo classificadas como obras de estruturas retráteis com vedação leve.

5.2.1.2 Obras Retrátéis

Para as **obras retrátéis** que em sua grande maioria são deslizantes de forma simétrica; ocasionalmente devido às condições locais ou mesmo pela forma requerida, opta-se pela não simetria.

Para os casos de obras retrátéis com superfícies que não são simétricas, os projetos exigem dimensionamentos diferenciados pelos esforços assimétricos e tensões diferenciadas e ainda, no caso de automação, há que buscar considerações que levem a um resultado de desempenho adequado dos mecanismos e trilhos.

A disposição construtiva básica das obras retrátéis é a constituição de uma estrutura de apoio retrátil para a membrana ou o têxtil, ou seja, trata-se de um conjunto de arquitetura têxtil ou tensoestrutura que tem como apoio uma estrutura com mobilidade.

Portanto a escolha do material vedante da obra não fica condicionada a mobilidade, podendo ser escolhido conforme as condicionantes básicas de projeto, como as condições de forma e resistência.

5.2.1.2.1 Exemplos de Obras Retrátéis

Um exemplo de cobertura retrátil, de estrutura móvel e cobertura fixa em membrana translúcida sobre painéis de estrutura metálica biapoiada nos trilhos deslizantes, pode ser representado pelo projeto de 1996 dos arquitetos Escrig e Sanchez para o Complexo Desportivo Hytasa em Sevilla, Espanha.

A cobertura retrátil corresponde aos dois painéis centrais que deslizam sobre para cada um dos painéis extremos, conforme ilustra a Figura 5.95 (a) e (b) e em (c) é possível constatar o posicionamento dos trilhos guias.

A cobertura retrátil do Estádio Cardinal em Glendale no Arizona, Figura 5.96, nos Estados Unidos, este projeto do arquiteto Peter Eisenman corresponde a mais recente obra neste tipo de cobertura possuindo dois painéis móveis pesando 550 toneladas cada um e cerca de 100 m de vão.

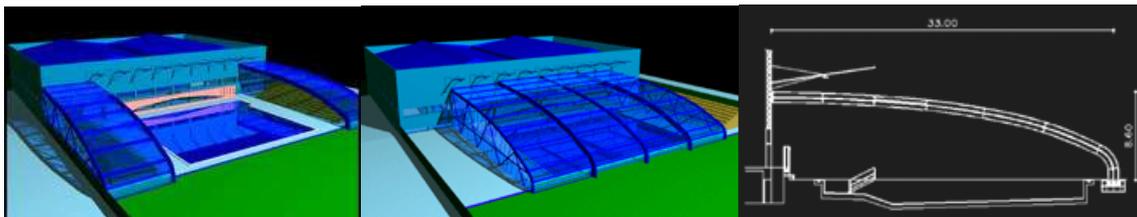


Figura 5.95 (a)

Figura 5.95 (b)

Figura 5.95 (c)

Figura 5.95 (a) e (b) Posições da cobertura e em (c) o detalhe em corte do sistema do trilho no piso e na parede projetado por Escrig e Sanchez (<http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm>, disponível em 08/08/2008).



Figura 5.96 Imagem do Projeto de abertura da cobertura retrátil e detalhe do campo retrátil/deslizante (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007).



Figura 5.97 Vista interna do estádio coberto (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007).

O sistema de fechamento e abertura foi adotado para atender o condicionamento do ar no verão que é muito intenso. O tempo de abertura total é de 12 minutos, ou seja, uma velocidade de 8,5 metros de painel por minuto. Na Figura 5.97 a cobertura encontra-se fechada e nota-se a luminosidade interna.

A estrutura é composta de treliças metálicas em forma hélice apoiadas por torres de concreto, Figura 5.98, e com cobertura de membrana de PTFE.



Figura 5.98 Fase construtiva nota-se as treliças de apoio da cobertura retrátil e as torres de apoio. (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007).

Sobre as treliças em forma de hélice encontram-se os trilhos que percorrem a cobertura retrátil, como pode ser conferida pelas Figuras 5.99 (a) e (b)



Figura 5.99(a)

Figura 5.99(b)

Figura 5.99 Trilhos guias da cobertura retrátil em (a) e passagem de manutenção dos trilhos (b) (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007).

Nas Figuras 5.100 encontram-se uma das torres de apoio das treliças de sustentação e em detalhe os cabos de apoio que foram utilizados para posicionar a estrutura treliçada durante a construção do estádio.



Figura 5.100 (a)

Figura 5.100(b)

Figura 5.100 Torre de apoio em (a) e em (b) detalhe dos cabos para içar a treliça de apoio (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007).

5.2.1.2.2 Novas Concepções para Obras Retrátéis

A Figura 5.101 demonstra o primeiro modelo de estrutura retrátil com movimento tem como referência o movimento de abertura e fechamento circular do Departamento de Estruturas da Universidade de Cambridge, “Deployable Structures Laboratory”.



Figura 5.101 Primeiro modelo de estrutura plana retrátil (PELEGRINO e JENSEN, 2007. Disponível em <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13> em 31/07/2007).

Cada um dos dois painéis é constituído de uma fração circular com a borda correspondente a uma parte do arco externo da estrutura e onde se encontra o ponto pivô do movimento e os pontos centrais do eixo da cobertura são os que geram as aberturas, deslocando-se para um arco circunscrito na cobertura.

A concepção deste tipo de cobertura retrátil parte de uma divisão uniforme de parte da circunferência da cobertura e cada um dos painéis pode ter ampliadas as dimensões como ilustra a Figura 5.102, gerando divisões menores.

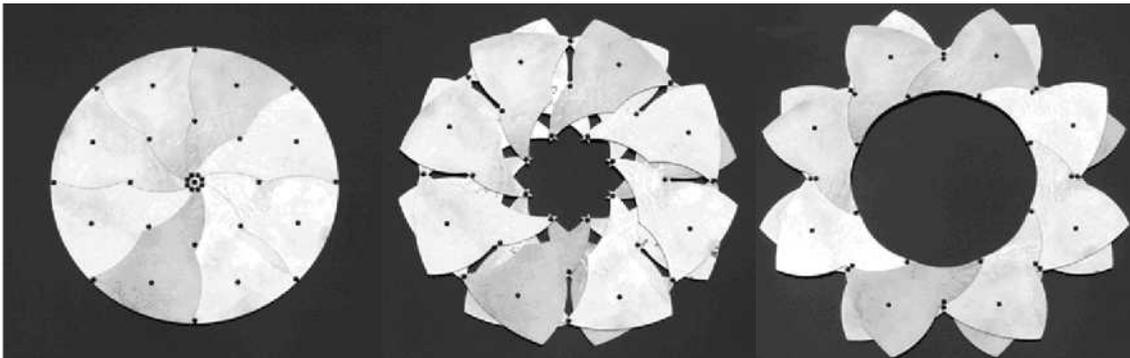


Figura 5.102 Segundo modelo de estrutura plana retrátil por (PELEGRINO e JENSEN, 2007. Disponível em <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13> em 31/07/2007).

Esta concepção estrutural, indicada por PELEGRINO e JENSEN como coberturas retráteis planares, pode ser entendida como de aderência às estruturas em membranas, pois se tratam de elementos de superfície que podem ser constituídos por estruturas de barras que podem ser cobertas com membranas e filmes, justificando a eficiência da automação pela leveza que pode proporcionar em relação a outras tecnologias convencionais.

5.2.1.2.3 Disposições Construtivas para Obras Retráteis

Como para as obras retráteis não se está indicando o dobramento da membrana e somente a movimentação da estrutura de apoio de uma arquitetura têxtil ou tensoestruturas, a disposição construtiva fica condicionada aos custos (5.1.1.1 deste capítulo) preliminares e os relativos à base de movimentação e o sistema de automatização e ainda as relações construtivas entre os tipos de materiais disponíveis (5.1.1.2 deste capítulo).

5.3 Condicionantes técnicos

Quanto aos condicionantes técnicos, da relação anteriormente apresentada como: a tipologia do material, a forma e complexidade da superfície, as condições visuais da obra, as técnicas e detalhes construtivos e a mobilidade, neste item cabe a parte das técnicas de construção e dos detalhes construtivos para o projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

As técnicas construtivas e os detalhes de conexões e/ou junções entre a membrana e os pontos de apoios representam um ponto crítico em relação ao desempenho deste tipo de construção e, portanto caracterizando-se como um condicionante tecnológico.

Todo sistema construtivo possui seus componentes, no caso das tensoestruturas e arquiteturas têxteis cita-se, por exemplo: membrana, tecido, filme, cabos, mastros, arcos, vigas, elementos de apoio, tirantes, freio, conexões, junta, solda, conexões, ancoragens, etc.

Portanto as condicionantes técnicas quanto aos detalhes construtivos referem-se às disposições que levam à união destes componentes de forma adequada e a instalação/montagem destas edificações.

As uniões entre os componentes das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, diferentemente das estruturas convencionais, possuem em geral ângulos diversos, bem como, terão as faces expostas, tanto do lado de dentro da construção como lado de fora as superfícies são igualmente expostas e os direcionamentos destas superfícies correspondem ao caminhamento dos esforços da construção.

Para atendimento do assunto deste item a seguir são apresentados os condicionantes relativos às atividades de montagem e instalação das arquiteturas têxteis e tensoestruturas em seu local de uso ou permanência, em 5.3.1 e 5.3.2 são tratados os condicionantes específicos da construção e que condicionam e o caracterizam a própria composição como um sistema construtivo.

5.3.1 Condicionantes de montagem e instalação no local de uso das arquiteturas têxteis e tensoestruturas

De um modo geral as estruturas em membranas são constituídas pela estrutura de apoio e a vedação em membrana sob duas condições básicas e resumidas a seguir.

- No caso das tendas, a estrutura de apoio pode ser mastros e ancoragens no solo, espaçados em média de 4 a 6 metros.
- No caso das tensoestruturas e arquitetura têxtil, são estruturadas por redes de cabos ou outro subsistema de sustentação, vedados por painéis/membranas com vão entre 4 a 12 metros.

Além destas condições de sustentação e vãos há que se indicar a condicionante da forma geométrica da superfície e a metodologia de montagem e instalação.

Quanto à montagem esta pode ser descrita pelos seguintes passos básicos após o projeto, cortes de panos, romaneio de peças e local já preparado, portanto, de modo restrito ao posicionamento/instalação são desenvolvidas as seguintes atividades:

- a) Marcação dos pontos dos apoios (mastros e ancoragens),
- b) Execução das fundações com inserções de conexões quando necessário,
- c) Execução ou instalação da estrutura de apoio ou sustentação (Figuras 5.103 a 5.105,

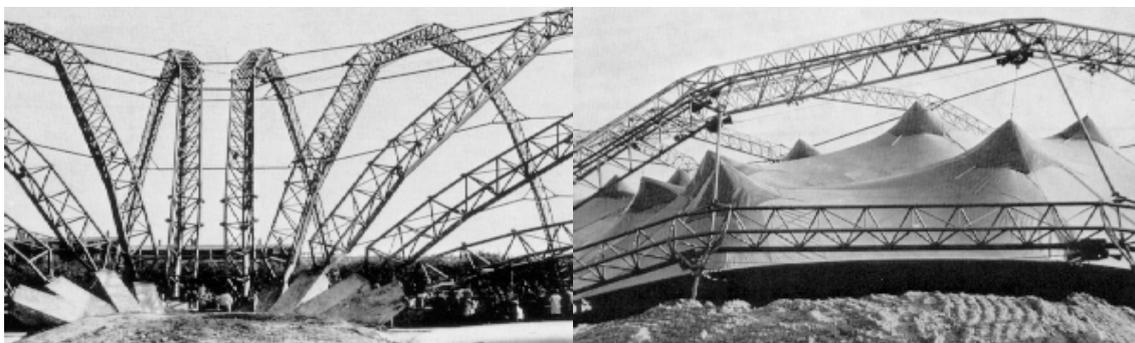


Figura 5.103 Arcos de apoio para a pista de patinação em Paris (MOLAERT, M. in Membrane structures: understanding their forms. Disponível em <http://www.tensinet.com/documents/general/UNDERST5.doc> em 04/07/2003).



Figura 5.104 Instalação da estrutura de cabos para sustentação do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/> em 08/08/2001).



Figura 5.105 Estrutura de cabos ancorados em anel perimetral de concreto do Georgia Dome (Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/> em 08/08/2001).

d) Içamento de painéis de membrana e abertura/desdobramento de painéis de membrana (Figuras 5.106 a 5.108),

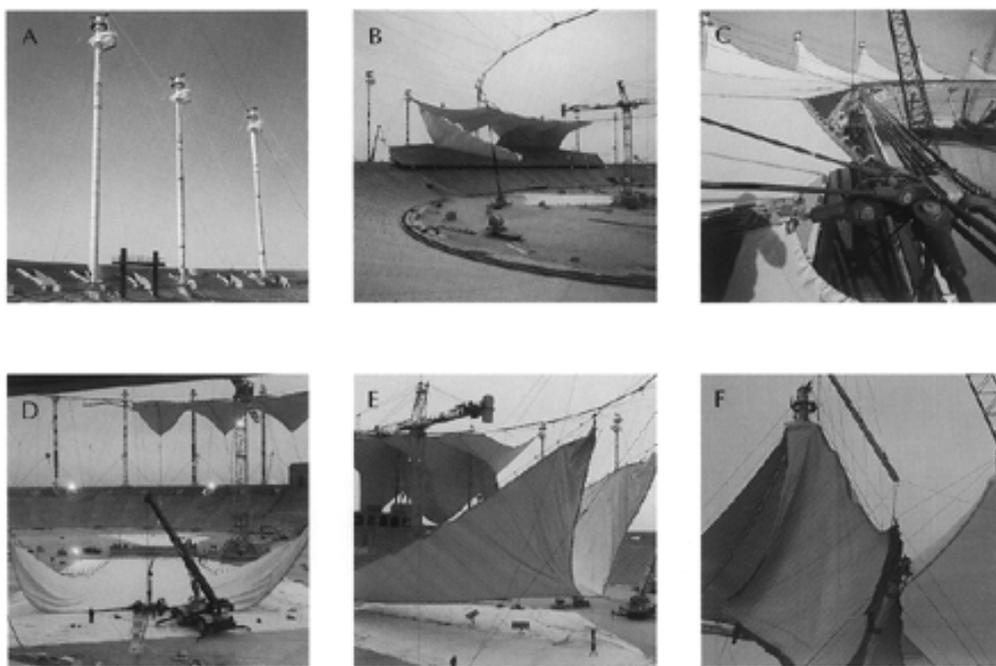


Figura 5.106 Içamento dos painéis no The King Fhad International Stadium. (NJIT Introduction to Fabric Structures: NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University - Introduction to Fabric Structures: Disponível em <http://www-ec.njit.edu/civil/gateway.html>. em 30/10/ 2002).

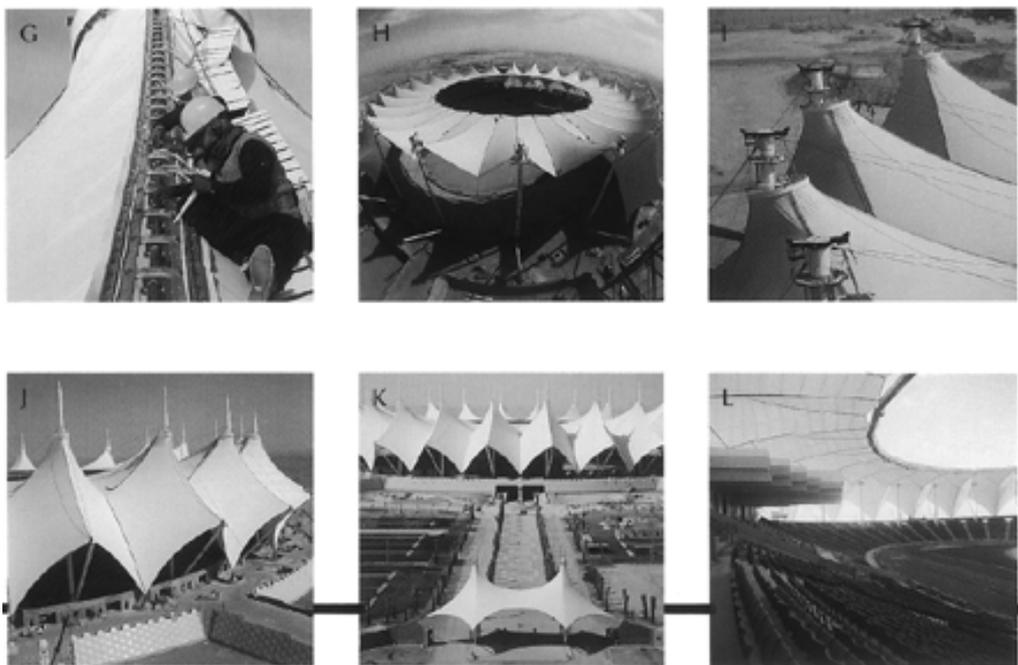


Figura 5.107 The King Fhad International Stadium NJIT Introduction to Fabric Structures: NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University - Introduction to Fabric Structures: <http://www-ec.njit.edu/civil/gateway.html>. (30/10/ 2002).

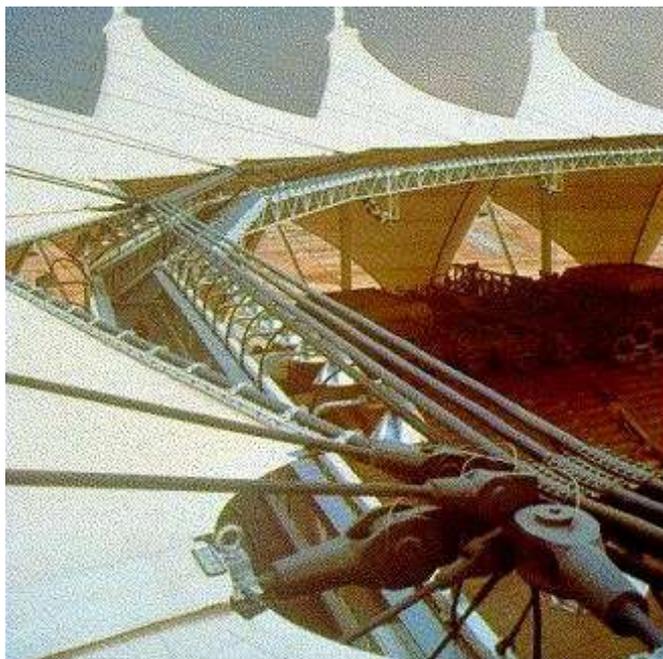


Figura 5.108 Um anel de centro constituído de seis cabos de 2 5/8", foram içados pneumáticamente a 46 metros de altura em relação ao campo (NJIT, 2002).

- e) Posicionamento dos painéis de membrana na estrutura de apoio ou na sustentação (Figura 5.109),

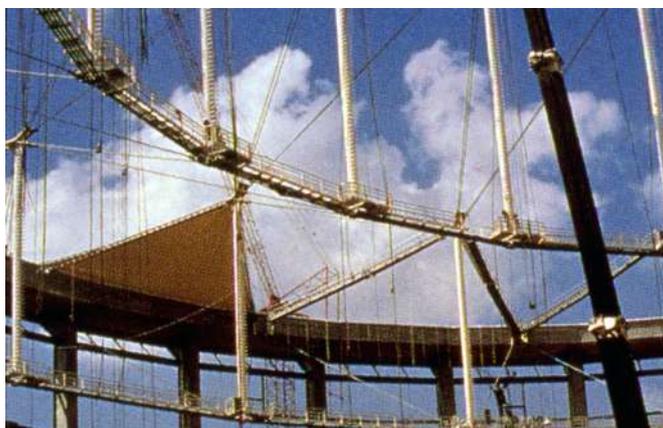


Figura 5.109 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/> em 08/08/2001).

- f) Verificação do posicionamento e protensão parcial de cabos e membranas.
 g) Protensão do painel, fixação final e soldagens entre painéis quando houver.
 h) Ancoragens finais nas fundações.

Podem ocorrer variações desta seqüência como:

- A pré-montagem de painéis de membrana sobre módulos estruturais, exigindo, portanto a movimentação e fixação e impermeabilização entre módulos (Figura 5.110 e 5.111) e estes eventualmente fixados em uma estrutura de apoio ou de sustentação.



Figura 5.110 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/> em 08/08/2001).



Figura 5.111 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/> em 08/08/2001).

- A pré-soldagem entre painéis de membrana formando rolos para içamento e montagem de módulos no local (Figura 5.112).



Figura 5.112 Segundo modelo de estrutura plana retrátil por (SETZER, S. In Engineering News Record, March 16,1992. Disponível em <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/g-raise.htm>, acesso 08/08/2001).

- A conformação da superfície única de membrana, portanto, a utilização de um pano único (Figura 5.113) que será ancorado, içado por mastros, protendidos e fixados.

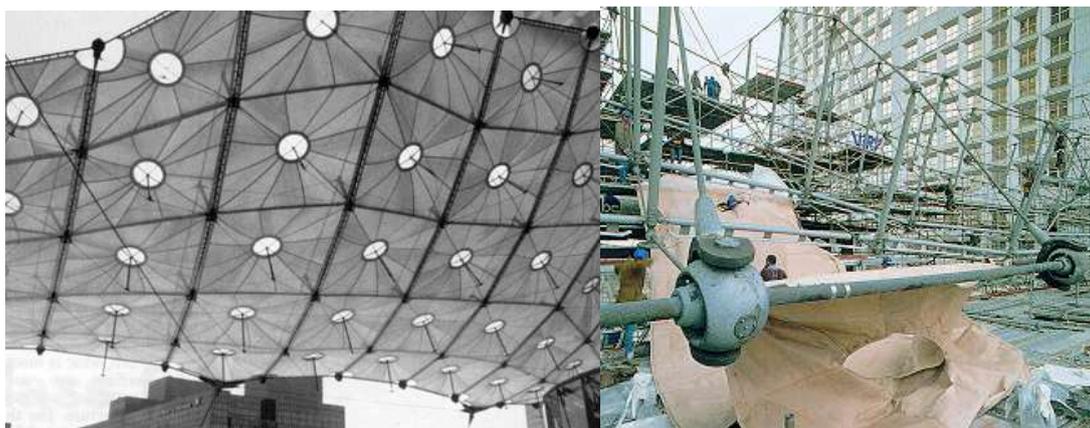


Figura 5.113 L'Arche de La Defense em Paris (MOLAERT, M. in Membrane structures: understanding their forms. Disponível em <http://www.tensinet.com/documents/general/UNDERST5.doc> em 04/07/2003).

Da exposição destes passos e destacando o posicionamento de painéis de membranas e quando da abertura destes, descreve-se a seguinte condicionante geométrica:

- Nos casos de superfícies ou painéis retangulares e triângulos, a locação pode ser controlada por método expedito e de prática singular através da medição de diagonais ou da relação métrica de um triângulo retângulo (lados: 3, 4, 5 - seus múltiplos e se necessário seus submúltiplos) como ilustrado nas Figuras 5.114 e 5.115, sendo esta última em relação a um triângulo constituído de um setor triangular.

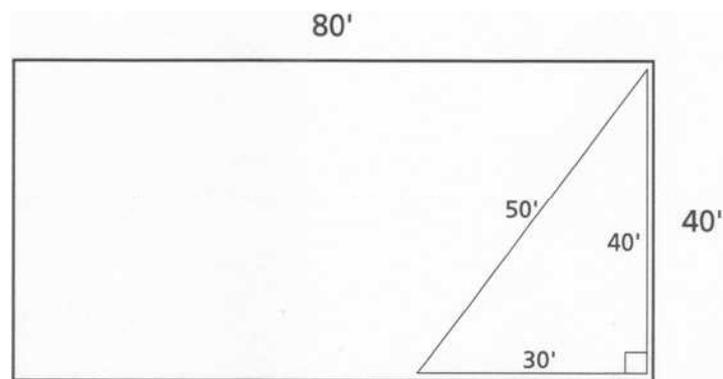


Figura 5.114 Locação singular através da medição de diagonais ou da relação métrica de um triângulo retângulo ("Tent Rental" da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).

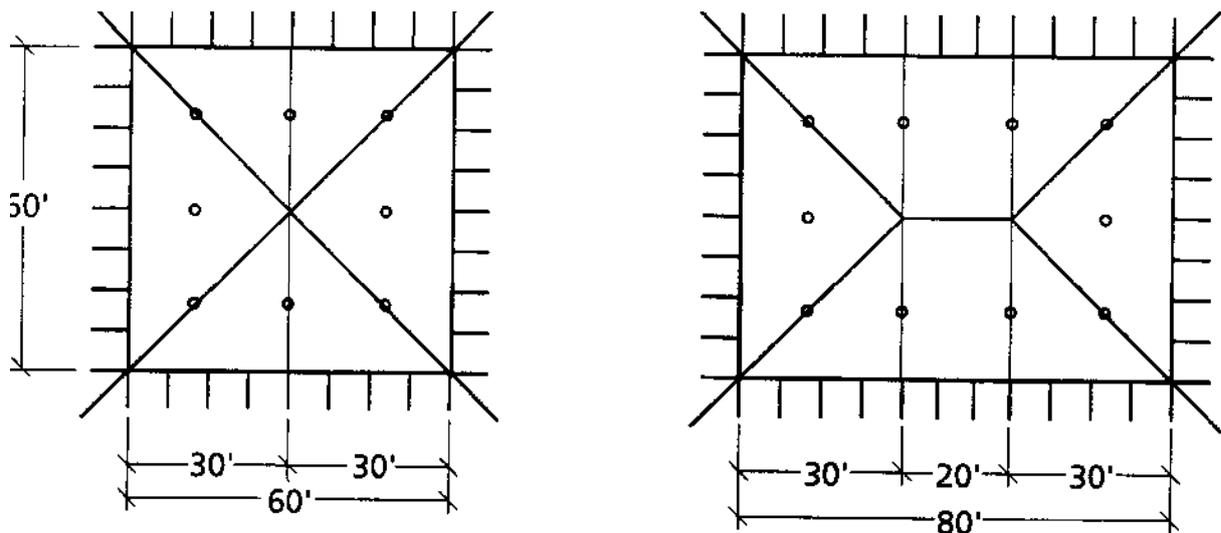


Figura 5.115 (a)

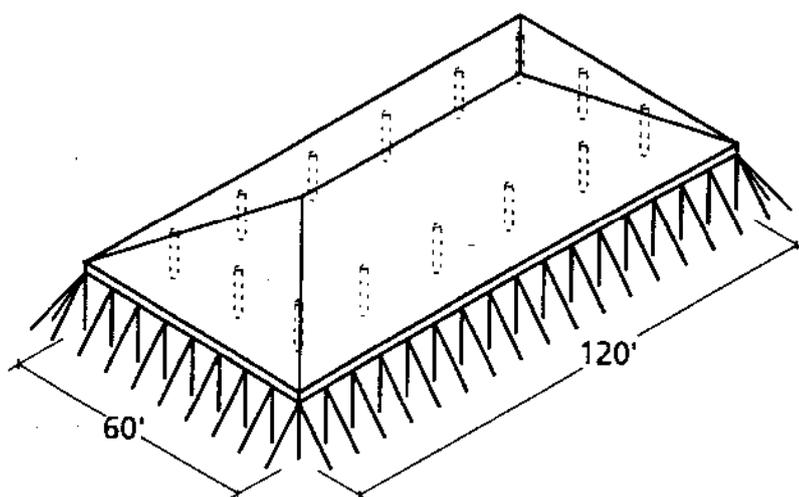
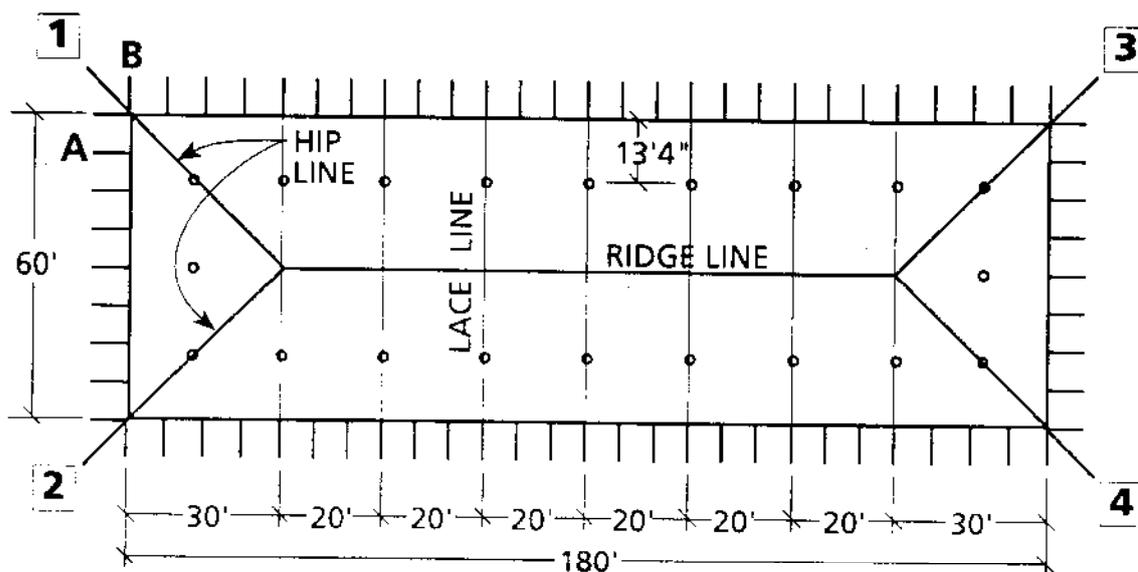


Figura 5.115 (b)

Figura 5.115 (a) e 9b) A verificação do tracionamento dos cabos, através de seus comprimentos e locação, também são realizados pelo controle geométrico do triângulo retângulo. ("Tent Rental" da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).

- Nos casos de superfícies com bordas circulares ou semicirculares, a locação pode ser controlada por método expedito e de prática também singular através da marcação do centro da circunferência e seqüentes medições iguais a partir deste ponto, Figura 5.116, podendo-se realizar as pré-locações dos estaqueamentos, Figuras 5.117.

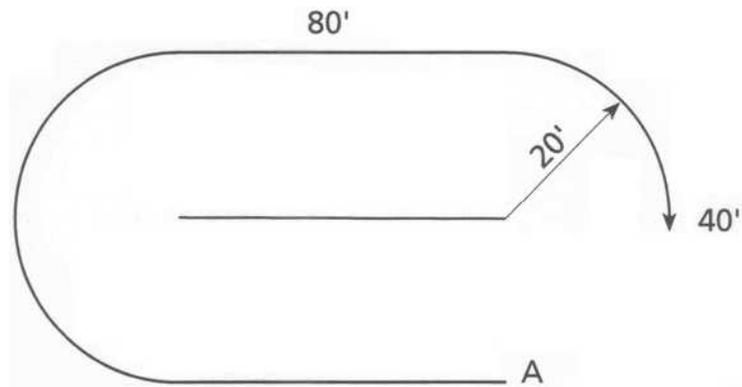


Figura 5.116 Locação de borda circular (“Tent Rental” da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).

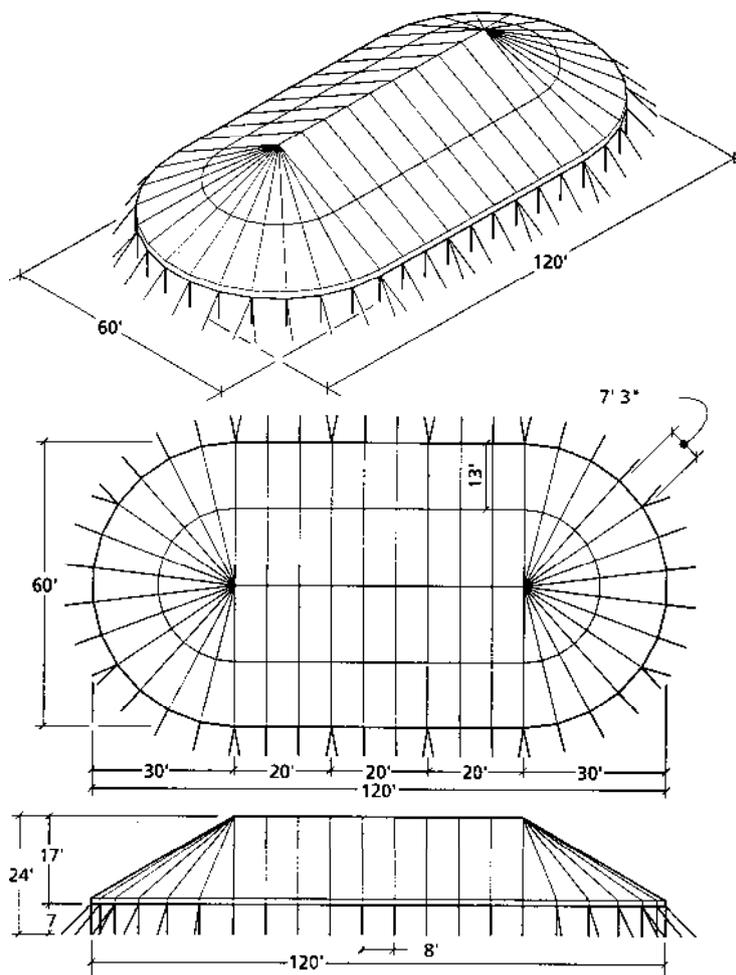


Figura 5.117 A verificação do tracionamento dos cabos das bordas circulares e do perímetro retilíneo pelo controle geométrico do triângulo retângulo. (“Tent Rental” da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional de 1996).

A forma geométrica das superfícies e painéis torna-se condicionante da metodologia de controle da locação, pois se a geometria não for especificamente de painéis retangulares, triângulos ou bordas circulares, esta exigirá o posicionamento com maior precisão e só se torna produtiva e sem prejuízo de desvio de forma, caso seja realizada através de equipamentos e instrumentos topográficos.

Em face desta condicionante e das próprias características de produtos manufaturados, pode-se destacar as tensoestruturas e arquiteturas têxteis das tendas de eventos e de alugueis que pela singularidade se encontram pautadas por procedimentos consolidados pela divisão "Tent Rental" da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional de 1996.

Portanto como disposição construtiva indica-se que as tendas não possuem restrições para o controle de locação por métodos expeditos e no atendimento às definições que se estabelece neste trabalho, por outro lado, as tensoestruturas e arquiteturas têxteis possuem a complexidade geométrica e conseqüentemente os controles serão através de equipamentos e instrumentos topográficos. Provando-se que os condicionantes de locação da construção podem definir uma arquitetura têxtil ou tensoestrutura das tendas.

5.3.2 Condicionantes específicos do sistema construtivo das arquiteturas têxteis e tensoestruturas

Assim como em um sistema construtivo convencional ou tradicional o sistema construtivo das tensoestruturas e das arquiteturas têxteis possuem detalhes que são fundamentais para sua constituição e que garantem o desempenho adequado. Porém, diferentemente das construções convencionais, nas tensoestruturas e arquiteturas têxteis os detalhes de sua composição são visualmente expostos e que podem transformar a construção ou mesmo caracterizá-la pela sua elegância e expressividade, uma vez que os detalhes de composição deste sistema construtivo é absolutamente condicionado à estética e ao sucesso da arquitetura têxtil e, portanto da mais intensa atuação de seus projetistas e do olhar rigoroso dos arquitetos.

Segundo HUNTINGTON (2004), projetista atuante nos Estados Unidos, o desempenho dos elementos de composição das tensoestruturas e arquiteturas

têxteis tem sido alvo de constantes pesquisas, bem como estão em constantes estudos os procedimentos para a obtenção de desenhos típicos e que possam ser incorporados em normas e especificações de seu país.

Neste sentido define-se e se caracteriza neste trabalho que os meios e os elementos que geram a composição do sistema construtivo das arquiteturas têxteis e tensoestruturas como sendo seu condicionante técnico, justificam-se pela sua especificidade quanto à flexibilidade e geometria angular, condições não correntes em outros sistemas construtivos e mesmo tendo como condição de diferenciação, o fator econômico e a simplicidade dos designs devem ser a regra.

O encargo de condicionante técnico dos elementos de composição e de ligações que também se adota a partir deste ponto a denominação de pontos conectores ou simplesmente conexões, parte da habilidade física que devem possuir de conectarem materiais distintos de modo equilibrado como uma membrana e um cabo ou cabo e uma placa metálica ou uma placa metálica e a membrana, um esticador e uma viga ou coluna, um painel de membrana a outro entre outros tipos de conexões, e ainda serem esteticamente compatível, permitirem movimentações, limitar vibrações entre os pontos conectados, resistir às intempéries e ainda serem resistentes e permitirem um caminhamento direto das cargas até seus apoios finais.

Percebe-se, portanto, que os conectores são condicionantes que apesar de intuitivamente considerados quando se visualiza uma arquitetura têxtil ou tensoestrutura muitas vezes não se destacam e sim são notados como pertences do sistema construtivo, porém cabe destacar que são detalhes que envolvem as disciplinas de estruturas metálicas, mas que não constituem conteúdos formais de cursos de graduações ou mesmo de cursos de especializações, desta forma e tomando-se como dica os dizeres de HUNTINGTON (2004), e que cabem aos projetistas, profissionais e pesquisadores: terem os conceitos básicos de modo aprofundado e com a experiência transformarem os conceitos em uma prática e uma bagagem projetual. Portanto delimita-se aqui e se propõe que as conexões das tensoestruturas e arquiteturas têxteis são condicionantes repertoriais, pelo modo como serão apresentadas, ou seja, como um elenco básico de conexões que poderão ser aprimoradas e simplificadas a uma condição minimal e desejável a esta tipologia construtiva e a sua dimensão.

5.3.2.1 Membrana com membrana

As membranas são normalmente cortadas em padrões que são costurados ou soldados entre si para a conformação da superfície final e que garantam a resistência compatível na transferência de esforços entre si.

O posicionamento das emendas e costuras preferencialmente deve compatibilizar uma modulação e a condicionante formal e visual do projeto ao aproveitamento das membranas, evitando-se as perdas, bem como, o posicionamento deve atender o fluxo de águas e a declividade de drenagem superficial da membrana, como na sobreposição de telhas e placas de coberturas, Figura 5.118, e ter reforços em áreas de concentrações de tensões.

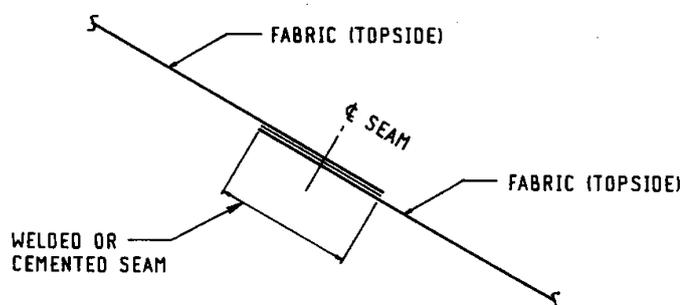


Figura 5.118 Posição de emenda entre membranas, atendendo a declividade do fluxo das águas (SHAEFFER, 1996).

Para cada construção em arquitetura têxtil e tensoestrutura a membrana como as emendas deve passar por dimensionamento considerando a rigidez, a protensão, as cargas e tensões e sua curvatura com a devida margem de segurança, que normalmente é em média é de 4,0 ou mais para o valor do coeficiente de majoração das ações e minoração das resistências.

As junções de tecidos podem ser feitas pela união tipo sanduíche de duas faces de tecido e também por grampeamento, no caso do ETFE utiliza-se somente a emenda por soldagem e coincidentes com apoios e contatos lineares.

No caso das emendas soldadas ou costuras a largura deve ser dimensionada, mas também devem seguir as especificações de seu fabricante, como parâmetro projetual básico, a largura típica pode ser considerada entre 25 a 50

mm para os materiais de PVC e 50 a 75 mm para os tecidos cobertos com silicone e PTFE.

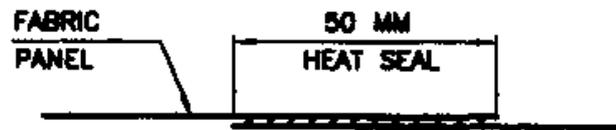


Figura 5.119 Esquemática da largura média de emendas entre membranas (HUNTINGTON, 2004).

As emendas grampeadas podem ser viabilizadas sob três principais formas, a saber: arestas laçadas, com braçadeiras e sistema tipo “u” (HUNTINGTON, 2004).

- O grampeamento com arestas das membranas que são laçadas são viabilizadas com placas e grampos como pode ser observada pela Figura 5.120.

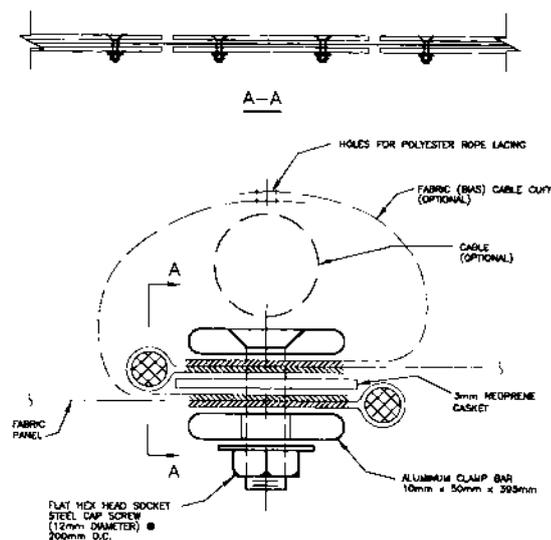


Figura 5.120 Esquemática de grampeamento com membranas laçadas (HUNTINGTON, 2004).

A seguir e de modo ilustrativo encontra-se na Figura 5.121 e 5.122 a aplicação do esquema de grampeamento com membranas laçadas, ilustrado anteriormente.



Figura 5.121 Vista da cobertura de um galpão no Aeroporto de Lyon Satolas, construído em 1991, cobertura destinada para invernos intensos e verões moderados em têxtil estrutural, disponível em TENSINET(2007).



Figura 5.122 Vista inferior detalhando o grampeamento e as conexões nas terminalidades da cobertura no Aeroporto de Lyon Satolas, disponível em TENSINET(2007).

Normalmente, as extremidades superiores e inferiores deste grampeamento estão alinhadas longitudinalmente, conforme indicado na Secção A da Figura 5.120, e a descontinuidade transversal de grampeamento permite que a membrana não perca sua rigidez e fique condicionada a mesma rigidez do cabo. Esta flexibilidade, caso não seja atendida, podem conduzir forças adicionais para estas conexões e que normalmente não são projetadas para estas condições de junção de tecidos. Em muitos casos, as costuras de tecido realizadas em campo estão alinhadas com a locação dos cabos, neste alinhamento é aplicado normalmente o padrão de duplo grampeamento. Cita-se ainda que o cabo pode se realinhar para um lado ou do outro da articulação levando a uma aparência estética inadequada, problema que pode ser corrigido

periodicamente através do ajuste do encaixe ou através da utilização de uma conexão um pouco mais complexa.

- O grampeamento de membranas com braçadeiras, Figura 5.123, normalmente é feito no local, etapa em que são aplicadas tensões elevadas para reunir as faces dos tecidos, neste caso podem ser utilizados grampos e braçadeiras que podem vir presos ao longo de cada face de união em substituição a placas. Estes grampos possuem uma base mais ampla que permite que painéis do tecido sejam puxados para a posição final. Exemplo de aplicação, vide Figuras: 5.5, cobertura de posto de gasolina e a Figura 5.110, Georgia Dome.

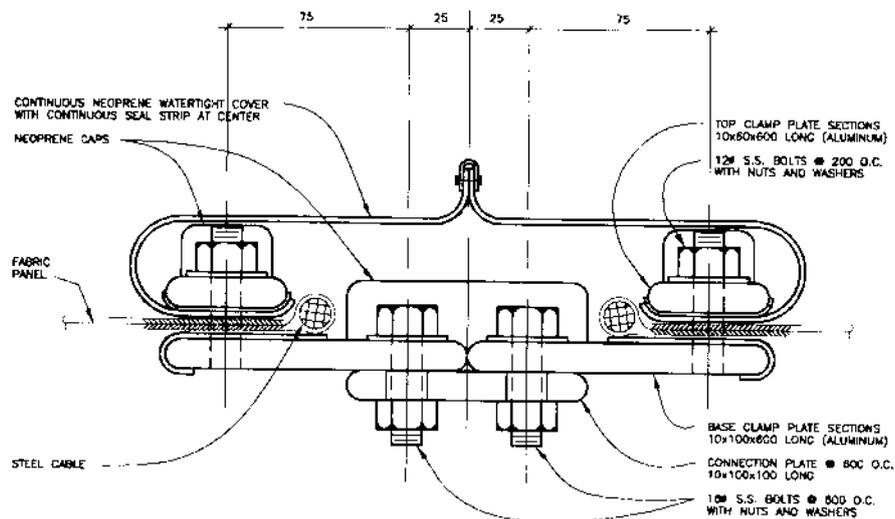


Figura 5.123 Esquematização de grampeamento com braçadeiras (HUNTINGTON, 2004).

Duas variações de conexões de grampeamento com braçadeiras são propostas pela New Jersey's Science & Technology University, sendo no primeiro caso, Figura 5.124, a base de fixação dos parafusos um perfil em "u" e no segundo caso, Figura 5.125, a base é da mesma forma que a proposta por Huntington, variando a fixação da chapa de neoprene que cobre a conexão em um perfil conector, cita-se que a diferença principal das duas propostas em relação a da Figura 5.123 é a forma de apoio em cabo principal de sustentação na face inferior a conexão em si e através de uma alça de aço.

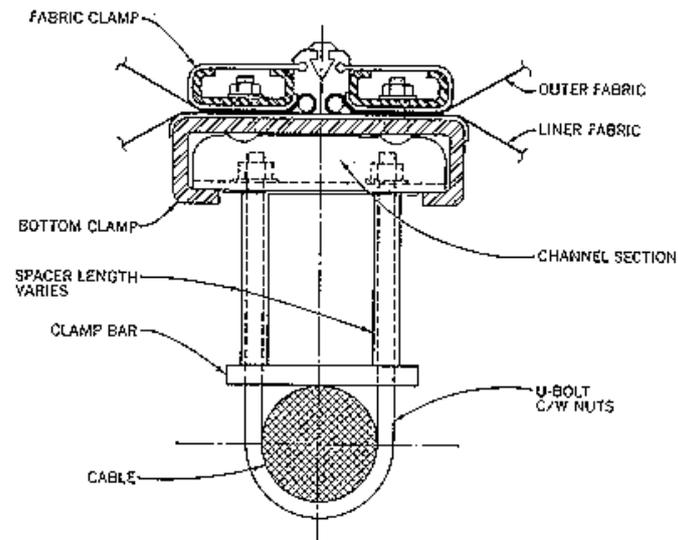


Figura 5.124 Tipologia (1) de grampeamento de tecido e cabo proposto pela New Jersey's Science & Tecnology University (NIJT, 2002).

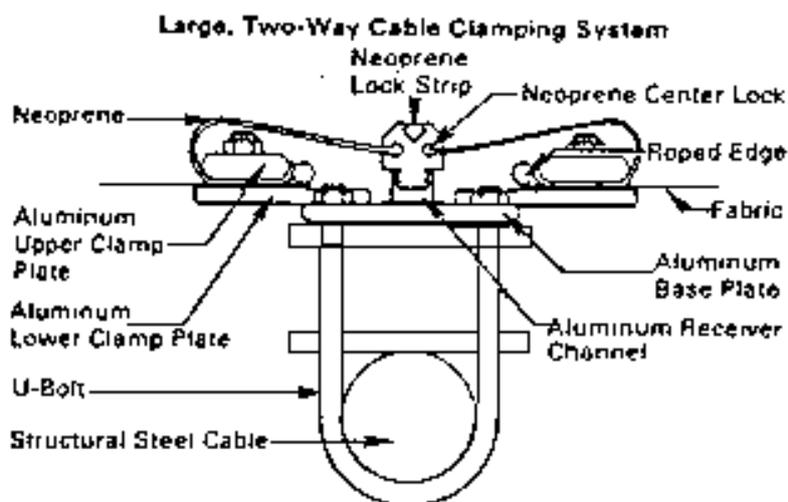


Figura 5.125 Tipologia (2) de grampeamento de tecido e cabo proposto pela New Jersey's Science & Tecnology University (NIJT, 2002).

- O grampeamento através do sistema “u”, Figura 5.126, permite que a costura entre os tecidos e a ligação com o cabo seja retilínea e também às bordas em catenária, sem que haja colisões e conflitos entre estes elementos. Quando o cabo é posicionado de modo posterior e com transferência de forças catenárias de tração para o cabo, esta aplicação é recomendada, pois o sistema simples de cabo dentro de bainha é impossível, Figura 5.127.

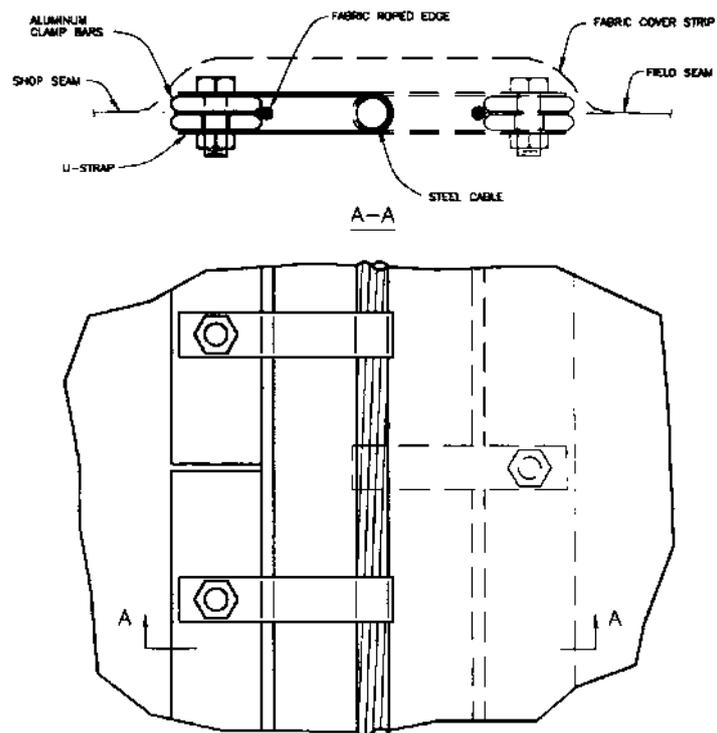


Figura 5.126 Esquemática de grampeamento com sistema tipo “u” (HUNTINGTON, 2004).

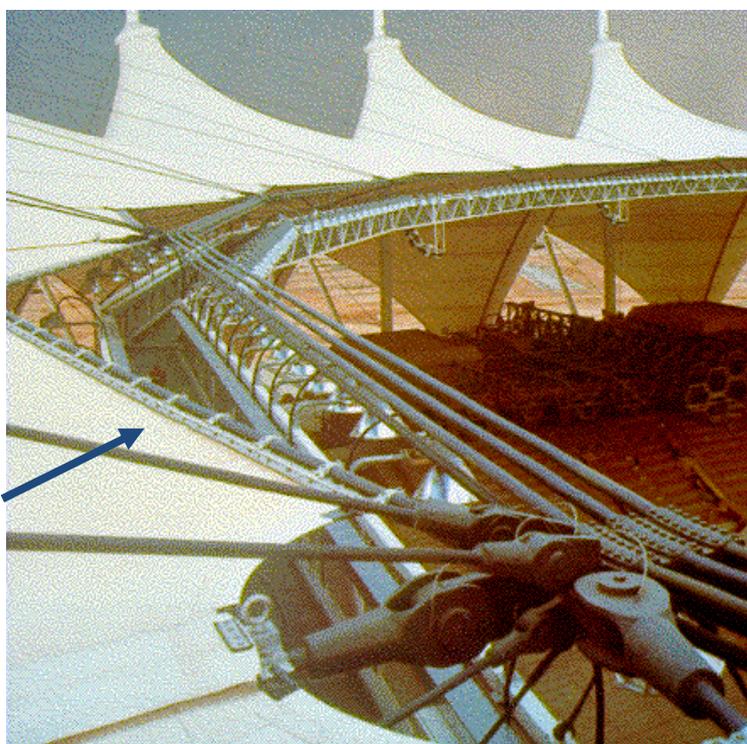


Figura 5.127 Indicação da aplicação de grampeamento com sistema tipo “u” no estádio King Fahd International (NIJT, 2002).

Tanto as costuras, como os grampeamentos e soldas entre membranas preferencialmente devem ser realizados de modo pré-fabricado em empresa especializada, mas também podem ser realizados in loco tanto no chão como na posição e altura final do painel, por se tratarem de dimensões grandes de painéis ou que a logística de montagem leve a esta situação.

5.3.2.2 Membrana com cabo

A união localizada de membrana e cabo deve ser igualmente contínua e sem concentrações de tensões e desejavelmente como se fossem ligações entre membranas. Basicamente este tipo de união pode ocorrer sob duas condições:

- Término do tecido em um cabo catenária de borda (conexão unilateral).
- Condição de secção de um painel de membrana, onde o painel é interrompido ou dividido em partes e para cada parte e em ambos os lados se conecta com cabos.

Para o primeiro caso, término do tecido e o cabo catenária, podem ser realizados de duas maneiras:

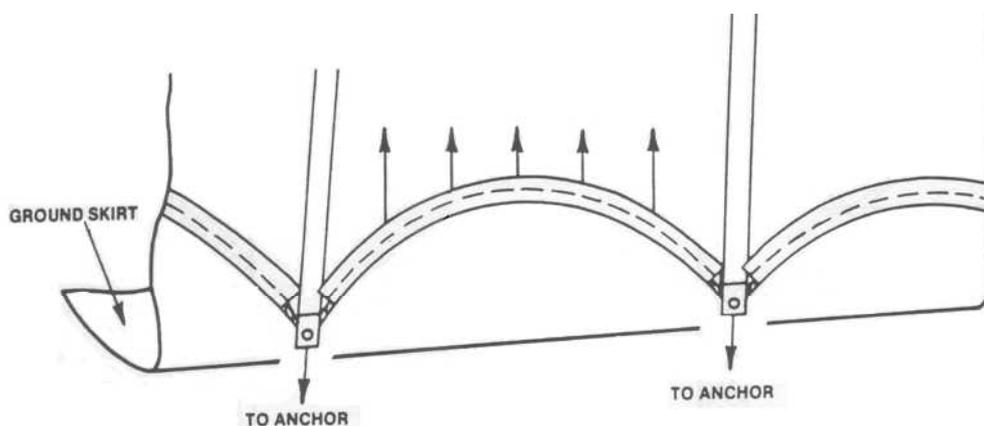


Figura 5.128 Vista superior de bainhas para cabos catenárias (AFSI, 1977).

1- O cabo pode ficar dentro de uma bainha do tecido, Figuras 5.128 e 5.129. Neste tipo de união o próprio atrito ao longo do cabo evita deslizamento do tecido, mas cuidados devem ser tomados na concepção da bainha para permitir a adequada instalação do cabo dentro da mesma, como diâmetro, costuras ou soldas.

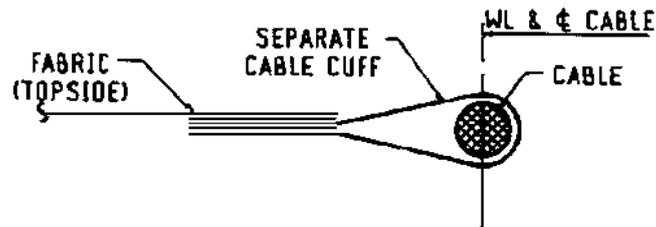


Figura 5.129 Vista em corte de bainha para cabos catenárias (SHAEFFER, 1996).

2- Um segundo modo de união de cabo-tecido em catenária é o uso de conexão metálica em que o tecido é preso pela conexão e esta por sua vez se fixa ao cabo por cabos/correias ou barras como mostrado na Figura 5.126.

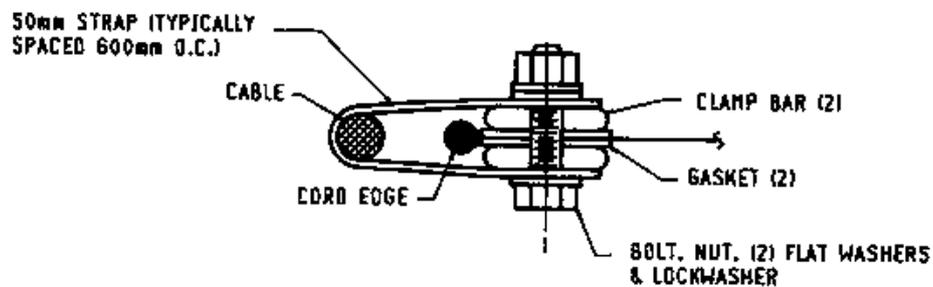


Figura 5.130 Vista em corte de conexão de tecido e cabos catenárias (SHAEFFER, 1996).

Uma alternativa para conexão cabo-tecido em catenária utilizando o sistema de sanduíche de placas parafusadas é apresentada pela Universidade de New Jersey, como detalhe em corte na Figura 5.131.

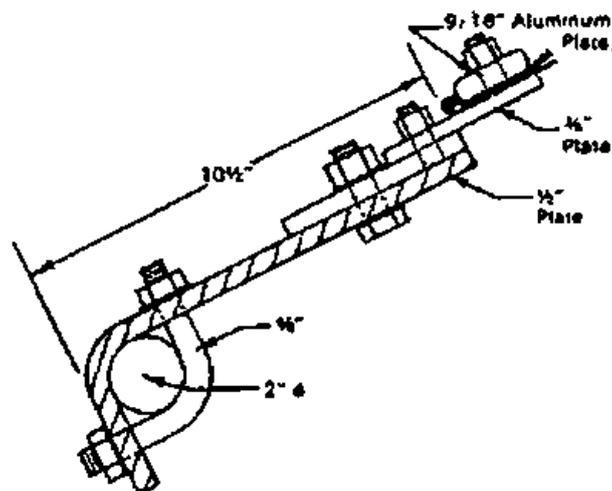


Figura 5.131 Indicação da aplicação cabo-tecido em catenária (NIJT, 2002).

Para o segundo caso de união localizada de membrana e cabo, de secção de um painel de membrana, indica-se que este procedimento é utilizado para dividir o tecido em partes menores para facilitar a montagem/construção. Isto pode ser realizado através da fixação na extremidade do painel uma conexão como ilustrado no corte da Figura 5.132.

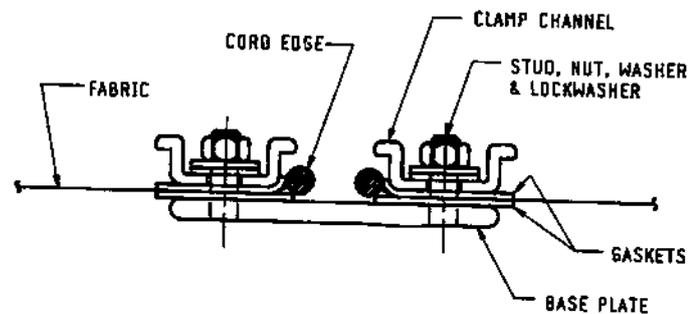


Figura 5.132 Conexões em extremidade de painel seccionado de membrana (SHAEFFER, 1996).

Para a fixação dos colchões em cabos estruturais de sustentação e apoio das arquiteturas têxteis ou tensoestruturas pneumáticas que pode ser também outra opção de definição formal deste tipo de edificação, portanto quando na realidade se forma uma rede de cabos vedada por colchões pneumáticos. Para este tipo de fixação em cabo se utiliza a soldagem das membranas ou filmes entre si e a constituição de uma bainha soldada a extremidade do colchão para alojamento do cabo como demonstrado na Figura 5.133.

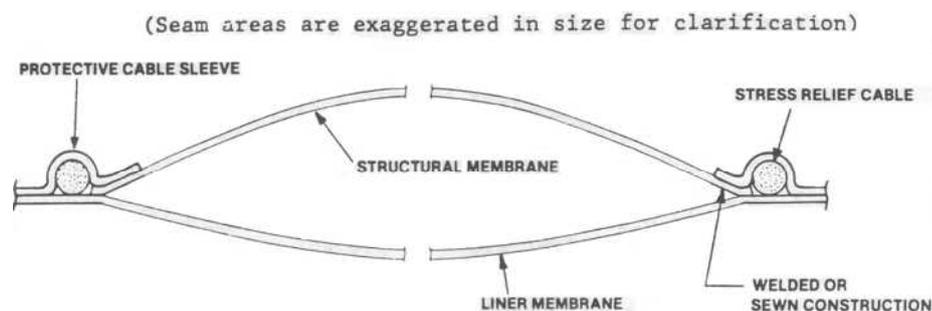


Figura 5.133 Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).

5.3.2.3 Conexão e contato do tecido com uma borda rígida ou término de membrana em apoios estruturais barriformes

Quando é possível e em algumas estruturas, os projetistas mantêm o espaço coberto pela arquitetura têxtil ou tensoestrutura aberto e a forma "livre", portanto não necessitando de contato e conexões com partes rígidas como parede, cintas ou anéis estruturais elevados ou mesmo no solo de apoio em concreto ou aço, permitindo que sua borda termine em curvas e catenárias próprias desta tipologia construtiva. Um exemplo da aplicação de término em catenária e, portanto manutenção da forma sem conexão e contato com borda rígida está ilustrada na Figura 5.134, onde se optou pelo avanço da tensoestrutura além dos fechamentos verticais, nota-se na vista interna que há a abertura entre a cobertura e as vedações.

No caso de se requisitar o atendimento do fechamento sobre um apoio rígido uma primeira alternativa que os projetistas adotam é o avanço do tecido sobre a parede externa ou muro, neste caso, ambos devem ter a face de contato de forma curva e a borda final do tecido é mantida em uma catenária de borda como uma barra ou saia, vide Figura 5.135.

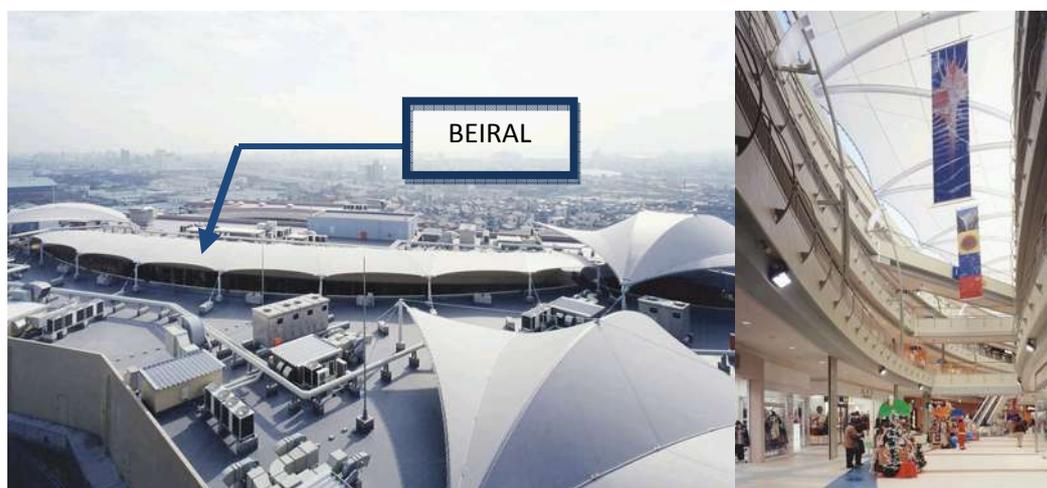


Figura 5.134 Cobertura do shopping Jusco Atrium em Aichi no Japão, construído em 1999 com a função de proteção a radiação solar, calor, vento e isolamento térmico, disponível em TENSINET (2007).



Figura 5.135 Término com barra ou saia sobre vedação externa na obra El Monte Resort (HUNTINGTON, 2004).

Nos casos de somente contato do tecido com uma borda rígida, indica-se que esta deve ter uma superfície curva e o contato do tecido será realizado como com um contato com um arco ou tubo de aço, mantendo o tecido normalmente solto, recomenda-se, ainda, adotar um alinhamento de emenda ou costura sobre este elemento como forma de minimizar o impacto visual, conforme esquema em corte na Figura 5.136 e exemplo de aplicação na Figura 5.137.

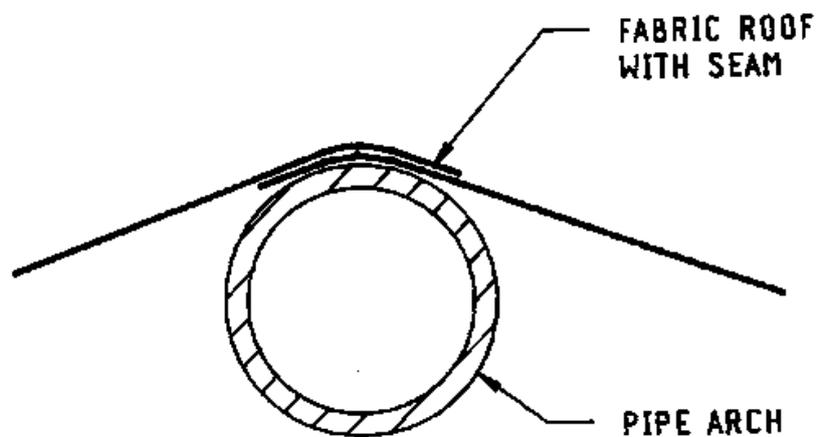


Figura 5.136 Vista em corte de contato de membrana com contato rígido de forma tubular (SHAEFFER, 1996).



Figura 5.137 Vista da cobertura de um galpão no Aeroporto de Lyon Satolas, costura sobre vedação metálica externa, disponível em TENSINET(2007).

Outro exemplo de contato entre membrana e um alinhamento rígido refere-se o contato da membrana interna e a vedação vertical em um caixilho envidraçado do Terminal do Aeroporto de Denver, Figura 5.138, Este contato não é percebido por a cobertura ser composta por dupla membrana de PTFE afastadas entre si por 60 cm, sendo a membrana externa uma tensoestrutura que avança o limite da vedação do edifício mantendo a borda livre, Figura 5.139. A aplicação em membrana dupla se fez necessária devida a sua localização e à proximidade das montanhas Rochosas nos Estados Unidos, de clima rigoroso tanto no inverno como no verão.



Figura 5.138 Aeroporto Internacional de Denver tendo a cobertura a forma inspirada nas Montanhas Rochosas, em têxtil estrutural PTFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:DEN-JEP_TERMINAL.JPG (04/07/2007).



Figura 5.139 Borda livre da tensoestrutura externa do Aeroporto de Denver, disponível em www.firestonebpco.com/portfolio/epdm/ (17/07/2009).

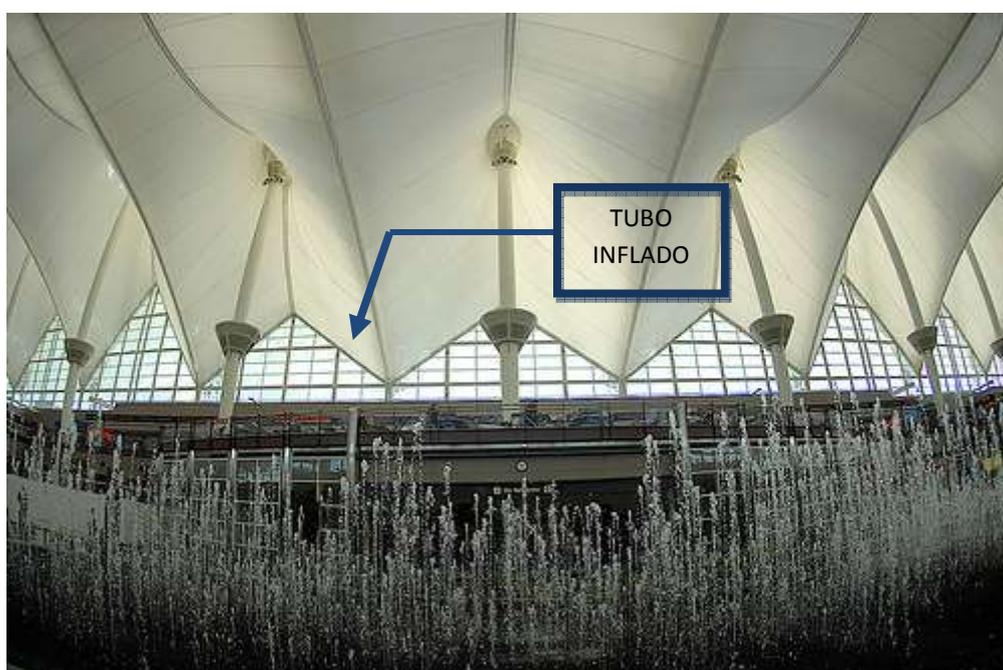


Figura 5.140 Tensoestrutura interna e alinhamento do contato do caixilho envidraçado do Terminal do Aeroporto de Denver, disponível em www.flickr.com/photos/mmitchell/390752661/ (16/07/2009)

Como os vãos da construção do Terminal são grandes, 300m X 70m em planta e, as variações da flecha da membrana externa são de grande amplitude, razão das cargas de neve e outras condições adversas de carregamentos optaram-se pela ligação entre vedação vertical e a tensoestrutura interna, Figura 5.140, através da soldagem no topo da vedação vertical de uma membrana inflada tubular, segundo SHAEFFER (1996) os tubos pneumáticos

possuem 1m de diâmetro não só para atender a distância entre as camadas de membranas, mas, também, devido ao fechamento, caixilho envidraçado, ser em grande extensão e em balanço com altura máxima de 18m, desta forma, estes elementos pneumáticos são capazes de acompanhar as movimentações tanto da cobertura como da vedação pela flexibilidade.

Para tensoestruturas e arquiteturas têxteis que resultam em pequenas deflexões e movimentações e quando em contato com um alinhamento rígido, indica-se a inserção de uma tira contínua do tecido neste alinhamento para proporcionar um menor desgaste por atrito no contato, Figura 5.141. No caso de contato com formas tubulares e cabos o mais adequado é a adoção de revestimento plástico, no entanto e para minimizar os custos, podem-se utilizar bainhas ou balonetes do tecido da tensoestrutura em questão.

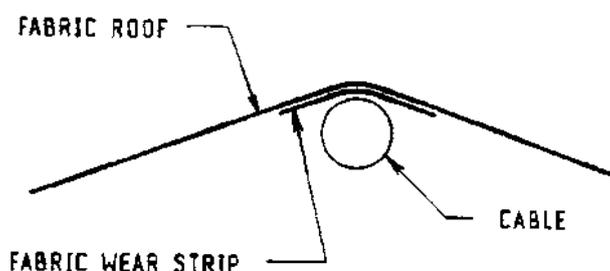


Figura 5.141 Detalhe em corte de tira de contato com elemento rígido, no caso um cabo (SHAEFFER, 1996).

Para o contato do tecido em apoio estrutural e quando há a necessidade inclusive de ligação fixa entre ambos devido à própria condição estrutural de controle das deflexões do conjunto, normalmente se utiliza uma base de chapa metálica para contato com o apoio e fechando em sanduíche da membrana com outra placa, sendo a borda da membrana soldada ou costurada a um cabo, como mostrado o esquema genérico na Figuras 5.142.

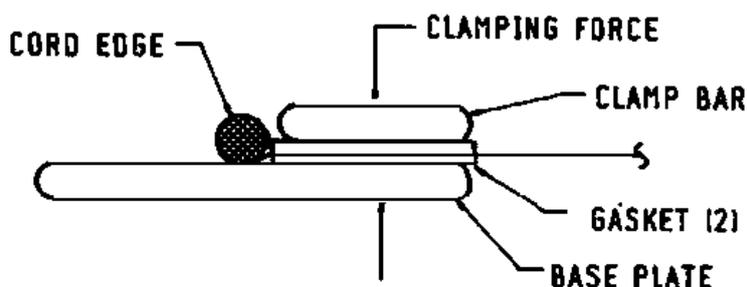


Figura 5.142 Ligação fixa da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).

Normalmente, estas conexões são executadas de forma simples com placas isoladas e com fixação por parafusos quando a membrana deve transpassar a ligação, Figura 5.143, nestes casos as conexões utilizadas geralmente, executadas com materiais metálicos, em barras de alumínio anodizado ou com pintura eletrostática e prendedores de aço inoxidável, devem fornecer uma interface direta entre o tecido e as paredes ou outros elementos da construção convencional.

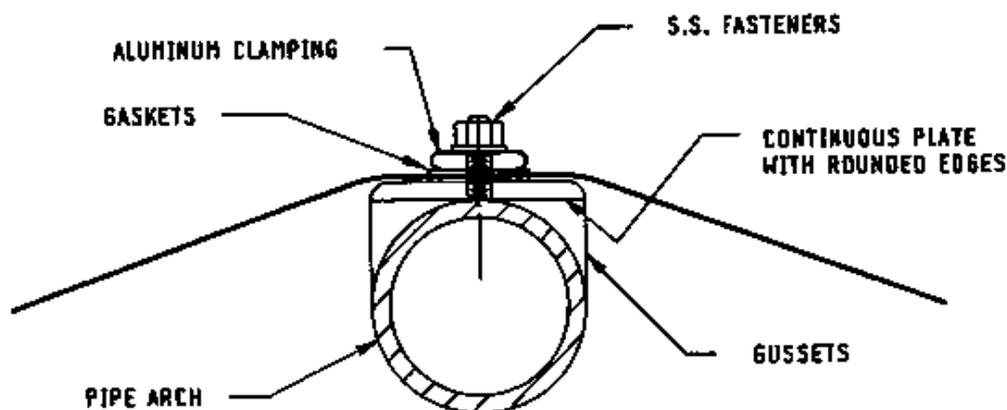


Figura 5.143 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).

Quando a ligação é linear e de término do tecido, este é preso pela borda ao longo do comprimento entre a base de apoio rígido ou encontro rígido e a barra, Figura 5.144, procurando-se fazer um “sanduíche” com a membrana de vedação e quando necessário com a aplicação de uma massa de calafetar.

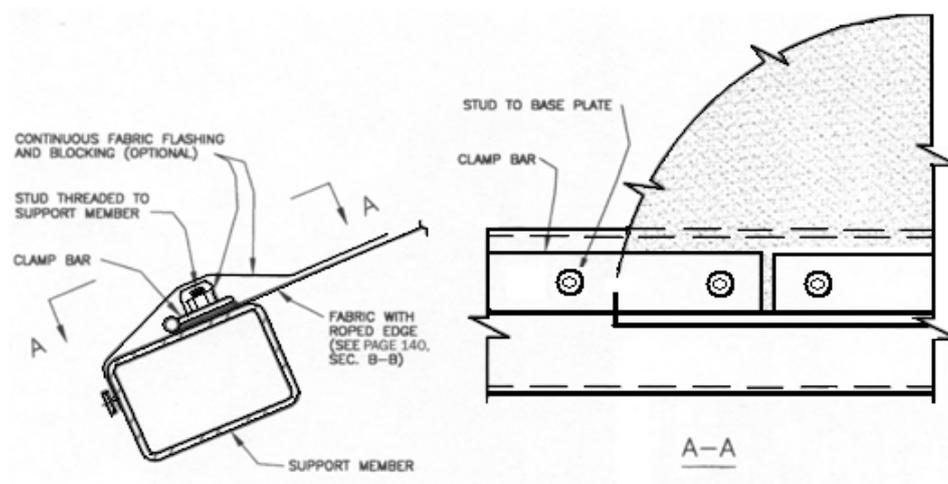


Figura 5.144 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004).

Quando a tensoestrutura ou arquitetura têxtil se fixa em uma viga baldrame pela face lateral e ao longo de todo o comprimento, indica-se a utilização do esquema apresentado na, Figura 5.145 e da mesma forma preconizada anteriormente, ou seja, procurando-se fazer um “sanduíche” com a membrana de vedação e quando necessário com a aplicação de uma massa de calafetar.

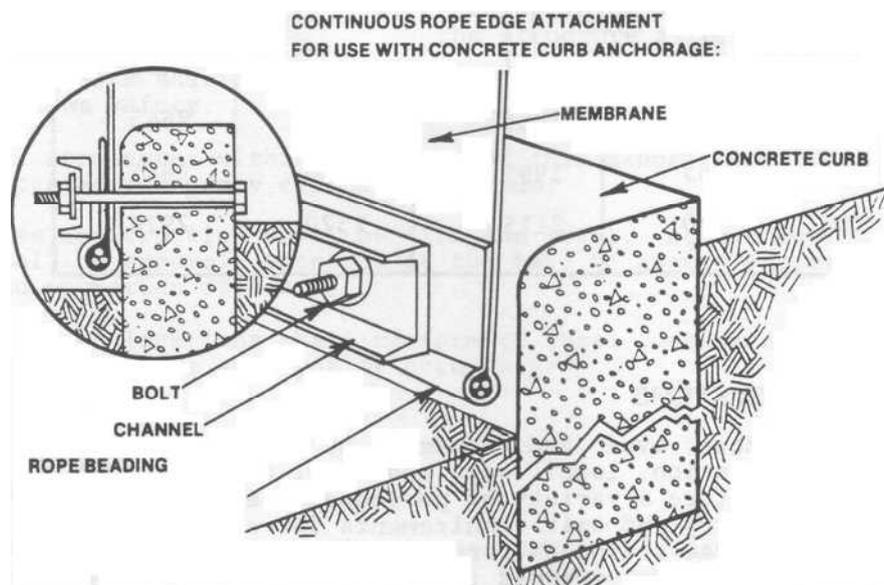


Figura 5.145 Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).

Quando a fixação não pode ser na lateral ou porque deve atender a inclinação do tecido, de forma a minimizar os esforços de contato, indica-se a utilização de apoio na forma trapezoidal como ilustrado na Figura 5.146.

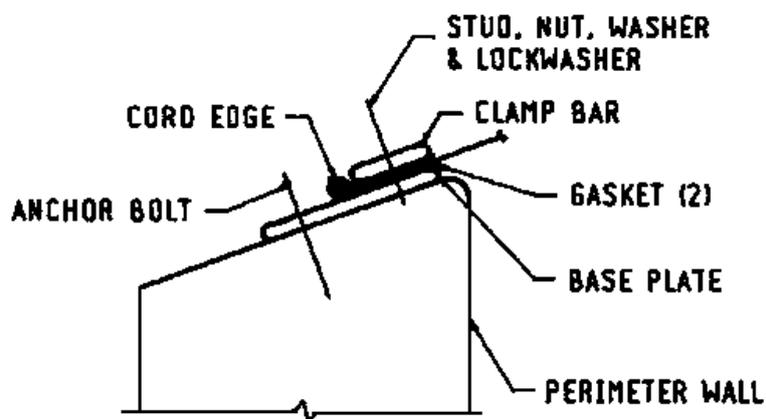


Figura 5.146 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).

A fixação em vista superior, Figura 5.147, tem demonstrado melhores resultados por proporcionarem a menor concentração de tensão na membrana, nota-se que as placas não são contínuas e sim alternadas de com cerca de 600 mm de comprimento.

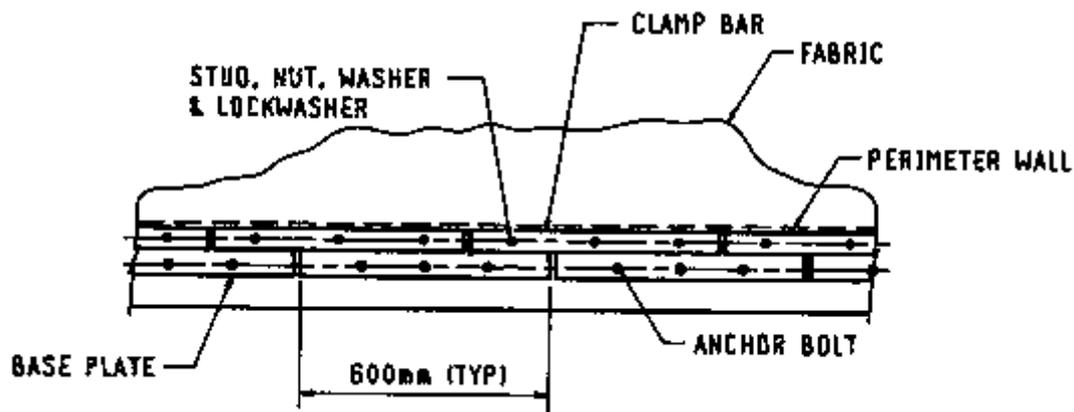


Figura 5.147 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).

Para todos os casos apresentados anteriormente, caso o alinhamento seja circular ou em curva, a fixação deverá acompanhar este formato curvo e para qualquer outra situação o estudo da fixação deve ser concebido para que não ocorram distorções na membrana, na situação, a membrana de calafetação é indicada para a vedação e servem, quando necessário, para uniformizar a distribuição das tensões.

No projeto de Frei Otto e Buro Happold para o Palácio de Tuwaiq, podem ser notados contatos e várias situações de conexões com alinhamentos rígidos e inclusive circulares, sendo na Figura 5.148 (a) e (b), vista superior externa na fase de construção e vista interna, respectivamente apresentam duas tensoestruturas em forma de concha que no topo chegam a um anel metálico apoiado em barras tubulares em mãos francesas e fechamento de topo chanfrado fixado em viga perimetral do edifício.

Neste projeto, de Frei Otto e Buro Happold para o Palácio de Tuwaiq, nota-se que as tensoestruturas em concha avançam o caixilho envidraçado, mantendo contato com este e formando um beiral com bordas catenárias, Figura 5.149(a). Na vista interna, Figura 5.149 (b), nota-se o alinhamento do contato da membrana com o caixilho envidraçado e o contato da membrana com a parede curva, em que o detalhe metálico fixo na parede se comporta como uma calha.



Figura 5.148 (a)

Figura 5.148(b)

Figura 5.148 (a) e (b) Vistas do Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais, disponível em <http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007).

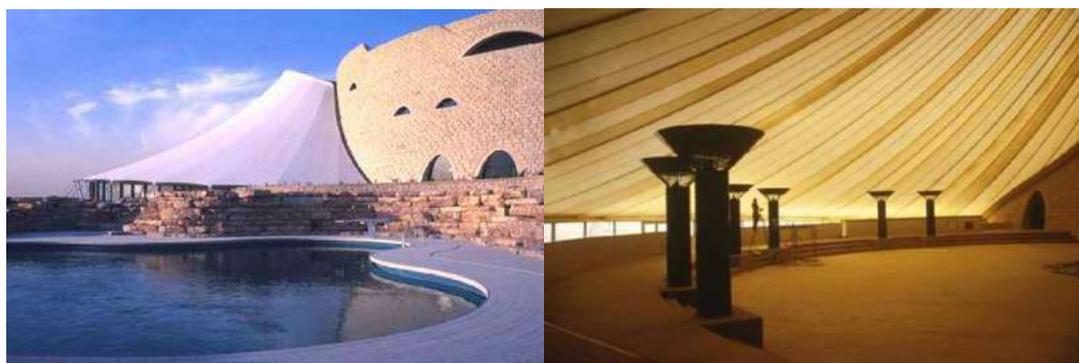


Figura 5.149 (a)

Figura 5.149(b)

Figura 5.149 (a) e (b) Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais em formato de concha, disponível em <http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007).

A seguir, nas Figuras 5.150 (a) e 5.150 (b) encontram-se respectivamente uma tensoestrutura de cor cinza com inserções de caixilhos para iluminação direcionada, na parte inferior desta Figura observa-se uma tenda em rede de cabos coberta com vidros pintados como visto no detalhe da vista interna desta tenda.

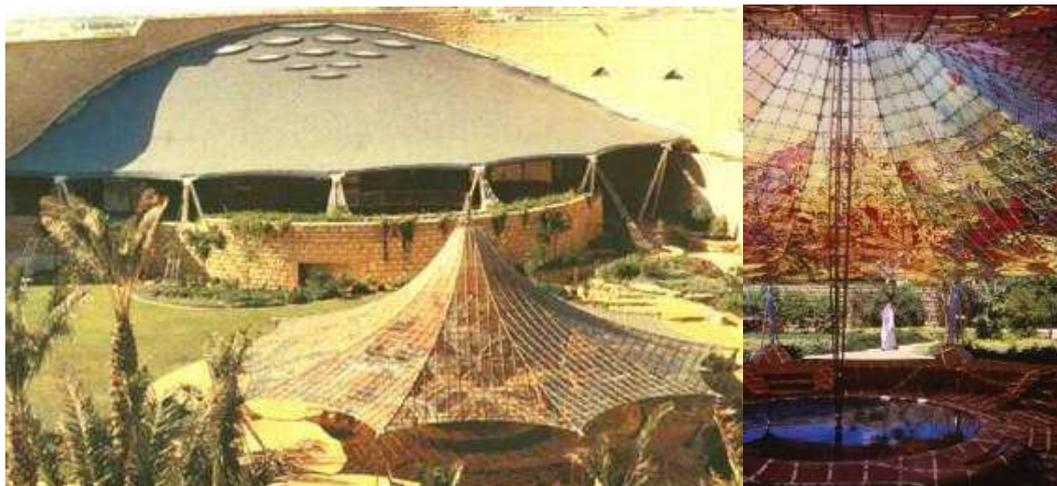


Figura 5.150 (a)

Figura 5.150(b)

Figura 5.150 (a) e (b) Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxtil estrutural e tenda em rede cabos com vidros pintados, disponível em <http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007).

Na Figuras 5.150 (a) indica-se que a cobertura encontra-se com a parede curva, mas neste caso a fixação é pontual, formando catenárias de curvatura reduzida e, sobre este alinhamento encontra-se um perfil metálico formando um rufo. A seguir, nas Figuras 5.151(a) e (b) podem ser observados a extensão em planta e alguns detalhes das membranas.

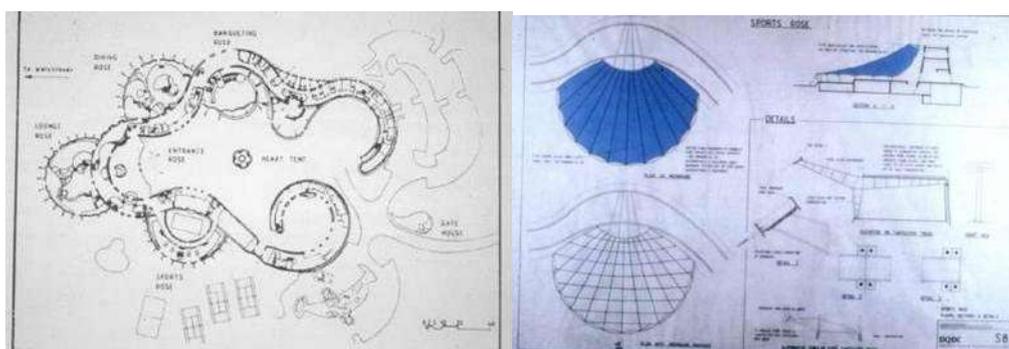


Figura 5.151 (a)

Figura 5.151 (b)

Figura 5.151 (a) e (b) Partes gráficas do projeto do Palácio de Tuwaiq de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais, disponível em <http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007).

Outra forma de fixação de membrana com apoios lineares estruturais, utilizado inclusive para construções permanentes de arquiteturas têxteis e tensoestruturas corresponde à união com costura através de ilhós pré-fabricados em bordas reforçadas, conforme exemplo de aplicação na Figura 5.152 (a) costuras em várias direções em um canto da construção e em 5.152 (b) costuras sobre um arco superior da cobertura.



Figura 5.152 (a)



Figura 5.152 (b)

Figura 5.152 (a) e (b) Ligação de membrana com alinhamento rígido através de costuras, em galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.

Apesar de fornecer a noção inicial de uma fixação das membranas menos robusta ou mais rudimentar, esta aplicação é de fato de muita eficiência e resistência, uma das justificativas podem ser tomadas pelo projeto do galpão em Zaventem, que foi especificado em dupla membrana, a externa para proteção e a segunda de fechamento e apoio de chapas de isolamento térmico. Para isto a estrutura treliçada metálica presta de fixação tanto no alinhamento inferior como superior das vigas, Figura 5.153.



Figura 5.153 Vista da dupla membrana fixada por costura no banzo inferior e superior da viga treliçada, em fase de montagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.



Figura 5.154 Vista interna em fase de montagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.

Na Figura 1.154 nota-se que parte posterior ainda em processo de montagem o interior permanece com translucidez e na parte frontal da Figura já há a opacidade devido à instalação das placas de isolamento, Figura 5.155.



Figura 5.155 Vista das placas de isolamento térmico e membrana interna sem contato com a calha de drenagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.



Figura 5.156 Vista da membrana externa e bainhas de proteção de coxões a serem costuradas no galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.

Na Figura 1.156 a membrana externa já está instalada, cobrindo as placas e com fixação através de soldagem de cabo a calha e esta com uma borda dentro desta. Notam-se também as bainhas que serão costuras para proteger as conexões

Como já citado sobre a necessidade de envolver com membrana encontros tubulares e principalmente indicado neste caso da Figura 5.157 que se trata do encontro com a calha de drenagem da cobertura.



Figura 5.157 Vista da membrana externa com sobreposição em tubulação de drenagem no galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009.

Mas observando o detalhe apresentado na Figura 5.157, critica-se aqui que a soldagem não é adequada ou corretamente executada, tendo em vista que se trata de colagens sucessivas de pequenos pedaços do tecido e ainda como não foram encontradas em pesquisas em normas relativas e de um método para estas soldagens, mas somente a especificação básica dada pelos fabricantes sobre a dimensão de sobreposição de soldagem, já indicada anteriormente na Figura 5.118, justifica-se, portanto como uma condicionante de projeto de grande fragilidade de desempenho e durabilidade.

Como proposta deste trabalho sobre a definição das condicionantes, pauta-se que a finalidade das membranas em seu maior emprego é para vedação e, portanto de garantia de impermeabilidade, como um caso já utilizado como

medida de impermeabilização para a casca da OCA no Parque do Ibirapuera em São Paulo, Figura 5.157 e, da mesma forma que membranas de PVC já são correntemente aplicadas em piscinas que possuem muitos pontos de instalações tanto hidráulicas como também de iluminação, Figura 5.158, fornecendo assim a aderência de métodos já conhecidos e normalizados em impermeabilizações com mantas.



Figura 5.158 Vista da Oca no bairro do Ibirapuera em São Paulo, após a recuperação em que recebeu uma membrana branca de PVC para impermeabilização, disponível em <http://www.projetodesign.com.br/arquitetura/arquitetura8.asp> (04/07/2007).



Figura 5.159 Piscina revestida de membrana de PVC, disponível em http://www.institutodopvc.org/publico/index.php?a=noticia&busca=1¬_id=110 (04/07/2007).

Desta forma indica-se neste trabalho que a forma adequada para as soldagens de membranas envolvendo pontos elevados, furos ou outros pontos como tubos, dutos e ralos pode ser seguramente referenciada em práticas já consolidadas de impermeabilizações de construções com mantas flexíveis, bem como, detalhes complementares de arremates com elementos de vedação, estruturas e outros detalhes de intersecção de subsistemas da construção como finalização vertical da impermeabilização e a membrana de cobertura, e contatos com grelhas, rodapés, soleiras, entre outros sistemas que venham ocorrer.

Como exemplo desta exposição e de direcionamento para um adequado atendimento a condicionante de forma e desempenho que são estes contatos com outros subsistemas indica-se como se pode solucionar a intersecção de um tubo e membrana aplicando-se a mesma metodologia preconizada para a impermeabilização com manta, substituindo-se a base que é um piso pela soldagem com a membrana da arquitetura têxtil ou tensoestrutura, conforme Figura 5.160 e a presença de um ralo na superfície, Figura 5.161.



Figura 5.160 Etapas para execução de impermeabilização de tubo saliente que podem ser equivalentes para as arquitetura têxteis e tensoestruturas, disponível em <http://casa.abril.com.br/arquitetura/livre/semsegredos/imper/5b.shtml>, em 20/07/2009.

Na Figura 5.161 demonstram-se as atividades indicadas para a execução da soldagem da manta de impermeabilização em um ralo, onde se nota que a manta tubular dentro do tubo deve ultrapassar a base a ser soldada e cortada em tiras que devem ser soldadas a base, na seqüência um pequeno pedaço de manta com a largura correspondente a soma do diâmetro do tubo mais duas vezes o comprimento de soldagem das tiras deve ser cortado em cruzes e as bordas devem ser dobradas para dentro e soldadas na base assim como todo o restante deste.

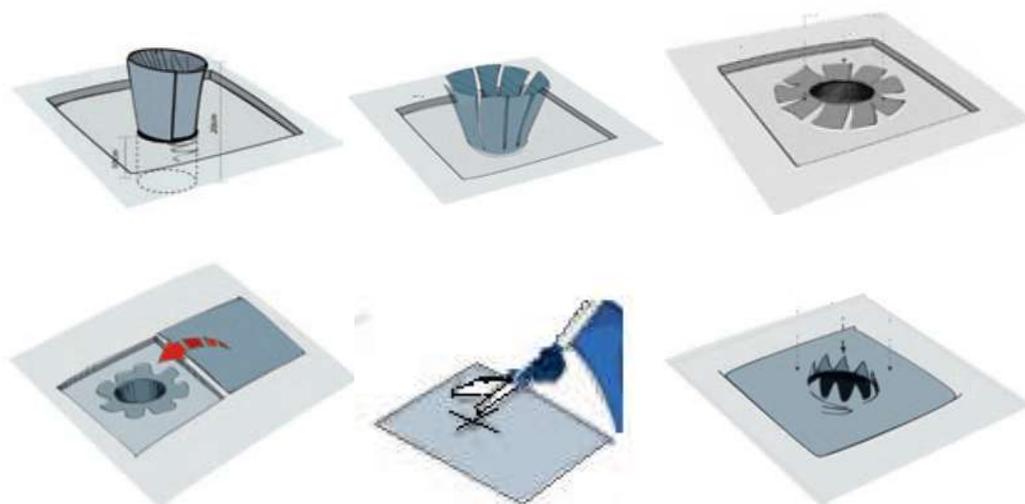


Figura 5.161 Etapas para execução de impermeabilização de um ralo que podem ser adaptadas para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, adaptado do manual técnico completo da empresa Lwart Química disponível em http://www.lwart.com.br/site/content/quimica/manual_tecnico.asp em 20/07/2009

Desta descrição e adaptando-se a aplicação às tensoestruturas e arquiteturas têxteis, cita-se que quando da necessidade de fixação de um tubo em forma de ralo na superfície utilizam-se quando as cargas concentradas desta fixação ultrapassam a resistência da membrana uma conexão em placas que forma um sanduíche da membrana e quando necessário com massa de calafetação conforme Figura 5.162, portanto a aplicação descrita será complementar e sobre a conexão metálica.

Indica-se neste trabalho também a possibilidade e também em uso nos subsistemas construtivos de impermeabilização de produtos específicos para a transição entre tubulações e mantas, permitindo uma adequada soldagem e

vedação, como o boquete normalizado pela NBR 15357 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, como o produto da Figura 5.163 que ilustra a aplicação na forma de ralo.



Figura 5.162 Detalhe da conexão para fixação de tubulação na membrana do Gerry Weber Stadium, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3939.html> em 17/07/2009.

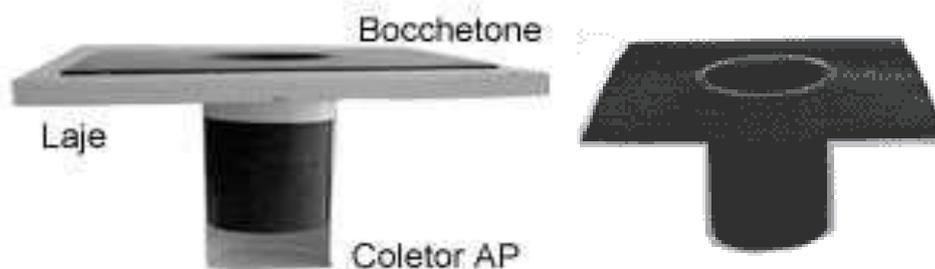


Figura 5.163 Bocchetone da empresa Impermat Impermeabilizantes disponível em <http://gbimper.com.br/bocchetone.html> em 20/07/2009

A conexão e contato com uma borda rígida ou o término em apoios estruturais barriformes no caso de arquiteturas têxteis e tensoestruturas pneumáticas em colchões duplos de membranas ou de filme de ETFE são realizadas através de dobramentos e fixação que podem ser entre placas parafusadas, coladas ou soldadas em cada dobramento como ilustrado na Figura 5.164.

O dobramento permite que o ar fique confinado e garante um melhor desempenho dos colchões e correspondentemente aos compressores em razão da não ocorrência de perdas por vazamentos.

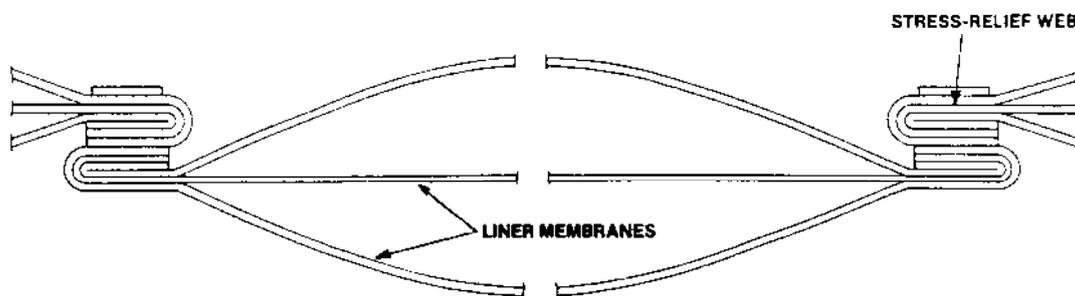


Figura 5.164 Fixação através de dobramentos de membranas ou filmes de ETFE ao longo de contatos rígidos (AFSI, 1977).

Quando a fixação não é sobre um alinhamento de uma viga ou perfil, mas um alinhamento realizado através da fixação de um colchão, com dupla membrana ou filme, sobre uma superfície estrutural como uma laje ou placas de aço soldadas a ligação não exige os dobramentos sucessivos e a divisão de peças, mas se indica o aproveitamento do comprimento da membrana ou filme quando as dimensões dos colchões atendem ou a quando a extensão adequada de montagem permitem. Este método de fixação encontra-se ilustrado na Figura 5.165, onde as membranas são coladas ou soldadas, alternativamente podem ser parafusadas com conexões com placas de aço em sanduíche, como aplicado no Cubo Aquático, vide Figura 5.70 e Figura 5.166 da fixação dos colchões na Villa Nurbs.

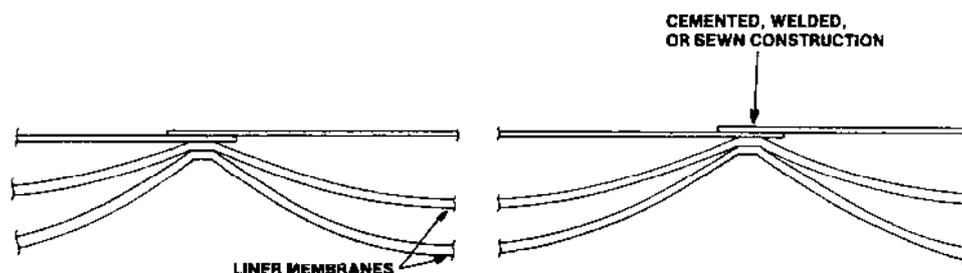


Figura 5.165 Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).

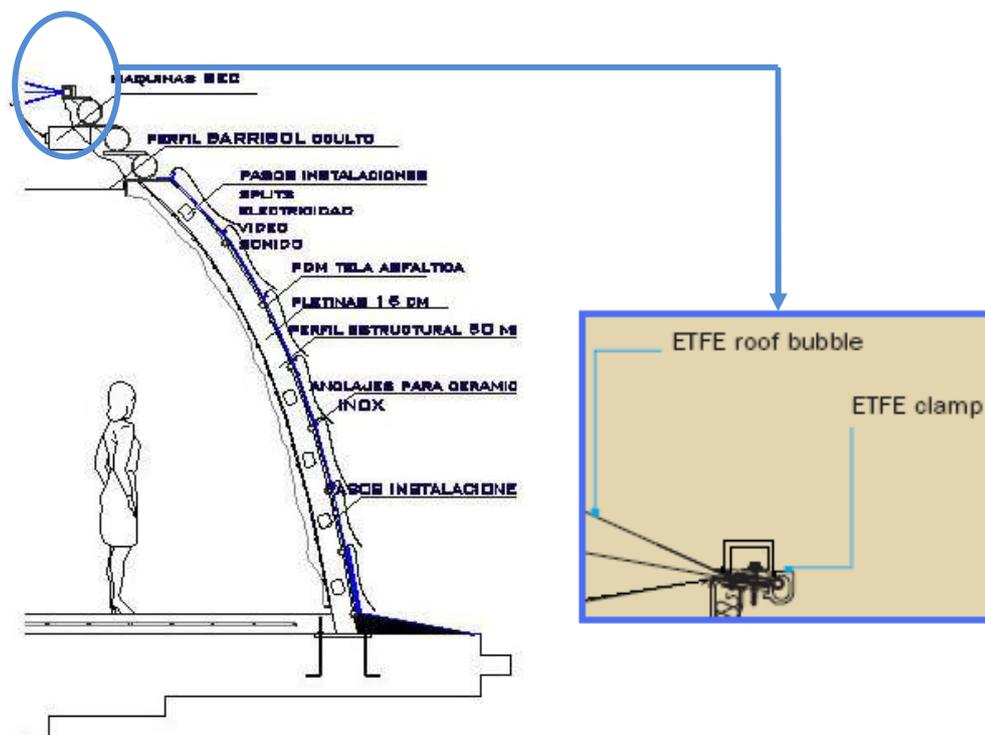


Figura 5.166 Fixação através de conexões metálicas em filmes de ETFE ao longo de contatos rígidos no Vila Nurbs disponível em disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009), detalhe típico adaptado GONCHAR (2008).

O Architectural Fabric Structures Institute – AFSI (1977) indica que a fixação de arquiteturas têxteis ou tensoestruturas pneumáticas sobre uma estrutura de apoio e esta apoiada sobre paredes estruturais resultam em dimensões de espessura de paredes menores devido à diferença do peso entre a membrana e as coberturas rígidas convencionais, mas caso, as arquiteturas têxteis ou tensoestruturas pneumáticas sejam projetadas para serem apoiadas angularmente por paredes estruturais, o resultado é de espessuras maiores, portanto a adoção de fixação junto ao solo justifica-se por eliminar os problemas de flexão que as tensões das membranas pneumáticas geram. De modo esquemático a AFSI apresenta um comparativo entre estas situações de apoio, Figura 5.167.

Um exemplo de apoio contínuo e de fixação de arquitetura têxtil ou tensoestrutura pneumática junto ao solo é a utilização de perfis dobrados formando um sanduíche de chapas e as membranas como demonstrado no detalhe da Figura 5.168. Nesta Figura nota-se que foram indicados cabos sobre a membrana pneumática, esta solução é muito indicada quando há a necessidade de aumento da ancoragem para evitar a sucção da construção,

funcionando, portanto, como uma rede de cabos que são fixados nos parafusos de compressão do sanduíche e de fixação ao apoio junto ao solo.

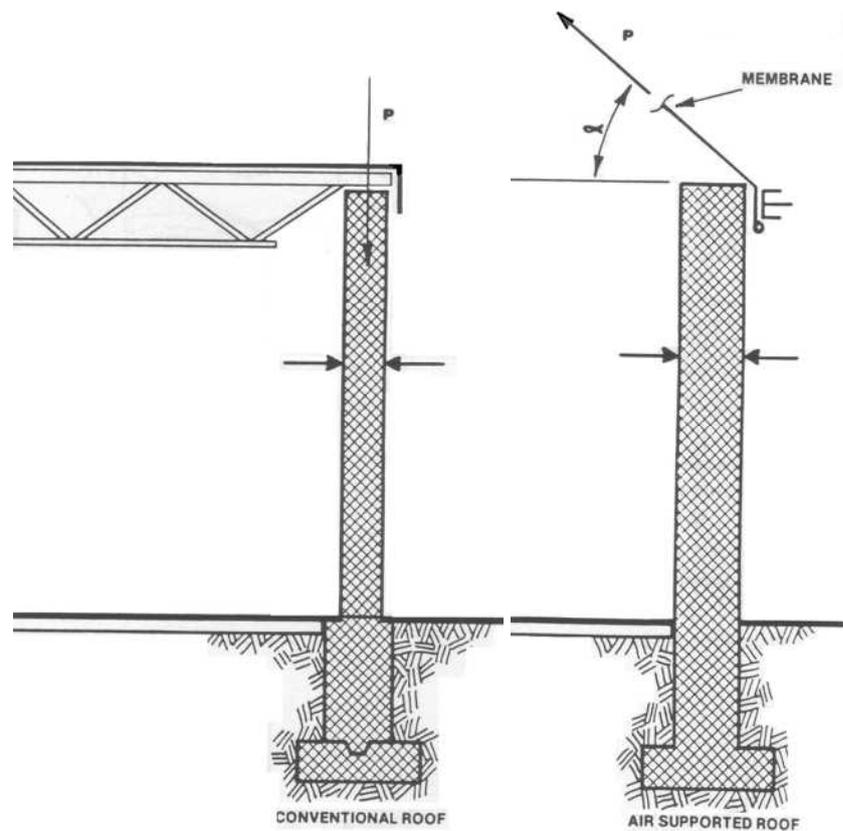


Figura 5.167 Esquema comparativo de apoio de membrana pneumática fixada sobre uma estrutura e quando diretamente e de modo angular a parede estrutural (AFSI, 1977).

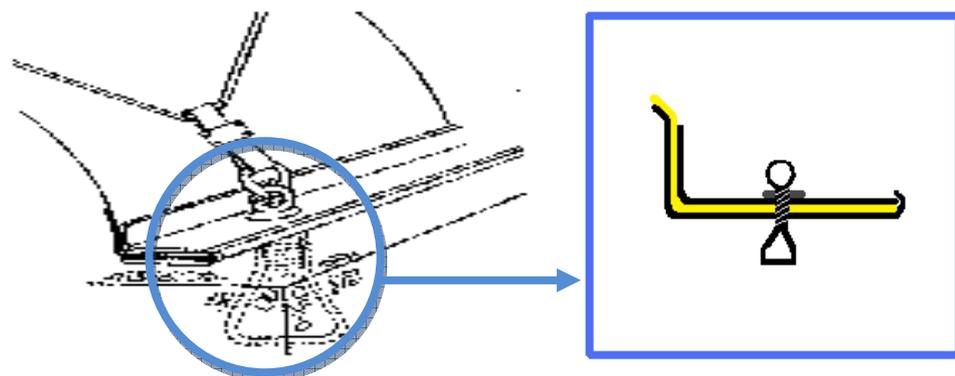


Figura 5.168 Indicação apoio contínuo e com um entrelaçamento de cabos para sustentação de uma estrutura pneumática (NIJT, 2002) e detalhe desenvolvido pela autora deste trabalho.

Quando os vãos da construção a ser coberta com arquitetura têxtil ou tensoestrutura pneumática, os colchões podem ser apoiados diretamente sobre as paredes, tomando-se o cuidado de reduzir o atrito de contato e ainda prever cantos arredondados, bem como, seguindo orientação da AFSI (1977) de serem utilizadas formas onde a membrana seja horizontal em contato com a parede vertical, conforme ilustrado na Figura 5.169.

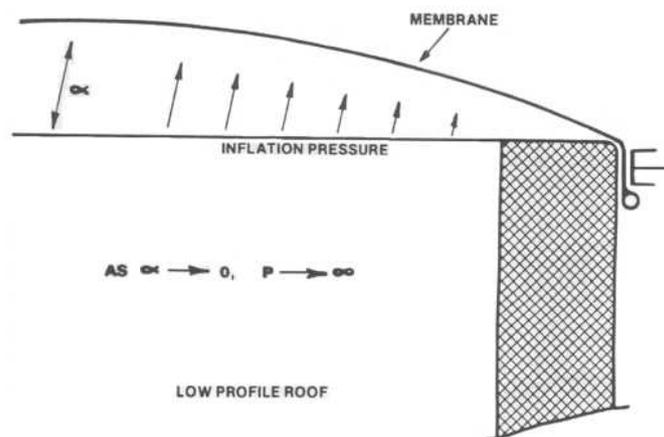


Figura 5.169 Detalhe para pequenas construções pneumáticas apoiadas diretamente sobre paredes (AFSI, 1977).

5.3.2.4 Conexão de fixação cabo-cabo

O projeto das conexões de cabo-para-cabo deve possuir condições de ajustes de comprimentos nos terminos dos cabos e de rotações nestes pontos, pois os cabos podem girar em várias direções sob condições e combinações diferentes de cargas, mas a principal função das conexões é a resistência e a transmissão das forças de tração entre os cabos e também aos apoios. Os diferentes mecanismos que podem ser utilizados variam em adaptabilidade, economia, elegância visual, confiabilidade, simplicidade e condições de montagem ou fabricação.

O tipo de ligação mais simples, econômico e de montagem fácil é o olhal formado pelo próprio cabo através de cliques ou prendedores ou grampos parafusados e normalmente emprega uma terminação olhal em chapa adaptável e aberta denominada de sapatilha.

Segundo HUNTINGTON (2004) esta ligação em olhal, Figura 5.170 e detalhes nas Figuras 5.171 e 5.172, é indicada a aplicação em terminações de cabos de diâmetros até 55 mm e preferencialmente em obras temporárias como as tendas e quando as exigências estéticas não sejam elevadas assim como de resistência reduzida e de orçamento restrito, por outro lado possui a habilidade de ajustes de comprimentos e absorver bem as rotações.



Figura 5.170 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004).

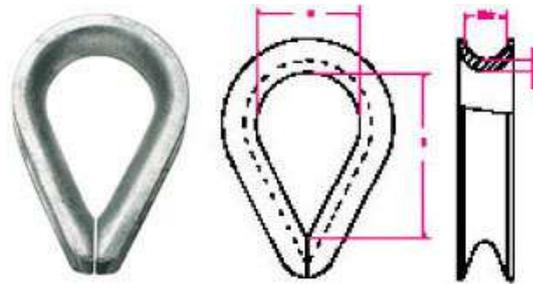


Figura 5.171 Detalhe de sapatilha tipo leve do grupo MORSING CABOS DE AÇO&CARL STAHL, disponível em <http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2> em 27/07/2009.



Figura 5.172 Detalhe do grampo tipo leve do grupo MORSING CABOS DE AÇO&CARL STAHL, disponível em <http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2> em 27/07/2009.

Uma opção de ligação com aparência melhor, de maior confiabilidade e que caracterizam um nível maior tecnológico são as conexões forjadas ou moldadas, que por outro lado são mais caras e limitam os comprimentos em dimensões fixas das ligações ou possui pequenos ajustes através de roscas nas extremidades.

Estas conexões forjadas ou moldadas exigem a fixação ou por prensagem, ou soldagem por caldeamento (preenchimento de metal líquido) ou soldagem convencional, há situações que os cabos devem ser preparados para melhorar a ancoragem através de abertura das extremidades dos fios do cabo, devido a estas condições indica-se a execução in loco somente para pequenas conexões, mas é desejável que estas ligações sejam pré-fabricadas, além do que esta opção torna o trabalho de montagem mais rápido, seguro e confiável.

HUNTINGTON (2004) citando a empresa projetista Crosby, indica que em atividades projetuais de dimensionamento, a aplicação das conexões forjadas geram um aumento localizado da seção resistente nos encontros cabo-cabo, podendo duplicar o diâmetro e, portanto, podem conduzir a redução da capacidade do cabo, de modo geral em torno de 10 por cento para cabos de diâmetros a partir de 25mm e de cerca de 20 por cento para cabos com diâmetros menores que 25mm.

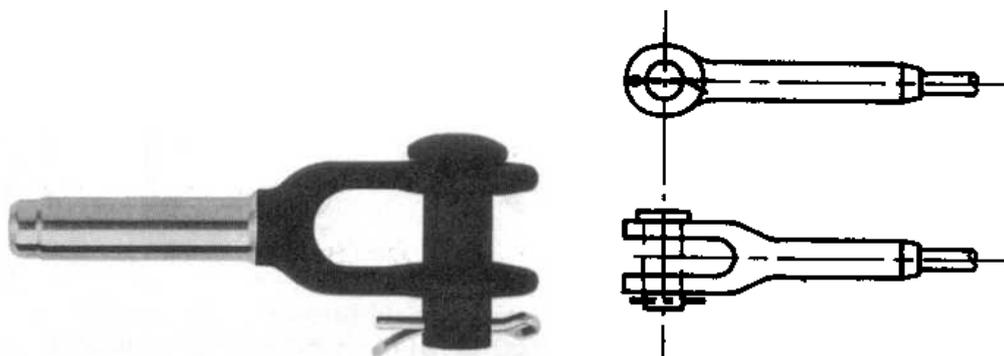


Figura 5.173 Manilha aberta tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).

Os terminais em manilha como na Figura 5.173 são cavilhados e permitem rotações em dois eixos. Já os terminais fechados são econômicos para uso nos cabos de 60mm ou diâmetro menor, conforme Figura 5.174. Para diâmetros maiores de cabos indicam-se os terminais ilustrados nas 5.175 e 5.176 sendo que podem ser encontrados com junta rosqueável.

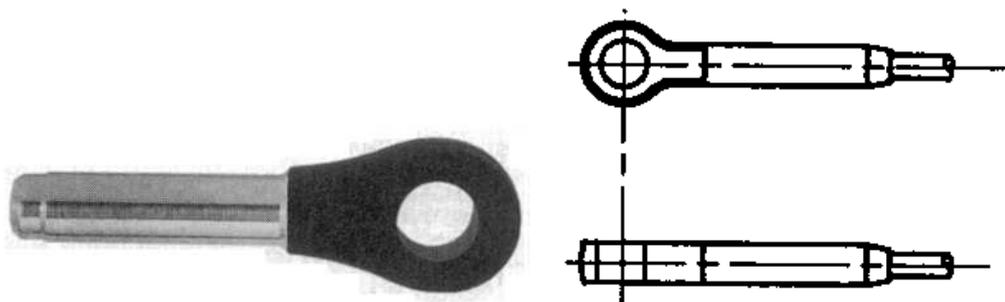


Figura 5.174 Olhal fechado tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).

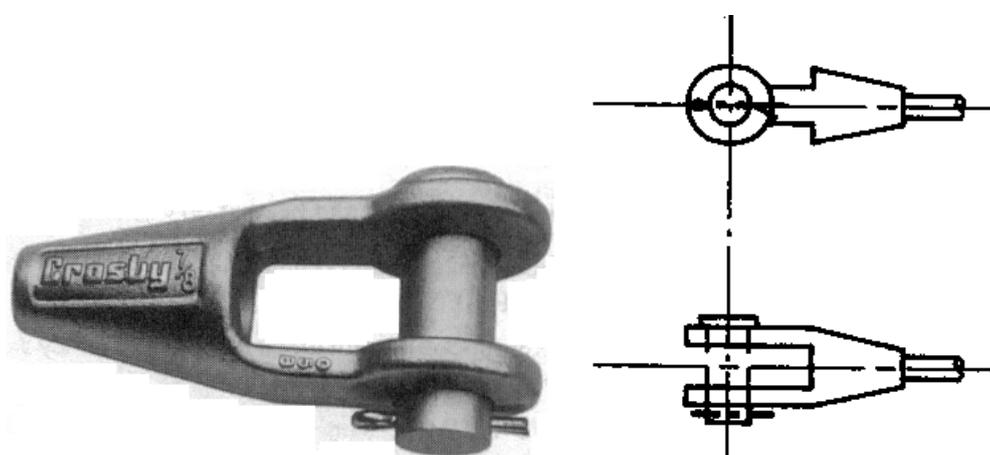


Figura 5.175 Manilha tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).

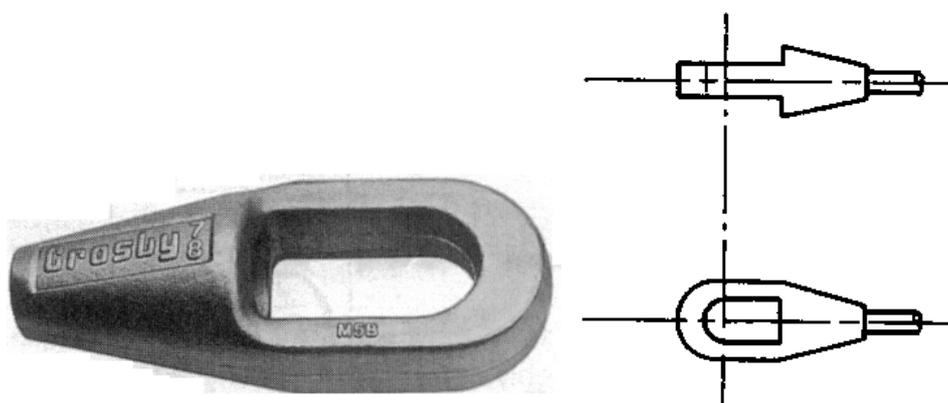


Figura 5.176 Terminação fechada tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).

No mercado há outros tipos de acessórios para ligações terminais como o apresentado no esquema da Figura 5.177 que a ligação com o cabo é soldável e com a ligação que pode ser aberta em manilha ou fechado em olhal é rosqueável como um parafuso com olhal ou porca olhal respectivamente, exemplos da Figura 5.178.

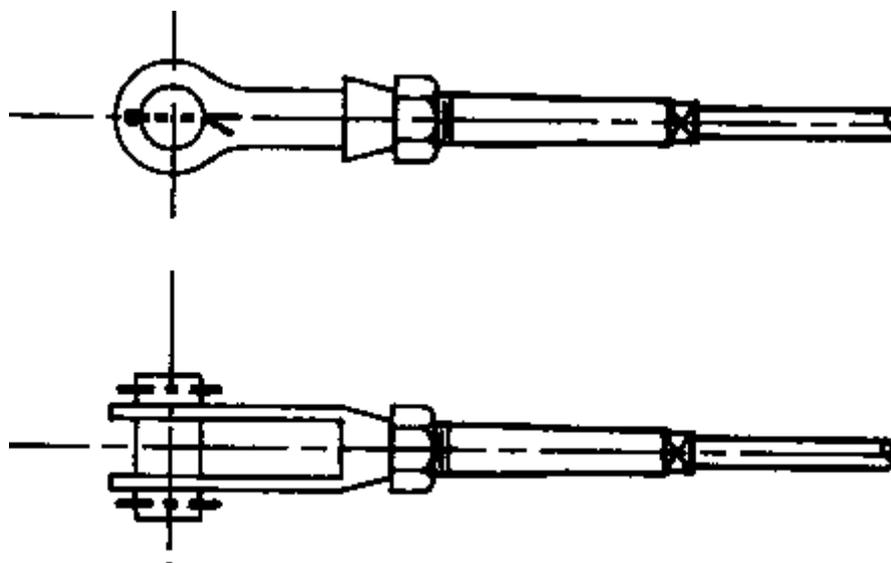


Figura 5.177 Esquema de variação de terminação em manilha rosqueável e com ponto de ligação soldável com o cabo (SHAEFFER, 1996).

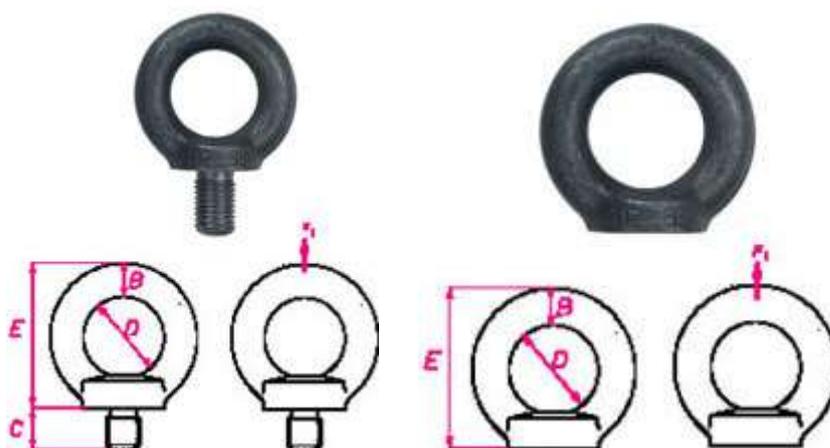


Figura 5.178 Detalhes de parafuso olhal e porca olhal, respectivamente, disponível em <http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2> em 27/07/2009).

Outra forma de conectar terminais de cabos em si é através de acessórios que podem ser reconhecidos como tensores ou sargentos ou esticadores, Figura 5.179, dependendo da empresa ou mesmo profissional. Estes acessórios de

conexão são normalmente ajustáveis, de custo baixo e HUNTINGTON (2004) classifica que visualmente conduzem às tensoestruturas e arquitetura têxteis um senso técnico maior e de profissionalismo o que não corresponde com um maior grau de beleza e refinamento estético.



Figura 5.179 Detalhe de ligação de um esticador (HUNTINGTON, 2004).

Na Figura 5.180 nota-se a aplicação em destaque, de um esticador, na obra Millennium Dome assim como uma seqüência de prendedores tanto na manutenção da distância entre cabos como na fixação entre cabo e membrana.

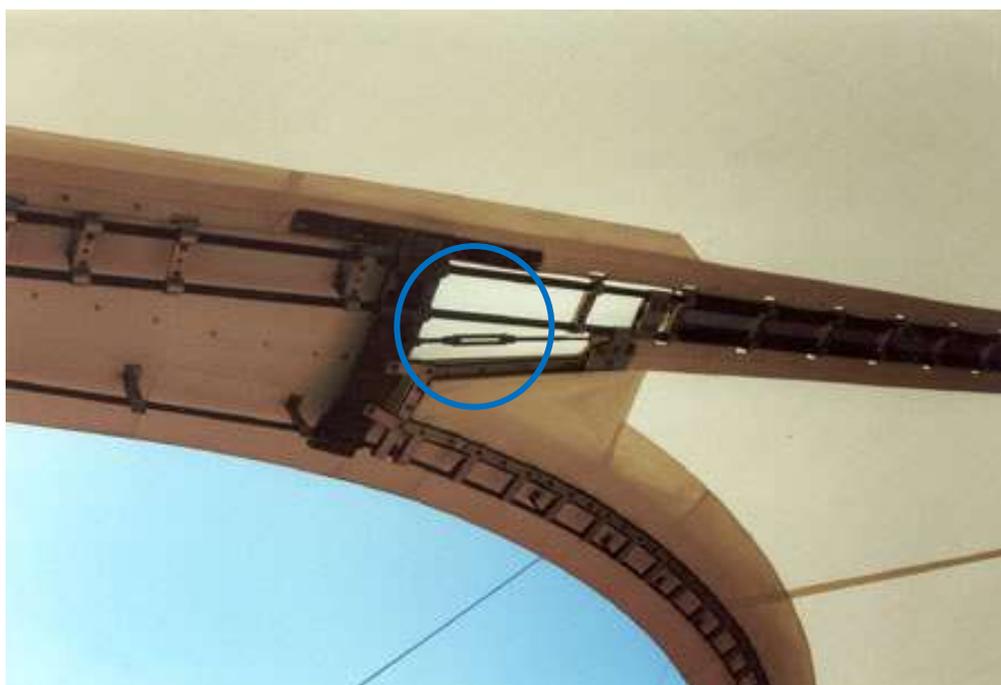


Figura 5.180 Aplicação de esticador na obra do Millennium Dome em Londres, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009

A seguir, Figura 5.181, apresenta-se a esquematização da aplicação de esticadores na rede de cabos de sustentação da cobertura do Rink de patinação em Munich, notando-se que são dois esticadores em cada lado da presilha de fixação do cabo guia de borda esta forma de aplicação se justifica

para facilitar os ajustes na montagem e também nas ações de manutenção quando há a necessidade de reprotensão, razão da aplicação de uma presilha e duplo esticadores por direção.

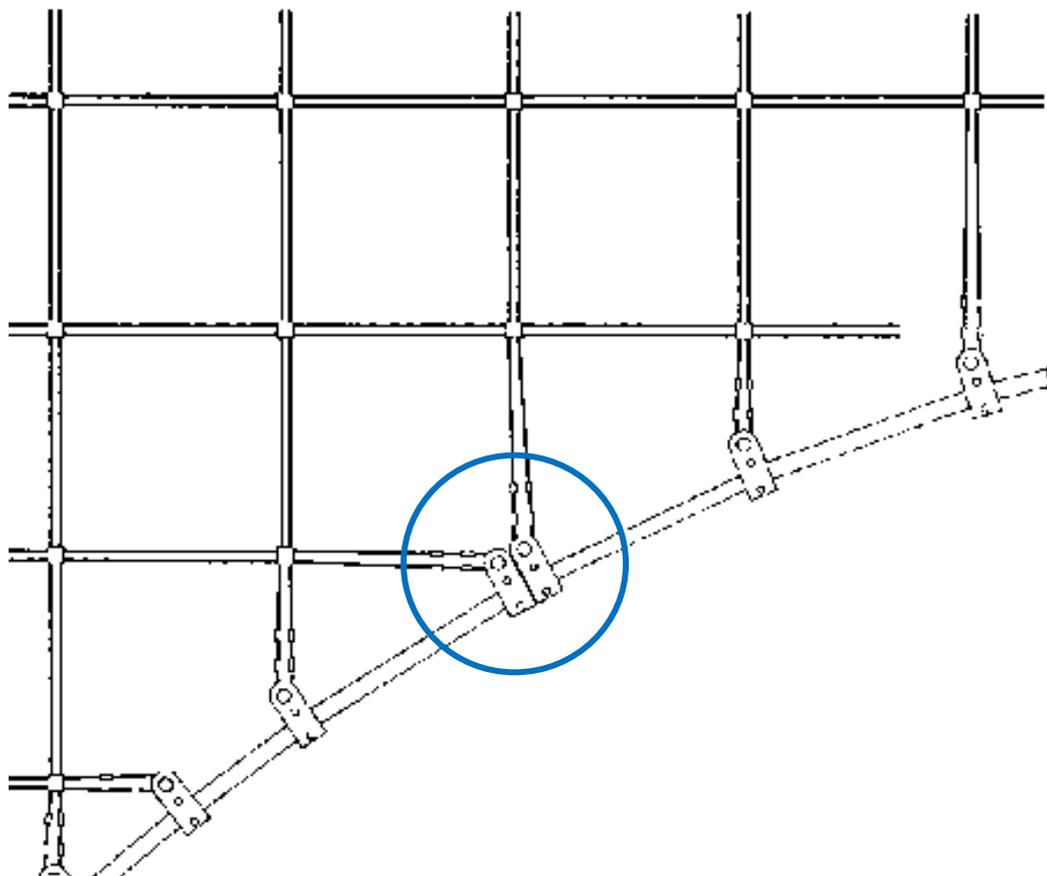


Figura 5.181 Detalhe de esquematização da fixação de esticadores no Ice skating rink (Olympic Park Munich), disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html> em 17/07/2009

Os esticadores ou tensores podem em muitas condições substituir as terminações em olhais simples ou as forjadas, mas para atendimento de a maior linearidade e leveza da configuração do cabo HUNTINGTON (2004) indica a substituição dos esticadores ou tensores por esticadores tubo que possuem um custo maior que os convencionais. Nota-se que a fixação entre duas pontas terminais de um cabo podem ser de fixação por pressão ou por soldagem dentro de um elemento tubular, como uma luva envolvente, Figura 5.182.

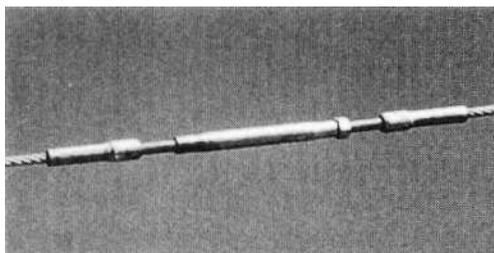


Figura 5.182 Detalhe de ligação entre cabos com esticador tubular (HUNTINGTON, 2004).

A aplicação de esticadores tubos pode ser exemplificada pela Figura 5.183, utilizada na fixação de cabos paralelos aos mastros secundários na obra do Millennium Dome, trata de uma fixação e transição de flexibilidade no qual cada cabo fixa-se na face diametralmente oposta a outra, forma de garantir que os esforços sejam de intensidades equivalentes, evitando-se que efeitos de torção possam vir a ocorrer nos mastros. Por ser um ponto importante de transição de rigidez cabo-mastro nota-se que as fixações com os esticadores tubulares foram deixados aparentes sem atrito com a membrana de cobertura e cobertos com um acessório tipo clarabóia na cor amarela, Figura 5.184, para adequação do contato do topo do mastro e a membrana e permitir as manutenções e reprotensões.

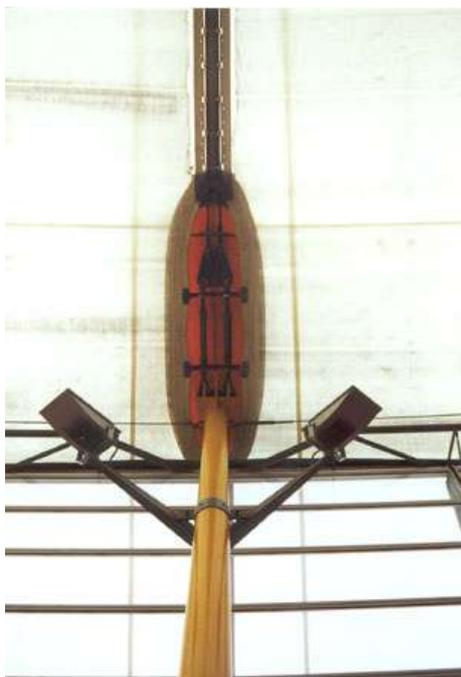


Figura 5.183 Esticadores em mastros secundário no Millennium Dome em Londres disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009



Figura 5.184 Fechamento externo do ponto de ligações cabo-mastro com esticadores no Millennium Dome, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009

Diferentemente da ligação cabo-mastro, os esticadores de emenda nos vãos da cobertura do Millennium Dome, Figura 5.185, são cobertos externamente com membrana, porém aparentes na face interna, nota-se que o mesmo cuidado é utilizado para deixar as ligações livres de atritos com a membrana, ou seja, nestas ligações os esticadores ficam em uma região de delimitação de esforços.

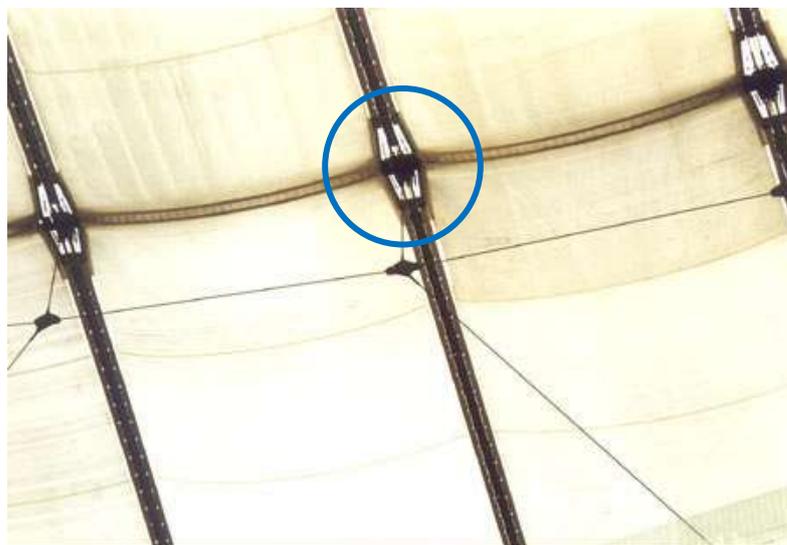


Figura 5.185 Esticadores de emenda de cabos no vão suspenso, sem apoio ou ligação com ponto estrutural do Millennium Dome, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> 17/07/2009

Todos os exemplos anteriores possuem a articulação em uma direção e quando abertos e rosqueáveis a rotação na segunda direção é limitada, desta forma a indicação quando há variabilidade de posicionamentos formais das tensoestruturas e arquiteturas têxteis indica-se a adoção de duas manilhas rosqueáveis, inclusive por permitir pequenos ajustes de comprimentos.

Quando há a necessidade de ligação de mais cabos em um único ponto os olhais dos cabos podem ter a interligação com um ou mais cabos, e o olhal forjado pode ligar um ou mais cabos desde que fixados com manilhas para se prender em olhais ou furos de chapas soldadas que tanto podem estar fixadas à estrutura de apoio ou serem suspensas. Estes casos devem receber atenção especial, pois devem garantir a resistência em serviço e todo o cuidado para eliminar excentricidades de esforços, que significa impor outros ou maiores esforços a cobertura e as ligações. Um exemplo deste tipo de ligação por ser observado na Figura 5.186.

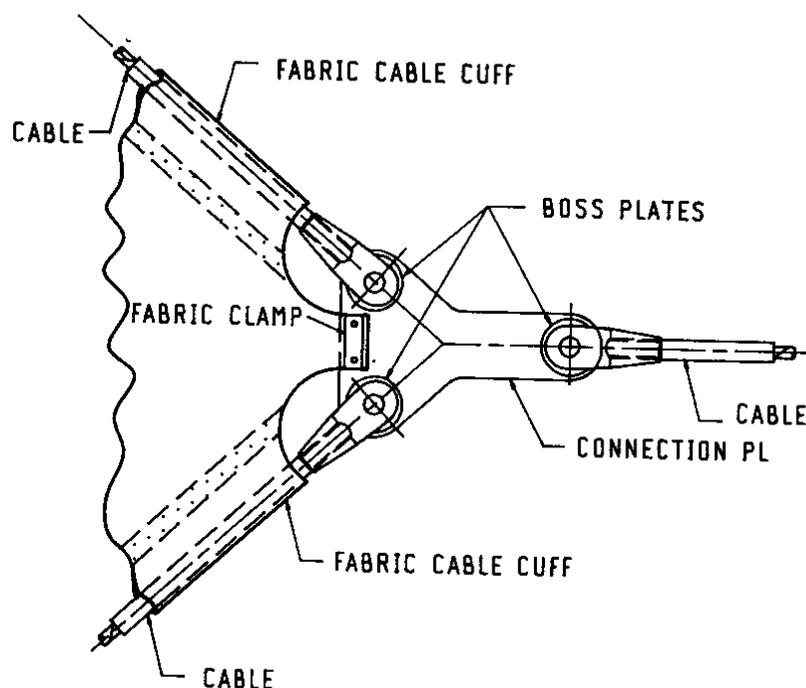


Figura 5.186 Detalhe de ligação fixa de transpasse entre cabos e a membrana com contato em elemento rígido suspenso, (SHAEFFER, 1996).

Outros dois detalhes podem ser observados nas Figuras 5.187 e 5.188 respectivamente da tensoestrutura Georgia Dome e do Gerry Weber Stadium. No caso da conexão do Georgia Dome, diferentemente da Figura 5.186 se fixa em um topo de mastro.

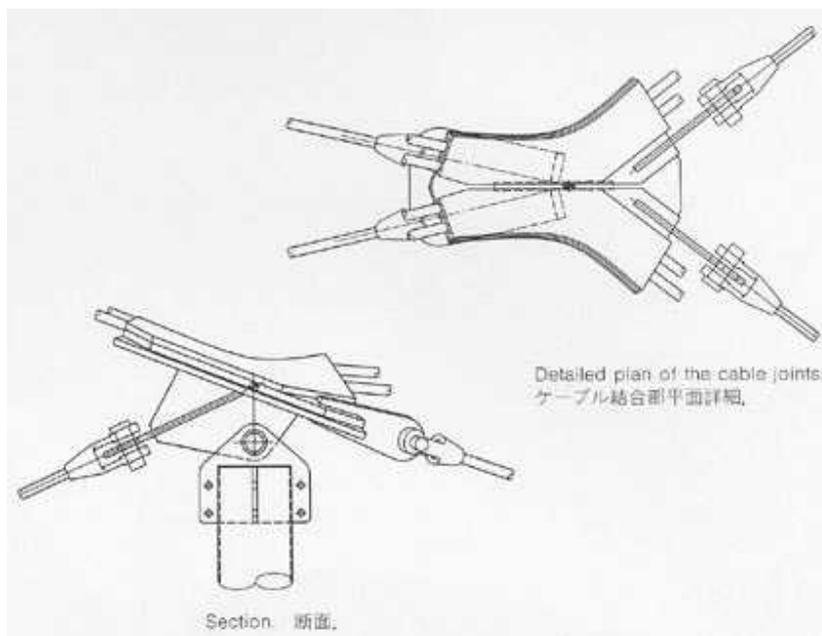


Figura 5.187 Detalhe do Georgia Dome de ligação de transpasse entre cabos com fixação em mastro rígido, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3755.html> em 17/07/2009.

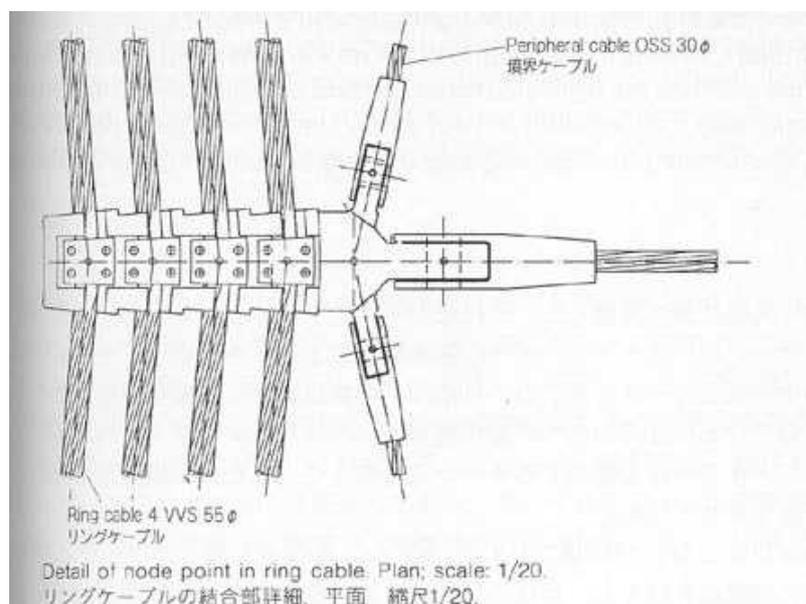


Figura 5.188 Detalhe do Gerry Weber Stadium de ligação suspensa de vários cabos, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3939.html> em 17/07/2009.

SHAEFFER (1996) cita que toda conexão deve ser projetada para ser flexível o suficiente para acomodar desvios esperados ou estimados e rotações que também devem ser previstas e são destacados por este autor como sendo um

dos mais importantes problemas de detalhamento dos cabos utilizados em tensionadas, por configurarem pontos de concentração de esforços em seu término e na interseção com elementos angulares, bem como, nas mudanças angulares e de direção ao longo do comprimento do cabo.

Portanto em face dos exemplos de aplicação apresentados nota-se que estes os condicionadores tecnológicos com de conexões impactam na definição da tensoestrutura ou arquitetura têxtil, ou seja, estrutural e visualmente.

5.3.2.5 Conexões finais dos cabos ou terminações dos cabos

A escolha do modo como os cabos finalizam em pontos elevados como, por exemplo, se fixam a extremidades de viga ou pilares é considerada pelos próprios projetistas de tensoestrutura e arquitetura têxteis como um projeto específico e de muito impacto na forma e no visual que a obra pode proporcionar. Partindo da aplicação mais comum, cita-se que a conexão mais utilizada é o cabo em olhal ou com terminação forjada e uma placa perfurada em forma de orelha, que muitas vezes denomina-se simplesmente de orelha.

As orelhas no qual as terminações em olhal ou fixadores são presos, devem ser produzidos com uma espessura e um raio extremo adequado para prevenir a deficiência de suporte no pino e ruptura por corte ou mesmo a deficiência de resistência tanto na seção adjacente ao furo do pino como em suas adjacências.

HUNTINGTON (2004) indica que as orelhas podem ser projetadas de três formas básicas ilustradas na Figura 5.189 (a) até 5.189(c), em (a) a placa da orelha é soldada na superfície do mastro, em (b) a placa em orelha é um componente como uma luva ou abraçadeira que é fixa em torno do mastro, transformando-se em um anel correspondente a dimensão da altura igual ao contato da orelha com o mastro e espessura segundo dimensionamentos e em (c) a orelha possui dois anéis de fixação, um em cada extremidade, as aplicações dependem da quantificação dos esforços solicitantes, sendo no primeiro caso absorvido pela espessura do mastro no local em que foi soldada, no segundo os esforços ocorrem diametralmente e no último caso há uma maior resistência a flexão devido aos anéis e podem ser também utilizados chapas com superfície retangular como ilustrado na Figura 5.190.

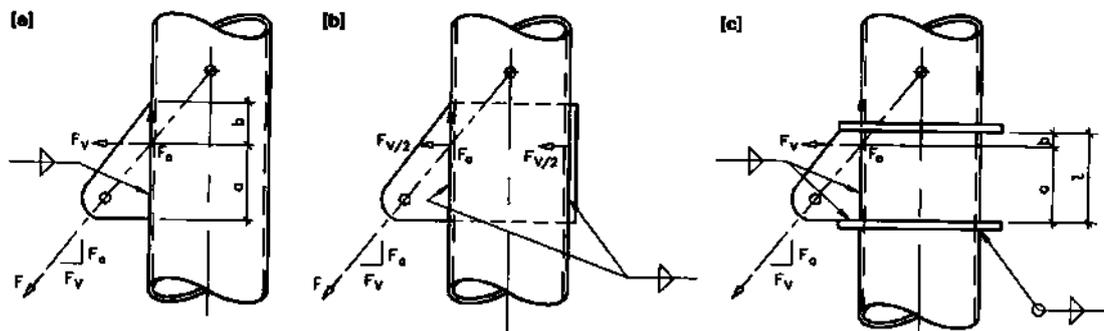


Figura 5.189 Detalhe de orelhas para ligação de cabos (HUNTINGTON, 2004).

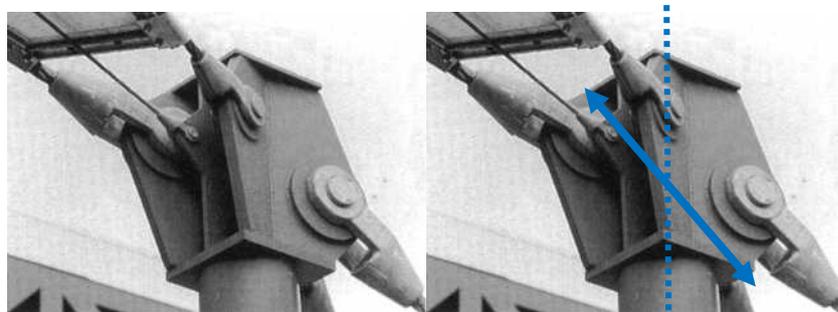


Figura 5.190 Detalhe de ligação final e elevada de cabos (HUNTINGTON, 2004).

No caso da Figura 5.190, refere-se a uma conexão para grandes esforços dada o uso de chapas anéis de superfície quadrada tanto no topo como na base da conexão, que confinam e enrijecem as orelhas de fixação de conectores forjados e percebe-se no detalhe em azul da linha com flechas, resultante de esforços, e a linha tracejada do eixo do mastro que a intersecção atende o centro geométrico da conexão, o que justifica um projeto melhor, conduzido com economia, leveza, solidez estrutural que se define visualmente por apresentar princípios simples de caminhamento dos esforços. Segundo HUNTINGTON, esta conexão foi utilizada na cobertura do Aeroporto de Tampa e pode ser considerada como execução acurada e visualmente clara e distinta entre a estrutura dos cabos e do tecido e atende a uma diretriz básica que a regularidade de forma de dimensões e seleção uniforme de conectores. Diferentemente do detalhe da Figura 5.190, o detalhe da Figura 5.191 os projetistas em decisão para evitar uma conexão de visual confuso e construção inadequada dadas as várias confluências de cabos procurou adotar pontos

duplos de trabalhos em uma face, que resultou em um alto custo, um aumento do momento de flexão resultante e exigiu um aumento do diâmetro dos mastros principais de 324 à 508 mm, cerca de 1,6 vezes a dimensão preliminar.

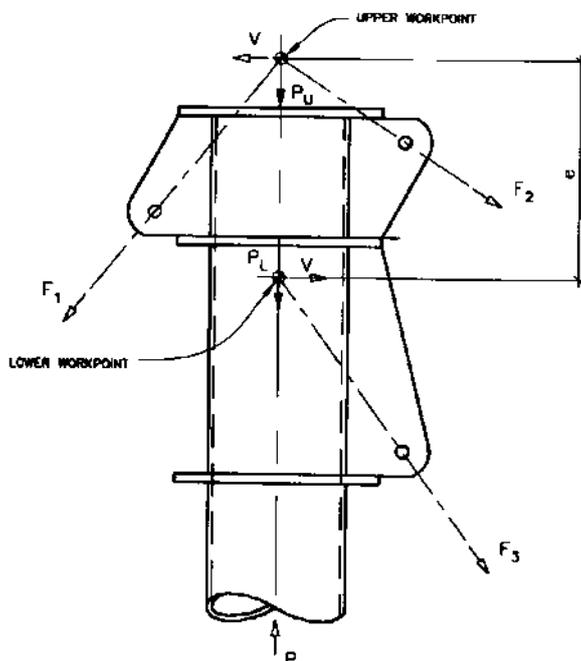


Figura 5.191 Detalhe de ligação final de cabos com pontos duplos de trabalho (HUNTINGTON, 2004).

Além das diretrizes apresentadas anteriormente para estas conexões, é importante saber que a seleção uniforme não é uma regra imutável e sim saber que terminações diferentes podem ser combinadas com muito sucesso quando a função delas é distinta e que a durabilidade dos projetos é do conjunto tecido e ligações, por esta razão deve se indicar o uso de conexões de alta resistência e de preferência inoxidáveis, apesar do custo elevado, alternativamente as inoxidáveis indicam-se as conexões galvanizadas ou simplesmente como atendimento rigoroso de manutenção e re-pinturas.

Os acessórios utilizados nas terminações são os mesmos utilizados em içamentos de cargas que possuem coeficientes de segurança em torno de 4 vezes o valor da carga e alguns outros, principalmente os inoxidáveis são da área náutica e iatismo, com coeficiente em torno de 2. Estes valores implicam um direcionamento projetual importante tanto para as cargas diferenciadas de montagens as quais as conexões podem ser submetidas, bem como, no desenho da forma, por permitir uma redução da massa em relação a

resistência. Cita-se ainda que uma especificação em projeto de materiais mais duráveis, o que pode significar um impacto inicial maior, justifica e no mínimo se amortiza e são mais vantajosos por evitar intervenções de manutenções em períodos curtos em pontos que são estruturais.

Os acessórios apresentados na Figura 5.192 são inoxidáveis, sendo o (a) com barra articulada, (b) olhas simples, (c) com barra articulada e esticador e (d) pino de conexão.

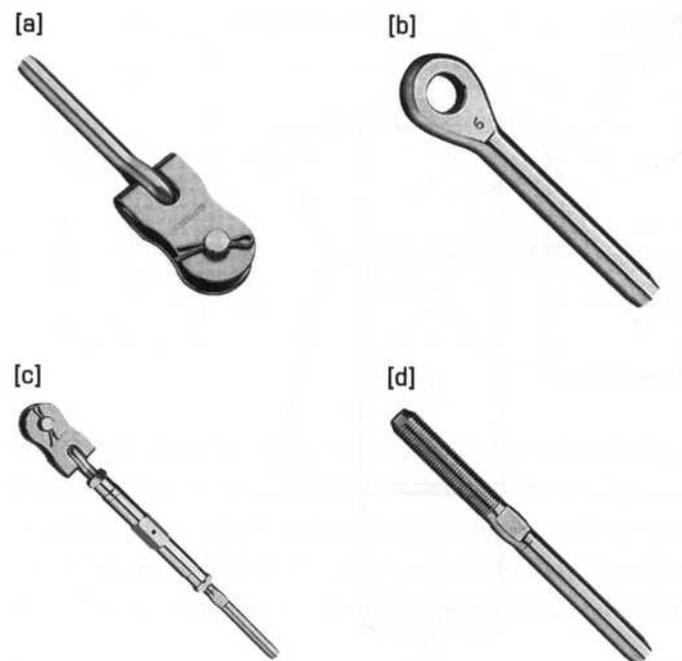


Figura 5.192 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004).

Atualmente estes acessórios inoxidáveis também passaram por uma especialidade e atendimento das tensoestrutura e arquiteturas têxteis nas empresas fornecedoras, o resultando apresenta-se nas mudanças de formas e projetos mais elaborados e relação aos exemplos anteriores e, como podem ser observados os acessórios da Figura 5.193 e 5.194.



Figura 5.193 Garfo inoxidável do padrão I-Sys da Carl Sthal disponível http://carlstahlevita.co.uk/upload_files/p33_website_1.jpg em 04/08/2009.



Figura 5.194 Olhal inoxidável do padrão I-SYS da Carl Sthal disponível http://carlstahlevita.co.uk/upload_files/p49_website_2.jpg em 04/08/2009.

O vigor das aplicações e o avanço das tecnologias como o corte a plasma de metais pode ser demonstrado no atendimento com componentes inovadores e de design diferenciado como os apresentados a seguir nas Figuras 5.195 e 5.196.



Figura 5.195 (a)



Figura 5.195 (b)



Figura 5.195 (c)

Figura 5.195 Acessórios inovadores em aço inoxidável como (a) garfo, (b) olhal e (c) lanço com sapatilha, disponível em http://www.ronstanarchitectural.com/arch_AU/isis.asp em 04/08/2009



Figura 5.196 Ligação entre quatro cabos com acessórios inoxidáveis, disponível em http://www.ronstanarchitectural.com/arch_AU/isis.asp# em 04/08/2009.

Uma recomendação para que as terminações sejam adequadamente montadas refere-se a seu uso pré-montado e um romaneio adequado das peças como por ser observado na Figura 5.197 e 5.198.



Figura 5.197 Romaneio de conexões metálicas no início da montagem de espaço Público de uso temporário em Zeebrugge na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009



Figura 5.198 Romaneio de cabos com terminações durante início de montagem de espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009

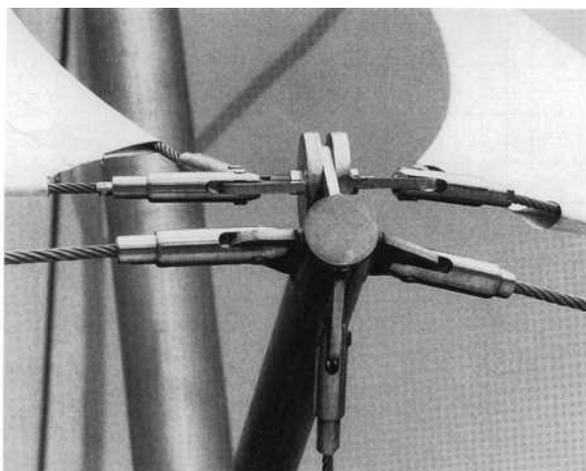


Figura 5.199 Detalhe de conexão de sete cabos de forma simples e compacta no Seaworld (HUNTINGTON, 2004).



Figura 5.200 Detalhe de terminações de cabos no Aeroporto de Denver, disponível em <http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=109918> (Sigrid Kramarczik) em 16/07/2009.

Como pode ser observado as ligações terminais podem garantir um resultado visual e durável para as tensoestruturas e arquiteturas têxteis, um bom exemplo também pode ser observado na Figura 5.199 em que o projetista HUNTINGTON (2004) destaca a leveza e clareza das formas da terminação de sete cabos na ponta de uma viga metálica da piscina das baleias do parque Seaworld.

Outros exemplos de terminações de cabos em pontos suspensos e que atendem a própria leveza da cobertura podem ser observados na Figura 5.200 em que se nota o término de cabos em extremidade de viga e ponto intermediário do mastro.

Desta Figura 5.200 destaca-se também a forma da borda em catenária que é fixa por sanduíche de placas metálicas e grampeadas ao cabo de borda assim como a água furtada da cobertura que desemboca no topo do mastro.

Quando a forma em catenária da arquitetura têxtil ou tensoestrutura é definida como sendo o ponto de conexão, um projeto específico e detalhado deve ser indicado devido a fatores como: o cabo deverá ser fixo ou deverá ter mobilidade, o vão e a dimensão da curvatura, o comportamento e a resistência sob combinações diferentes de carregamentos por ser um desvio dos esforços e forma, diâmetro do cabo uma vez que podem impedir a conformação da curvatura que se intenciona, bem como, indica-se nestas condições o uso de cordoalhas por ser mais flexível de cabos maciços e o cuidado para que todo o contorno da curvatura e suas conexões principais de fixação sejam afastadas de pontos que podem causar cortes e a imposição de esforços diversos.

A Figura 5.201 apresenta uma forma adotada para a obra Grande Bigo que combina elementos de aço forjado e de alumínio para garantir o término em sela do tecido, uma vez que o tecido não possibilita ajustes e sua conexão deve fornecer uma forma de terminação em sela sem uma curvatura excessiva.

Nota-se deste detalhe que a distribuição das tensões fica distribuída uniformemente em função do tipo de contato em trechos de perfis metálicos.

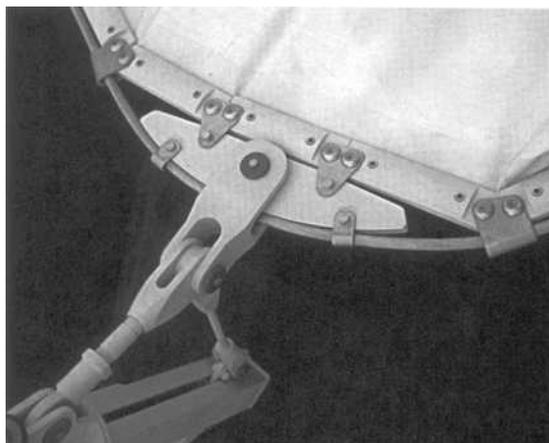


Figura 5.201 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana em sela (HUNTINGTON, 2004).

Segundo HUNTINGTON (2004), a prática projetual é a recomendada pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) que especifica um raio mínimo de curvatura em catenária ou sela igual a 15 vezes o diâmetro do cabo a fim de se utilizar a resistência completa do cabo e não permite nenhum raio de sela menor que 10 vezes o diâmetro do cabo, pelo qual requer uma redução de 25 % na força de projeto, além das recomendações da ASCE, sugere a consulta de publicações, recomendações e ensaios dos fornecedores de acessórios, dando o exemplo de um fornecedor que limita a redução de 25% da força de projeto a partir de uma curvatura inferior a duas vezes o diâmetro do cabo. Estas ações de atenção quanto a conexão em catenárias e selas de cabos se justificam pelo fato do desconhecimento destas ligações e principalmente para raios reduzidos.

Muitas terminações de cabos são adotadas com fixação em bordas seladas como forma de evitar o atrito do tecido com as conexões como demonstrado no detalhe da Figura 5.202 com um cabo adicional para manutenção da curvatura assim como na aplicação da Figura 5.203 em que um cabo central é utilizado e fixo no cabo embainhado, ou seja, dentro da bainha de borda.

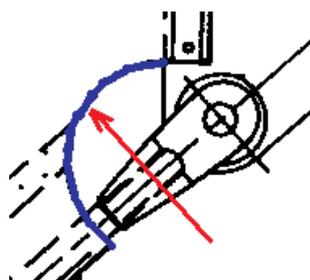


Figura 5.202 Detalhe de terminações em borda selada junto a conexões com cabo adicional para manutenção da curvatura.

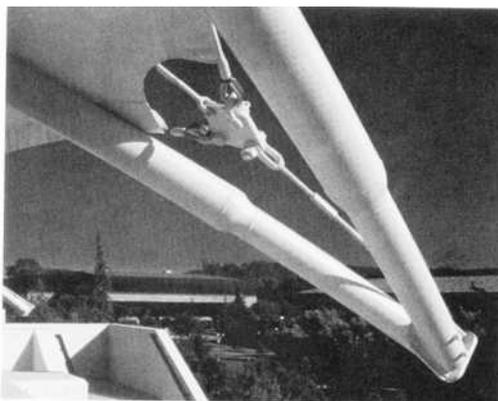


Figura 5.203 Detalhe de terminações em borda selada junto a conexões com cabo adicional central para manutenção da curvatura (HUNTINGTON, 2004).

Quando o término não há restrição de término em sela indica-se a aplicação de términos retos com cabos ou barras embainhados como a aplicação no Grande Bigo, Figura 5.204, porém este método proporciona uma superfície com certa obstrução de drenagem.



Figura 5.204 Detalhe de término reto na obra Il Grande Bigo em Genova na Itália, disponível em www.gettyimages.com/.../10180524/The-Image-Bank (Andrea Pistolesi) em 04/08/2009.



Figura 5.205 Término selado de cabo facilitando a fixação de ferramenta na montagem em espaço de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009

Tais pontos de terminações em sela, retos ou mesmo somente como término da própria membrana em curvatura para os casos de pequenas obras, possuem a vantagem por ser um espaço para manobras de montagem e de reprotensões como pode ser observado na Figura 5.205.

5.3.2.6 Conexão entre cabo e ancoragem de apoio ou de fixação de cabos em apoios

Este tipo de ligação se delimita neste trabalho como sendo a forma de conexão dos cabos da tensoestrutura ou arquitetura têxtil ao solo. Uma justificativa básica para esta delimitação é a adesão de conceitos das construções convencionais como superestrutura, infra-estrutura e estrutura de fundação, que para este trabalho configura-se como:

- a tensoestrutura ou arquitetura têxtil = superestrutura,
- vigas baldrame, perfis perimetrais ou blocos com ancoragens e fixações da tensoestrutura ou arquitetura têxtil = infra-estrutura,
- fundações, estacas, blocos de fundações = estrutura de fundação.

Para pontos de ancoragem em que o esforço é reduzido ou que seja para ancoragem de tendas indica-se a aplicação de acessórios que são como ganchos de fixação dos cabos das tensoestruturas ou arquitetura têxteis, sendo a profundidade dimensionada por ancoragem por tração e punção em peças de concreto enterradas, como blocos de coroamentos de estacas, laje sobre solo, e o próprio solo que pode ser inclusive reforçado e estabilizado para possibilitar a ancoragem, podendo ser utilizado métodos de compactação e solo-cimento.

Nota-se a seguir, que as ancoragens podem variar a conformação superficial como mossa e superfície com frisos retos ou helicoidais como parafusos, Figura 5.206, ancoragem por gancho através de dobramento na extremidade, Figura 5.207, ou mesmo aumento do significativo da base como forma de aumento do perímetro de punção, Figura 5.208.

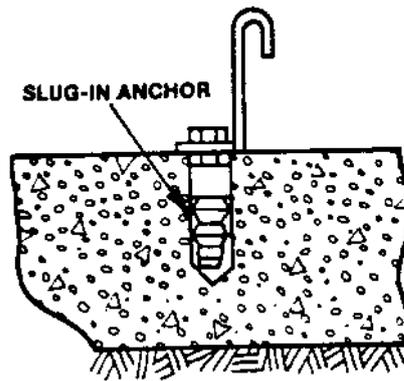


Figura 5.206 Ancoragem com barra conformada superficialmente ou parafuso (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).

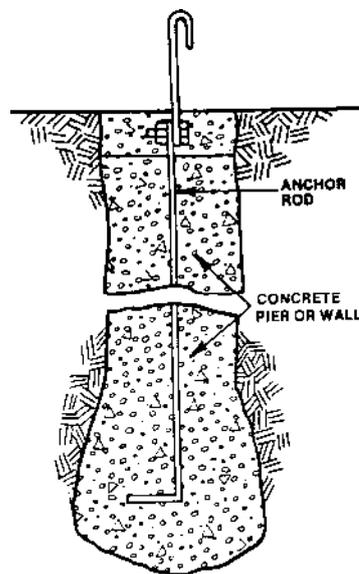


Figura 5.207 Ancoragem com barra com término em gancho reto (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).

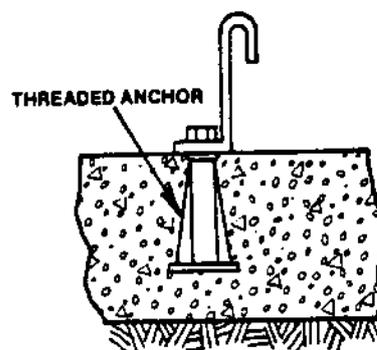


Figura 5.208 Ancoragem com chapa base aumentada e enrijecedores laterais (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).

Estas ancoragens permitem a fixação em lançamento de um cabo contínuo fixado em bainha como demonstrado na Figura 5.209 e também com cabo em olhal. Quando a ancoragem é em chapa perfurada e não em gancho o cabo normalmente é com término em olhal, Figura 5.210, ou com conector, como ilustrado na Figura 5.211.

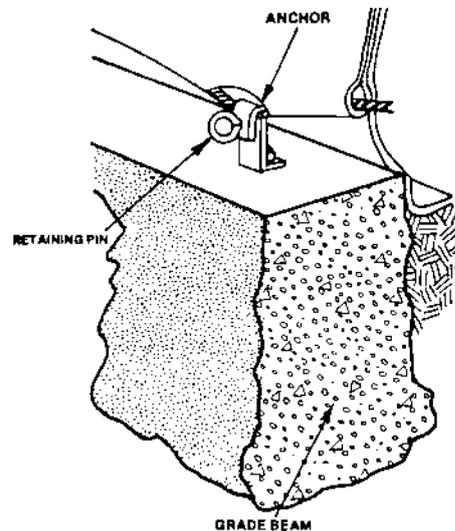


Figura 5.209 Detalhe de ligação de borda de membrana com cabo em bainha através de ancoragem com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).



Figura 5.210 Ancoragem com cabo em olhal durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009



Figura 5.211 Ancoragem com cabo com conector durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009

Nota-se que no exemplo das Figuras anteriores que o tipo de ancoragem é com fixação com parafuso, ainda destaca-se neste exemplo que a obra é permanência temporária e o piso já era adequado para a retirada e para fixação das ancoragens e reposição, Figura 5.212, por ser em peças de concreto colorido e pedras como pode ser observado na Figura 5.213, indica-se a locação da ancoragem em nível com o piso acabado neste caso.



Figura 5.212 Ancoragem com parafuso durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009



Figura 5.213 Ancoragem nivelada para reposição dos acabamentos em pedras de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009

Uma alternativa para obras de tensoestruturas e arquiteturas têxteis com esforços pontuais reduzidos de ancoragem e de permanência temporária é a utilização de ancoragem pela continuidade do cabo estrutural com fixação em sua extremidade enterrada de uma ponteira, Figura 5.214. A inserção no solo é através de escavações com trado e a ponteira deve ficar posicionada na horizontal e o buraco preenchido novamente.

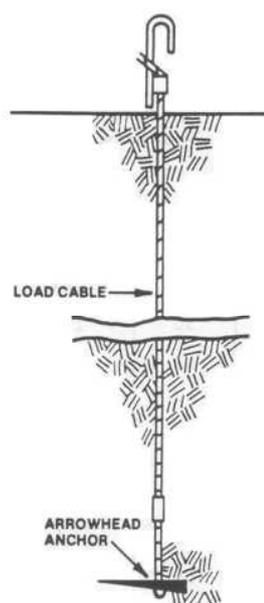


Figura 5.214 Detalhe de ancoragem temporária com prolongamento do cabo estrutural e ponteira articulada na extremidade (AFSI, 1977).

As vantagens de se utilizar o cabo com uma ponteira articulada na extremidade é: a utilização de poucos acessórios para garantir a resistência a punção por empuxo da terra e quando da retirada por arrancamento o terreno fica livre de peças e elementos enterrados que normalmente são deixadas após a desmontagem da obra.

Quando a ancoragem do cabo for realizada em estrutura linear perimetral ou em bloco de transferência de esforço para a fundação, recomenda-se que a fixação do cabo seja através de um apoio metálico articulado conforme ilustrado na Figura 5.215 de uma viga metálica tubular de seção quadrada e seguindo as recomendações de SHAEFFER (1996) quanto aos desvios da geometria que induzem tensões maiores e distorções e ainda, deve-se assegurar que haverá drenagem localizada para garantia de desempenho e durabilidade, nota-se que o eixo do cabo é coincidente com o centro geométrico da seção da viga perimetral.

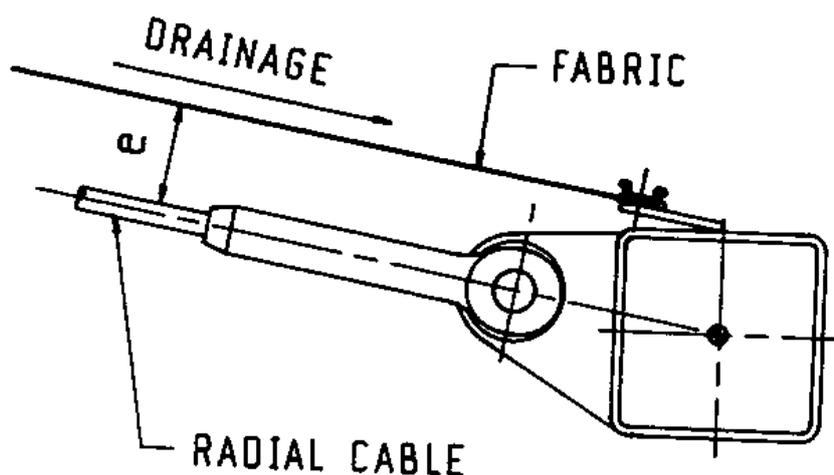


Figura 5.215 Detalhe típico para ligação entre cabo e membrana com elemento linear perimetral (SHAEFFER, 1996).

Nos casos de blocos de ancoragem de concreto pode-se moldá-lo atendendo a uma forma drenante e com dimensões de ancoragem reta do apoio articulado que será fixado o cabo estrutural, para esta forma tem-se o esquema da Figura 5.216, já a Figura 5.217 a ancoragem é por parafuso passante em furo previamente projetado no bloco de ancoragem, neste caso o cabo é fixo e linearmente posicionado com a configuração geométrica da tensoestrutura, bem como a articulação é instalada para fixação da membrana.

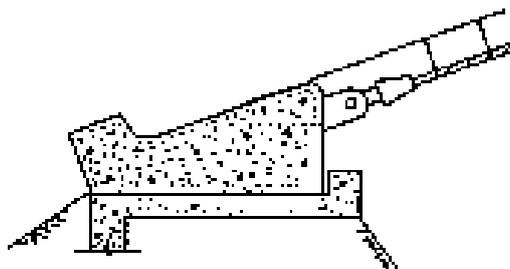


Figura 5.216 Ancoragem de cabo em bloco de concreto com apoio metálico articulado (NJIT, 2002).

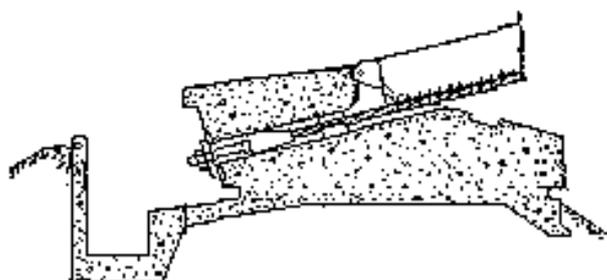


Figura 5.217 Ancoragem com parafuso passante em bloco de concreto com apoio metálico articulado para fixação da membrana (NJIT, 2002).

Uma ilustração de aplicação da ancoragem de cabo em bloco de concreto, com apoio metálico articulado encontram-se nas Figuras 5.218 e 5.219, sendo a última a ilustração do desenho do projeto Rink Olímpico de Patinação em Munich.



Figura 5.218 Bloco de ancoragem dos cabos estruturais com apoio articulado, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html> em 17/07/2009.

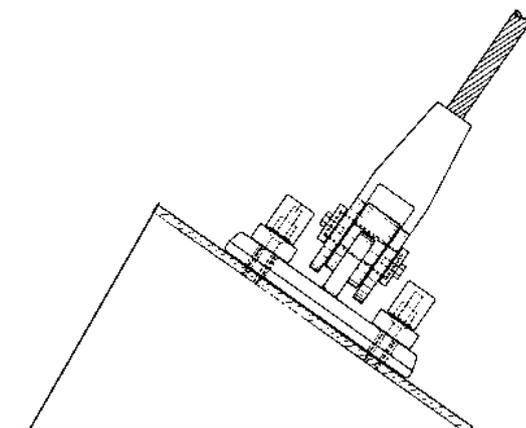


Figura 5.219 Desenho do projeto do bloco de ancoragem dos cabos estruturais com apoio articulado, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html> em 17/07/2009

No caso das tendas os detalhes são realizados de modo singular, sendo as fixações dos cabos e cordas realizados através de métodos expeditos que são considerados suficientes para manutenção da estabilidade estrutural e da forma geométrica, basicamente o Industrial Fabrics Association Internacional (1996) indica a utilização de estacas como sendo os elementos de fundação e ancoragem de cabos e cordas, ilustradas na Figura 5.220 e amarração com nós, Figura 5.221 e 5.222.

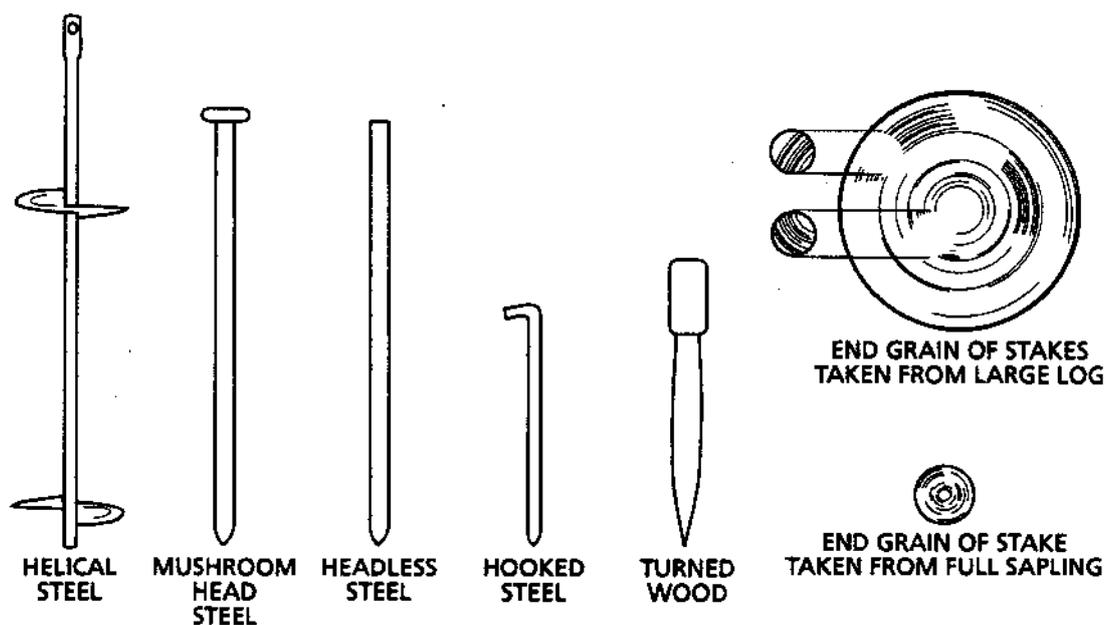


Figura 5.220 Tipos de estacas utilizadas em tendas de aluguel (IFAI, 1996).

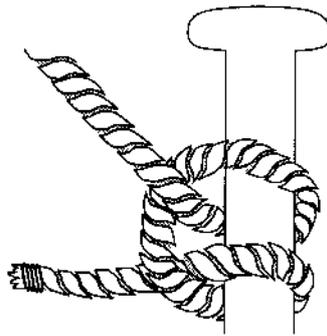


Figura 5.221 Tipos de estacas utilizadas em tendas de aluguel (IFAI, 1996).

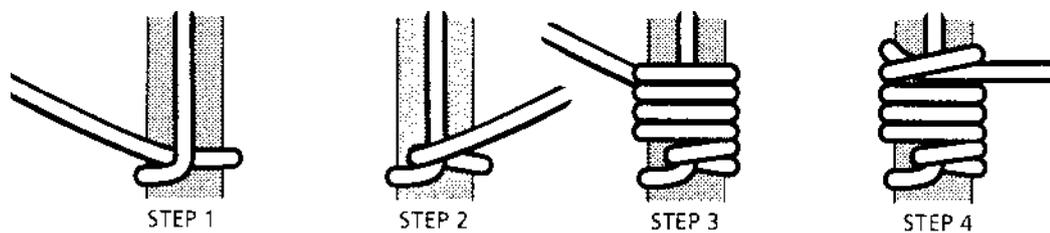


Figura 5.222 Procedimentos para realização de nó de fixação de cabo ou corda de tendas de aluguel em estacas (IFAI, 1996).

Para a fixação das estacas é importante o conhecimento das características solo ou da laje sobre o solo para o desenvolvimento de cálculo e determinação do ângulo de fixação conforme o esforço, pois o desconhecimento ou dimensionamento incorreto podem levar o arrancamento normalmente devido as cargas de ventos, Figura 5.223,

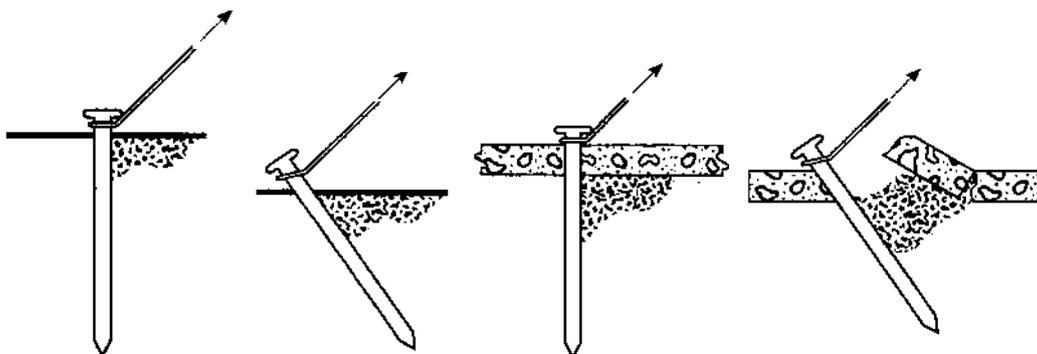


Figura 5.223 Variação de ângulos de estaqueamento em solo e com a presença de laje sobre o solo (IFAI, 1996).

No caso de esforços maiores recomenda-se a adoção de um número maior de estacas, normalmente uma dupla, Figura 5.224, sendo uma estaca primária próxima a tenda e a secundária imediatamente afastada da primária, sendo este afastamento em função das características do solo e do próprio bulbo de pressão gerado pelo esforço de ancoragem. Em casos de esforços maiores a IFAI (1996) indica a adoção de linhas de estaqueamento em forma triangular conforme pode ser visto na Figura 5.225.

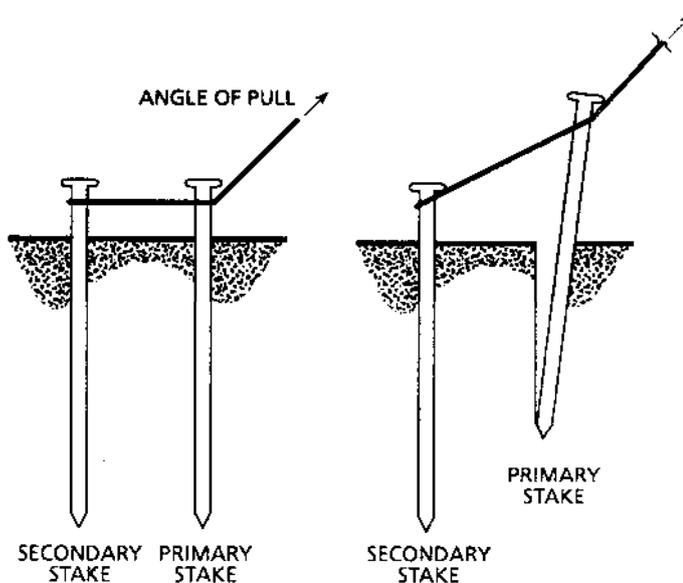


Figura 5.224 Utilização de estaqueamento duplo (IFAI, 1996).

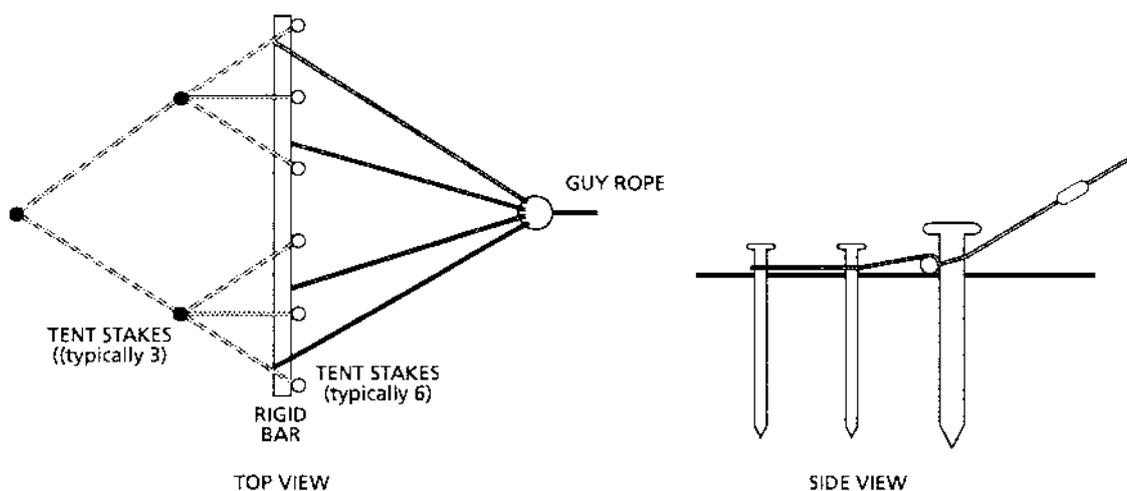


Figura 5.225 Variação de ângulos de estaqueamento em solo e com a presença de laje sobre o solo (IFAI, 1996).

Em relação a fixação com articulação no caso das tendas são utilizadas placas planas soldadas a placas calandradas ou meio cana e placas planas soldadas em placas circulares furadas, respectivamente ilustradas na Figura 5.226. Estes conjuntos fixam-se ao solo através de estacas.

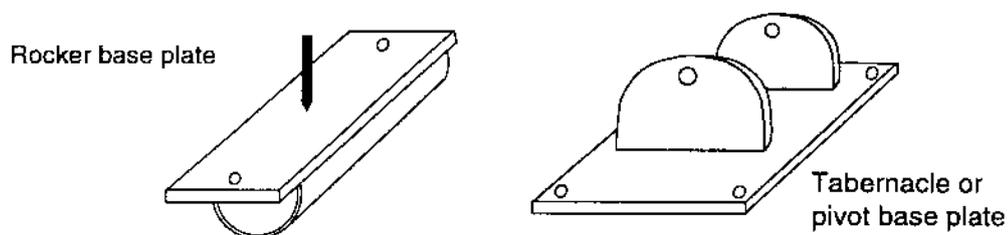


Figura 5.226 Acessórios para articulação de apoio de tendas de aluguéis (IFAI,1996).

Um exemplo de aplicação de ancoragem e apoio articulado de uma pequena tenda pneumática temporária pode ser observado na Figuras 5.227 e 5.228, esta obra é da empresa Spironef localizada na cidade de Sene, França, que pretende comercializar este tipo de sistema para cobrir edifícios ou ser utilizada como tenda de abrigo a sol, chuva e vento, Figura 5.229.



Figura 5.227 Apoio articulado de tenda pneumática da Spironef disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html> em 17/07/2009



Figura 5.228 Apoio articulado de tenda pneumática, situação inflada, da Spironef disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html> em 17/07/2009



Figura 5.229 Tenda pneumática, situação inflada, da Spironef disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html> em 17/07/2009

5.3.2.7 Conexão de mastros principais e topo

Como já caracterizado no item dos condicionantes visuais, os topos de mastros além de sua função estrutural de fixação das membranas, não se configuram um ponto como um bico por este término possuir acessórios, cabos e conectores para fixação das membranas ou fechamentos.

No caso da obra do La Verne Campus Center, primeira obra em PTFE da empresa Birdair em 1973, embarcaram em requisitos não estruturais para o topo do mastro no qual a superfície acabada da cobertura não daria sinal visual de transferência de carga do tecido ao mastro, Figuras 5.230.

Para este tento a empresa criou uma coberta em cone de aço como um abafador cobrindo toda a conexão do topo sobre o anel tensor, moldado para continuar a curva do tecido terminando em um pico pontudo, o esquema genérico da fixação do abafador e as conexões de topo deste caso podem ser observados pela Figura 5.231.



Figura 5.230 Vista da cobertura pontiaguda da universidade La Verne e seu detalhe, disponível respectivamente em <http://en.structurae.de/files/photos/2520/membrane/image45copy.jpg> em 04/08/2009 e (HUNTINGTON, 2004).

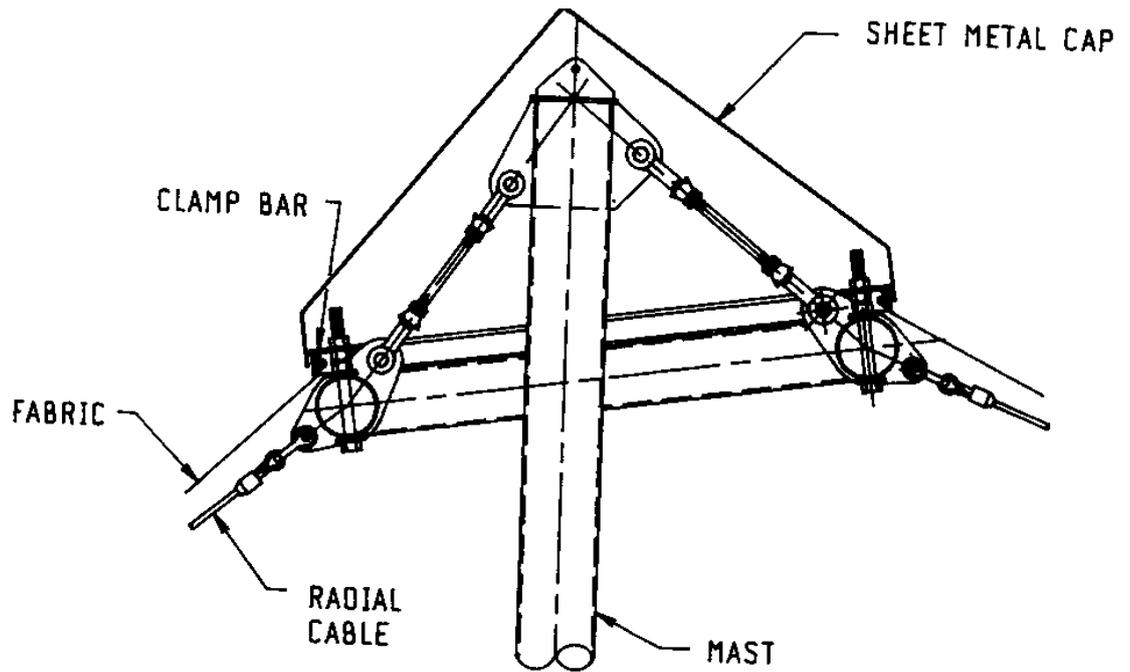


Figura 5.231 Detalhe de fixação de cone metálico e conexões no topo de mastro principal (SHAEFFER, 1996).

Alternativamente o abafador poderá ser uma chapa menos pontiaguda como a apresentada no esquema da Figura 5.232.

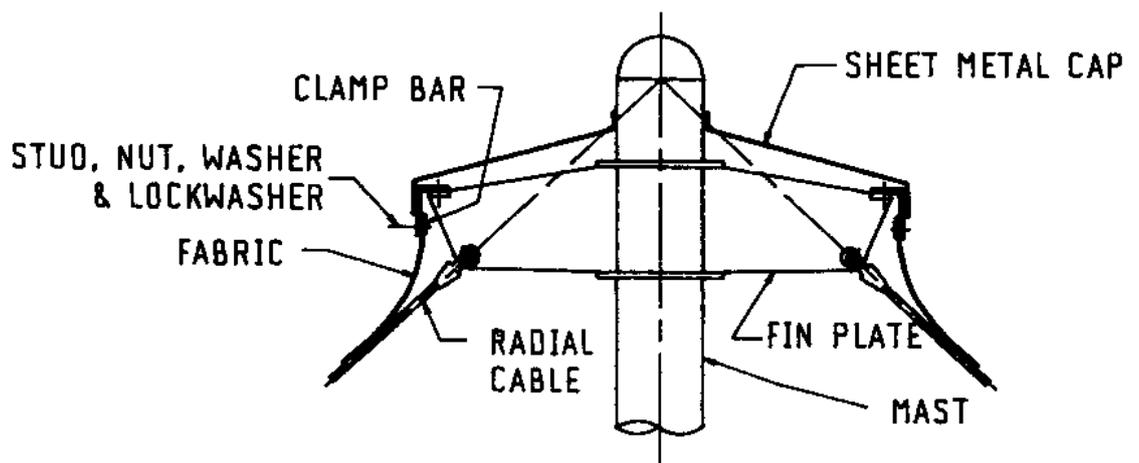


Figura 5.232 Detalhe de fixação de chapa metálica e conexões no topo de mastro principal (SHAEFFER, 1996).

Nos casos do término do cabo com um mastro, estruturalmente deve ser considerado o ponto de fixação, ou seja, que a geometria final da conexão preferencialmente resultante em excentricidades mínimas, que devem ser consideradas no projeto e aplicando acessórios e conceitos já desenvolvidos no item anterior sobre a conexão final de cabos. Pode-se notar em ambos os esquemas, Figuras 5.231 e 5.232 que o prolongamento dos eixos dos cabos interceptam o eixo do mastro.

Outra forma de fechamento de topo se demonstra pela Figura 5.233, no qual foi fixado sobre o anel tensor do mastro uma clarabóia de vidro da obra Florida Festival.

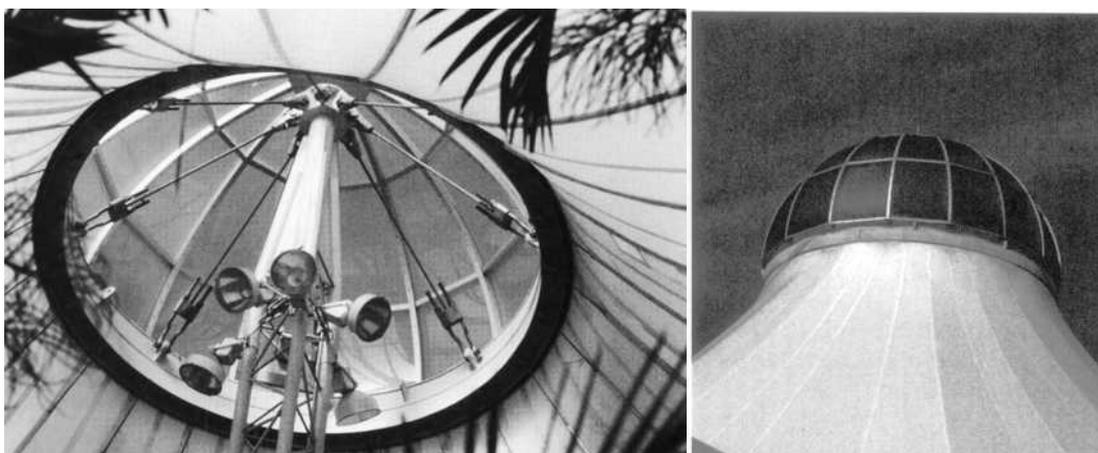


Figura 5.233 Vista interna da fixação do anel por cabos tensores no mastro e detalhe da clarabóia de vidro (HUNTINGTON, 2004).

Em algumas estruturas para fornecer uma cobertura a prova de intempéries no topo dos mastros, estão sendo utilizados placas de acrílico alternativamente a placas metálicas, mas indica-se a baixa resistência em relação ao aço e a dificuldade em fornecer uma borda com curvatura adequada para manter o selamento devido a flexibilidade do sistema e devido as fixações dos cabos, portanto são pontos que devem ser superados para avanços nestas aplicações (HUNTINGTON, 2004).

Um detalhe da fixação dos conectores no anel de tensão ao mastro também pode ser observado tanto no anel que sustenta a membrana interna como o anel que sustenta a membrana externa da cobertura do Aeroporto de Denver, Figura 5. 234 e também a fixação no Millenium Dome na Figura 5.235.



Figura 5.234 Anéis tensores no Aeroporto de Denver disponível em www.howardwill.com/Photos/Pueblo/PhotosPueblo.htm em 16/07/2009.



Figura 5.235 Anel tensor no Millennium Dome em Londres, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009.

Segundo HUNTINGTON (2004), na aplicação de anéis tensores flutuantes, a situação de serem suspensos aos mastros por cabos com esticadores é um grande facilitador na obtenção e ajustes da forma da cobertura, permitindo ajustes de tensão para o tecido e para os cabos da cobertura.

O impacto visual do pico de um mastro nas arquiteturas têxteis e tensoestruturas poderem ser um diferencial e no caso do estádio King Fahd na Arábia Saudita, Figura 5.236, cita-se que o pico do mastro na realidade possui um efeito estético e de busca da forma parecida a uma adaga, ou seja, trata-se de uma busca de forma com maior expressividade estrutural. Para esta construção e imediatamente após a pré-tensão do tecido, a estrutura recebeu a fixação na borda dos anéis tensores um pico de fechamento como pode ser observado na Figura 5.237.



Figura 5.236 Vista do Estádio King Fahd e seus mastros em forma de adaga, disponível em http://farm3.static.flickr.com/2009/2214454477_a10d2d8b4e.jpg?v=0 em 04/08/2009.

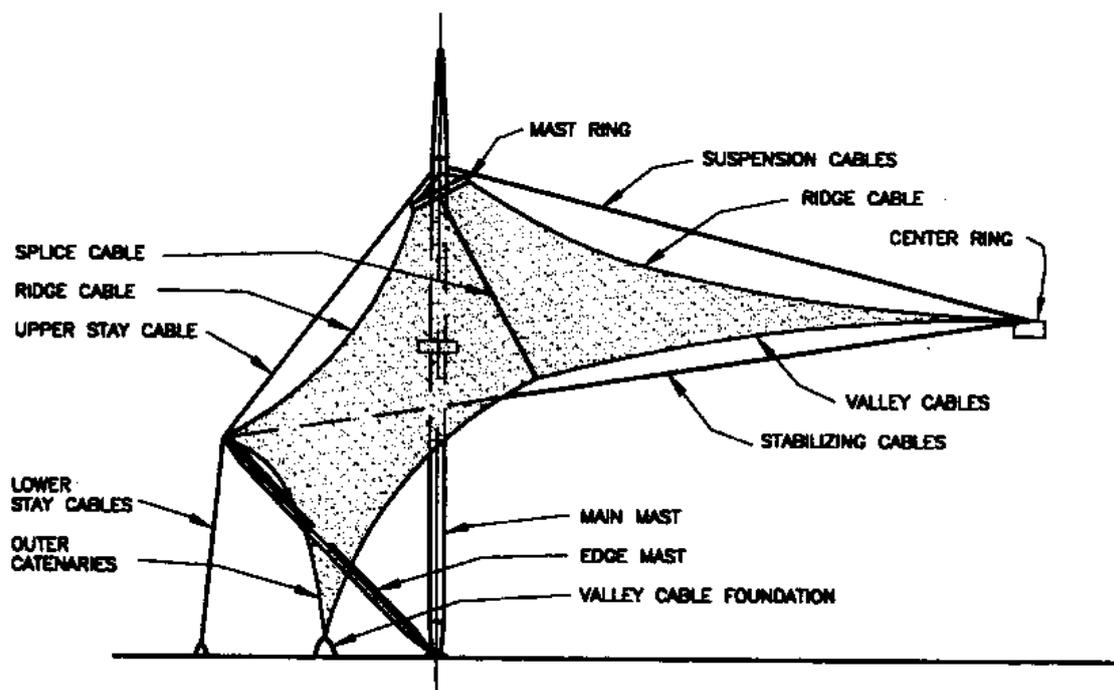


Figura 5.237 No Estádio King Fahd, o mastro vertical e sua extensão de comprimento, percebe-se certo desalinhamento entre o pico e o eixo do mastro com forma de adaptação a forma do tecido (HUNTINGTON, 2004).

Dos exemplos anteriores a conexão do topo dos mastros além de serem pontos de fechamentos diferenciados, realiza várias funções estruturais que podem ser retomadas das aplicações anteriores ou mesmo no próximo exemplo, como a absorção distribuída das forças de tensão radial do tecido, ancorar qualquer cabo radial que se sobrepõe ao tecido através de fixação em anel tensor, ancorar membranas utilizando-se placas sanduíches nas membranas e ligando-se diretamente ao topo do mastro, ancorar cabos de estabilização da tensoestrutura e ainda, normalmente são usados como pontos de locação para aparelhos como ventiladores, desumidificadores, iluminação entre outros equipamentos.

Estas aplicações no caso do projeto do centro recreativo em Masserberg em Thuringia - Alemanha realizou-se num retrofit com o objetivo de ligar dois edifícios, um de dormitórios e outro com uma clínica recreativa e uma área de tratamento médica, a visita da obra pode ser observadas na Figura 5.238 e pelo desenho esquemático da tensoestrutura na Figura 5.239.



Figura 5.238 Vista do centro recreativo em Masserberg, disponível em www.hotel-am-badehaus.de/kuren.htm em 17/07/2009.

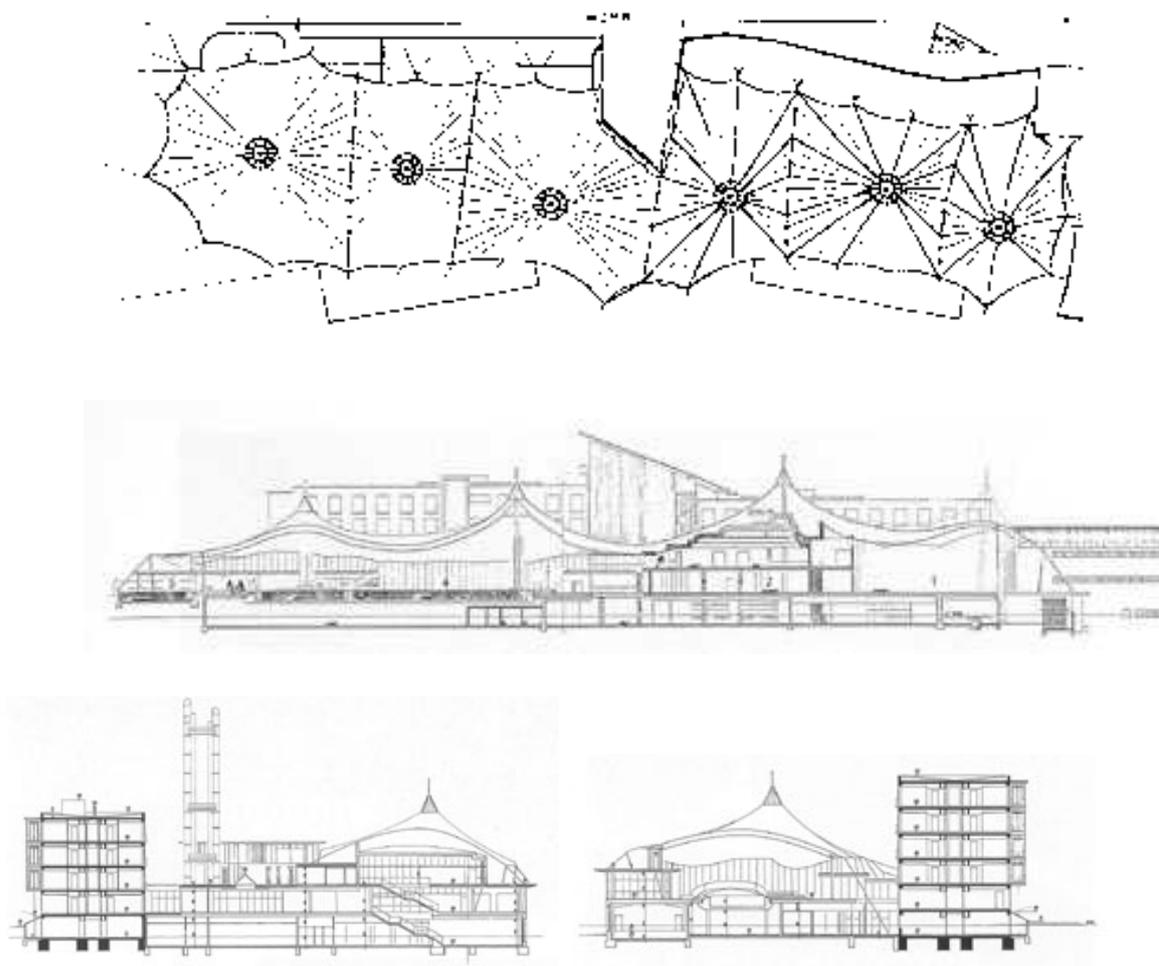


Figura 5.239 Desenho esquemático da planta e cortes do centro recreativo em Masserberg, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html> 17/07/2009.

Destaca-se esta obra em relação às conexões em mastros por a estrutura primária possuir 6 mastros principais, 33 apoios de extremidade e 9 apoio de extremidade ao redor do edifício e correspondente a vedação por caixilhos envidraçados. Os mastros principais e os de extremidade são apoiados em níveis diferentes e assim têm comprimentos muito discrepantes. Os mastros principais consistem em um tubo de aço (\varnothing 508 x 20 mm e \varnothing 508 x 14,2 mm) com comprimentos entre 8,4 m e 17,2 m.

Nota-se pelos cortes apresentados anteriormente e pelo corte apresentado a seguir na Figura 5.240, que a obra por ser uma região de clima rigoroso possui dupla camada.

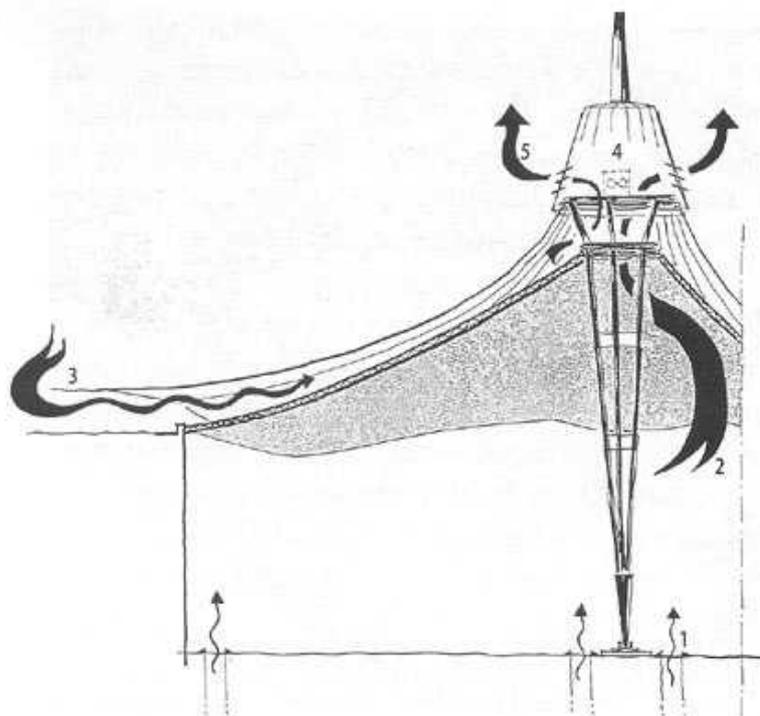


Figura 5.240 Corte esquemático da tensoestrutura do centro recreativo em Masserberg, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html>

17/07/2009

A membrana interna é em PVC e cobre a piscina (1270 m²) e a área de esporte (395 m²) com dupla camada e com isolante térmico correspondente a 16 cm de lã mineral, a membrana externa em PVC é afastada em 50 cm e no máximo 2m das internas, formando uma passagem de ventilação forçada com circulação de ar de no mínimo 5000 m³/h. A membrana externa cobre a área de 3200 m²

e, foi especialmente produzida pela Verseidag para aplicações de alto-carregamento e para vãos grandes com 60000 a 120000 m², tem uma resistência à tração de 20kN/50 mm e 19kN/50mm (warp/weft) que comparativamente o valor padrão é de 3,9 kN/50 mm.

O espaço entre as membranas é fechado com membrana aberta para que não ocorra a entrada de pássaros e outros animais através de uma saia, sendo que membrana interna fixa-se em um perfil tubular ao longo e sobre o caixilho de vidro.

A sustentação junto aos mastros é feito por um anel tensor superior que é apoiado por 12 cabos que suspendem a membrana no topo do mastro principal, Figura 5.241.

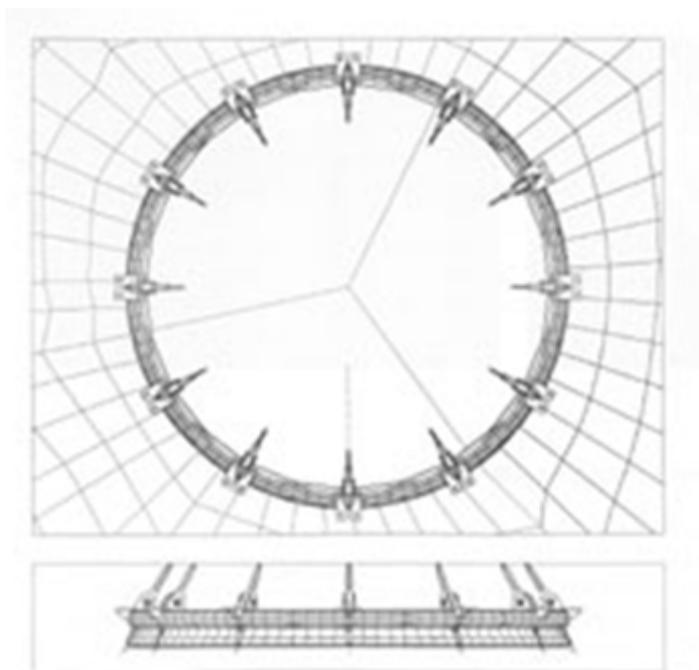


Figura 5.241 Anel tensor superior da tensoestrutura do centro recreativo em Masserberg, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html>

17/07/2009

O anel mais baixo tem um diâmetro interno de 2,26 m e, serve de apoio e fixação das barras; o anel superior de diâmetro de 3,82 m é ancorado no topo do mastro como uma simples tenda, interna é firmada ao anel interior. Os anéis são fechados com placa metálica, funcionando como um diafragma. O diafragma do anel superior é amoldado para habilitar ventilação natural do

espaço por clarabóias e ventilação forçada adicional para fazer a exaustão ou ventilar se necessário, Figura 5.242. A placa de metal inferior, do anel mais baixo, tem um acesso embutido que permite manutenções e pode ser alcançado por uma escada de mão de acesso ao longo do mastro. O anel superior está coberto com um chapéu de metal cônico composto por 16 elementos de metal dobrados e unido e também possui uma porta de acesso externa para manutenção dos ventiladores e para quando necessário realizar a reprotensão da membrana.

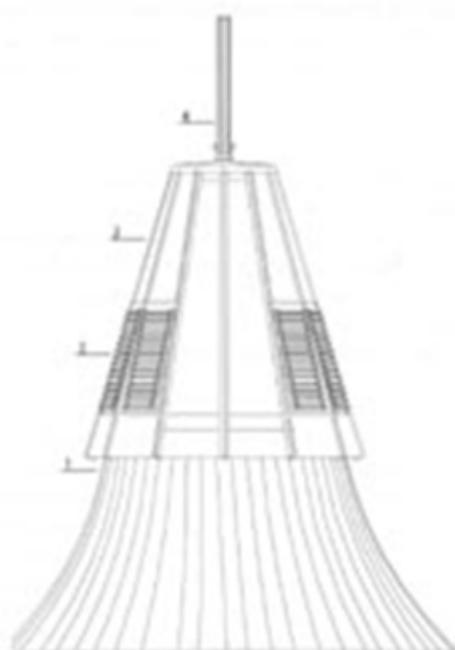


Figura 5.242 Anel tensor superior coberto com clarabóia, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html> 17/07/2009

Para os casos que o tipo do mastro pode ficar aberto e sujeito às intempéries indica-se a preocupação que o projetista terá na drenagem local e na opção e adoção de conectores e acessórios duráveis, como preconizados anteriormente sobre elementos galvanizados, inoxidáveis e pintados.

Um ponto destacado por HUNTINGTON (2004) sobre a importância das conexões dos mastros e o projeto aderente a todas as etapas da obra, na montagem projetar para que o mastro tenha ligações ou acessórios que permitam o içamento e fixação de roldanas em obras pequenas ou mesmo permita a fixação de placas um macaco hidráulico e parte de um guindaste

como ilustrado na Figura 5.243, onde o quadro superior permite a fixação com parafusos de uma placa base de um macaco hidráulico, tais situações de projetos de conexões podem levar a grandes economias e ainda viabilizar a montagem em locais e partes que a tensoestrutura é confinada como um topo de mastro.

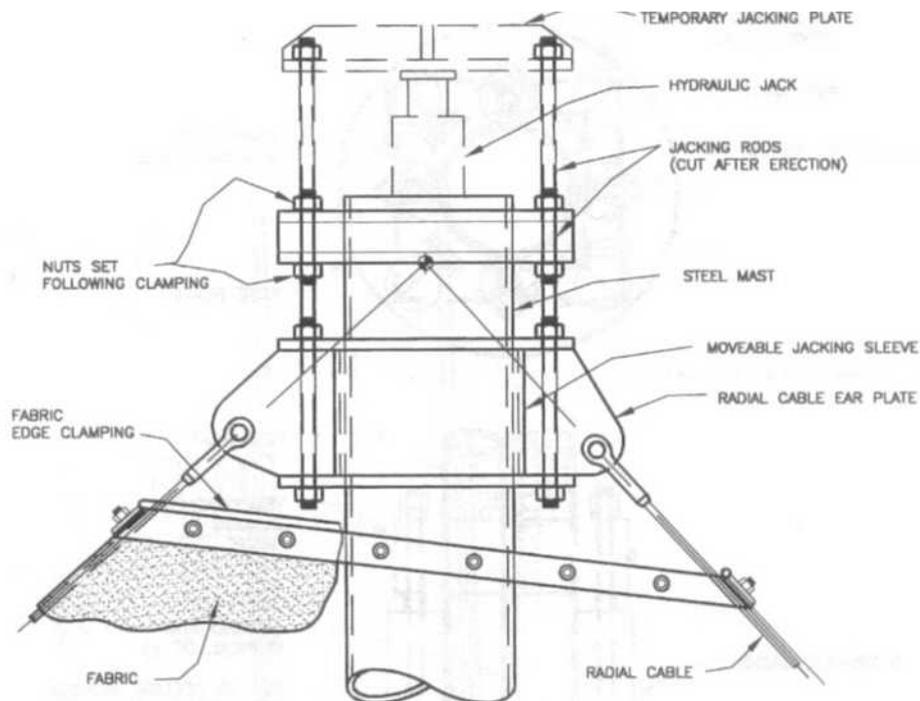
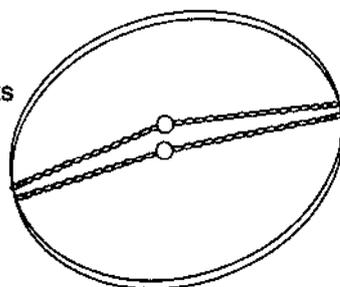


Figura 5.243 Topo de mastro que permite a fixação de equipamentos de montagem (HUNTINGTON, 2004).

Bail ring for
use with two
sets of blocks
an tackles



2 piece center pole
with 2 eyebolts for 2 sets
of blocks and tackles

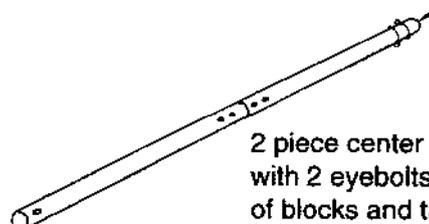


Figura 5.244 Anel de tensão e mastros para tendas de aluguel (IFAI, 1996)

Na Figura 5.244, anterior, apresenta-se os acessórios indicados pelo IFAI (1996) para as tendas de aluguel, como o mastro e anéis, que comparativamente são muito simples aos já citados para as tensoestruturas e arquiteturas têxteis, mas que podem ser aplicados nestes em pontos específicos ou de menor esforço, como um anel com duas correntes para fixação em dois pontos ou em dois mastros e o mastro composto por duas peças que possuem pontos de regulagem de comprimento ou de fixação.

Encerrando a descrição das conexões e topo e elevadas dos mastros, destaca-se na Figura 5.245, a seguir, um mastro do Estádio King Fahd, suas dimensões proporcionais aos ocupantes, a fixação da iluminação e cabos laterais para manutenções que chegam ao seu topo.



Figura 5.245 Corpo de um mastro do Estádio King Fahd, disponível em http://farm3.static.flickr.com/2417/2214449849_b77f0ac86f.jpg?v=0 em 04/08/2009.

5.3.2.8 Conexão de mastros e base de apoio

As descrições a seguir são complementares ao item já desenvolvido sobre o tópico, conexão entre cabo e ancoragem de apoio ou de fixação de cabos em apoios, uma vez que o item em voga pode corresponder em parte a ancoragens, só que neste caso especificamente para os mastros.

Neste caso, a conexão da base do mastro, preferencialmente corresponderá ao término de um elemento submetido à compressão simples e ainda, sem as complexidades da terminação de cabo e tecido, porém trata-se de um elemento também de muito impacto visual e de maior proximidade de observação, uma vez que normalmente estão aparentes.

Uma condicionante funcional é quanto ao projeto do grau de liberdade, se articulado ou fixo, esta condição que deve ser definida em função da rotação ou não em um ou ambos os eixos principais, tendo como direcionamento os conceitos básicos da estática no qual, os apoios podem ser engastados ou articulados. No caso dos apoios fixos, indica-se que são adotados para mastros que são executados na vertical e cumprem a função de uma coluna ou pilar, tanto na montagem como em seu uso.

Para o caso da articulação simples, ilustrada na Figura 5.246, cita-se a imagem simplista da fixação de roldanas em planos utilizada em exercícios de Física, e num paralelo com as tensoestruturas e arquiteturas têxteis são correspondentes aos alinhamentos dos esforços de tensionamento e protensão da membrana.

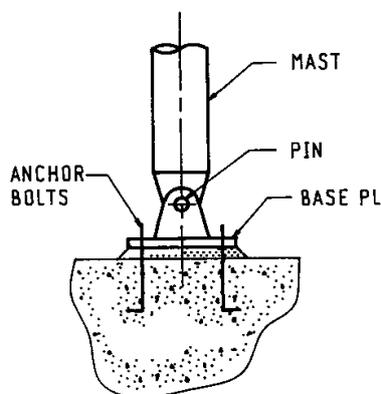


Figura 5.246 Detalhe de ligação de mastro com articulação simples (SHAEFFER, 1996).

HUNTINGTON (2004) cita que as bases de um “grau de liberdade” simples são úteis quando se espera que o pilar gire primeiramente em volta de um eixo simples, como na borda de uma tensionada, uma vez que a tração nos cabos para trás, fará com que o mastro se desloque para fora, conforme ilustrado na Figura 5.247.

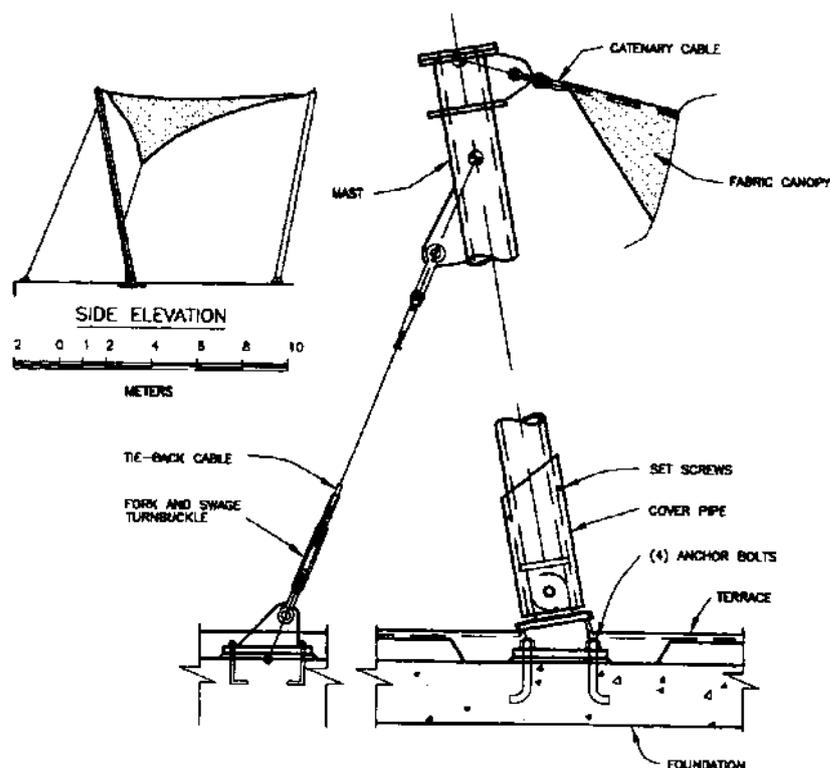


Figura 5.247 Detalhe de base de mastro articulada e cabo em laço com esticador (HUNTINGTON, 2004).

Da mesma forma que a ligação em laço de cabo pode ser utilizada com um garfo ou mandíbula que permite a articulação seja concentrada em um pino.

Bases de mastros com 2 graus de liberdade permitem que o topo do mesmo se desloque livremente em ambos os eixos e aplicam-se quando são necessários estes deslocamentos tanto na montagem como em uso, para estes casos são utilizadas bases como nós esféricos, Figura 5.248, e mantidas em maciço oco e esférico como um giroscópio.

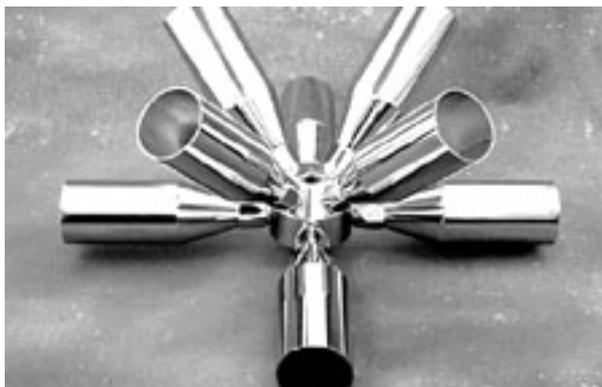


Figura 5.248 Nó esférico, disponível em http://www.aluaco.com.br/tecnologia/tecnologia_no.html em 04/08/2009.

De forma a adaptar um nó esférico cita-se a utilização de nicho com elastômero, no caso apresentado na Figura 5.249, HUNTINGTON (2004) utilizou um mastro que se afunila de modo cruciforme e possui uma base circular em contato com um elastômero sobre a base, esta forma permite ao sistema a capacidade adequada de rotação, mas com perdas no impacto visual comparando-se com um nó esférico e ainda, de menor confiabilidade e limitadas rotações e punções, mas de imediatas vantagens econômicas.

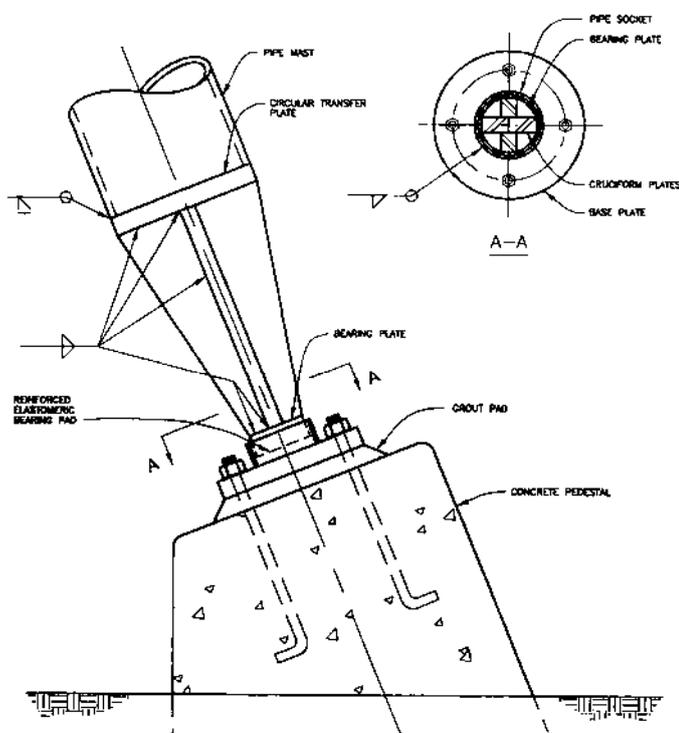


Figura 5.249 Mastros sobre placa circular elastomérica (HUNTINGTON, 2004).

Da mesma forma que os topos de mastros podem ser projetados para facilitar a fixação de equipamentos de tracionamento às bases dos mastros também, um exemplo similar ao apresentado no topo para fixação de macaco hidráulico, a seguir, apresenta-se a forma para a fixação na base, conforme a Figura 5.250.

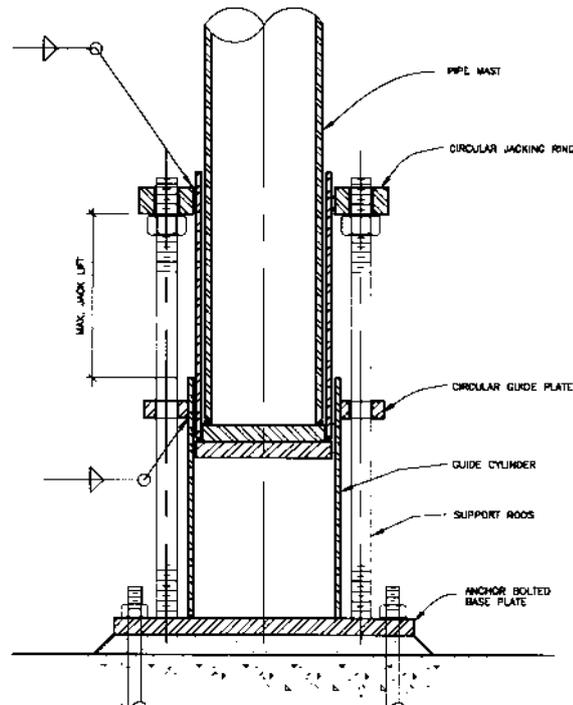


Figura 5.250 Detalhe de base que permite a fixação de macaco hidráulico (HUNTINGTON, 2004).

Como sugestão projetual tendo em vista que os mastros além de terem um adequado dimensionamento, principalmente a compressão e a flambagem, devem comportar também mecanismos na base, é não perder o foco de se detalhar um elemento parrudo que pode descaracterizar a leveza da tensoestrutura ou da arquitetura têxtil, ou massivo que obstrua o espaço, deve-se valer de artifícios utilizados inclusive em obras convencionais, ou seja, de enterrar a base.

Para as tendas de aluguel as bases estaqueadas e mastros fixos com pinos devem ser equipamentos leves e que podem ser içados com cordas e com auxílio de cavaletes, eventualmente de tensores pneumáticos, conforme Figuras 5.250 e 5.251.

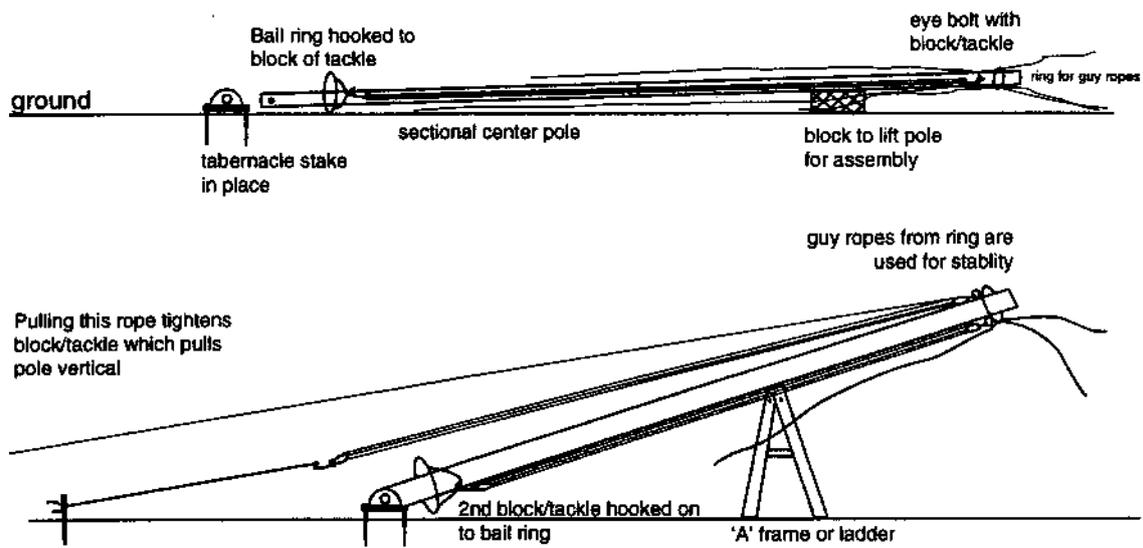


Figura 5.251 Mastro e bases de tendas de aluguel em fases de montagem (IFAI, 1996).

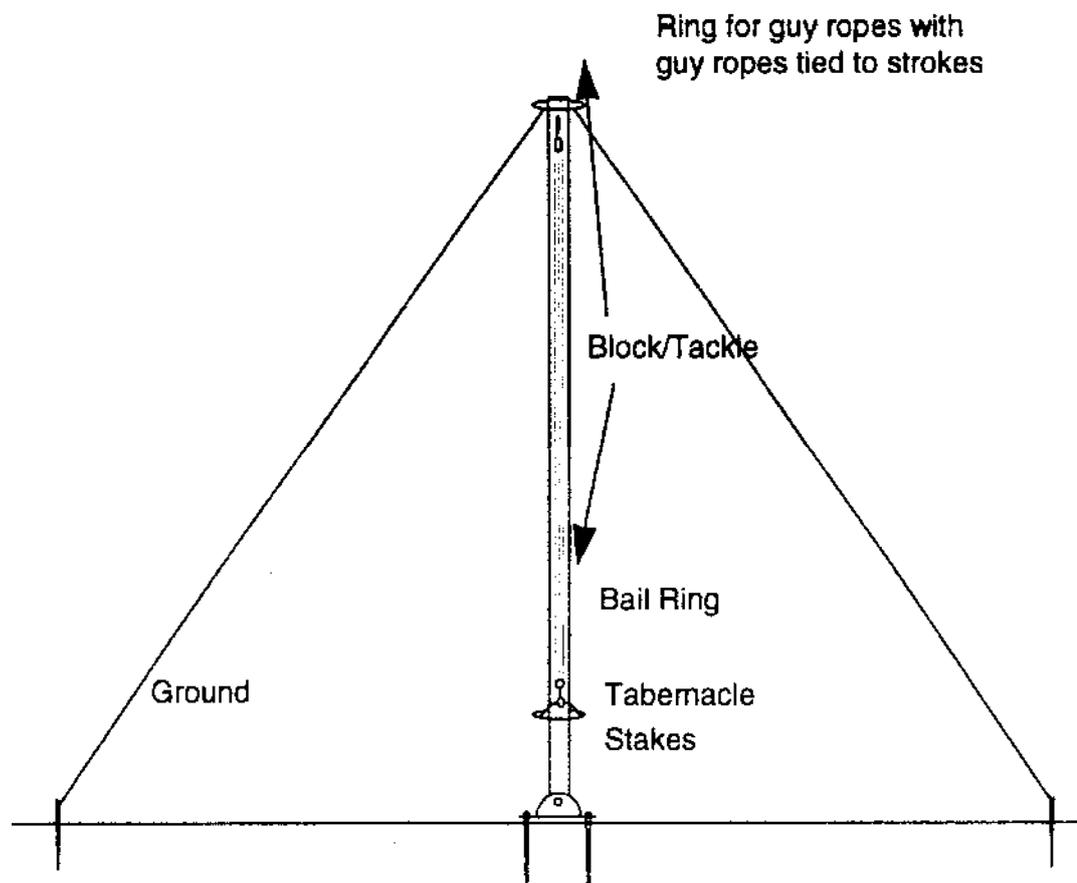


Figura 5.252 Mastro e bases de tendas de aluguel em serviço (IFAI, 1996).

CAPÍTULO 6

6. Os condicionantes projetuais e técnicos de caracterização das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas

Através do estudo investigativo das atividades de projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas e de obras consolidadas, apresentou-se os condicionantes projetuais e técnicos, para os quais se utilizou exemplos de edificações com a adoção de fechamentos e vedações de forma simples como de formas complexas e obras que se configuram em equipamentos ou pele ativa, devido ao comportamento e desempenho além da simples limitação entre espaços e vedação, portanto com funções adicionais e até funções complexas como pneumáticas de nitrogênio, que possuem a condição de ser uma vedação transformável em painel dinâmico de controle ambiental e tela de projeção de imagem ou isolante do edifício.

Como citado no exemplo do parágrafo anterior, de forma qualitativa foram apresentados os condicionantes como respostas determinantes da qualidade do projeto como o atendimento funcional, a construtibilidade e resultado formal. Entende-se também que os condicionantes equivalem a aspectos que durante a definição do escopo de uma tensoestrutura e arquitetura têxtil na atividade projetual, vão sendo descartados por outros que vão sendo priorizados. Esta ação pode ser definida como definição de condicionantes de objetividade que levam ou atendem o objetivo do projeto e de caracterização da tensoestrutura e arquitetura têxtil.

Esta caracterização neste trabalho parte do impacto sobre as atividades profissionais de desenvolvimento de projetos de tensoestruturas e arquiteturas têxteis.

A atividade de decisão de condicionantes em projeto pode ser configurada e trabalhada em uma lista de atendimento de requisitos e escolha dos condicionantes de projeto, por ser uma nova tecnologia construtiva e por vezes se caracterizar aos profissionais como uma nova postura projetual, a proposta de uma listagem neste trabalho terá o objetivo de conduzir uma postura de busca e melhoria de compatibilidades com as características formais das arquiteturas têxteis ou tensoestruturas complexas e também de melhor entendimento de seus paradigmas singulares. Tal listagem partirá do princípio de notado reconhecimento da íntima relação entre forma e tecnologia computacional, relação desenvolvida anteriormente e, nesse aspecto, a responsabilidade integradora dos profissionais na elaboração destes projetos.

6.1 Atendimento de requisitos e escolha dos condicionantes de projeto

Para desenvolvimento desta proposta será adotado os três materiais mais utilizados nas tensoestruturas e arquiteturas têxteis, tendo em vista as disposições construtivas e os exemplos apresentados neste trabalho, a saber: tecido em poliéster com cobertura em PVC, tecido em fibra de vidro e cobertura de PTFE e o filme ETFE.

Justifica-se que os demais materiais podem entrar como de atendimento de requisitos ponderadamente equivalentes aos indicados e não se considera como de impacto para a definição de atendimento de requisitos e escolha dos condicionantes de projeto. Considerações que se opta neste momento por se apresentar após obtenção dos indicadores de atendimentos aos condicionantes.

Como condicionantes de projeto para os quais os materiais serão qualitativamente analisados, por pontos unitários, estão a seguir a proposta da composição com doze e as respectivas descrições:

- (1) Vão de atendimento: sendo para vão pequenos, 1 ponto; vão médio, 2 pontos e 3 pontos vãos grandes. Nesta ponderação será a de melhor aderência a vãos pequenos 4 a 6 metros como as tendas, vão médios de 6 a 8 metros e grandes vãos de 8 a 12 metros sem a necessidade de estrutura de apoio ou mesmo o vão entre subestruturas de apoio das membranas.
- (2) Cor da membrana: atendimento com a possibilidade da transparência, opacidade e opacidade com coloração além da cor branca, respectivamente 1, 2 e 3 pontos.
- (3) Resistência relativa da membrana: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.
- (4) Aderência a obras conversíveis: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.
- (5) Aderência a obras retráteis: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.
- (6) Durabilidade relativa da membrana: excelente, 3 pontos; alta, 2 pontos e boa, 1 ponto.
- (7) Custo relativo do material e obra: alto, 1 ponto; média, 2 pontos e média baixa, 3 pontos.
- (8) Facilidade da montagem e trabalhabilidade da membrana: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.
- (9) Exigência de técnicas especiais de conexões: alta, 1 ponto; média, 2 pontos e média baixa, 3 pontos.
- (10) Aderência a obras permanentes ou de menor aderência a obras temporárias: excelente, 3 pontos; alta, 2 pontos e boa, 1 ponto.
- (11) Aderência a obras com multicamadas para melhoria do conforto térmico: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.
- (12) Aderência a obras com camadas e colchões sanduíche com isolantes térmico ou acústico: alta, 3 pontos; média, 2 pontos e média baixa, 1 ponto.

Porém, vale destacar que há casos específicos e que não atenderão os indicadores propostos, sabendo que não atenderão a generalidade e apontarão para outra ponderabilidade das variáveis.

TABELA 8: Avaliação qualitativa de condicionantes de projeto de materiais mais importantes por pontos unitários.

CONDICIONANTE	MEMBRANAS		
	PVC	PTFE	ETFE
(1) Vão	2	3	1
(2) Cor da membrana	3	1	2
(3) Resistência relativa da membrana	2	3	1
(4) Aderência a obras conversíveis	3	1	2
(5) Aderência a obras retráteis	3	3	3
(6) Durabilidade relativa da membrana	1	3	2
(7) Custo relativo do material e obra	3	2	1
(8) Facilidade da montagem e trabalhabilidade da membrana	3	1	1
(9) Exigência de técnicas especiais de conexões	1	2	3
(10) Aderência a obras permanentes ou de menor aderência a obras temporárias	2	3	3
(11) Aderência a obras com multicamadas para melhoria do conforto térmico	2	1	3
(12) Aderência a obras com camadas e colchões sanduíche com isolantes térmico ou acústico	3	1	1
SOMÁTORIA DE ATENDIMENTO	28	24	23

A partir dos valores obtidos pode-se comentar que o maior atendimento é da membrana em PVC, caracterizando de fato que se trata do material de maior utilização, fato de sua flexibilidade projetual e das menores restrições técnicas quanto às aplicações e ser aderente a obras de pequeno e médio porte. Tal indicador corresponde inclusive à quantidade de obras realizadas e também está coerente com

o avanço da difusão tecnológica do sistema construtivo das arquiteturas têxteis e tensoestruturas. No caso do Brasil, a membrana de PVC é um material disponível e inclusive aplicado em outras modalidades e áreas, sendo os outros, PTFE e ETFE, de fornecimento por encomenda e através da importação destes, razão que justifica valores de atendimentos totais menores em relação ao PVC.

A diferença entre o PTFE e o PVC é reduzida e indica-se neste trabalho que seu uso é indicado para membranas estruturais, submetidas a esforços maiores e por principalmente exigir técnicas de aplicações adequadas para não ocorrer o comprometimento da superfície da construção. Pondera-se aqui que a diferença de aproximadamente 14% de atendimento do PTFE em relação ao PVC não pode ser considerada de grande magnitude, entendendo-se que são materiais de bases distintas em que se pesa a tecnologia em si das arquiteturas têxteis e tensoestruturas.

Tal comentário vale para o ETFE e de fato sua aplicação e técnicas podem ser consideradas de adaptações as outras membranas e serem aplicações recentes. Trata-se de uma pontuação inferior de atendimento por representar a fronteira de novas formas de construções, de edifícios com embarque tecnológico elevado e de mudança não só de formas físicas, mas de mudanças quanto ao projeto e à produção de uma obra como um equipamento e como produto onde as compatibilizações ocorrem entre as diversas áreas do conhecimento.

Os indicadores de atendimento aos condicionantes em si resumem a absorção tecnológica dos materiais e de suas técnicas, que correspondem aos seus surgimentos, invenções e adequação a construção civil e as mais inovadoras formas de edificações, contando com as melhorias conseqüentes a partir das aplicações e as exigências e usos e, reconhecimentos profissionais.

Finalmente, é importante caracterizar que os resultados demonstram com consistência que o atendimento das condicionantes pode definir e distinguir as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas, que se apresentam como novas formas de desenvolvimento das atividades projetuais e que difere em muito das tendas e tensoestruturas simples aditando-se às necessidades já tratadas de condicionantes das atividades projetuais.

6.2 Verificação de atendimento de condicionantes de projeto através da análise de obras consolidadas – requisitos de qualidade da obra atendidos

Uma vez apresentado as condicionantes como requisitos de atendimentos relativos aos três materiais principais das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, neste apresenta-se a avaliação de atendimento de requisitos de cinco obras, de complexidades e utilizações diferentes, com o objetivo de responder o impacto do atendimento de condicionantes projetuais e técnicos e definição das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.

Para desenvolvimento desta proposta adota-se o referencial proposto na Tabela 8 deste trabalho, e como parâmetros de ponderações para avaliação coerente, o repertório, as disposições construtivas e os exemplos apresentados neste trabalho.

Desta forma e tendo como obras consolidadas no Brasil praticamente em sua totalidade de tendas, tensoestruturas e arquiteturas têxteis em PVC, entende-se que esta análise não se configura em uma limitação de material e sim a constatação que a aplicação das membranas em PTFE e os filmes de ETFE proporcionam claramente o painel da conjuntura tecnológica do desenvolvimento deste sistema construtivo no Brasil e de buscar responder com análises de atendimentos de condicionantes em obras consolidadas, que sob esta conjuntura tecnológica brasileira, delimitam as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.

Esta avaliação será desenvolvida tendo como material de análise a obra montada e em uso, tendo-se realizado uma inspeção visual e apontamento de não atendimento de condicionantes, conforme ordenamento a seguir.

Obra 01: Cobertura em PVC de uma central de atendimentos de táxis no aeroporto internacional do Rio Grande do Norte.



Figura 6.1 (a)



Figura 6.1 (b)

Figura 6.1 (a) e (b) Vista Geral da obra a partir da via de acesso ao aeroporto em (a) e em (b) vista aproximada (da autora, 2007)

Nota-se pela Figura 6.1 que se trata de uma obra de cobertura em membrana de pequeno porte e sem contato com a edificação. Pela Figura 6.2, destaca-se que a própria inclinação dos mastros e fixação dos cabos foram os definidores da extensão dos beirais que seriam disponíveis e que foram executados.



Figura 6.2 Vista lateral da obra a partir da via lateral (da autora, 2007)



Figura 6.3 Vista dos pontos de ancoragem dos cabos no solo (da autora, 2007).

As ancoragens são reconhecidas como comuns e formalmente adequadas quanto a dimensão da membrana, indicando-se a simplificação na adoção de barras de aço para concreto com ganchos e notando-se a aplicação de ancoragem com cabos fixados por esticadores e olhais com sapatilha e grampos, Figura 6.3.

Nas Figuras seguintes, 6.4 e 6.9, notam-se as não conformidades da obra, de não atendimentos aos requisitos e condicionantes de forma, ficando evidente em todos os pontos o enrugamento da membrana devido a falta da aplicação e distribuição da protensão correta.



Figura 6.4 Enrugamento de membrana no encontro do topo do mastro de borda lateral direita (da autora, 2007)

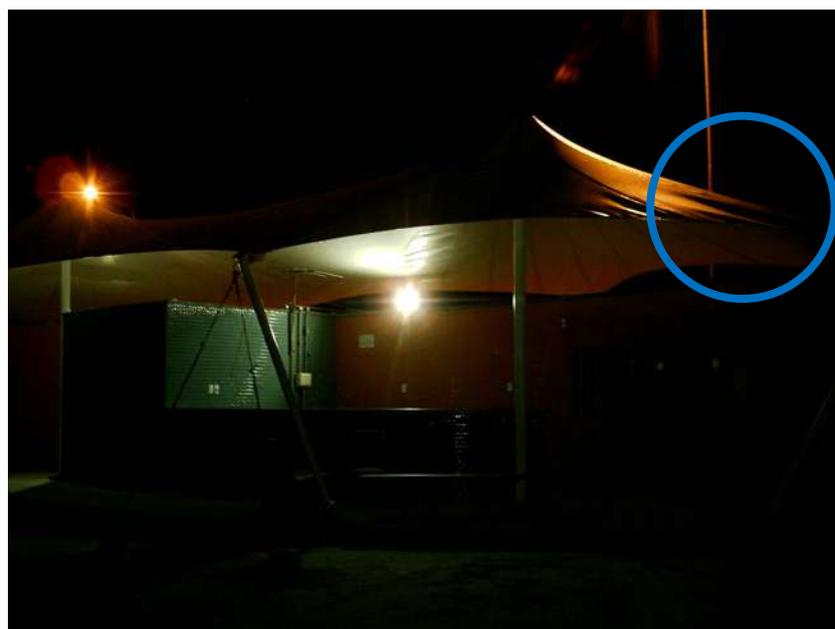


Figura 6.5: Enrugamento ao longo da borda em catenária da membrana (da autora, 2007)



Figura 6.6: Enrugamento da membrana no topo de mastro da face posterior da obra
(da autora, 2007)



Figura 6.7 Enrugamento de membrana no encontro do topo do mastro de borda lateral
esquerda (da autora, 2007)



Figura 6.8 Vista geral da parte frontal da membrana com indicações da superfície enrugada da membrana (da autora, 2007)



Figura 6.9 Conexão de mastro central e membrana com indicações de enrugamento da membrana (da autora, 2007)

Figura 6.9 percebe-se que ocorrem enrugamentos na parte esquerda da membrana, sendo uma parte do enrugamento em sentido diagonal. Como o tensionamento da membrana é o resultado da tração de dois cabos em direções convergente, o enrugamento diagonal corresponde a falta de tensionamento em uma direção em relação a outra. Para retificação do pano, os cabos deveriam ser mais tracionados e

direcionados para proporcionar a abertura do pano na extensão da membrana. No segundo enrugamento, nota-se que a membrana está vincada correspondente a falta de tensão nos dois sentidos, exigindo somente a maior abertura do pano.



Figura 6.10 Conexão de mastro lateral e base rígida sobre o solo, notando-se já pontos de corrosão da peça de articulação metálica e degradação da base de concreto (da autora, 2007)



Figura 6.11 Conexão de mastro de borda e mastro com cabos, ambos com fortes indicativos de corrosão e início de perda da seção da chapa sanduíche de fixação da membrana (da autora, 2007)

Nas Figuras seguintes, 6.10 e 6.11, demonstram-se as não conformidades da obra em relação as conexões tanto de pontos elevados como nas ancoragens e apoios sobre o solo, que se encontram oxidadas e já tendo indícios de pigmentação da membrana de PVC. Correspondendo a uma inadequação de especificação de conexões e as manutenções de repinturas.

Obra 02: Tenda em PVC para espaço de lazer no Parque Fernando Costa (Água Branca – São Paulo).



Figura 6.12 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)

Pela Figura 6.12 nota-se que a obra pode ser caracterizada como uma tenda de pequeno vão e de conformação de tendas de aluguel. Pela sua localização cita-se que se trata de um ambiente de pouca insolação e com grande parte sob a condição de quedas de folhas e galhos, razão de seu estado de falta de manutenção e até pigmentação da membrana de PVC pelas deposições de material orgânico.

Soma-se a sua apresentação degradada, como bordas encardidas, a presença de rasgos que denotam situações de vandalismo e de corte por queda de galhos maiores das árvores, Figura 6.13. Desta Figura indica-se a aplicação de apoio de mastro sobre cabos.

Na Figura 6.14, apresenta-se em detalhe a membrana de PVC totalmente pigmentada e o rasco com marcas de escorrimento de águas.



Figura 6.13 Vista interna da tenda apoiada no centro em mastro sobre cabos, destaque aos rasgos e bordas sujas (da autora, 2009).



Figura 6.14 Vista interna da tenda com membrana com pigmentação de degradação e rasgo com demarcação de escoamento de águas (da autora, 2009)

As conexões aplicadas são adequadas, porém, cita a mesma falta de manutenção, notando-se nos esticadores pontos ou mesmo toda a sua superfície em estado de corrosão, Figuras 6.15 a 6.1.



Figura 6.15 Vista de emenda de cabo em laço e com grampo no término (da autora, 2009)



Figura 6.16 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)

Na Figura 6.15 nota-se a emenda de cabo de aço em laço e com grampo de fixação, sendo a ponta inadequadamente deixada solta.



Figura 6.17 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)



Figura 6.18 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).

Na Figura 6.16 nota-se que no nó interno da estrutura metálica de sustentação, um cabo é fixo por esticador com término em olhal e outro através de parafuso passante no olhal. De modo mais simplificado e diferentemente do nó anterior, o nó apresentado na Figura 6.17, por ser um nó passante, o cabo é laçado em um olhal da estrutura e fixado com grampo.

Nota-se na Figura 6.18, que a extensão o cabo possui uma emenda corretamente realizada, ou seja, laço fixo por um grampo e em seu término de ancoragem há um segundo grampo.

A fixação dos cabos nas bordas apresenta-se em bainhas soldadas e ancoradas no próprio mastro lateral com esticador e gancho, Figura 6.19 e na Figura 6.20 no lado oposto apresenta-se esta fixação com a superfície oxidada e com grampos de cabos em estado avançado de corrosão.



Figura 6.19 Vista geral de tenda e sua localização sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)



Figura 6.20 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)



Figura 6.21 Base de mastro sobre chapa fixada com pino com cabeças soldadas (da autora, 2009)

Os quatro mastros de borda são fixos na base através de uma chapa de aço como apresentado na Figura 6.21, sendo na Figura 6.22 encontra-se o detalhe do cabo de freio da cobertura com conexão em laço em olhal e gancho.

Os parafusos no pé do mastro são de fixação a um tubo interno ao mastro que é previamente soldado na base e que, portanto garante o apoio fixo em todas as direções.



Figura 6.22 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).

O mastro central flutuante é apoiado por cabos passantes diagonalmente a planta da tenda como apresentados na Figura 6.23 e cada um dos cabos fixos ao nó estrutura da estrutura de apoio, Figura 6.24



Figura 6.23 Vista do mastro flutuante apoiado diagonalmente por cabos (da autora, 2009)



Figura 6.24 Vista dos cabos passantes no pé do mastro flutuante e chegada ao nó estrutural de canto (da autora, 2009)



Figura 6.25 Vista geral da base em forma de copo do mastro flutuante (da autora, 2009)



Figura 6.26 Vista inferior do mastro com cabos passantes (da autora, 2009).



Figura 6.27 Vista do pico e descontinuidade de curvatura da membrana (da autora, 2009)

Na Figura 6.25 apresenta-se a vista do pé em forma de copo do mastro flutuante, sendo os furos passantes para posicionamento dos cabos. Já na Figura 6.26 pode-se ver a vista inferior do copo e os cabos passantes.

Na Figura 6.27 apresenta-se a conformação do pico em um ponto único e notadamente o desvio de curvatura coincidente a um alinhamento de costura entre membranas.



Figura 6.28 Vista interior da ligação mastro central e membrana (da autora, 2009).



Figura 6.29 Vista da sai com enrugamentos diagonais (da autora, 2009).

A vista interior da tenda na direção do pico, Figura 6.28, nota-se a fixação de placa sanduíche com reforço da membrana, definido pelo contorno mais escuro junto a placa e que garante a definição da forma adequada do pico.

Indica-se através desta mesma Figura, as linhas de costuras radiais que se encontram, gerando a sobreposição de justas soldadas que reforçam mais este ponto de elevado esforço de punção na membrana.

Mesmo sendo uma tenda de pequeno porte foram apontadas várias partes da obra com enrugamentos da membrana, como na saia de borda apresentados na Figura 6.29. Neste caso entende-se que a tenda, pelo seu próprio estado de manutenção, não tenha passado por processo de reprotensão para combater os enrugamentos por assentamento e relaxação da membrana.

Obra 03: Cobertura em PVC de uma academia de esportes.

Esta obra refere-se a uma cobertura permanente de uma parte de uma academia de esportes na zona oeste de São Paulo, localizada em avenida de grande circulação e considerado ponto de referência por ser uma obra de tecnologia diferencia as construções existentes em seu entorno, Figura 6.30.

A estrutura de apoio é em aço, denotando um espaço aberto e de translucidez pela cobertura com membrana de PVC e fechamento da fachada em painéis de PVC transparente, Figura 6.31.

Observando-se a Figura 6.31 aponta-se que os dois cones de cobertura do topo estão desalinhados, sendo que o cone da esquerda encontra-se em contato com a superfície da membrana. Em relação ao pico da direita, de maior elevação, nota-se um desalinhamento menor, porém destaca-se um rasgamento da costura que desce do topo ao ponto de apoio na extremidade da viga metálica e conseqüente enrugamento da borda.



Figura 6.30 Vista geral da obra e parte de seu entorno (da autora, 2009).



Figura 6.31 Vista geral e vista dos fechamentos da fachada (da autora, 2009).



Figura 6.32 Posicionamento dos cones de fechamento de pico e alinhamento de rasgo na membrana (da autora, 2009)

Nas Figuras 6.32 e 6.33 notam-se o alinhamento e extensão do dano por rasgamento da membrana e costura de recuperação.

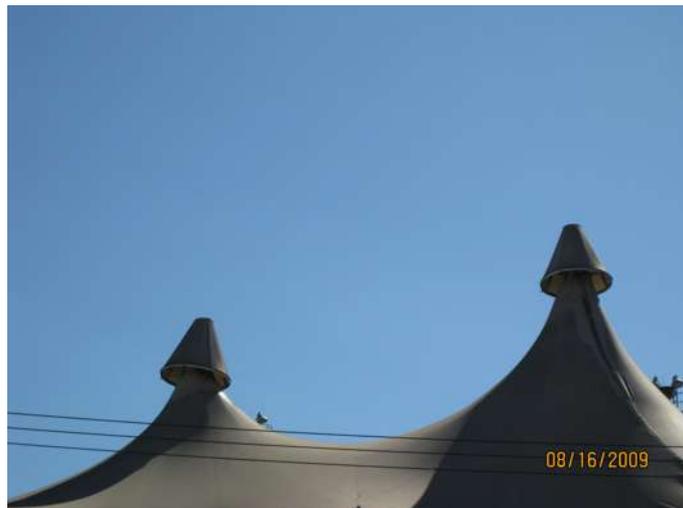


Figura 6.33 Vista aproximada dos picos e vista da extensão do dano na membrana com costura de recuperação (da autora, 2009)

Observando-se a ligação da membrana a conexão de topo percebe-se que a costura não é uniforme e, portanto resultando em distribuição irregular dos esforços no topo do mastro e na membrana. Este fato poder ser notado pelo acúmulo de enrugamento na ligação do topo com a membrana apresentado na Figura 6.34.

Na Figura 6.35 pode-se ver a confecção do cone de fechamento, percebe-se que a fixação do cone de fechamento é realizada através de uma estrutura reticulada metálica com a fixação por cabos com esticadores, nota-se também o modo como a membrana veste o mastro com tamanho muito superior, resultando nas dobras e enrugamentos, razão da distribuição irregular de esforços e do resultado que se atribui aqui ao rasgamento da membrana.



Figura 6.34 Fixação da membrana no topo com costura irregular (da autora, 2009).



Figura 6.35 Detalhe do cone de fechamento do mastro e da fixação da membrana (da autora, 2009)

Tanto o remendo através de sobreposição por soldagem de membranas e costuras das faces como um encadardamento podem ser observados na Figura 6.36, nesta mesma Figura nota-se também a degradação da membrana pela percolação que águas pluviais na face inferior e parte interna da obra.

Na borda em catenária da membrana optou-se pela ancoragem por cabos com olhais fixos com grampos para a ligação cabo membrana e cabo estrutura metálica como apresentado na Figura 6.36 e 3.37.



Figura 6.36 Recuperação da membrana, costura por encadardamento (da autora, 2009).



Figura 6.37 Fixação da borda da membrana com cabos (da autora, 2009)



Figura 6.38 Vista da conexão de extremidades membrana-viga no canto da cobertura (da autora, 2009)



Figura 6.39 Vista da conexão de extremidades membrana-viga em face lateral da cobertura (da autora, 2009)

A conexão entre extremidades da membrana e extremidades de vigas foi realizada através de placa metálica sanduíche com parafusos, destes encontros pode-se notar que as fixações dos cantos da cobertura apresentam enrugamentos na membrana junto a esta conexão, diferentemente dos pontos que se encontram junto aos alinhamentos. Este fato se justifica como sendo os cantos os pontos de maior concentração de esforços e no caso desta obra, estes pontos são de mudança de direção e ângulo tanto da membrana como da estrutura de apoio.

Como comparativo entre estas as ocorrências descritas à cima vale a observação das Figuras 3.38 e 3.39.

Obra 04: Coberturas em PVC de uma academia de circo.



Figura 6.40 Vista geral das coberturas em membrana da Academia Brasileira de Circo. Disponível em http://www.academiadecirco.com.br/galeria_fotos.php?pagina=1&id=38 em 21/08/09.

A Academia Brasileira de Circo possui duas coberturas de membranas de PVC branco e colorido azul e em dupla camada, Figura 6.40.

A cobertura da arena do circo é sustentada por quatro mastros treliçados principais que apóiam também os pontos intermediários da membrana por chapa sanduíche. O topo é confeccionado por um anel metálico treliçado com mastro suspenso central, o anel metálico também é suspenso pelos mastros principais e sua altura é coberta com a saia da membrana que cobre o topo, Figura 6.41.



Figura 6.41 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)

A superfície coberta é composta basicamente por três partes: o topo com saia, o teto e saia de borda de fechamento vertical do ambiente. Todo o perímetro é sustentado por mastros ancorados por cintas e estacas ao chão, Figura 6.42.



Figura 6.42 Vista da composição da cobertura com saia de fechamento vertical semi-aberta (da autora, 2009)

Anexa à cobertura do circo fica a tenda de eventos da qual se apresenta os detalhes da obra.

A visita ocorreu no momento em que os funcionários estavam posicionando o caminhão de apoio do circo como pode ser observado no canto direito da Figura 6.43, bem como, neste momento a tenda estava passando por processo de reprotensão o que facilitou o registro fotográfico e interpretação das ocorrências.

Pela vista frontal da tenda, Figura 6.44, nota-se o caminhão posicionado sob a cobertura, fato que exigiu o destacamento de mastros e estacas, conseqüentemente, gerando a perda de tensão na membrana e enrugamento.



Figura 6.43 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009)



Figura 6.44 Perda de tracionamento da membrana por destacamento de apoios (da autora, 2009).

Na parte lateral a tenda limita um corredor com um muro de divisa do terreno e no momento também apresentava pontos de apoio destacados como pode ser perceber pela ponta da saia de fechamento da borda solta e que se encontra içada a cinta de tensionamento, Figura 6.45.

Nesta mesma Figura podem-se perceber as estacas com cabeças gravadas no solo e as cintas de tensionamento da cobertura com catracas que permitem a aplicação de tensionamento controlado e não exigem a fixação com grampos.



Figura 6.45 Vista lateral da tenda, destacando as estacas e as cintas de tensionamento (da autora, 2009)

O resultado do destacamento da tensão pode ser observado os enrugamentos da membrana nas Figuras 6.46 a 6.48



Figura 6.46 Vista lateral externa apresentando enrugamento (da autora, 2009).



Figura 6.47 Vista lateral com enrugamento e emenda de membranas (da autora, 2009)



Figura 6.48 Vista de pico apoiado sobre chapa interna e sem chapar de cobertura (da autora, 2009).



Figura 6.49 Vista geral dos picos (da autora, 2009).

Na Figura 6.47 nota-se em destaque a emenda em membrana realizada por sobreposição e costura por encadernamento e sobre o pico chapa de coroamento para garantir a impermeabilidade, o que não ocorre nos demais picos pela não presença de costura como se pode observado na Figura 6.48 e 6.49.



Figura 6.50 Vista da emenda entre membrana (da autora, 2009)



Figura 6.51 Vista da marreta de cravação de estaca em perfil dobrado e calandrado (da autora, 2009).

Na Figura 6.50 nota-se detalhadamente o modo como a emenda entre membrana é constituída e percebe-se claramente a necessidade da chapa de cobertura de pico, uma vez que o encontro entre mastro e membranas é aberto.

Como descrito anteriormente a cobertura estava passando por um processo de reprotensão, sendo nas Figuras 6.51 e 6.52 apresentados respectivamente a estaca com a marreta utilizada para cravação e a pré-abertura no entorno de cada estaca para retirada e nova cravação quando necessário ou reprotensão somente da cinta.



Figura 6.52 Vista geral do entorno das estacas escavado (da autora, 2009).

Pela vista interna da membrana pode notar a dupla camada de PVC, em que a membrana externa é em faixas branca e azul e na parte interna azul com alinhamento de emendas na cor branca, como pode ser observado pela Figura 6.53.

Nesta Figura 6.53 nota-se o mastro de canto com chapa de conexão no topo, bem como as saias possuem ilhós para fechamento lateral por encadardamento.

Todo o alinhamento da tenda é constituído por mastros com chapas parafusadas de conexão no topo como pode ser observado na Figura 6.54.



Figura 6.53 Vista do canto com pontos de costuras abertos (da autora, 2009).



Figura 6.54 Vista inferior dos mastros laterais alinhamento coincidente com as costuras das membranas (da autora, 2009).

Na parte externa e topo dos mastros laterais percebe-se o pino de encaixe da cinta de tensionamento e o formato da saia de borda formado pontas para tensionamento.



Figura 6.55 Vista do topo dos mastros laterais (da autora, 2009).

Na vista interna dos mastros principais pode-se notar a chapa de apoio do pico como sendo de distribuição de tensões, Figura 6.56, observa-se também que os alinhamentos das emendas geram a percepção de uma superfície de movimento e de direcionamento.



Figura 6.56 Vista interna do mastro principal com chapa de apoio e direcionamento das emendas neste ponto (da autora, 2009).

Obra 05: Cobertura de uma revenda de automóveis.

Esta cobertura em PVC em dupla camada, sendo a externa na cor branca e a interna na cor azul, não possui fechamento lateral atendendo o objetivo de sombreamento e também abertura para vista dos veículos.

Os topos dos mastros possuem cones de fechamento e os mastros servem de suporte da iluminação que muda de coloração.



Figura 6.57 Vista geral da cobertura da revenda de automóvel (da autora, 2009)

Na Figura 6.58 notam-se os cabos de estabilização entre os mastros principais e percebe-se que a cobertura já fora adesivada, apresentado vestígios de cola com impregnação de fuligens.



Figura 6.58 Vista dos cabos de travamento dos mastros principais (da autora, 2009).



Figura 6.59 Vista de um alinhamento de costura e cones de fechamento com enrugamentos de membrana (da autora, 2009).

A cobertura possui quatro alinhamentos principais de costuras e os cones de fechamento dos mastros são de elevação pronunciada, sendo que alguns apresentam enrugamentos, Figura 6.59. Nota-se também nesta mesma Figura que a membrana já

apresenta adesão de fuligens o que leva a certa perda da impressão que poderia proporcionar.



Figura 6.60 Vista geral dos cones de fechamento dos mastros (da autora, 2009).



Figura 6.61 Vista da ancoragem no solo e utilização de esticadores com olhais rosqueáveis (da autora, 2009).

A opção por cones de fechamento com grandes dimensões destacam a descontinuidade da superfície e em razão do modo de fixação os desalinhamentos são percebidos entre as superfícies da cobertura e cones, Figura 6.60.

A seguir serão apresentadas as ligações e conexões utilizadas nesta obra, sendo a opção por elementos em aço galvanizado, atualmente apresentam em bom estado de conservação e manutenção.

Nas Figuras 6.61 e 6.62 apresentam-se respectivamente as ancoragens no solo através de barras de aço e com as conexões através de esticadores com olhas em parafusos rosqueáveis e as ligações nos mastros laterais sob esta mesma condição. As ligações dos elementos forjados e os cabos são em cabos em olhas com fixação em tubo, gerando uma continuidade do alinhamento do cabo e também uma maior segurança em relação ao enroscamento tanto de pessoas como eventualmente de carros que poderia gerar maiores danos na superfície dos mesmos.



Figura 6.62 Vista de fixação de cabo de contraventamento em mastro lateral com esticadores e olhas rosqueáveis (da autora, 2009).

Diferente da parte inferior as ligações na parte superior são feitas com cabos em olhas e utilização de grampos, como pode ser observado na Figura 6.63, que também apresenta a fixação dos cabos em olhas soldados nos topos dos mastros laterais e a membrana sobre chapas parafusadas.

A partir desta Figura percebe-se a dupla camada de membrana de PVC, como já citado anteriormente a externa é branca e a interna azul.

As fixações nos mastros laterais são alternadas, sendo entre dois alinhamentos de mastros com alinhamento de costura com bainha de cabos, uma emenda de membrana soldada como pode ser observado pela Figuras 6.63 e 6.64, observa-se que no encontro da membrana com os mastros laterais apontam-se costuras em forma de “V” como reforço e aumento da resistência da membrana.



Figura 6.63 Vista das fixações alternadas dos mastros laterais (da autora, 2009).

Cabe destacar que os mastros laterais são de seção circular e, quatro de seção quadrada para ligação dos quatro mastros principais ao solo, percebe-se esta diferença entre seções observando o alinhamento dos mastros na Figura 6.64.



Figura 6.64 Vista de mastros de seções circulares e quadradas (da autora, 2009).

Os pés dos mastros de seção quadrada e os imediatamente laterais são articulados no sentido dos tensionamentos, Figura 6.65, possui também cabos nas diagonais para proporcionar contraventamento para a cobertura e garantir a estabilidade aos mastros principais, Figura 6.66, este tipo de conjunto se repete, portanto quatro vezes e correspondente a quantidade dos mastros maiores.



Figura 6.65 Os pés dos mastros de seção quadrada são articulados no sentido dos tensionamentos (da autora, 2009)



Figura 6.66 Vista dos cabos de contraventamento (da autora, 2009).

A ancoragem dos mastros de seção quadrada no solo e que correspondem a ancoragem dos mastros principais, também recebem atenção diferenciada, como pode se observar pela utilização além de cabo com olhal com sapatilha, há no mesmo sentido correntes de ancoragem principais e fixação em dois pontos de ancoragem com barras no solo, Figura 6.67. Na Figura 6.68 a fixação por corrente também ocorre nos mastros imediatamente laterais aos de seção quadrada, a utilização de correntes nestes pontos se justificam por permitir catraqueamentos sucessivos, sendo cada elo um ponto de ajuste e engate na catraca de tensionamento.



Figura 6.67 Vista ancoragem dos mastros principais (da autora, 2009)



Figura 6.68 Vista de ancoragem secundária com corrente (da autora, 2009)

Nota-se que em todos os pontos de fixação de cabos que não seja no topo interno da cobertura é realizado com conector em tubo, que na Figura 6.68 pode ser destacado pela coloração avermelhada, diferente da cor zincada de todos os outros componentes.

Toda a borda da cobertura é coberta com uma saia curta, sendo nos pontos de ancoragem dos mastros principais interrompida, diferentemente de outros pontos que é contínua como se pode perceber comparando-se as Figuras 6.69 e 6.70, bem como, notam-se as ligações de cabos com conectores em tubo como já apresentado e chapas no topo dos mastros com olhais para fixação de cabos.



Figura 6.69 Vista da saia interrompida para passagem de ancoragem e conexões (da autora, 2009).

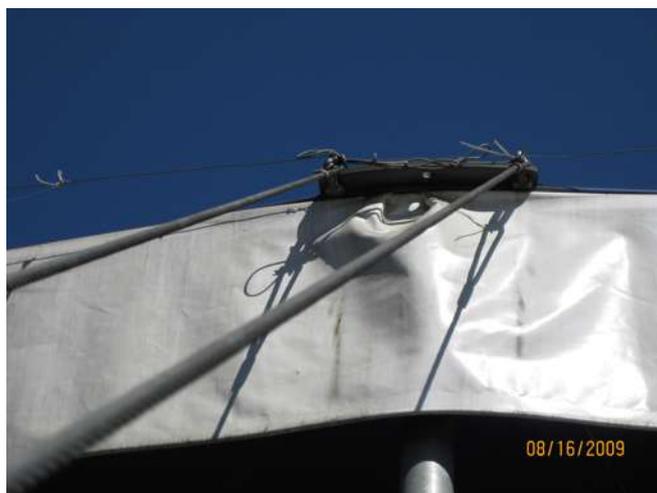


Figura 6.70 Vista de saia contínua e ancoragem em olhais na chapa de topo do mastro (da autora, 2009).

Na Figura 6.71 apresenta-se em vista as soldagem das membranas de PVC formado espinha de peixe e um pequeno desalinhamento em relação ao ponto de encontro das linhas de costuras diagonais.



Figura 6.71 Linhas de costuras por soldagem em forma de espinha de peixe (da autora, 2009).



Figura 6.72 Enrugamento ao longo de costura (da autora, 2009)

Nesta obra apresentam-se poucos enrugamentos dado o porte comparativo com as demais obras já apresentadas, como exemplos indicam-se as Figuras 6. 72, 6.73 no cruzamento do cabo de sustentação da cúpula e os alinhamentos de costuras do tecido e na Figura 6.74 ao longo da bainha de cabos.



Figura 6.73 Vista interior dos tops e enrugamentos em cruzamento de costuras (da autora, 2009).

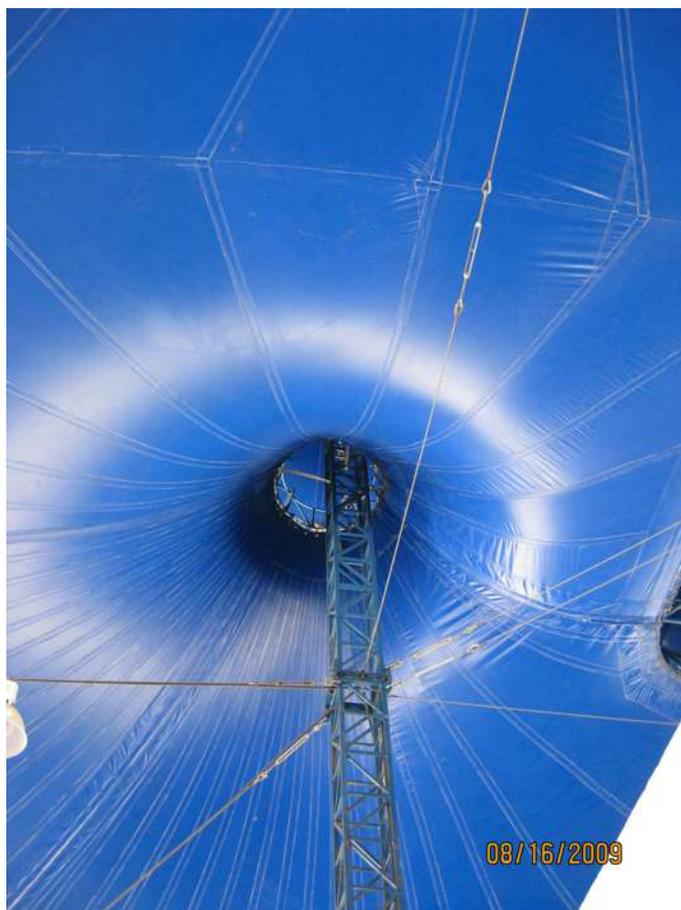


Figura 6.74 Fixação de cabos no mastro principal (da autora, 2009).

Cita-se aqui que o cruzamento de costuras como o apresentado na Figura 6.73 é devido à própria situação de mudança de direções de esforços e pontos que mudam muito a rigidez da membrana devido à sobreposição por soldagem.

Notam-se também nesta Figura a importância dos mastros como elementos de fixação das instalações elétricas, neste caso de iluminação.

Da mesma forma que indicado o contraventamento vertical dos mastros laterais, apresenta-se através da Figura 6.73 o contraventamento, formação de cruzamento de cabos no plano horizontal, entre os quatro mastros principais, sendo que pela Figura 6.74 nota-se que para os cabos de contraventamento horizontal os cabos são fixos em olhas em chapas soldadas no mastro e as demais fixações através de parafusamento.

O detalhe de fixação do topo do mastro pode ser mais bem observado pela Figura 6.75 onde se nota que o anel tensor é treliçado e a membrana é fixada por costura por encadernamento.

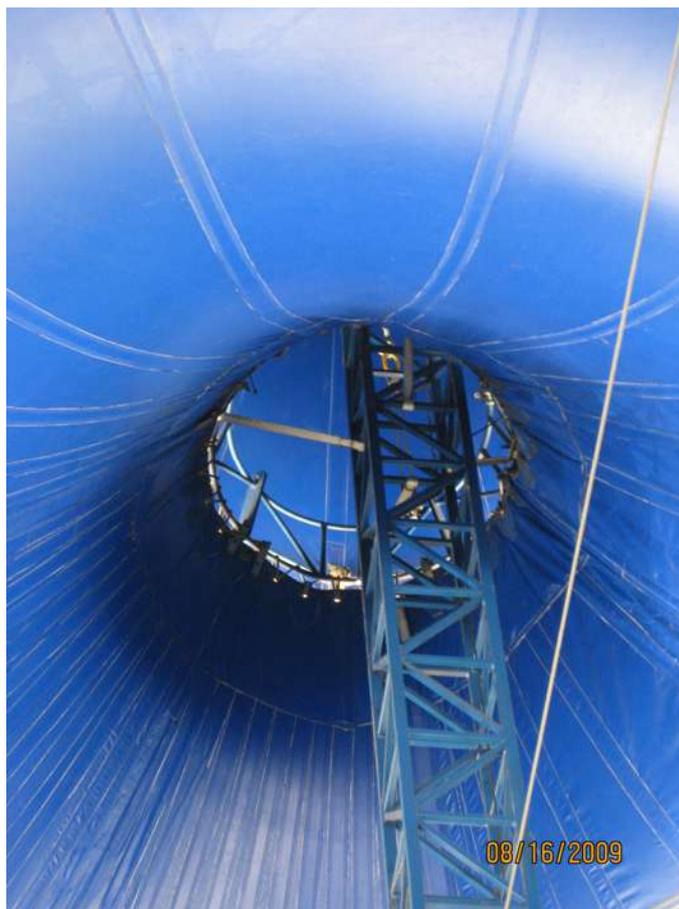


Figura 6.75 Vista do anel tensor do mastro principal e costura da membrana (da autora, 2009).

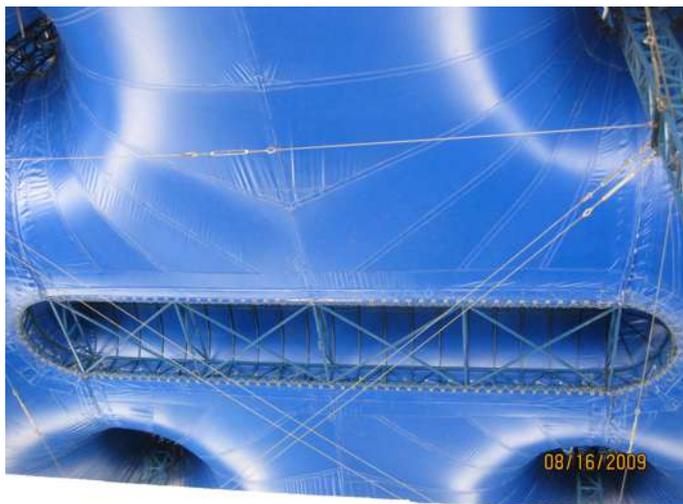


Figura 6.76 Vista geral de cúpula da cobertura (da autora, 2009).



Figura 6.77 Vista da ligação da cúpula com a cobertura e da fixação da treliça de borda (da autora, 2009).



Figura 6.78 Vista da base de um dos mastros principais, soldado na base de chapa de aço (da autora, 2009).

A cúpula da cobertura, apresentada pela vista da Figura 6.76, tem a função de divisor de água e impedir o acúmulo no centro da membrana, sua construção é em estrutura metálica e sustentado por cabos embainhados na própria cobertura.

A ligação da cúpula com a cobertura é feita por soldagem reforçada entre membranas e a fixação da treliça de borda é por costura encaderçada como por ser observada pela Figura 6.77.

Os mastros principais são soldados na base de chapas de aço que ancoram na fundação por barras que possuem roscas nas extremidades para fixação da chapa de base, Figura 6.78.

Uma vez apresentado o relatório fotográfico das obras com as respectivas descrições e apontamentos de resultados que são aderentes às condicionantes projetuais e tecnológicas, neste ponto do trabalho apresentam-se a forma estruturada para a constatação de atendimentos de requisitos das obras, ou seja, o desenvolvimento de uma proposta de avaliação do atendimento de requisitos das obras estudadas, atribuindo-se notas com a seguinte regra e tendo como referência a variação em uma escala de três pontos: no caso do atendimento superar o indicador obtido na formulação deste trabalho, item 6.1 e Tabela 8, que será chamado de Indicador Base - IB, o valor será de no mínimo um ponto superior ao IB, se igual, repete-se o valor de IB, se não houve atendimento no mínimo um ponto inferior de IB. Caso o condicionante não tenha aderência será atribuído o mesmo valor de IB para não interferir na ponderação da nota.

Esta graduação tem como objetivo verificar se as obras correspondem aos condicionantes básicos em termos de valor numérico ou apresentam afastamento, que corresponde o não atendimento dos requisitos, como se segue na Tabela 9.

TABELA 9: Avaliação de atendimento qualitativo de condicionantes de projeto por pontos unitários e por análise visual das condições em uso de obras.

CONDICIONANTE	MEMBRANA de PVC					
	IB	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5
(1) Vão	2	2	2	1	2	2
(2) Cor da membrana	3	3	3	3	3	3
(3) Resistência relativa da membrana	2	2	2	1	2	2
(4) Aderência a obras conversíveis	3	2	2	2	2	2
(5) Aderência a obras retráteis	3	2	2	2	2	2
(6) Durabilidade relativa da membrana	1	0	-1	-1	1	1
(7) Custo relativo do material e obra	3	3	4	2	3	3
(8) Facilidade da montagem e trabalhabilidade da membrana	3	3	4	3	3	3
(9) Exigência de técnicas especiais de conexões	1	1	-1	1	1	1
(10) Aderência a obras permanentes ou de menor aderência a obras temporárias	2	1	1	2	2	2
(11) Aderência a obras com multicamadas para melhoria do conforto térmico	2	2	1	1	2	2
(12) Aderência a obras com camadas e colchões sanduíche com isolantes térmico ou acústico	3	3	3	3	3	3
SOMÁTORIA DE ATENDIMENTO	28	24	22	20	26	26
MANUTENÇÃO E LIMPEZA DA MEMBRANA	3	2	-1	1	2	1
TOTAL DE ATENDIMENTO	31	26	21	21	28	27
LISTA DAS OBRAS AVALIADAS:						
Obra 01: Cobertura em PVC de uma central de atendimentos de táxis no aeroporto internacional do Rio Grande do Norte.						
Obra 02: Tenda em PVC para espaço de lazer no Parque Fernando Costa (Água Branca – São Paulo).						
Obra 03: Cobertura em PVC de uma academia de esportes.						
Obra 04: Coberturas em PVC de uma academia de circo.						
Obra 05: Cobertura de uma revenda de automóveis.						

Para a Tabela 9 acrescentou-se o item de “manutenção e limpeza” por entender que a arquitetura têxtil e tensoestrutura têm por equivalência formal a aparência e seu reconhecimento pela sua eficiência quanto a translucidez e pela coloração de superfície.

A partir destes resultados indica-se primeiramente como atendimento de condicionante da própria definição de arquitetura têxtil e tensoestrutura, a adoção de uma postura de manutenção e limpeza adequada e estruturada cronologicamente por parte dos proprietários ou clientes que optam por este sistema construtivo.

Basicamente a manutenção configura-se em lavagens da superfície como ilustrado nas Figuras seguintes de 6.79 a 6.82. Justifica-se esta apresentação de imagens para observação não somente do processo que se configura em uma atividade simples e como o impacto visual gerado por esta atividade é obtido, além é claro da durabilidade proporcionada pela remoção de fuligens e deposições que podem comprometer e atacar quimicamente a superfície da membrana.



Figura 6.79 Limpeza por lavagem da Obra 3 pela empresa JS Serviços, disponível em <http://www.limpatoldo.com.br/fabricante.php> em 21/08/2009.



Figura 6.80(a)



Figura 6.80(b)

Figura 6.80 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura tensionada da Rodoshop em Paulínia, São Paulo, pela empresa JS Serviços, disponível em http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/listar_imgusu.php?opcao=ver_imagem&id_imagem=13335 em 21/08/2009.



Figura 6.81(a)



Figura 6.81(b)

Figura 6.81 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura da Câmara Municipal de São Paulo pela empresa JS Serviços disponível em http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/listar_imgusu.php?opcao=ver_imagem&id_imagem=13331 em 21/08/2009.



Figura 6.82(a)



Figura 6.82(b)

Figura 6.82 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura de revenda de veículo Carraigá, São Paulo, pela empresa JS Serviços, disponível em <http://www.limpatoldo.com.br/fabricante.php> em 21/08/2009.

Percebe, portanto que dos indicadores obtidos, o impacto dos valores de manutenção afasta mais o resultado do indicador obtido em relação ao parâmetro básico, justificando-se como sendo um requisito adicional de mudança de cultura em relação às obras convencionais que por ser massivas e opacas a manutenção tem intervalos maiores, uma vez que o intervalo de lavagens e limpeza dependerá do meio ambiente em que a obra está inserida e do tipo de membrana utilizada, no caso dos estudos realizados todas as obras eram de PVC, que possui menor desempenho quanto a adesão de fuligens que o PTFE e o ETFE.

Em relação aos indicadores de modo individual indica-se que os itens (4) e (5), respectivamente: aderência a obras conversíveis e aderência a obras retráteis, foram avaliados com um ponto inferior por assumir que todas as obras analisadas seriam passíveis de atendimento a estas condicionantes, mas não fizeram parte da definição do escopo do projeto, mas que esta ação de ponderação inferior justifica-se por uma avaliação mais ampla do sistema construtivo em si em que se julga ser considerado o

forte viés retrátil e conversível que este sistema construtivo em relação aos sistemas convencionais e entende-se como proposta neste trabalho, que a adoção deste julgamento como proposta de avaliação, mesmo como um referencial acadêmico, poderá conduzir a busca de avanços tecnológicos tanto das alternativas passivas como das alternativas ativas de mudança das formas das tensoestruturas e arquiteturas têxteis para atendimento às condições climáticas brasileiras e de durabilidade exigidas para as obras.

Estes itens de aderência a obras conversíveis e aderência a obras retráteis conduziram sob outra forma de análise o desenvolvimento de tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas no Brasil e de busca de maior eficiência das vedações e coberturas em paralelo aos conceitos já indicados de peles das construções.

No que concerne aos valores obtidos pela somatória simples dos requisitos cita-se que os maiores valores foram os obtidos para as duas obras com maiores vãos e mais quantidades de condicionantes para atendimento, obras 04 e 05, sendo a primeira com ciclos de montagens e desmontagens e a segunda de ser uma obra permanente para abrigo de bens de alto valor e em ambas foram utilizadas membranas em duplas camadas que proporcionam maior resistência e durabilidade.

Portanto, sobre os resultados de somatória simples dos requisitos, constata-se que as arquiteturas têxteis e tensoestruturas com um grau maior de complexidade atenderam melhor os requisitos, diferentemente das obras 01 e 02 mesmo sendo de menor porte obtiveram as menores notas. Excetua-se de toda a avaliação, a obra de número 03 que se julga como discrepante em pontos entre todos os outros valores, ao que se indica aqui de falhas projetuais e de não atendimentos de condicionantes básicos projetuais e técnicos.

Os resultados das obras 01 e 02, de menores pontos, podem ser apontados como uma não consistência no atendimento de atributos básicos e que não se configuram como menos importantes em razão de um menor vão da arquitetura têxtil e tensoestrutura, pontuando-se aqui que esta obra possivelmente seria de adesão ao mesmo valor básico, IB, caracterizando como um valor que representa a expectativa de desenvolvimento tecnológico que estas tipologias de obras podem atingir e também da cultura de utilização destes sistemas construtivos. Ainda cita-se que atualmente não se tem no mercado da construção civil uma consistente preocupação quanto a qualidade da obra em membranas e inexistência de normalização específica.

Retomando que o conceito de atendimento das condicionantes pelo projeto, pela manutenção e limpeza, define-se o sistema construtivo das arquiteturas têxteis e tensoestruturas, porém e não obstante da tendência de serem identificadas como componentes de vedação e divisão entre o meio interno e o externo, pode-se elencar esta indicação como outra forma sobre o atendimento da definição do sistema construtivo sob a alcunha de pele exterior dos edifícios. Definição de pele em que sua utilização é um fator de decisão em relação às construções bioclimáticas e, portanto vinculado à eficiência energética da obra e onde a translucidez, a leveza e conforto térmico devem ser utilizados.

De modo a responder a leitura dos paradigmas formais que definem as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas, os resultados de avaliação das obras estruturadas na Tabela 9 provam que a conjuntura deste sistema construtivo é ainda de entendimento e absorção das técnicas básicas construtivas e projetuais, bem como, a superação deste estágio conduzirá em termos de evolução esperada a consolidação qualitativa das arquiteturas têxteis e tensoestruturas simples e a possível constatação das formas complexas no Brasil.

CAPÍTULO 7

7. Conclusões e considerações finais

Os projetos das tensoestruturas e arquiteturas têxteis vistos ao longo de suas atividades devem ser tomados como uma série de respostas aos condicionantes e como uma sucessão de etapas para a materialização da tecnologia construtiva, e isto é um processo de atendimento a condicionantes e respostas que são determinantes da qualidade do projeto tanto como atendimento funcional, de construtibilidade e resultado formal.

A forma superficial das membranas e filmes quando utilizadas nos subsistemas construtivos de vedação e coberturas podem ser caracterizadas como tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas devido à geometria definida de sua superfície, identificadas como superfícies topológicas, ou seja, que não atendem aos parâmetros da geometria eucliana.

Sob a condição de superfície topológica, a complexidade das tensoestruturas e arquiteturas têxteis resultam de sua representação gráfica que se torna impraticável na forma gestual e motora tradicional, ou mesmo torna este método comercialmente inviável dado à enormidade de tempo demandado para a elaboração de desenhos e representações gráficas, exigindo, portanto, o ferramental computacional.

Diz-se comercialmente inviável por as tensoestruturas e arquiteturas têxteis de formas complexas terem sim em seus primórdios, tanto a busca de forma como a definição final formal, resultados de modelamentos geométricos e físicos, mas que em tempos atuais conta-se com obtenção de dados mais precisos e, portanto dimensionamentos mais refinados, prazos de execução exíguos e virtualmente modelados.

Em relação ao atendimento funcional das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, estas podem ser caracterizadas como complexas pela definição da forma que é equivalente aos caminhamentos dos esforços aplicados e a resistência necessária, uma vez que sua superfície topológica resulta de esforços de tração, sobre a qual os enrugamentos representam a própria perda de forma e desvios da forma geométrica. Neste sentido as tensoestruturas e arquiteturas complexas se afastam das tendas por as primeiras exigirem processamentos de equações não lineares que não seriam possíveis sem

uma plataforma computacional, já as tendas podem ser obtidas por modelamentos com simplificações.

Sob o ponto de vista da configuração de espaços definidos pela forma da arquitetura têxtil e tensoestrutura, destacam-se os extensos atendimentos de escopos que de modo geral exigem uma maior integração dos profissionais em face da imprescindível compatibilidade de condicionantes, resultando em equipes coordenadas de projeto, destaca-se então que a complexidade fica implícita pelo resultado da opção de sistema construtivo na gestão de atividades e profissionais.

Da observação e análises dos projetos de arquiteturas têxteis e tensoestruturas, a complexidade da gestão das atividades e profissionais envolvidos possui aspectos importantes, como o processo durante a definição de escopo de uma tensoestrutura e arquitetura têxtil. Neste processo de definição de escopo alguns fatores vão sendo descartados e outros vão sendo priorizados, os priorizados são definidos como condicionantes de objetividade do projeto.

Dos condicionantes de objetividade, alguns são facilmente descritos e estão consolidados nas obras analisadas, proporcionando então a base de uma estrutura singular e mínima de avaliação e caracterização das obras vistas e servir também como análise ampla da conjuntura que se encontra esta tecnologia no Brasil. Como resposta específica conclui-se que muitas condicionantes técnicas e projetuais das arquiteturas têxteis e tensoestrutura não são atendidas e atualmente não são priorizadas, mesmo nas tendas não se percebeu o domínio tecnológico mínimo.

Constata-se que há um desafio ainda de reconhecimento das tensoestruturas e arquiteturas têxteis como sistemas construtivos que exige metodologias próprias de manutenção como reprotensões devido a relaxações dos materiais, tratamento superficial como repinturas e lavagens conforme a tipologia e constituição química das membranas, filmes e têxteis.

O fato se acentua pela pouca discussão e desconhecimento atual das condicionantes tecnológicas do material ETFE no Brasil e da não existência de obras com este material, e com possibilidade de em um futuro mais próximo termos obras de destaques em PTFE e a longo prazo de ETFE, e as condicionantes projetuais e técnicas destes materiais configuram-se, atualmente, como de delimitação das tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas.

Como complexidade executiva das tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas, as técnicas de manuseio, romaneio e montagem do ETFE e do PTFE podem ser ditos como de conhecimento puramente teórico e formalmente desenvolvido neste trabalho. Já no caso das aplicações de PVC e em relação às obras avaliadas conclui-se que as formas de conexões e os equipamentos utilizados ainda prescindem de maior embarque formal e de refinamento estético, diretriz aqui indicada por entender que diferentemente de outros sistemas construtivos as conexões das tensoestruturas e arquiteturas têxteis são de natureza aparentes e suscetível a degradações e problemas de manutenção, portanto de destaque visual e complexidade projetual e tecnológica a ser atendida.

No que se refere ao conhecimento e desempenho das conexões das tensoestruturas e arquiteturas têxteis, destaca-se a apresentação de formas genéricas, exemplos de aplicações e descrições como forma que este trabalho optou para vencer a precariedade de repertório formal e do reconhecimento que as técnicas e formas das conexões utilizadas não são itens estudados ou fornecidos em cursos de graduação ou de pós-graduação, representando uma complexidade da especialização tecnológica e projetual, mas principalmente um grande desafio a ser superado pelas instituições de ensino e formação de arquitetos e engenheiros civis.

Mesmo com um foco amplo fixado por este trabalho quanto à análise qualitativa de projetos e obras consolidadas, reconhece-se que algumas condicionantes não foram apresentadas e as passíveis de serem utilizadas neste trabalho foram restritas, pelo elenco das mais importantes e fixação de um número limitado. Esta ação prestou-se ao atendimento e objetividade de resposta a tese neste trabalho, mas fica mais que provado através das muitas obras apresentadas, que as tensoestruturas e arquiteturas têxteis podem assumir maiores graus de complexidade e serem definidas como equipamentos ativos de uma edificação, para os quais a complexidade e exigência da computação para a integração de atividades projetuais se torna imprescindível não pela impossibilidade de execução e sim pela precisão e agilidade de fornecimento de parâmetros de decisão e automação dos processos tanto projetuais-construtivos como de uso e manutenção da obra.

Sabe-se que a estrutura proposta de condicionantes de fato poderá também ser delimitada pelo cliente ou usuário da obra, mas de modo genérico caracteriza-se neste trabalho como uma indicação básica de avaliação e o fato de se ter um atendimento a um maior número de condicionantes técnicos e projetuais conduzem a complexidade do objeto construído e, o conhecimento tanto pelos arquitetos concebedores como

pelos engenheiros levará uma melhor escolha da forma de relacionamento entre si no que concerne às decisões tecnológicas e até a forma de absorver etapas tanto projetuais como construtivas devido ao próprio conhecimento ou experiência perante a esta tecnologia e as de fechamento em membranas como os têxteis e os filmes.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem confirmar o enunciado por STACH (2002), quanto ao fato da engenharia ter impulsionado as tecnologias construtivas para uma base moderna e possuir ainda o papel importante quanto ao desenvolvimento de sistemas construtivos novos, mas sob a condição de atendimento as condicionantes das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas e que geram ou se configuram em grandes projetos, estes são o resultado de atividades integradas de multiprofissionais, como de arquitetos, engenheiros, designers, biólogos, químicos, etc e o uso de programas computacionais no suporte de decisões diversas que constituem em uma nova forma e inteligência projetiva.

Como condicionante das atividades de projeto das tensoestruturas e arquiteturas têxteis complexas e também para as com grande embarque de sistemas ativos, a condição de atendimento é no sentido da total integração profissional de arquitetos com engenheiros civis, como consolidado na Figura 4.1, e ainda com a integração conforme a obra de engenheiros mecânicos, elétricos e computacionais.

Sob o contexto de integração profissional indica-se que em face ao uso do computador, pode-se dizer que a própria cronologia projetual passa a ser virtualmente acelerada, mudando a forma de pesquisa, análise, concepção e da busca de forma, uma vez que a compatibilização e a otimização podem ser geradas inúmeras vezes, item, atualmente, considerado intrínseco às estruturas especiais, às estruturas leves e, portanto as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas. Justificando que um ordenamento de atividades torna-se conceitualmente didático, mas não representativo das atividades projetuais de fato e da oportunidade ou mesmo livre arbítrio que os profissionais arquitetos e engenheiros possuem para executar seus projetos.

Portanto hoje se vive o desenvolvimento de projetos sistematizados e com total integração computacional, onde a hipótese é o possível reconhecimento da forma com que a tecnologia computacional assume a responsabilidade de integradora de partes ao todo de um projeto arquitetônico, através de relacionamentos entre arquitetura & engenharia, de coordenação de projeto arquitetônico e projetos complementares, de compatibilização projetual através de meios paramétricos, algoritmos, e o mais encantador, a alta velocidade proporcionada nas respostas de problemas.

Porém esta velocidade possui dois vetores que se pode julgar como forças de decisão projetual sendo uma de caráter abstrato e outra de caráter físico. O caráter abstrato fixa-se na condição de descolamento da manufatura e dos meios de projeto e de representação de projetos e que fornecem tópicos (e assim entende-se a princípio como devem ser considerados – pela intrínseca necessidade de evolução e desenvolvimento de experiência projetual ou mesmo dependente da vontade do projetista) para tomadas de decisões projetuais; por outro lado o caráter físico se dá pela intenção de não obtenção de uma diversidade de tópicos para tomadas de decisões e sim a mais consistente e focada no produto futuro (entende-se aqui também o conhecimento prévio pelo projetista do tempo demandado na manufatura projetual e pelos processos tradicionais de desenho).

Independentemente do caráter das forças de decisão projetual, o encargo que os projetos assistidos por computador ainda sofrem é a ação de serem os alavancadores da integração entre projetos de arquitetura e projetos de engenharia, pois a velocidade de respostas aos problemas é mais rápida, sendo um impacto e uma mudança na lógica projetual dos profissionais e na própria cultural da sociedade. Esta forma está gerando, portanto, a evolução do processo de projeto e dá a possibilidade de projetos mais complexos, pela eliminação de etapas de manufaturas e de respostas em prazos exíguos se comparados aos processos tradicionais.

Este encargo sugerido de empurrar a integração projetual, se dá pela liberdade supostamente dada pela tecnologia computacional que segundo ORCIUOLI (2004) trata-se de uma nova arquitetura onde o projetista manipula a geometria desde seu aspecto macro até o micro, experimentando uma relação entre projeto e manufatura, onde a cada mudança geométrica há uma retroalimentação cibernética.

Ainda, de comum ambos possuem como meta o atendimento do escopo, pois ambos são o percurso de projeto que devem expressar como resultado um produto que atende a requisitos e que superou possibilidades.

Para BITTERMANN em seu artigo publicado por ORCIUOLI (2004), várias metáforas podem ser realizadas para os processos de projetos, que pelo seu entendimento a mente do arquiteto resolve problemas tentando representar uma relação complexa dos elementos envolvidos e das informações básicas por um desenho de conceito, ou forma conceitual, cuja qualidade de representação é muito influenciada pela compatibilidade das experiências anteriores e as informações que se tem sobre o

projeto. Compatibilidades que nos casos estudados neste trabalho não foram confrontadas.

A questão sobre a compatibilidade lançada anteriormente, ou seja, como deve ser melhorada, é indicada aqui em alinhamento ao autor e ao trabalho apresentado, como uma próxima fronteira a ser respondida para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, e podendo ser percorrido os estudos pelo contexto do repertório projetual ou pelas condicionantes e informações que podem levar a tomada de decisão, pois em um projeto, assim como em projeto de um edifício, possui uma enormidade de itens que é sempre muito maior que condições de tomadas de decisões e que estão vinculadas a estes.

Deste contexto de compatibilidade e como apresentado anteriormente, reafirma-se que o atendimento das condicionantes técnicas e projetuais podem delimitar as tendas e arquiteturas têxteis simples das complexas, resultado do questionamento inicial proposto, mas independentemente da delimitação objetiva e atendida entre produtos neste trabalho, está a qualidade dos sistemas construtivos desenvolvidos e disponibilizados por arquitetos e engenheiros civis, que deve ser considerada como de exigência de desenvolvimento de projetos coordenados e que a integração não necessariamente se dá pela condição de se produzir um equipamento ativo e de atendimento a definição das arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas. Há que se produzir obras com membranas, filmes e têxteis que possam ser marcos da boa prática construtiva e competência projetual, sejam as tendas ou as arquiteturas têxteis e tensoestruturas complexas.

De modo específico e em alinhamento ao trabalho apresentado destacam-se estudos que poderão ser desenvolvidos:

- Avaliação da compatibilidade das experiências anteriores e as informações que se tem sobre o projeto.
- Estudos do contexto do repertório projetual.
- Estudos da evolução das condicionantes, informações e de tomadas de decisões em projetos de tensoestruturas e arquiteturas têxteis.

ANEXO

8. “Anexo A”: Panorama de aplicações

- Cabanas:



Figura A1 Cabana Beduína em tecido e couro disponível em <http://www.enricopulcini.com/Sito/siria.html> (04/07/2007)

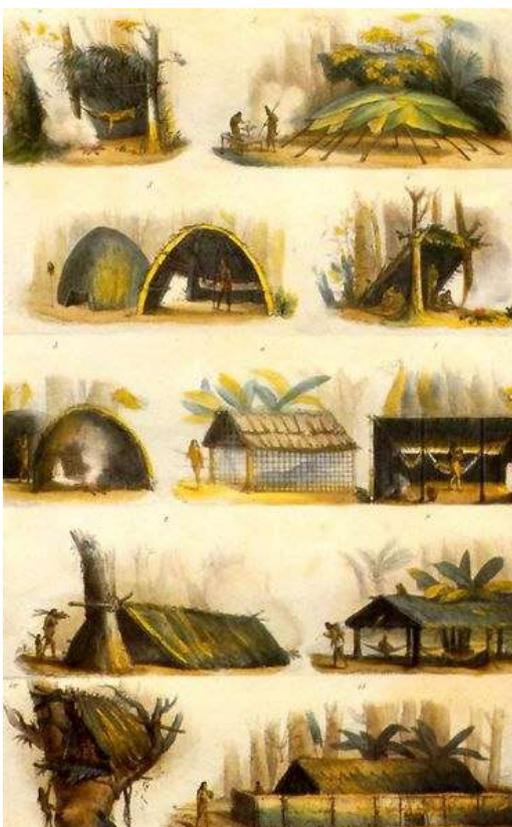


Figura A2 Tipos de cabanas e choças – formas diferentes de fechamento através de entrelaçamento e sobreposição de fibras naturais de Jean Baptiste Debret , data: 1834, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:E28_p26.jpg (04/07/2007)

- **Cenografias:**



Figura A3 Flávio Império em Cena – uso de têxtil tipo “lycra” no Sesc Pompéia 1995, disponível em <http://www.loira.cng.br/em%20cena/index.html> (04/07/2007)



Figura A4 Festa da MTV Video Music Brasil 2005 – uso de têxtil tipo “lycra” e PVC, disponível em <http://www.loira.cng.br/vmb2005/pages/vmb2005%2006.html> (04/07/2007)



Figura A5 Desfile BRASILIA – uso de têxtil tipo “lycra”, disponível em <http://www.loira.cng.br/brasilgia/index.html> (04/07/2007)

- **Coberturas de arquibancadas:**



Figura A6 Cobertura Hampshire Cricket Club Pavilion projetado pelo escritório Architen Landrell e com colaboração no projeto e análise estrutural do engenheiro Gavin Sayers, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml#> (07/07/2007)

- **Coberturas de auditórios:**



Figura A7 Auditório Sidney Myer Music Bowl em redes de cabos, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Sidney_Myer_Music_Bowl.jpg (04/07/2007)



Figura A8 Teatro Castro Alves, Salvador em têxtil estrutural, cob. Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001).

- **Coberturas de estádios:**



Figura A9 Cobertura e fechamento lateral do estádio Allianz Arena em ETFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Allianz_Arena_Pahu.jpg (04/07/2007).



Figura A10 Estádio Olímpico de Munique – construído em redes de cabos e placas de acrílico, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Olympiastadion_Muenchen.jpg (04/07/2007).



Figura A11 Cobertura do Georgia Dome em têxtil estrutural ,PTFE, e estrutura de apoio em tensegrity, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GeorgiaDome_md.jpg (04/07/2007).



Figura A12 (a)

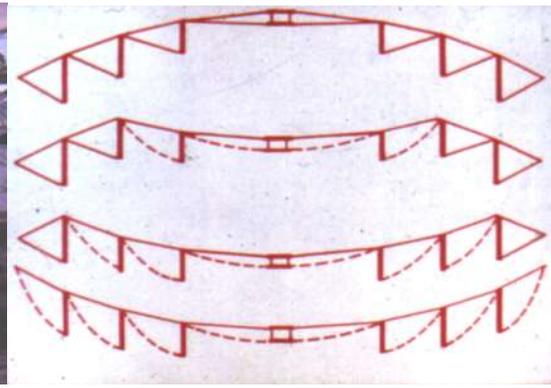


Figura A12 (b)

Figura A.12 (a) Estádio Olímpico de Seul com estrutura em tensegrity e cobertura em membrana e em (b) o estudo da seqüência de içamento, disponível em COLUMBIA UNIVERSITY (2001).

- **Coberturas para eventos:**

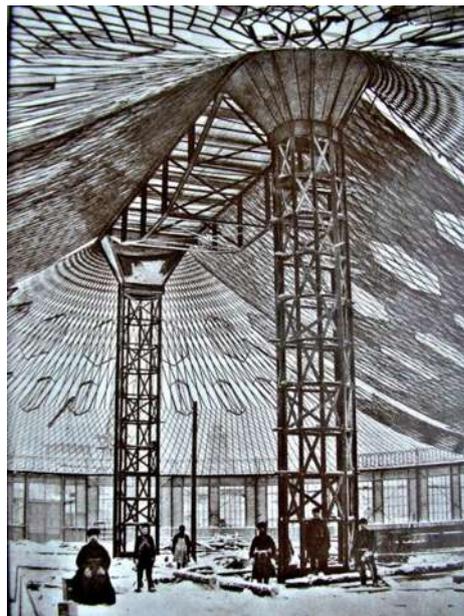


Figura A13 Primeira estrutura em rede tensionada de cabos de aço do mundo durante a construção, projetada por Shukhov em Nizhny Novgorod em 1896, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_Shukhov (04/07/2007).

O primeiro pavilhão, Figura A14, em estrutura de rede tensionada de cabos de aço foi projetado em 1896 pelo engenheiro e cientista russo Vladimir Shukhov (1853-1939) para a Exposição “The All-Russia Industrial and Art Exhibition” em Nizhny Novgorod.



Figura A14 Pavilhão oval tensionado disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Oval_pavilion_by_Vladimir_Shukhov_in_Nizhny_Novgorod_1896.jpg (04/07/2007).



Figura A15 Bornmouth Steps – proposta do Archigram de um centro de recreação com membrana suspensa, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/bornmouth_steps_2.html (05/07/2007).



Figura A16 Ambiente para celebração de casamento, disponível em <http://www.coberturasdeemergencia.com.br/fotos.htm> (04/07/2007).



Figura A17 Vista aérea dos pavilhões da Expo 67 no Canadá, Quebec. Sendo que os pavilhões em azul e com a bandeira formados em 2007, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Aerial_view_of_Canada_%26_Quebec_pavillions_Expo_67_e000990837.jpg (04/07/2007).



Figura A18 Pavilhão conversível da Venezuela na Expo2000 em Hannover (EXPO 2000 Hanover GmbH), disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000(04/07/2007).



Figura A19 Pavilhão da Hungria na Expo2000 em Hannover (EXPO 2000 Hanover GmbH), disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000 (04/07/2007).



Figura A20 Cobertura em PTFE do Centro de Convenções de San Diego - San Diego Convention Center, disponível em NJIT (2001).



Figura A21 Millennium Dome com membrana de PTFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Millennium_Dome.jpg (04/07/2007).



Figura A22 Domo inflável para eventos, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007).

- **Coberturas de parques:**



Figura A23 Jaula do Dragão de Komodo no zoológico de Londres - Zoological Society London, com membranas duplas de ETFE suportadas por estrutura metálica e cabos em um vão de 15m, projeto arquitetônico de 2004 de Wharmby Kozdon Architects e estrutura de David Dexter Associates, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/komodo.shtml> (06/07/2007).

- **Coberturas de pátios:**



Figura A24 Cobertura do Bristol Wildscreen Atrium, projetado pelo engenheiro Gavin Sayers, tendo como sustentação o sistema em tensegrity, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml#> (07/07/2007).

- **Coberturas de piscinas:**

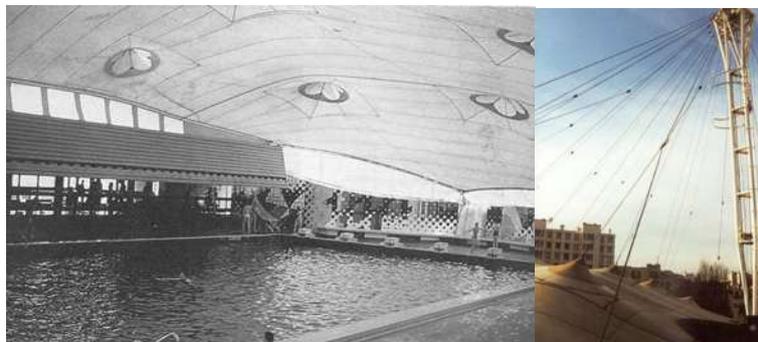


Figura A25

Figuras A25 Vista da cobertura e detalhes de ancoragens do Swimming Pool Boulevard Carnot em Paris construído em 1967 devido ao clima rigoroso no inverno e verões medianos, disponível em TENSINET (2007).

- **Edifícios em membrana:**

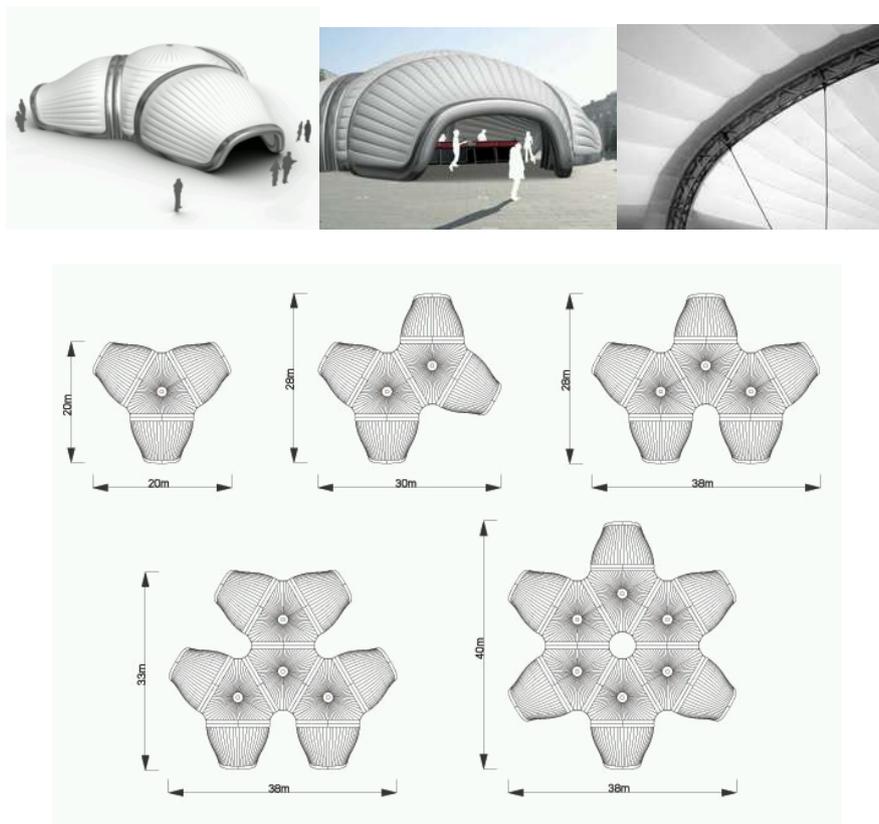


Figura A26 Estruturas Infláveis – Turtles configuration possibilities, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007).

- **Estufas:**



Figura A27 Estufa para mudas cítricas em têxtil estrutural, disponível em http://www.citrolima.com.br/nossa_muda_citrica1.htm (04/07/2007).



Figura A28 Estufa/viveiro com cobertura dobrável em faixas, disponível em http://www.vdh.com.br/mod_viv_retratil.html (04/07/2007).



Figura A29 Estufa para piscicultura, disponível em http://www.vdh.com.br/mod_especiais.html (04/07/2007).

- **Fechamento vertical de fachadas:**



Figura A30 Fechamento em ETFE do acesso entre os prédios da Swinburne University, projeto de David Dexter Assocaites, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/swinburne.shtml#> (06/07/2007).



Figura A31 Fechamento lateral de galpões, disponível em <http://www.auracustom.com/#> (04/07/2007).

- **Forros**



Figura A32 Forro em membrana da agência de publicidade Foote, Cone & Belding Worldwide projetada pelo escritório Clive Wilkinson Architects, disponível em <http://www.clivewilkinson.com/work/fcbirvine.htm#> (05/07/2007).

- Impermeabilização e vedação:



Figura A33 (a)

Figura A33 (b)



Figura A33 (c)



Figura A33 (d)

Figura A33 (e)

Figuras A33 (a) a (e) Cobertura do restaurante PETROFINA COMPANY, disponível <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007).

O conforto térmico e acústico, neste restaurante em Bruxelas da PETROFINA COMPANY RESTAURANT, foram determinantes na escolha da cobertura em redes de cabos de aço e cobertura em vidro e ainda com a disposição de uma membrana retrátil visando eliminar o efeito estufa do ambiente.

- **Oficinas e espaços temporários:**



Figura A34 Ambientes infláveis, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007).

- **Sombreamento:**



Figura A35 Cobertura padrão para sombreamento em estacionamento da empresa Sol Técnica, disponível em http://www.soltecnica.com.br/arquivos_produtos_coberturas/01.html (04/07/2007).



Figura A36 Entrada de um shopping center - Coastal Grand Mall - Myrtle Beach, disponível em <http://www.tensionstructures.com/jones.htm> (04/07/2007).



Figura A37 Tendas Hiperbólicas em restaurante na Califórnia - The Minx Restaurant – Glendale, disponível em <http://www.tensionstructures.com/minx.htm> (04/07/2007).

- **Brises:**



Figura A38 Brise Soleil do Museu de Milwaukee em estrutura tensionada por cabos, disponível em “The movable Burke brise soleil on the Quadracci Pavilion of the Milwaukee Art Museum closes at sunset” no site http://en.wikipedia.org/wiki/Brise_soleil (04/07/2007).

- **Tendas:**



Figura A39 Tenda judaica para casamento, disponível em <http://www.coberturasdeemergencia.com.br/tendas.htm> (04/07/2007).

- **Outras aplicações:**
 - **Torres de armazenamento de água:**

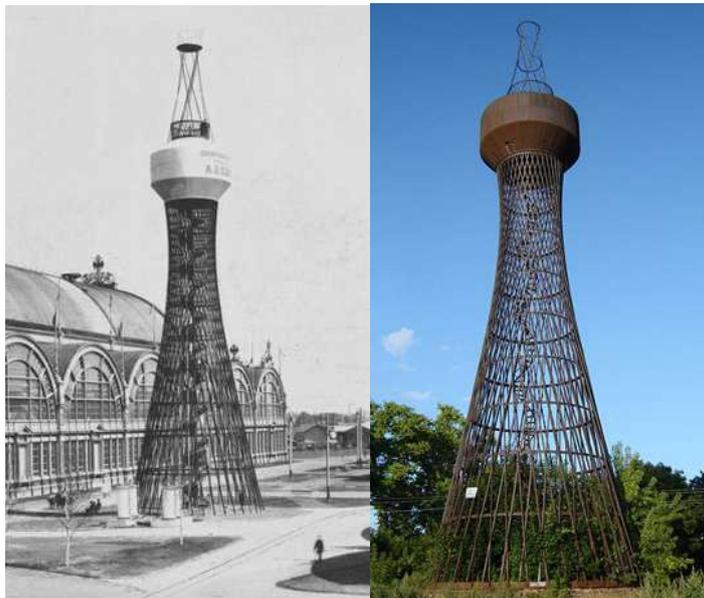


Figura A40 (b)

Figura A40 (a)

Figura A40 (a) Torre Hiperbólica em rede de aço, projetada pelo engenheiro russo Vladimir Shukhov (1853-1939) em 1896 para a “The All-Russia Industrial and Art Exhibition” em 1896 na cidade de Nizhny Novgorod, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:First_Shukhov_Tower_Nizhny_Novgorod_1896.jpg (04/07/2007).

Figura A40 (b) Vista atual da Torre projetada por Vladimir Shukhov, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:World_First_1896_Hyperboloid_Structure_by_Vladimir_Shukhov_in_2006.jpg (04/07/2007).

- **Circos:**



Figura A41 Tenda de um circo Billy Smart's Circus em estada na cidade de Cambridge em 2004, disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CircusTent02.jpg> (04/07/2007).



Figura A42 Maquete da proposta do grupo Archigram para Circos, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus.html (05/07/2007).

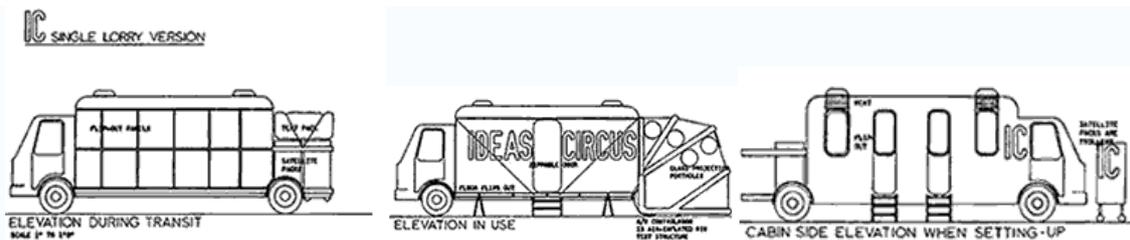


Figura A43 Situações de uso da proposta de circo do grupo Archigram, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus_3.html (05/07/2007).

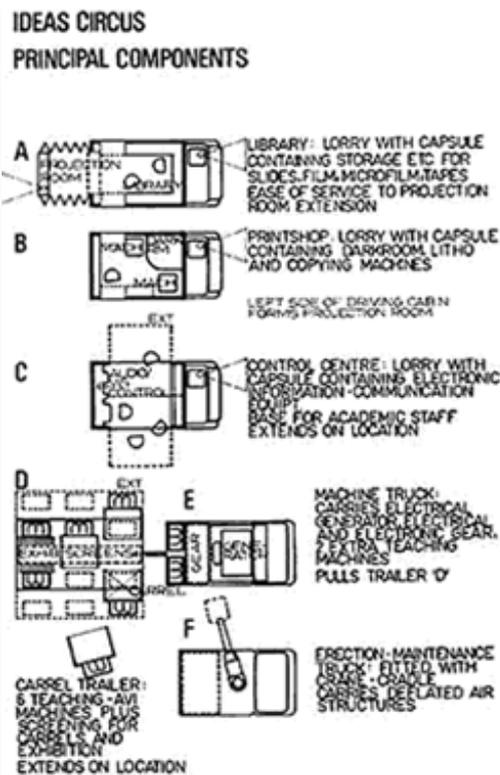


Figura A44 Composição da proposta de circo do grupo Archigram, com elementos e membranas dobráveis, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus_2.html (05/07/2007).

- **Equipamentos de lazer:**



Figura A45 Piscinas de recreação em membranas de PVC, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=306> (04/07/2007).



Figura A46 Brinquedo inflável em membranas de PVC coloridas, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=340> (04/07/2007).

- **Móveis:**



Figura A47 Sofás infláveis, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=46&HS=1> (04/07/2007).

- **Totens de comunicação visual:**



Figura A48 Totens infláveis em PVC coloridos, disponível em http://www.birutasecia.com.br/bonecos_esp.html (04/07/2007).



Figura A49 Réplicas infláveis de produtos em PVC, disponível em <http://www.avpi.com.br/portugues.htm> (04/07/2007).

○ **Barracas de acampamento:**



Figura A50 (a)

Figura A50 (b)

Figura A50 (a) Barraca para acampamento base e Figura A50 (b) barra de abrigo leve para veto, disponíveis em <http://www.manaslu.com.br/barracas.htm> (04/07/2007).

○ **Velas e Balões:**



Figura A51 Velas de barcos em membranas, disponível em http://www.arguscaruso.com.br/galeria/egito/pages/Asuan%20-%20Felucas_jpg.htm (04/07/2007).

○ **Quiosques:**



Figura A52 Quiosque para promoção de produtos da empresa Orvalho do sol em membrana de PVC, disponível em http://www.webapp.com.br/orvalho/website/portfolio_exibe.asp?img=http://www.webapp.com.br/orvalho/website/imgs/portfolio/GEO%2015.jpg&cod=GEO%2015 (04/07/2007).

REFERÊNCIAS

9. Ordenação das Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto armado, Rio de Janeiro, 2003.

AFSI – Architectural Fabric Structures Institute. Air Structures. Design and standards manual. Publication ASI-77. Air Structures Institute. Glenview, 1977.

ALONSO, C. E. Citações sobre as Tecnologias Computacionais e os Projetos Arquitetônicos. Aula da disciplina de Tecnologias Computacionais – Ensino e Prática de Projeto. Não Publicado. Universidade Presbiteriana MACKENZIE. São Paulo, 27/03/2007.

ALONSO, C. E. e FLÓRIO, W. Citações sobre as Complexidades Atuais dos Projetos Arquitetônicos. Aula da disciplina de Tecnologias Computacionais – Ensino e Prática de Projeto. Não Publicado. Universidade Presbiteriana MACKENZIE. São Paulo, 06/04/2007.

ARCARO, V. F. A Simple Procedure For Shape Finding And Analysis Of Fabric Structures. <http://www.arcaro.org>. 03/2004.

ARCARO, V. F. Membrane. Programa computacional utilizado e disponibilizado na disciplina IC304 – Tensoestrutura. UNICAMP. Campinas, 2006.

ARIZONA CARDINALS. Arizona cardinals news, blogs, scores, schedules, photos. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007.

ARCOWeb. Tensoestruturas - Tendas para permanecer. Disponível em <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia24c.asp> (01/10/2008)

ARUP – EAST ASIA. The Water Cube - National Aquatics Centre, Beijing, disponível em <http://www.arup.com/eastasia/project.cfm?pageid=1250> (01/07/2008).

ARUP – EAST ASIA. Beijing National Stadium, Olympic Green, disponível em <http://www.arup.com/eastasia/project.cfm?pageid=2184> (02/07/2008).

BAHAMÓN, A. Arquitectura textil – Transformar el espacio. Instituto Monsa de Ediciones, Barcelona, 2004.

- BARROSO, A.B. Coberturas Tensionadas & Arquitetura Têxtil. http://www.technica.com.br/site/query_result.php?var=tensor (30/06/2007).
- BASSIGNANA, M. Structural glass skins and applications. Speech in 4th Annex 44 Forum / TORINO / 29 march 2006. Disponível em http://annex44.civil.aau.dk/Annex%2044%20Forum/meetings/4th%20Annex%2044%20Forum/15_Bassignana.pdf acessado em 11/08/2008.
- BERGER, H. Form and function of tensile structures for permanent buildings. Engineering Structures No.21, pp.669-679, Elsevier Science Ltd.1999.
- BLUM, R. Material Properties of Coated Fabrics for Textile Architecture. In The Design of membrane and lightweight structures from concept to execution. Edited by Marijke Mollaert. VUBPRESS – Vub Brussels University Press. Belgium, 2002.
- CALDANA JÚNIOR, V.L. Projeto de arquitetura: caminhos. Tese (doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, 2005.
- CAMPBELL D. M. The Unique Role of Computing in the Design and Construction of Tensile Membrane Structures. American Society of Civil Engineers Second Civil Engineering Automation Conference. Proceedings. New York, NY, 1991.
- CAMPBELL D. M. The Unique Role of Computing in the Design and Construction of Tensile Membrane Structures. <http://www.geigerengineers.com/techpaper.cfm?RecordID=2> 11/07/2003 –18h30.
- COLUMBIA UNIVERSITY. Tensegri. <http://www.columbia.edu/cu/gsap/courses/arch-a4125/TENSEGRI/tensegri.html> (11/2001).
- COMMONS.WIKIMEDIA.ORG. Montgolfiere_1783.jpg (726 × 538 pixel, file size: 71 KB, MIME type: image/jpeg) . http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Montgolfiere_1783.jpg. 22/06/2007 – 20h50.
- DAY BRASIL. <http://www.daybrasil.com.br/produtos/default.asp> acessado em 10/06/2008.
- DREW, P. Tercera Generación – la significación cambiante de la arquitectura. Editorial Gustavo Gili, S.A. Tradução de Justo G. Beramendi. Barcelona, 1973.
- ECP - Engineered Coated Products. NovaShield II™ Product Description. Disponível <http://ecpinfo.com/novashield2.html> 28/08/2008

ENGEL, H. Sistemas Estructuras, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1997.

ESCRIG, F., SANCHEZ, J. Mobility as requirement for future architecture. In The Design of membrane and lightweight structures. Editado por Mollaert, Hebbelinck e Haase. VUB Brussel University Press, Belgium, 2002.

ESCRIG, F., SANCHEZ, J. Performance S.L. disponível em <http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm> 05/08/2008.

FORMFINDER. <http://www.formfinder.at/> Acessado em 28/06/2008

FOSTER and PARTNERS.

<http://www.fosterandpartners.com/Projects/1158/Default.aspx> acessado em 24/06/2008.

FLÓRIO, W. O Uso de Ferramentas de Modelagem Vetorial na Concepção de uma Arquitetura de Formas Complexas. Tese (doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, 2005.

GEIGER ENGINEERS <http://www.geigerengineers.com/> (03/08/2004).

GONCHAR, J. Inside Beijing's Big Box of Blue Bubbles. Disponível em <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=5&C=418> in Originally published in the July 2008 issue of Architectural. (19/08/2008).

GOOGLE EARTH. earth.google.com- consulta a implantação do Millennium Dome (29/08/2008).

HEINLEIN, F. E SOBEK, W. Projects underway and a vision for the future. In Nippon Sheet Glass Co., Ltd. 2003. http://space-modulator.jp/sm81~90/sm90_contents/sm90_e_future04.html 06/07/2007.

HUNTINGTON, C. The Tensioned Fabric Roof, ASCE Publications - American Society of Civil Engineers - Press, 2004.

INDUSTRIAL FABRICS ASSOCIATION INTERNACIONAL – IFAI. Tent Rental Division. The IFAI procedural handbook for the safe installation and maintenance of tentage. IFAI, Minnesota, 1996.

INCOMPLAST. [HTTP://WWW.INCOMPLAST.COM.BR/MATERIAIS/TEFLON.HTM](http://WWW.INCOMPLAST.COM.BR/MATERIAIS/TEFLON.HTM) ACESSADO EM 30/05/2008.

International Council for Research and Innovation in Building and Construction – CIB,:
Working with the performance approach to building. Report of Working Commission
W60, Publication64, CIB, Rotterdam, The Netherlands, 1982.

JÖRG, S. The Essence of Lightweight Structures in The Design of Membrane and
Lightweight Structures. VUB Brussels University Press, Belgium, 2000.

KOWALTOWSKI, D.C.D.K.; et alli. Reflexão sobre metodologias de projeto
arquitetônico. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto
Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006. Disponível em:
<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc124154.pdf>
Acessado em 04/06/2008.

LEWIS W. J. Lightweight tension membranes – an overview (1998)

LIGHTWEIGHT STRUCTURES ASSOCIATION 04/07/2003a 9h00min -
[http://www.lightweightstructures-
ifai.com/index.php?option=displaypage&Itemid=84&op=page&SubMenu=](http://www.lightweightstructures-ifai.com/index.php?option=displaypage&Itemid=84&op=page&SubMenu=)

LIGHTWEIGHT STRUCTURES ASSOCIATION 04/07/2003b 9h00min -
[http://www.lightweightstructures-
ifai.com/index.php?option=displaypage&Itemid=88&op=page&SubMenu=](http://www.lightweightstructures-ifai.com/index.php?option=displaypage&Itemid=88&op=page&SubMenu=)

MAHFUZ, E. C. Ensaio sobre a razão compositiva; uma investigação sobre a natureza
das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica. Viçosa: UFV,
Imprensa Universitária/ AP Cultural. Belo Horizonte, 1995.

MAHFUZ, E. C. O projeto de arquitetura e sua inserção na pós-graduação. Vitruvius –
Arquitextos 022– março 2002.
http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq022/arq022_03.asp, acessado em 19-
06-2007.

MAJOWIECKI, M. Widespan Lightweight Tension Structures: From Concept To Detail
Design. In 1o. Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 35. Maio de 2002.

MARTINS, J.B.D.F. Estruturas leves. Conexões com o espaço teatral. Projeto de um
teatro móvel, múltiplo e transformável. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, USP,
1998.

- MAURIN, B.; MOTRO, R. The surface stress density method as form-finding tool for tensile membranes. Vol 20, Nº 8, pp. 712-719, 1998, Elsevier Science Ltd., Printed in Great Britain.
- MELHADO, S.B. e AGOPYAN, V. O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle. BT/PCC/139. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1995.
- MENDONÇA, P.J.F.A.U. Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados. Tese de doutoramento em Engenharia Civil na UNIVERSIDADE DO MINHO, Guimarães- 2005.
- METÁLICA. http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=755
ACESSADO EM 24/06/2008a.
- METÁLICA.
http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1312
ACESSADO EM 13/08/2008b.
- MIDDENDORF, J. <http://www.bigwalls.net/> (27/05/2002).
- MINCHILLO, D., OBATA, S.H. e A. ROSA. Shape finding and analysis of fabric structures. Trabalho da disciplina IC304 – Tensoestruturas. Não Publicado. Unicamp. Campinas, 2006.
- MOTRO, R. Equipe Conception En Structures. <http://www.lmgc.univ-montp2.fr/CS/eqcs.html> , 11/07/2003 21H00.
- NATIONAL GEOGRAPHIC CHANEL. O estádio Mundial de Pequim, exibido em 03/08/2008 às 21h00.
- OUROUSSOFF, N. The spanish architect Enric Ruiz-Geli - Finds Poetry In Technology. NYTIMES.COM/TMAGAZINE MARCH 16 , 2008, disponível em www.ruiz-geli.com/.../cloud9%20-%20newyorktimes_Tmagazine160308.pdf Acesso em 07/07/2009
- NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University. Fabric Gallery <http://www-ec.njit.edu/civil/fabric/gallery1.html> (11/2001).
- NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University - Introduction to Fabric Structures: <http://www-ec.njit.edu/civil/gateway.html>. (30/10/ 2002).

- NOVÁK, B. Development Of Elements Of Tension Structures In Europe . In 1o. Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 44. Maio de 2002.
- OBATA, S.H. Estruturas Pressurizadas Temporárias: Architects of Air - Inglaterra 2000. Aula da disciplina de Tecnologia Construtiva VIII. São Paulo, 2001.
- OBATA, S.H., PATRÍCIO, C.L. Apostila de tecnologia das construções – Tenso-Estruturas. FAAP- Faculdade de Artes Plásticas – curso de Arquitetura e Urbanismo. Xerocopiado. São Paulo, 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.
- OLIVEIRA, V.M.B., BATTISTA R.C. e RIBEIRO F.L. B. Modeling Procedure For Textile Roof Tenso-Structures – Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 03. São Paulo. Maio de 2002.
- OLIVEIRA, V.M.B. Análise de projeto de tenso-estruturas têxteis para coberturas. Vinicius Maia Barreto de Oliveira Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Novembro 2003.
- ORCIUOLI, A. BCN Speed and Friction – the Catalunya Circuit City. Publishing coordinator, ESARQ. Barcelona, 2004.
- ORTEGA, A. R. A análise de projetos para a formação do repertório arquitetônico.
<http://ucsvirtual.ucs.br/material/disciplinas/ceaa/deau/arq0215/Analise%20de%20Projetos%20Referenciais.pdf>. Acessado em 13/05/2007.
- OTTO, F. e RASCH, B. Finding Form. Edition Axel Menges. Munich, 1995.
- PAULETTI, R. M. O. Análise De Estruturas Retesadas (Tensoestruturas), Empregando Programas Generalistas. – Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 41. São Paulo. Maio de 2002.
- PAULETTI, R. M. O. História, Análise e Projeto das Estruturas Retesadas. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para o concurso de Livre-Docência junto ao Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo, 2003.
- PATTERNER FOR WINDOWS V4.05/DEMO (2007): <http://www.patterner.co.uk/>

PINIweb.com.br. Alivie a tensão - Construção Civil, Engenharia Civil, Arquitetura de 01/07/1998. Disponível em <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/alivie-a-tensao-85278-1.asp> (01/10/2008).

PLÁSTICOS DO PARANÁ. Agroforte – a cobertura que resiste. Disponível em <http://www.plasticospr.com.br/agroforte.html> (27/08/2008).

PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Código de Obras e Edificações. Acesso:
http://www2.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/habitacao/legislacao/codigo_de_obras_e_edificacoes/0004 (24/10/2008).

PRIMI, L. Arquitetura têxtil pode criar ambiente inusitado. Jornal O Estado de São Paulo – Construção. 01/10/2006.

PT. WIKIPEDIA.ORG. Dirigivelsantosdumont.jpg (320 × 432 pixel, tamanho do ficheiro: 32 KB, tipo MIME: image/jpeg) .
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Dirigivelsantosdumont.jpg>. 22-06-2007 - 21h10.

REEDER, L. ETFE is Lightweight, Light-transmitting. American Institute of Architects. Disponível em <http://soloso.aia.org/eKnowledge/Resources/Documents/AIAP072803>, in Originally published in 09/19/2008. (01/10/2008).

REDE NACIONAL DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA.

<http://www.uninova.pt/rnpr/formation/pt/3/>. 30/09/2001, São Paulo.

ROITHMAYR, W.R.D. Formfinder - concept for a software-tool to assist architects in the preliminary design of form-active structure. Ph. D. thesis submitted in Vienna University of Technology, Vienne, June, 2003.
<http://www.formfinder.at/fileadmin/downloads/PhDthesisFormfinderRobertWehdornRoithmayr.pdf> .Acessado em 28/06/2008:

ROLAND, C. Frei Otto: Estructuras, Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1989.

ROMNEY, J. A very odd inflatable. The Guardian, Londres. Wednesday, June 21, 2000.

SHAEFFER, R.E. Tensioned Fabric Structures – A Practical Introduction. American Society of Engineers. Virginia, 1996.

SILVA, D.M. ; SOUTO, A.K. Estruturas uma abordagem arquitetônica. 1a.Edição. Sagra Luzzatto. Porto Alegre, 1997.

- SILVA, K. P. A idéia de função para a arquitetura: o hospital e o século XVIII – parte 6/6. Função, um conceito?: aprendendo com Tenon e considerações finais (1). Vitruvius -Texto Especial 111 -ISSN 1809-6298 . – dezembro 2001 <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp111.asp>, acessado em 18-06-2007.
- SILVA, M. A. C. Metodologia de gestão da qualidade no processo de elaboração de projetos de edificações. In: Anais do ENTAC 95, Rio de Janeiro. 1995.
- SL-RASCH GmbH. Special and Lightweight Structures – Coversible Roof. Disponível em <http://www.sl-rasch.de/> 15/08/2008
- SKYSPAN. Projects and Materials. <http://www.skyspan.com/portmat2a.html>, 02/11/2001.
- STACH, E. Lightness – Form-Optimized Membrane Structures - . In 1o. Simpósio Nacional sobre Tensoestruturas, Artigo 38. São Paulo, maio de 2002.
- TABARROK, B.; QIN, Z. Dynamic analysis of tension structures. Computers & Structures Vol 62, Nº 3, pp. 467-474, 1997, Elsevier Science Ltd., Printed in Great Britain.
- TABARROK, B.; QIN, Z. Nonlinear analysis of tension structures. Computer& Structures, Vol.45 No. 5/6, pp. 973 – 984, Great Britain , 1992.
- TABARROK, B.; QIN, Z. Nonlinear analysis of tension structures. Computers & Structures Vol 45, Nº 5/6, pp. 973-984, 1992, Pergamon Press Ltd., Printed in Great Britain.
- TALARICO,W. Designing with structural fabrics. In September 2000 CE Article & Questions. Disponível em http://archrecord.construction.com/resources/conteduc/archives/research/9_00_1.asp (19/08/2008).
- TENSINET. Database. <http://www.tensinet.com/database/wfw.php?page=instances&objClassId=189&mode=view&offset=&orderBy=&direction=&&guid=1793084564> (07/07/2007).
- TENSINET. Climate-Control Parasol for the Extension to the Prophet's Holy Mosque. <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3761> (18/08/2008)

TENSINET. Expo 1970 (Osaka): Mush-balloon – TensiNet.
<http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> (01/02/2009).

THE EDEN PROJECT: acesso no site <http://www.eden-project.co.uk/reports.html>
(03/03/2001).

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

VÉRON, P.; LÉON, J.; TROMPETTE, P.C. Design of textile structures: methodology and data architecture. Computers and Structures, n.67, p.309-317. 1998.

VECTOR FOILTEC. Vector Foiltec Press – ETFE_SEPT08-final. Disponível em foiltec.com/press/downloads/ETFE_SEPT08-final.pdf. acessado em 07/07/2009.

WAKEFIELD, D. S. Engineering analysis of tension structures: theory and practice. Engineering Structures 21, pp. 680-690, Elsevier Science Ltd., Printed in Great Britain. 1999.

WIKIPEDIA.ORG. Arquitetura contemporânea.
http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_da_Arquitetura#Arquitetura_contempor%C3%A2nea (18/06/2007)

Outras referências

Coberturas retráteis:

<http://entertainment.howstuffworks.com/question591.htm>

http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2004/08/stadium_frontru.html

LISTAS

Lista de Figuras

Figura 1.1 Tenda Negra de Povos Nômades (OLIVEIRA, 2001).....	16
Figura 1.2 Ponte suspensa feita de cordas (OTTO e RASCH, 1995).....	17
Figura 1.3 Rede de Pesca em forma de uma tenda (OTTO e RASCH, 1995).....	17
Figura 1.4 Primeiro Balão Tripulado no ano de 1783 em linho dos Montgolfier – fabricantes de papel “Canson” (disponível em http://sv.wikipedia.org/wiki/Montgolfier em 05/07/2007).....	17
Figura 1.5 Dirigível Nº 6 de Alberto Santos Dumont que venceu o prêmio Deutsch 1901 (disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Santos_Dumont em 05/07/2007).....	18
Figura 1.6 Maquete da cúpula geodésica criada por Richard Buckminster Fuller em 1940 sob o emblema de edificações “energetic-synergetic geometry” (COLUMBIA UNIVERSITY,2001).	19
Figura 1.7 Sistema Barra-Cabo do Utica Memorial Auditorium em Nova York (COLUMBIA UINIVERSITY, 2001).	20
Figura 1.8 Estrutura conversível projetada por Frei Otto, cobrindo em 4 minutos cerca de 1000m2 na ruína de Stifskirche, na Alemanha (OTTO e RASH, 1995).....	20
Figura 1.9 Brise soleil do museu do Mundo Árabe, disponível em http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Institut_du_monde_arabe (04/07/2007).	29
Figura 1.10 Cidade instantânea do grupo de arquitetos ARCHIGRAM com membranas suspensas por balões, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city_4.html (05/07/2007). 35	
Figura 1.11 Cidade instantânea do grupo de arquitetos ARCHIGRAM com membranas suspensas por balões, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/instant_city.html (05/07/2007). ...	35
Figura 1.12 (a) e (b) Terminal aéreo: Haj Terminal of the Jeddah International Airport, em Jeddah na Arábia Saudita, em (a) vista aérea dos módulos e (b) a modelagem digital de um dos módulos. Construção de 1982 em têxtil estrutural, disponível em TENSINET(2007).	36
Figura 1.13 Vista do anel superior metálico em (a) e em (b) vista do anel e da conexão junto à coluna disponível em TENSINET (2007).	37
Figura 1.14 Arquibancada para futebol da Praia – Lagoa da Jansen – São Luiz do Maranhão, projeto do arquiteto Carlos Campelo em parceria com a Pistelli, disponível em http://www.pistelli.com.br (10/07/2007)	38

Figura 1.15 Cobertura do Hall do Alexandra Palace, disponível em http://www.auracustom.com/#(04/07/2007)	39
Figura 1.16 Beccles Church, um projeto da empresa Cyril Bromley Architects sob demanda da empresa de membranas Aura Fabric Engineering disponível em http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/beccles.shtml (06/07/2007).	39
Figuras 1.17 (a), (b) e (c) Estação de metrô próximo ao hospital de Erasmus em Bruxelas projetado pelo escritório de arquitetura Samyn and Partners em membrana PTFE, imagens disponíveis em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	41
Figuras 1.18 Maquetes do projeto que a empresa David Dexter Associates para o terminal modal de Heathrow, disponível em http://www.ddassoc.co.uk/projects/transport/heathrow.shtml (06/07/2007).	41
Figura 1.19 Vistas da cobertura para apresentações no Piscinão de Ramos no Rio de Janeiro, projeto dos arquitetos Rita Mandarino, Luis Henrique de Paula, Ênio Lajes, em PVC colorido, disponível em http://www.pistelli.com.br (10/07/2007).	42
Figuras 1.20 (a), (b) e (c) Living Coasts no Jardim zoológico de Paignton disponível em http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/coasts.shtml# (06/07/2007).	43
Figura 1.21 (a) e (b) Projeto da praça de descanso das empresas TOTAL BELGIUM S.A. - SERVICE STATION - AIRE DE SPY, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	45
Figura 1.22 Cobertura do complexo aquático Wadi Laban, Arábia Saudita, disponível em http://www.ddassoc.co.uk/projects/tensile/wadi.shtml (06/07/2007).	45
Figuras 1.23 (a) a (c) Vista do Laboratório de Pesquisas da empresa M&G RICERCHE, situado em Venafro – Itália, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	47
Figuras 1.24 (a) a (b) Imagens do projeto do Laboratório de Pesquisas da empresa M&G RICERCHE, situado em Venafro – Itália, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	47
Figura 1.25 Proposta para o futuro de um edifício em fibra de carbono e membrana de plástico disponível em HEINLEIN, F. e SOBEK, W. (2007).	48
Figura 1.26 Vista frontal do fechamento vertical em PTFE do Burj al Arab Hotel em Dubai no Emirados Árabes, construído em 1999, disponível em TENSINET (2007).	49
Figura 1.27 Vista interna da vedação vertical do Burj al Arab Hotel em Dubai no Emirados Árabes, construído em 1999, disponível em TENSINET (2007).	49
Figura 1.28 Vista interna da estrutura de sustentação e da fixação da membrana da fachada do Burj al Arab Hotel projeto de David Dexter Associates, disponível em http://www.ddassoc.co.uk/people/ddexter.shtml# (06/07/2007).	50
Figura 1.29 Burj al Arab Hotel em Dubai em vista noturna, com efeito, luminotécnico sobre a membrana, disponível em TENSINET (2007).	51
Figura 1.30 (a) e (b) Divisórias verticais na Agência de publicidade Foote, Cone & Belding Worldwide, disponível em http://www.clivewilkinson.com/work/fcbirvine.htm# (05/07/2007).	52

Figura 1.31 Divisórias na Clínica Quiroprática em Minneapolis, Minnesota, disponível em BAHAMÓN (2004).	53
Figuras 1.32 Membrana suspensa como forro no escritório de arquitetura Van Heyningen y Haward, disponíveis Figura 1.32 (a) em http://www.vhh.co.uk/origins.htm (05/07/2007), Figura 1.32 (b) em http://www.vhh.co.uk/about_us.htm (05/07/2007) e Figuras 1.32 (c) e (d) em BAHAMÓN (2004).....	54
Figuras 1.33 (a) a (d) Cobertura em ETFE entre os dois edifícios da Swinburne University em Melbourne, disponível em http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/swinburne.shtml# (06/07/2007). 55	
Figura 1.34 Tendas de praia, disponível em http://www.dupouxdesign.com/ (07/07/2007).....	56
Figura 1.35 Vista geral das tendas e móveis projetados por Stephane Dupoux Miami – Nikki Beach, disponível em www.nikkibeach.com (07/07/2007).	56
Figura 1.36 Proposta de Caixa d’ água elevada para a empresa SONELEC, WATERTOWER – MONUMENT, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).....	57
Figura 1.37 Obra de Anish Kapoor, disponível em http://www.tensinet.com/database/wfw.php?page=instance&objClassId=159&instanceId=4150&mode=view&viewId=&&guid=1868249851 (07/07/2007).	58
Figura 1.38 Superfície Anticlástica (TECHNICA, 2007).....	60
Figura 1.39 Superfície Sinclástica (da autora).....	61
Figuras 1.40(a) até 1.40(e) Geometrias em Parabolóides hiperbólicos (BARROSO,2007).	61
Figuras 1.41(a) até 1.41(c) Geometrias em Tendas cônicas ou multi-cônicas (BARROSO, 2007).	62
Figuras 1. 42(a) até 1.42(d) Geometrias Suportadas por arcos (BARROSO, 2007).....	62
Figuras 1.43(a) até 1.43(c) Geometrias Onduladas ou plissadas (BARROSO, 2007).	62
Figuras 1.44(a) até 1.44(c) Geometrias em Tensegrity (BARROSO, 2007).	62
Figura 1.45. Coberturas em sela (NJIT, 2002).	63
Figura 1.46 Tenda radial (NJIT, 2002).	63
Figura 1.47. Sela anticlástica ortogonal (NJIT, 2002).	63
Figuras 1.48(a) até 1.48(f) Membranas apoiadas em arcos (NJIT, 2002).....	64
Figuras 1.49(a) até 1.49(b) Formas obtidas por combinações (NJIT, 2002).	64
Figura 3.1 Fluxograma de projeto e construção de uma estrutura em membrana (CAMPBELL, 1991 e 2003).	78
Figura 3.2 Seqüência de projeto estrutural de obras especiais (MAJOWIECKI, 2002).	80
Figura 3.3 Vista interna do Éden Park (The Eden Project, 2001).	82

Figura 3.4 Vista externa do Éden Park (The Eden Project, 2001).	82
Figura 3.5 Fluxograma de projeto e construção de uma estrutura em membrana (OLIVEIRA, 2001)....	83
Figura 3.6 Visão holística do Projeto conceitual (MAJOWIECKI, 2002).	84
Figura 3.7 Membrana em filme de sabão fotografada em estéreo foto 3D (NJIT, 2002).....	87
Figura 3.8 Passos do método de Horst Berger na forma isométrica (MIDDENDORF, J., 2002).	87
Figura 3.9 Passo de transformação das coordenadas isométricas em geodésicas, segundo o método de Horst Berger (MIDDENDORF, J., 2002).	88
Figura 3.10 Etapas da busca de forma pelo método geométrico e os conceitos de estabilização por nós (autora. s/d.).	88
Figura 3.11 A configuração inicial da busca da forma pelo método geométrico em sela e a configuração final (autora, s/d.).....	89
Figuras 3.12 (a) e (b) Maquetes de formas básicas de arquiteturas têxteis desenvolvidas por alunos do 8º semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAAP (autora, s/d.)	89
Figura 3.13 Projeto Complexo Aquático - Jogos Panamericanos do aluno Guilherme Canhisares Amadeu, menção honrosa no concurso Ópera Prima – projetando com PVC – 2004, sob orientação da autora, disponível em http://www.projetandocompvc.com.br/opera_prima/anterior/vencedores.asp .	90
Figura 3.14 Vista noturna com controle luminotécnico do Cubo de Beijing, disponível em http://www.china.org.cn/english/environment/241755.htm (27/02/2008).	91
Figura 3.15 Modelo resultado da prototipagem por deposição de acrílico para análise do projeto do Cubo de Beijing, disponível em http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-ar_7969.pdf (27/02/2008).....	92
Figura 3.16 Vista da estrutura primária e a secundária, disponível em http://www.beijingbirdnest.com/beijingbirdnest/PhotoGallery/Olympic/Venues/NationalStadium/200805/15053.shtml (02/07/2008).....	92
Figura 3.17 Atividades da Tecnologia Computacional (FLÓRIO, 2005).	96
Figura 3.18 Telas do processo de busca de forma pelo programa FORMFINDER (FORMFINDER, 2008).99	
Figura 3.19 Haj Terminal em Jeddah na Arábia Saudita (MIDDENDORF, 2002).....	102
Figura 3.20 Lindsay Park Sports Centre em Calgary, Alberta, Canadá (GEIGER,2004).	102
Figura 3.21 Membrana pneumática sob ação da pressão interna estruturante (OLIVEIRA, 2001).	104
Figura 3.22 Modelo em elemento finito utilizando o ANSYS – parabolóide hiperbólico (PAULETTI, 2003).	104
Figura 3.23 Distribuição de tensões nos cabos de aço de montagem da arquitetura têxtil, com a legenda da correlação entre as tensões e forças nos cabos (OLIVEIRA V.M.B., 2003).....	105

Figura 3.24 Isocurvas de Tensão na Membrana (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).....	105
Figura 3.25 Vista Superior da Malha de Elementos na Membrana Deformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).....	106
Figura 3.26 Malha de Elementos Finitos para a Geometria Indeformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).	106
Figura 3.27 Vista em Perspectiva e Malha de Elementos Finitos na Membrana Deformada (MINCHILLO, OBATA e ROSA , 2006).	106
Figura 4.1 A forma projetual tendo como condicionantes as atividades projetuais (da autora, 2009). 115	
Figura 4.2 A forma projetual como escopo específico da tecnologia das tensoestruturas e arquiteturas têxteis (da autora, 2009).....	116
Figura 5.1 Cobertura de uma concessionária de carros no Oregon - The Rasmussen BMW Dealership in Portland, Oregon, disponível em http://www.tensionstructures.com/rasmussen.htm (04/07/2007). 119	
Figura 5.2 Projeto com têxtil no teto do designer Stephane Dupoux do Sultan Lounge no Hotel Mandarin Oriental em Kuala Lumpur na Malásia, inauguração prevista para 2008 e disponível em http://www.dupouxdesign.com/ (07/07/2007).....	120
Figura 5.3 Anfiteatro Araújo Viana em têxtil estrutural, Porto Alegre, arq. Carlos Maximiliano Fayet-cob .Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO(2001).	121
Figura 5.4 Palco Mundo Rock in Rio 2001, projeto eng. Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001).	121
Figura 5.5 Vista das costuras abertas no período noturno e em detalha a luz do dia da cobertura em PVC branco e transparente de pátio de um posto de gasolina em Wanlin na estrada the Brussels-Luxembourg - E411 highway, projeto do escritório Samyn and Partners, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	122
Figura 5.6 Visão sob cobertura onde se percebe os alinhamentos abertos das costuras da membrana de PVC branco e transparente de um pátio de um posto de gasolina em Wanlin na estrada the Brussels-Luxembourg - E411 highway, projeto do escritório Samyn and Partners, disponível em http://www.samynandpartners.be/ (05/07/2007).	122
Figura 5.7 O estádio Allianz Arena sob controle luminotécnico em que ETFE pela sua transparência permite mudanças de cores devido à iluminação artificial instalada, disponível em http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Allianz_Arena_Diongillard.jpg (04/07/2007).	123
Figura 5.8 Projeto do efeito do sistema de iluminação na cobertura do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em http://www.villanurbs.com/ (acesso em 06/07/2009).	124
Figura 5.9 Projeto do efeito do sistema de iluminação na parte externa do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em http://www.villanurbs.com/ (acesso em 06/07/2009).	124

- Figura 5.10 Filmes impressos de ETFE e controle pneumático do colchão da cobertura do Villa Nurbs (disponível em http://www.ruiz-geli.com/04_html/04_villanurbs.html, acesso em 06/07/2009) 125
- Figura 5.11 Simulação do efeito do sistema de iluminação do Vila Nurbs do arquiteto Enrique Ruiz-Geli, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 125
- Figura 5.12 Vista superior da obra do Vila Nurbs, tendo com vista os tubos estruturais de fechamento da obra, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 126
- Figura 5.13 Vista da obra do Vila Nurbs, tendo com vista os tubos estruturais de fechamento da obra, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 126
- Figura 5.14 Disposições dos tipos de materiais de fechamento do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 127
- Figura 5.15 Placas Brancas de Corian sobre membrana e rede de cabos tensionados do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 127
- Figura 5.16 Vista frontal e lateral das placas cerâmicas sobre membrana e rede de cabos tensionados do Vila Nurbs, disponível em <http://www.villanurbs.com/> (acesso em 06/07/2009). 128
- Figura 5.17 Pavilhão do Japão na Expo 2000 em Hannover, projetado por Shigeru Ban em Membrana de Papel e estrutura de tubos de papel, disponível em http://www.designboom.com/history/ban_expo.html (04/07/2007). 128
- Figura 5.18 (a) Vista externa do El Monte Resort, no Novo México (HUNTINGTON, 2004). 130
- Figura 5.18 (b) Vista interna do El Monte Resort, no Novo México (HUNTINGTON, 2004). 130
- Figura 5.19 Vista da face interna do Anfiteatro National Semiconductor com topo com capuz (HUNTINGTON, 2004). 131
- Figura 5.20 Vista externa do anfiteatro National Semiconductor (HUNTINGTON, 2004). 131
- Figura 5.21 Detalhe do topo sem capuz do Anfiteatro National Semiconductor (HUNTINGTON, 2004).
132
- Figura 5.22 (a), (b) e (c) Vistas das duas estruturas em membranas gêmeas projetadas pelo arquiteto Ubirajara Moretti com a empresa Pistelli usando a membrana de poliéster com cobertura de PVC e filme de PVDF no aeroporto de Guararapes, disponível em <http://www.pistelli.com.br> (10/07/2007).
133
- Figura 5.23 Vista aérea do aeroporto internacional do Guararapes em Recife, que sobre a cobertura do edifício garagem foi instalada duas estruturas em membranas, gêmeas, disponível em http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1215 (10/07/2007). 133
- Figura 5.24 Sistema de apoio com mastro suspenso (HUNTINGTON, 2004). 134
- Figura 5.25 Sistema de apoio com mastro suspenso, tensegrity, do Terminal de trem Folkestone Chunnel (HUNTINGTON, 2004). 134

- Figura 5.26 Membrana estruturada em tensegrity no Grande Arco, Paris, projeto do arquiteto Johan Otto Von Spreckelsen, disponível em ROLAND (1989). 134
- Figuras 5.27 Vista da cobertura e detalhes de ancoragens do Swimming Pool Boulevard Carnot em Paris construído em 1967 devido ao clima rigoroso no inverno e verões medianos, disponível em TENSINET (2007). 135
- Figura 5.28 Cobertura do Complexo Aquático em Kuala Lumpur, disponível em PISTELLI (2007). 135
- Figura 5.29 Cobertura do Munich Rink, vista interna (HUNTINGTON, 2004). 136
- Figura 5.30 Cobertura do Munich Rink, arco treliçado de apoio e aberturas de iluminação natural (HUNTINGTON, 2004). 136
- Figura 5.31 Tenda Brasil Rock in Rio 2001, Rio de Janeiro, design Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001). 136
- Figura 5.32 Domo inflável temporário, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-architecture.html> (04/07/2007). 137
- Figura 5.33 (a) e (b) Vista Geral da obra e um visitante no interior, respectivamente (OBATA, 2001).
146
- Figura 5.34 Em detalhe duas obras em que se destacam as cores, a flexibilidade e vivacidade da obra do Institute of Cell and Molecular Science, Queen Mary College (Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1], disponível em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008).. 147
- Figura 5.35 Vista ao fundo de duas outras obras do Institute of Cell and Molecular Science (Disponível em <http://www.designbuild-network.com/projects/queenmaryuni/queenmaryuni4.html> em 05/08/2008). 147
- Figura 5.36 Cores para uma ambientação intencional (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008) .148
- Figura 5.37 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as instalações de condicionamento do ar no topo da tensoestrutura vivacidade da obra (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1] em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008).. 148
- Figura 5.38 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as estruturas de apoio e também a fixação na estrutura de cobertura do edifício. (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 0306FA_DigitalEdition[1] em www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf em 05/08/2008).. 149
- Figura 5.39 Vista em corte do projeto, no qual se percebe as estruturas de apoio e também as instalações de condicionamento da tensoestrutura. (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008) .149
- Figura 5.40 Vista das quatro obras em tensoestrutura em PVC colorido (disponível em http://archrecord.construction.com/projects/BTS/archives/labs/06_queenMary em 05/08/2008) .149

- Figura 5.41 Vista dos colchões acústicos de PVC instalados no Circo Voador (disponível em 13/08/2008 no site http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1312)..... 151
- Figura 5.42 Reservatório de água em PVC (SL-Rasch GmbH,2008).151
- Figura 5.43(a) e (b) Respectivamente vista geral e do interior da passarela na CASA COR 2004-SP (disponível em <http://www.fiedler.eng.br/site/html/2k4/p03.htm#> em 13/08/2008)..... 153
- Figura 5.44 Vista da cobertura desmontável – temporária de ESCRIG e SANCHEZ (disponível em <http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm> em 05/08/2008)..... 153
- Figura 5.45 Etapas de abertura das “umbrellas” da Mesquita Al-Hussein no Cairo, Egito (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008)..... 155
- Figura 5.46 Mesquita Prophet’s Holy, Madinah, projetada pelo arquiteto Bodo Rash, disponível em OTTO e RASCH (1995). 155
- Figura 5.47 Cobertura em PTFE no Museu de Edo, Japão (SKYSPAN, 2001).157
- Figura 5.48 Cobertura para cultivos forçados em estufas (disponível em <http://www.plasticospr.com.br/agroforte.htm> em 27/08/2008). 159
- Figura 5.49 Trama da membrana de polietileno e cobertura em ambas as faces de polietileno da empresa Intertape Polymer Group Inc. (disponível em <http://www.intertapepolymer.com/IPGLiterature/EngineeredCoatedProducts/Engineered%20Coated%20Products> em 28/08/2008). 159
- Figura 5.50 (a) e (b) respectivamente uma cobertura de quadras de esporte com vão de 40m; uma cobertura temporária com vão de aproximadamente 20m, tendo ao fundo o Millenniun Dome e a outra Figura, um galpão agropecuário com vão de cerca de 25m (disponível em 28/08/2008 no site <http://www.intertapepolymer.com/IPGLiterature/EngineeredCoatedProducts/Engineered%20Coated%20Products>)..... 160
- Figura 5.51 Imagem do Millenniun Dome obtida através do Google Earth com indicações da autora deste trabalho sobre as proporções entre uma obra próxima e as dimensões do próprio Millenniun Dome (GOOGLE EARTH, 08/2008)..... 160
- Figura 5.52 Aplicação de três filmes de ETFE em posição horizontal e o controle automatizado de movimentação do filme intermediário. BASSIGNANA, M (2008). 163
- Figura 5.53 Simulação dos feixes de luz através dos colchões de ETFE no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz-Geli, dis <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008 163
- Figura 5.54 (a) Controle individualizado da iluminação pelo colchões de ETFE com entrada de faixas de luz no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz Geli, <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008..... 164
- Figura 5.54(b) Controle individualizado da iluminação pelo colchões de ETFE, fechamento parcial de alguns colchões, no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enric Ruiz Geli, <http://www.ruiz-geli.com/> acesso em 11/08/2008..... 164

Figura 5.55 Impressão de pontos nos filmes do Eden Park em ETFE que controla a translucidez de 45 a 85% conforme o modo que for inflado, descrição da empresa SKM, disponível em http://www.skmconsulting.com/ em 23/11/2007.....	165
Figura 5.56 Serigrafia em filmes de ETFE. (BASSIGNANA, 2008).	165
Figura 5.57 Tubulação para inflar colchões e contato da estrutura metálica com a de concreto (disponível em http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp 04/08/2008).....	168
Figura 5.58 Conexões metálicas de fixação dos colchões de ETFE e as tubulações para inflar (disponível em http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp 04/08/2008).....	168
Figura 5.59 Maquete do projeto MediaTIC, Barcelona de Enrique Ruiz-Geli, disponível em http://www.ruiz-geli.com/ acessado em 11/08/2008	169
Figura 5.60 Nuvens de nitrogênio no MediaTIC, Barcelona. Projeto de Enrique Ruiz- Geli, disponível em http://www.ruiz-geli.com/ acessado em 11/08/2008.....	169
Figura 5.61 Sistema de funcionamento de paredes duplas com cavidade ventilada de colchões de ETFE no projeto do Cubo Aquático (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).	171
Figura 5.62 No interior do Cubo Aquático: durante o dia o sistema em ETFE oferece luz solar difusa para a iluminação (Iwan Baan apud GONCHAR, 2008).	172
Figura 5.63 O sistema em parede dupla de ETFE no Cubo Aquático no período noturno, efeito de uma caixa azul brilhante pela instalação de LEDs (PTW apud GONCHAR, 2008).	172
Figura 5.64 Modelagem das células para definição da forma estrutural do Cubo Aquático (Arup apud GONCHAR, 2008).	174
Figura 5.65 Definição do invólucro do Cubo Aquático (Arup apud GONCHAR, 2008).	174
Figura 5.66 A compatibilidade da forma estrutural com o ETFE no Cubo Aquático (PTW apud GONCHAR, 2008).	175
Figura 5.67 A vista em detalhe dos quadros de canto e borda superior do Cubo Aquático (PTW / China State Construction Engineering apud GONCHAR, 2008).	175
Figura 5.68 Desenho em 3D com identificações de determinadas barras a serem analisadas (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).	177
Figura 5.69 Detalhe típico do encontro das paredes de ETFE e a base de apoio em concreto (Ove Arup apud GONCHAR, 2008).	177
Figura 5.70 Detalhe da fixação dos colchões de ETFE ao quadro estrutural, fixação que altera conforme a localização (Vector Foiltec apud GONCHAR, 2008).	178
Figura 5.71 Posicionamento do detalhe da fixação dos colchões de ETFE apresentado na Figura 3.55 (Vector Foiltec apud GONCHAR, 2008).....	178

Figura 5.72 Lavagens e limpezas manuais devidas a poluição em Beijin (Michael Goodman apud GONCHAR, 2008).	179
Figura 5.73 Visão frontal dos semi pórticos (disponível em http://www.natgeo.com.br/especiais/estadionacionaldepequim/gallery.asp em 04/08/2008).	184
Figura 5.74 Fabric Architecture march/april 2006 (disponível em Fabric Architecture march/april 2006 - 0306FA_DigitalEdition[1] em 05/08/2008 no site www.ifai.com/Home/fabric_archive/index.cfm?pdf=/0306FA_DigitalEdition.pdf).	187
Figura 5.75 Auditório Al Alameda de Escrig-Sanchez (disponível em http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm em 05/08/2008).	187
Figura 5.76 Cobertura da Mesquita Quba em Madinah (disponível em http://www.sl-rasch.de/ em 15/08/2008).	188
Figura 5.77 Vista lateral superior da cobertura fechada do Estádio Rothenbaun (disponível em http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml# em 07/07/2007).	188
Figura 5.78 Vista superior do Estádio Rothenbaun em Hamburgo na posição da membrana aberta - Rothenbaum Tennis Court. (disponibilizado por SPACE MODULAR em http://space-modulator.jp/sm81~90/sm90_contents/sm90_e_curv02.html em 06/07/2007).	189
Figura 5.79 Fases da membrana conversível do Estádio Rothenbaun (disponibilizado por SPACE MODULAR em http://space-modulator.jp/sm81~90/sm90_contents/sm90_e_curv02.html em 06/07/2007).	189
Figura 5.80 Projeto do arquiteto Juan Monjo Carrió, Plaza de Toros de Zaragoza, Espanha (disponível em http://www.grupoestran.com/simposio/monjo.html em 05/08/2008).	189
Figura 5.81(a) a (c) Respectivamente a área descoberta do Robinson Club com destaques os cabos inoxidáveis, a cobertura fechada e as estrelas correspondentes aos pontos de conexões metálicas e finalmente na figura (c) a vista superior da cobertura (disponível em http://www.sl-rasch.de/ em 15/08/2008).	190
Figura 5.82 (a) a (e) Complexo Desportivo de San Pablo em Sevilla (http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm , disponível em 08/08/2008). 191	191
Figura 5.83 Primeiro projeto da dupla Escrig e Sanchez para estruturas conversíveis (disponível em http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm em 08/08/2008).	192
Figura 5.84 Cobertura de arquibancada em Stuttgart (disponível em http://www.sl-rasch.de/ em 15/08/2008).	193
Figura 5.85 Mush-balloon na Expo de 1970 em Osaka (disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839 em 01/02/2009)	194
Figura 5.86 (a) e (b) Elevações e planta da Mush-balloon na Expo de 1970 (disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839 em 01/02/2009).	195

- Figura 5.87 Sistema de costuras internas da Mush-balloon na Expo de 1970 (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009) 195
- Figura 5.88 (a) e (b) Situação de maior resistência da Mush-balloon aos ventos e fases de fechamentos, respectivamente ilustrados (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009). 196
- Figura 5.89 Esquema do sistema de controle automatizado dos balões e dos cabos (disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3839> em 01/02/2009). 197
- Figura 5.90 Asas do Pavilhão da Venezuela EXPO 2000, Hannover (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008). 198
- Figura 5.91 Hastes de controles de movimentações do Pavilhão da Venezuela EXPO 2000, Hannover (disponível em <http://www.sl-rasch.de/> em 15/08/2008). 198
- Figura 5.92 Sistema básico de mobilidade de barras (WALTER, M., 2006. Disponível em http://www.statik.bv.tu-muenchen.de/content/teaching/ferienakademie/handouts/14_walter_handout.pdf em 10/05/2007).
199
- Figura 5.93 Modelo de estrutura conversível de treliças móveis (WALTER, M., 2006. Disponível em http://www.statik.bv.tu-muenchen.de/content/teaching/ferienakademie/handouts/14_walter_handout.pdf em 10/05/2007).
200
- Figura 5.94: Cúpula com habilidade de conversão - “Deployable spherical structure” (JENSEN, 2009. Disponível em <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13> em 26/02/2009). ... 200
- Figura 5.95 (a) e (b) Posições da cobertura e em (c) o detalhe em corte do sistema do trilho no piso e na parede projetado por Escrig e Sanchez (<http://personal.telefonica.terra.es/web/escrig-sanchez/proyectos.htm>, disponível em 08/08/2008). 203
- Figura 5.96 Imagem do Projeto de abertura da cobertura retrátil e detalhe do campo retrátil/deslizante (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007). 203
- Figura 5.97 Vista interna do estádio coberto (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007). 203
- Figura 5.98 Fase construtiva nota-se as treliças de apoio da cobertura retrátil e as torres de apoio. (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007). 204
- Figura 5.99 Trilhos guias da cobertura retrátil em (a) e passagem de manutenção dos trilhos (b) (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007). 204
- Figura 5.100 Torre de apoio em (a) e em (b) detalhe dos cabos para içar a treliça de apoio (Arizona Cardinals, 2007. Disponível em <http://www.azcentral.com/sports/cardinals/> em 26/03/2007). 205

Figura 5.101 Primeiro modelo de estrutura plana retrátil (PELEGRINO e JENSEN, 2007. Disponível em http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13 em 31/07/2007).	205
Figura 5.102 Segundo modelo de estrutura plana retrátil por (PELEGRINO e JENSEN, 2007. Disponível em http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/planar/planar.html#13 em 31/07/2007).....	206
Figura 5.103 Arcos de apoio para a pista de patinação em Paris (MOLAERT, M. in Membrane structures: understanding their forms. Disponível em http://www.tensinet.com/documents/general/UNDERST5.doc em 04/07/2003).	208
Figura 5.104 Instalação da estrutura de cabos para sustentação do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/ em 08/08/2001).	209
Figura 5.105 Estrutura de cabos ancorados em anel perimetral de concreto do Georgia Dome (Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/ em 08/08/2001).	209
Figura 5.106 Içamento dos painéis no The King Fhad International Stadium. (NJIT Introduction to Fabric Structures: NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University - Introduction to Fabric Structures: Disponível em http://www-ec.njit.edu/civil/gateway.html . em 30/10/ 2002).	210
Figura 5.107 The King Fhad International Stadium NJIT Introduction to Fabric Structures: NJIT- New Jersey's Science & Tecnology University - Introduction to Fabric Structures: http://www-ec.njit.edu/civil/gateway.html . (30/10/ 2002).....	210
Figura 5.108 Um anel de centro constituído de seis cabos de 2 5/8", foram içados pneumaticamente a 46 metros de altura em relação ao campo (NJIT, 2002).....	211
Figura 5.109 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/ em 08/08/2001).	211
Figura 5.110 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/ em 08/08/2001).	212
Figura 5.111 Instalação de painel de membrana em PTFE na cobertura do Georgia Dome em Atlanta (Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/ em 08/08/2001).	212
Figura 5.112 Segundo modelo de estrutura plana retrátil por (SETZER, S. In Engineering News Record, March 16,1992. Disponível em http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/g-raise.htm , acesso 08/08/2001).	213
Figura 5.113 L'Arche de La Defense em Paris (MOLAERT, M. in Membrane structures: understanding their forms. Disponível em http://www.tensinet.com/documents/general/UNDERST5.doc em 04/07/2003).	213
Figura 5.114 Locação singular através da medição de diagonais ou da relação métrica de um triângulo retângulo ("Tent Rental" da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).....	214
Figura 5.115 (a) e 9b) A verificação do tracionamento dos cabos, através de seus comprimentos e locação, também são realizados pelo controle geométrico do triângulo retângulo. ("Tent Rental" da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).	215

Figura 5.116	Locação de borda circular (“Tent Rental” da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional, 1996).....	216
Figura 5.117	A verificação do tracionamento dos cabos das bordas circulares e do perímetro retilíneo pelo controle geométrico do triângulo retângulo. (“Tent Rental” da IFAI - Industrial Fabrics Association Internacional de 1996.	216
Figura 5.118	Posição de emenda entre membranas, atendendo a declividade do fluxo das águas (SHAEFFER, 1996).....	219
Figura 5.119	Esquemática da largura média de emendas entre membranas (HUNTINGTON, 2004). 220	
Figura 5.120	Esquemática de grampeamento com membranas laçadas (HUNTINGTON, 2004). ...	220
Figura 5.121	Vista da cobertura de um galpão no Aeroporto de Lyon Satolas, construído em 1991, cobertura destinada para invernos intensos e verões moderados em têxtil estrutural, disponível em TENSINET(2007).	221
Figura 5.122	Vista inferior detalhando o grampeamento e as conexões nas terminalidades da cobertura no Aeroporto de Lyon Satolas, disponível em TENSINET(2007).	221
Figura 5.123	Esquemática de grampeamento com braçadeiras (HUNTINGTON, 2004).	222
Figura 5.124	Tipologia (1) de grampeamento de tecido e cabo proposto pela New Jersey’s Science & Technology University (NIJT, 2002).	223
Figura 5.125	Tipologia (2) de grampeamento de tecido e cabo proposto pela New Jersey’s Science & Technology University (NIJT, 2002).	223
Figura 5.126	Esquemática de grampeamento com sistema tipo “u” (HUNTINGTON, 2004).	224
Figura 5.127	Indicação da aplicação de grampeamento com sistema tipo “u” no estádio King Fhad International (NIJT, 2002).	224
Figura 5.128	Vista superior de bainhas para cabos catenárias (AFSI, 1977).	225
Figura 5.129	Vista em corte de bainha para cabos catenárias (SHAEFFER, 1996).....	226
Figura 5.130	Vista em corte de conexão de tecido e cabos catenárias (SHAEFFER, 1996).....	226
Figura 5.131	Indicação da aplicação cabo-tecido em catenária (NIJT, 2002).....	226
Figura 5.132	Conexões em extremidade de painel seccionado de membrana (SHAEFFER, 1996).	227
Figura 5.133	Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).	227
Figura 5.134	Cobertura do shopping Jusco Atrium em Aichi no Japão, construído em 1999 com a função de proteção a radiação solar, calor, vento e isolamento térmico, disponível em TENSINET (2007).	228

Figura 5.135 Término com barra ou saia sobre vedação externa na obra El Monte Resort (HUNTINGTON, 2004).	229
Figura 5.136 Vista em corte de contato de membrana com contato rígido de forma tubular (SHAEFFER, 1996).	229
Figura 5.137 Vista da cobertura de um galpão no Aeroporto de Lyon Satolas, costura sobre vedação metálica externa, disponível em TENSINET(2007).	230
Figura 5.138 Aeroporto Internacional de Denver tendo a cobertura a forma inspirada nas Montanhas Rochosas, em têxtil estrutural PTFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:DEN-JEP_TERMINAL.JPG (04/07/2007).	230
Figura 5.139 Borda livre da tensoestrutura externa do Aeroporto de Denver, disponível em www.firestonebpc.com/portfolio/epdm/ (17/07/2009).	231
Figura 5.140 Tensoestrutura interna e alinhamento do contato do caixilho envidraçado do Terminal do Aeroporto de Denver, disponível em www.flickr.com/photos/mmitchell/390752661/ (16/07/2009)	231
Figura 5.141 Detalhe em corte de tira de contato com elemento rígido, no caso um cabo (SHAEFFER, 1996).	232
Figura 5.142 Ligação fixa da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).	232
Figura 5.143 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).	233
Figura 5.144 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004).	233
Figura 5.145 Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).	234
Figura 5.146 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).	234
Figura 5.147 Detalhe de ligação fixa de transpasse da membrana com contato em elemento rígido, (SHAEFFER, 1996).	235
Figura 5.148 (a) e (b) Vistas do Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais, disponível em http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace (04/07/2007).	236
Figura 5.149 (a) e (b) Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais em formato de concha, disponível em http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace (04/07/2007).	236
Figura 5.150 (a) e (b) Palácio de Tuwaiq projeto de Frei Otto e Buro Happold com têxtil estrutural e tenda em rede cabos com vidros pintados, disponível em	

<http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007)..... 237

Figura 5.151 (a) e (b) Partes gráficas do projeto do Palácio de Tuwaiq de Frei Otto e Buro Happold com têxteis estruturais, disponível em <http://www.worldarab.net/Architecture/ArchitecturalGallery/tabid/172/Default.aspx?path=Saudi%20Arabia!Tuwaiq%20Palace> (04/07/2007)..... 237

Figura 5.152 (a) e (b) Ligação de membrana com alinhamento rígido através de costuras, em galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009..... 238

Figura 5.153 Vista da dupla membrana fixada por costura no banzo inferior e superior da viga treliçada, em fase de montagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009..... 239

Figura 5.154 Vista interna em fase de montagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009. 239

Figura 5.155 Vista das placas de isolamento térmico e membrana interna sem contato com a calha de drenagem do galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009..... 240

Figura 5.156 Vista da membrana externa e bainhas de proteção de coxões a serem costuradas no galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009..... 240

Figura 5.157 Vista da membrana externa com sobreposição em tubulação de drenagem no galpão de aeroporto em Zaventem, Brussel – Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3996.html> em 17/07/2009..... 241

Figura 5.158 Vista da Oca no bairro do Ibirapuera em São Paulo, após a recuperação em que recebeu uma membrana branca de PVC para impermeabilização, disponível em <http://www.projetodesign.com.br/arquitetura/arquitetura8.asp> (04/07/2007)..... 242

Figura 5.159 Piscina revestida de membrana de PVC, disponível em http://www.institutodopvc.org/publico/index.php?a=noticia&busca=1¬_id=110 (04/07/2007).242

Figura 5.160 Etapas para execução de impermeabilização de tubo saliente que podem ser equivalentes para as arquitetura têxteis e tensoestruturas, disponível em <http://casa.abril.com.br/arquitetura/livre/semsegredos/imper/5b.shtml>, em 20/07/2009..... 243

Figura 5.161 Etapas para execução de impermeabilização de um ralo que podem ser adaptadas para as arquiteturas têxteis e tensoestruturas, adaptado do manual técnico completo da empresa Lwart Química disponível em http://www.lwart.com.br/site/content/quimica/manual_tecnico.asp em 20/07/2009..... 244

Figura 5.162 Detalhe da conexão para fixação de tubulação na membrana do Gerry Weber Stadium, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3939.html> em 17/07/2009..... 245

Figura 5.163 Bocchitone da empresa Impermat Impermeabilizantes disponível em http://gbimper.com.br/bocchitone.html em 20/07/2009	245
Figura 5.164 Fixação através de dobramentos de membranas ou filmes de ETFE ao longo de contatos rígidos (AFSI, 1977).	246
Figura 5.165 Detalhe de ligação de borda de membrana com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).	246
Figura 5.166 Fixação através de conexões metálicas em filmes de ETFE ao longo de contatos rígidos no Vila Nurbs disponível em disponível em http://www.villanurbs.com/ (acesso em 06/07/2009), detalhe típico adaptado GONCHAR (2008).	247
Figura 5.167 Esquema comparativo de apoio de membrana pneumática fixada sobre uma estrutura e quando diretamente e de modo angular a parede estrutural (AFSI, 1977).	248
Figura 5.168 Indicação apoio contínuo e com um entrelaçamento de cabos para sustentação de uma estrutura pneumática (NIJT, 2002) e detalhe desenvolvido pela autora deste trabalho.....	248
Figura 5.169 Detalhe para pequenas construções pneumáticas apoiadas diretamente sobre paredes (AFSI, 1977).	249
Figura 5.170 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004).	250
Figura 5.171 Detalhe de sapatilha tipo leve do grupo MORSING CABOS DE AÇO&CARL STAHL, disponível em http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2 em 27/07/2009.	250
Figura 5.172 Detalhe do grampo tipo leve do grupo MORSING CABOS DE AÇO&CARL STAHL, disponível em http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2 em 27/07/2009.	250
Figura 5.173 Manilha aberta tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).	251
Figura 5.174 Olhal fechado tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).	252
Figura 5.175 Manilha tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996)..	252
Figura 5.176 Terminação fechada tipo soquete (HUNTINGTON, 2004) e esquema da ligação (SHAEFFER, 1996).	252
Figura 5.177 Esquema de variação de terminação em manilha rosqueável e com ponto de ligação soldável com o cabo (SHAEFFER, 1996).	253
Figura 5.178 Detalhes de parafuso olhal e porca olhal, respectivamente, disponível em http://www.morsing.com.br/produtos.asp?id=2 em 27/07/2009).....	253
Figura 5.179 Detalhe de ligação de um esticador (HUNTINGTON, 2004).	254
Figura 5.180 Aplicação de esticador na obra do Millennium Dome em Londres, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html em 17/07/2009	254

- Figura 5.181 Detalhe de esquematização da fixação de esticadores no Ice skating rink (Olympic Park Munich), disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html> em 17/07/2009
255
- Figura 5.182 Detalhe de ligação entre cabos com esticador tubular (HUNTINGTON, 2004)..... 256
- Figura 5.183 Esticadores em mastros secundário no Millennium Dome em Londres disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009 256
- Figura 5.184 Fechamento externo do ponto de ligações cabo-mastro com esticadores no Millennium Dome, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> em 17/07/2009
257
- Figura 5.185 Esticadores de emenda de cabos no vão suspenso, sem apoio ou ligação com ponto estrutural do Millennium Dome, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html> 17/07/2009..... 257
- Figura 5.186 Detalhe de ligação fixa de transpasse entre cabos e a membrana com contato em elemento rígido suspenso, (SHAEFFER, 1996). 258
- Figura 5.187 Detalhe do Georgia Dome de ligação de transpasse entre cabos com fixação em mastro rígido, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3755.html> em 17/07/2009.259
- Figura 5.188 Detalhe do Gerry Weber Stadium de ligação suspensa de vários cabos, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3939.html> em 17/07/2009. 259
- Figura 5.189 Detalhe de orelhas para ligação de cabos (HUNTINGTON, 2004). 261
- Figura 5.190 Detalhe de ligação final e elevada de cabos (HUNTINGTON, 2004). 261
- Figura 5.191 Detalhe de ligação final de cabos com pontos duplos de trabalho (HUNTINGTON, 2004).
262
- Figura 5.192 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana com contato em elemento rígido, (HUNTINGTON, 2004). 263
- Figura 5.193 Garfo inoxidável do padrão I-Sys da Carl Sthal disponível http://carlstahlevita.co.uk/upload_files/p33_website_1.jpg em 04/08/2009. 264
- Figura 5.194 Olhal inoxidável do padrão I-SYS da Carl Sthal disponível http://carlstahlevita.co.uk/upload_files/p49_website_2.jpg em 04/08/2009. 264
- Figura 5.195 Acessórios inovadores em aço inoxidável como (a) garfo, (b) olhal e (c) lanço com sapatilha, disponível em http://www.ronstanarchitectural.com/arch_AU/isys.asp em 04/08/2009. 265
- Figura 5.196 Ligação entre quatro cabos com acessórios inoxidáveis, disponível em http://www.ronstanarchitectural.com/arch_AU/isys.asp# em 04/08/2009. 265
- Figura 5.197 Romaneio de conexões metálicas no início da montagem de espaço Público de uso temporário em Zeebrugge na Bélgica, disponível em <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html> 17/07/2009..... 265

Figura 5.198 Romaneio de cabos com terminações durante início de montagem de espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	266
Figura 5.199 Detalhe de conexão de sete cabos de forma simples e compacta no Seaworld (HUNTINGTON, 2004).	266
Figura 5.200 Detalhe de terminações de cabos no Aeroporto de Denver, disponível em http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=109918 (Sigrid Kramarczik) em 16/07/2009.....	266
Figura 5.201 Detalhe de ligação fixa de borda de membrana em sela (HUNTINGTON, 2004).....	268
Figura 5.202 Detalhe de terminações em borda selada junto a conexões com cabo adicional para manutenção da curvatura.....	268
Figura 5.203 Detalhe de terminações em borda selada junto a conexões com cabo adicional central para manutenção da curvatura (HUNTINGTON, 2004).....	269
Figura 5.204 Detalhe de término reto na obra Il Grande Bigo em Genova na Itália, disponível em www.gettyimages.com/.../10180524/The-Image-Bank (Andrea Pistolesi) em 04/08/2009.	269
Figura 5.205 Término selado de cabo facilitando a fixação de ferramenta na montagem em espaço de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	269
Figura 5.206 Ancoragem com barra conformada superficialmente ou parafuso (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).....	271
Figura 5.207 Ancoragem com barra com término em gancho reto (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).	271
Figura 5.208 Ancoragem com chapa base aumentada e enrijecedores laterais (AFSI – Architectural Fabric Structures Institute, 1977).....	271
Figura 5.209 Detalhe de ligação de borda de membrana com cabo em bainha através de ancoragem com viga baldrame de concreto armado (AFSI, 1977).	272
Figura 5.210 Ancoragem com cabo em olhal durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	272
Figura 5.211 Ancoragem com cabo com conector durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	273
Figura 5.212 Ancoragem com parafuso durante etapa construtiva de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	273
Figura 5.213 Ancoragem nivelada para reposição dos acabamentos em pedras de Espaço Público de uso temporário na Bélgica, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3995.html 17/07/2009.....	274

Figura 5.214 Detalhe de ancoragem temporária com prolongamento do cabo estrutural e ponteira articulada na extremidade (AFSI, 1977).	274
Figura 5.215 Detalhe típico para ligação entre cabo e membrana com elemento linear perimetral (SHAEFFER, 1996).	275
Figura 5.216 Ancoragem de cabo em bloco de concreto com apoio metálico articulado (NJIT, 2002).	276
Figura 5.217 Ancoragem com parafuso passante em bloco de concreto com apoio metálico articulado para fixação da membrana (NJIT, 2002).	276
Figura 5.218 Bloco de ancoragem dos cabos estruturais com apoio articulado, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html em 17/07/2009.	276
Figura 5.219 Desenho do projeto do bloco de ancoragem dos cabos estruturais com apoio articulado, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3834.html em 17/07/2009.	277
Figura 5.220 Tipos de estacas utilizadas em tendas de aluguel (IFAI, 1996).	277
Figura 5.221 Tipos de estacas utilizadas em tendas de aluguel (IFAI, 1996).	278
Figura 5.222 Procedimentos para realização de nó de fixação de cabo ou corda de tendas de aluguel em estacas (IFAI, 1996).	278
Figura 5.223 Variação de ângulos de estaqueamento em solo e com a presença de laje sobre o solo (IFAI, 1996).	278
Figura 5.224 Utilização de estaqueamento duplo (IFAI, 1996).	279
Figura 5.225 Variação de ângulos de estaqueamento em solo e com a presença de laje sobre o solo (IFAI, 1996).	279
Figura 5.226 Acessórios para articulação de apoio de tendas de aluguéis (IFAI,1996).	280
Figura 5.227 Apoio articulado de tenda pneumática da Spironef disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html em 17/07/2009.	280
Figura 5.228 Apoio articulado de tenda pneumática, situação inflada, da Spironef disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html em 17/07/2009.	281
Figura 5.229 Tenda pneumática, situação inflada, da Spironef disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/4050.html em 17/07/2009.	281
Figura 5.230 Vista da cobertura pontiaguda da universidade La Verne e seu detalhe, disponível respectivamente em http://en.structurae.de/files/photos/2520/membrane/image45copy.jpg em 04/08/2009 e (HUNTINGTON, 2004).	282
Figura 5.231 Detalhe de fixação de cone metálico e conexões no topo de mastro principal (SHAEFFER, 1996).	283
Figura 5.232 Detalhe de fixação de chapa metálica e conexões no topo de mastro principal (SHAEFFER, 1996).	283

Figura 5.233 Vista interna da fixação do anel por cabos tensores no mastro e detalhe da clarabóia de vidro (HUNTINGTON, 2004).	284
Figura 5.234 Anéis tensores no Aeroporto de Denver disponível em www.howardwill.com/Photos/Pueblo/PhotosPueblo.htm em 16/07/2009.	285
Figura 5.235 Anel tensor no Millennium Dome em Londres, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3782.html em 17/07/2009.	285
Figura 5.236 Vista do Estádio King Fahd e seus mastros em forma de adaga, disponível em http://farm3.static.flickr.com/2009/2214454477_a10d2d8b4e.jpg?v=0 em 04/08/2009.	286
Figura 5.237 No Estádio King Fahd, o mastro vertical e sua extensão de comprimento, percebe-se certo desalinhamento entre o pico e o eixo do mastro com forma de adaptação a forma do tecido (HUNTINGTON, 2004).	287
Figura 5.238 Vista do centro recreativo em Masserberg, disponível em www.hotel-ambadehaus.de/kuren.htm em 17/07/2009.	288
Figura 5.239 Desenho esquemático da planta e cortes do centro recreativo em Masserberg, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html 17/07/2009.	288
Figura 5.240 Corte esquemático da tensoestrutura do centro recreativo em Masserberg, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html 17/07/2009.	289
Figura 5.241 Anel tensor superior da tensoestrutura do centro recreativo em Masserberg, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html 17/07/2009.	290
Figura 5.242 Anel tensor superior coberto com clarabóia, disponível em http://www.tensinet.com/database/viewProject/3872.html 17/07/2009.	291
Figura 5.243 Topo de mastro que permite a fixação de equipamentos de montagem (HUNTINGTON, 2004).	292
Figura 5.244 Anel de tensão e mastros para tendas de aluguel (IFAI, 1996)	292
Figura 5.245 Corpo de um mastro do Estádio King Fahd, disponível em http://farm3.static.flickr.com/2417/2214449849_b77f0ac86f.jpg?v=0 em 04/08/2009.	293
Figura 5.246 Detalhe de ligação de mastro com articulação simples (SHAEFFER, 1996).	294
Figura 5.247 Detalhe de base de mastro articulada e cabo em laço com esticador (HUNTINGTON, 2004).	295
Figura 5.248 Nó esférico, disponível em http://www.aluaco.com.br/tecnologia/tecnologia_no.html em 04/08/2009.	296
Figura 5.249 Mastros sobre placa circular elastomérica (HUNTINGTON, 2004).	296
Figura 5.250 Detalhe de base que permite a fixação de macaco hidráulico (HUNTINGTON, 2004).	297
Figura 5.251 Mastro e bases de tendas de aluguel em fases de montagem (IFAI, 1996).	298

Figura 5.252 Mastro e bases de tendas de aluguel em serviço (IFAI, 1996).	298
Figura 6.1 (a) e (b) Vista Geral da obra a partir da via de acesso ao aeroporto em (a) e em (b) vista aproximada (da autora, 2007).....	305
Figura 6.2 Vista lateral da obra a partir da via lateral (da autora, 2007).....	306
Figura 6.3 Vista dos pontos de ancoragem dos cabos no solo (da autora, 2007).	306
Figura 6.4 Enrugamento de membrana no encontro do topo do mastro de borda lateral direita (da autora, 2007)	307
Figura 6.5: Enrugamento ao longo da borda em catenária da membrana (da autora, 2007)	307
Figura 6.6: Enrugamento da membrana no topo de mastro da face posterior da obra (da autora, 2007) 308	
Figura 6.7 Enrugamento de membrana no encontro do topo do mastro de borda lateral esquerda (da autora, 2007)	308
Figura 6.8 Vista geral da parte frontal da membrana com indicações da superfície enrugada da membrana (da autora, 2007)	309
Figura 6.9 Conexão de mastro central e membrana com indicações de enrugamento da membrana (da autora, 2007)	309
Figura 6.10 Conexão de mastro lateral e base rígida sobre o solo, notando-se já pontos de corrosão da peça de articulação metálica e degradação da base de concreto (da autora, 2007)	310
Figura 6.11 Conexão de mastro de borda e mastro com cabos, ambos com fortes indicativos de corrosão e início de perda da seção da chapa sanduíche de fixação da membrana (da autora, 2007)	310
Figura 6.12 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	311
Figura 6.13 Vista interna da tenda apoiada no centro em mastro sobre cabos, destaque aos rasgos e bordas sujas (da autora, 2009).....	312
Figura 6.14 Vista interna da tenda com membrana com pigmentação de degradação e rasgo com demarcação de escoamento de águas (da autora, 2009).....	312
Figura 6.15 Vista de emenda de cabo em laço e com grampo no término (da autora, 2009).....	313
Figura 6.16 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	313
Figura 6.17 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	314
Figura 6.18 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	314
Figura 6.19 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	315
Figura 6.20 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	316
Figura 6.21 Base de mastro sobre chapa fixada com pino com cabeças soldadas (da autora, 2009)...	316

Figura 6.22 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	317
Figura 6.23 Vista do mastro flutuante apoiado diagonalmente por cabos (da autora, 2009)	318
Figura 6.24 Vista dos cabos passantes no pé do mastro flutuante e chegada ao nó estrutural de canto (da autora, 2009)	318
Figura 6.25 Vista geral da base em forma de copo do mastro flutuante (da autora, 2009).....	319
Figura 6.26 Vista inferior do mastro com cabos passantes (da autora, 2009).....	319
Figura 6.27 Vista do pico e descontinuidade de curvatura da membrana (da autora, 2009)	319
Figura 6.28 Vista interior da ligação mastro central e membrana (da autora, 2009).	320
Figura 6.29 Vista da sai com enrugamentos diagonais (da autora, 2009).	320
Figura 6.30 Vista geral da obra e parte de seu entorno (da autora, 2009).....	322
Figura 6.31 Vista geral e vista dos fechamentos da fachada (da autora, 2009).....	322
Figura 6.32 Posicionamento dos cones de fechamento de pico e alinhamento de rasgo na membrana (da autora, 2009)	322
Figura 6.33 Vista aproximada dos picos e vista da extensão do dano na membrana com costura de recuperação (da autora, 2009).....	323
Figura 6.34 Fixação da membrana no topo com costura irregular (da autora, 2009).....	323
Figura 6.35 Detalhe do cone de fechamento do mastro e da fixação da membrana (da autora, 2009)	324
Figura 6.36 Recuperação da membrana, costura por encadardamento (da autora, 2009).....	324
Figura 6.37 Fixação da borda da membrana com cabos (da autora, 2009)	325
Figura 6.38 Vista da conexão de extremidades membrana-viga no canto da cobertura (da autora, 2009)	325
Figura 6.39 Vista da conexão de extremidades membrana-viga em face lateral da cobertura (da autora, 2009)	325
Figura 6.40 Vista geral das coberturas em membrana da Academia Brasileira de Circo. Disponível em http://www.academiadecirco.com.br/galeria_fotos.php?pagina=1&id=38 em 21/08/09.....	326
Figura 6.41 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	327
Figura 6.42 Vista da composição da cobertura com saia de fechamento vertical semi-aberta (da autora, 2009)	327
Figura 6.43 Vista geral de tenda e sua locação sob a copa de uma árvore (da autora, 2009).....	328
Figura 6.44 Perda de tracionamento da membrana por destacamento de apoios (da autora, 2009).	328

Figura 6.45 Vista lateral da tenda, destacando as estacas e as cintas de tensionamento (da autora, 2009)	329
Figura 6.46 Vista lateral externa apresentando enrugamento (da autora, 2009).	329
Figura 6.47 Vista lateral com enrugamento e emenda de membranas (da autora, 2009).....	330
Figura 6.48 Vista de pico apoiado sobre chapa interna e sem chapar de cobertura (da autora, 2009). 330	
Figura 6.49 Vista geral dos picos (da autora, 2009).	330
Figura 6.50 Vista da emenda entre membrana (da autora, 2009)	331
Figura 6.51 Vista da marreta de cravação de estaca em perfil dobrado e calandrado (da autora, 2009). 331	
Figura 6.52 Vista geral do entorno das estacas escavado (da autora, 2009).....	332
Figura 6.53 Vista do canto com pontos de costuras abertos (da autora, 2009).	333
Figura 6.54 Vista inferior dos mastros laterais alinhamento coincidente com as costuras das membranas (da autora, 2009).....	333
Figura 6.55 Vista do topo dos mastros laterais (da autora, 2009).....	334
Figura 6.56 Vista interna do mastro principal com chapa de apoio e direcionamento das emendas neste ponto (da autora, 2009).	334
Figura 6.57 Vista geral da cobertura da revenda de automóvel (da autora, 2009)	335
Figura 6.58 Vista dos cabos de travamento dos mastros principais (da autora, 2009).....	336
Figura 6.59 Vista de um alinhamento de costura e cones de fechamento com enrugamentos de membrana (da autora, 2009).	336
Figura 6.60 Vista geral dos cones de fechamento dos mastros (da autora, 2009).....	337
Figura 6.61 Vista da ancoragem no solo e utilização de esticadores com olhais rosqueáveis (da autora, 2009).	337
Figura 6.62 Vista de fixação de cabo de contraventamento em mastro lateral com esticadores e olhais rosqueáveis (da autora, 2009).	338
Figura 6.63 Vista das fixações alternadas dos mastros laterais (da autora, 2009).	339
Figura 6.64 Vista de mastros de seções circulares e quadradas (da autora, 2009).....	339
Figura 6.65 Os pés dos mastros de seção quadrada são articulados no sentido dos tensionamentos (da autora, 2009)	340
Figura 6.66 Vista dos cabos de contraventamento (da autora, 2009).	340

Figura 6.67 Vista ancoragem dos mastros principais (da autora, 2009).....	341
Figura 6.68 Vista de ancoragem secundária com corrente (da autora, 2009)	341
Figura 6.69 Vista da saia interrompida para passagem de ancoragem e conexões (da autora, 2009). 342	
Figura 6.70 Vista de saia contínua e ancoragem em olhais na chapa de topo do mastro (da autora, 2009).	342
Figura 6.71 Linhas de costuras por soldagem em forma de espinha de peixe (da autora, 2009).....	343
Figura 6.72 Enrugamento ao longo de costura (da autora, 2009)	343
Figura 6.73 Vista interior dos topos e enrugamentos em cruzamento de costuras (da autora, 2009). 344	
Figura 6.74 Fixação de cabos no mastro principal (da autora, 2009).	344
Figura 6.75 Vista do anel tensor do mastro principal e costura da membrana (da autora, 2009).	345
Figura 6.76 Vista geral de cúpula da cobertura (da autora, 2009).	346
Figura 6.78 Vista da base de um dos mastros principais, soldado na base de chapa de aço (da autora, 2009).	346
Figura 6.79 Limpeza por lavagem da Obra 3 pela empresa JS Serviços, disponível em http://www.limpatoldo.com.br/fabricante.php em 21/08/2009.	349
Figura 6.80 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura tensionada da Rodoshop em Paulínia, São Paulo, pela empresa JS Serviços, disponível em http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/listar_imgusu.php?opcao=ver_imagem&id_imagem=13335 em 21/08/2009.	350
Figura 6.81 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura da Câmara Municipal de São Paulo pela empresa JS Serviços disponível em http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/listar_imgusu.php?opcao=ver_imagem&id_imagem=13331 em 21/08/2009.	350
Figura 6.82 (a) e (b) Etapas de limpeza da cobertura de revenda de veículo Caraiá, São Paulo, pela empresa JS Serviços, disponível em http://www.limpatoldo.com.br/fabricante.php em 21/08/2009.	351
Figura A1 Cabana Beduína em tecido e couro disponível em http://www.enricopulcini.com/Sito/siria.html (04/07/2007).....	360
Figura A2 Tipos de cabanas e choças – formas diferentes de fechamento através de entrelaçamento e sobreposição de fibras naturais de Jean Baptiste Debret , data: 1834, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:E28_p26.jpg (04/07/2007).....	360
Figura A3 Flávio Império em Cena – uso de têxtil tipo “lycra” no Sesc Pompéia 1995, disponível em http://www.loira.cng.br/em%20cena/index.html (04/07/2007).....	361

- Figura A4 Festa da MTV Video Music Brasil 2005 – uso de têxtil tipo “lycra” e PVC, disponível em <http://www.loira.cng.br/vmb2005/pages/vmb2005%2006.html> (04/07/2007) 361
- Figura A5 Desfile BRASÍLIA – uso de têxtil tipo “lycra”, disponível em <http://www.loira.cng.br/brasil/index.html> (04/07/2007) 361
- Figura A6 Cobertura Hampshire Cricket Club Pavilion projetado pelo escritório Architen Landrell e com colaboração no projeto e análise estrutural do engenheiro Gavin Sayers, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml#> (07/07/2007) 362
- Figura A7 Auditório Sidney Myer Music Bowl em redes de cabos, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Sidney_Myer_Music_Bowl.jpg (04/07/2007) 362
- Figura A8 Teatro Castro Alves, Salvador em têxtil estrutural, cob. Nelson Fiedler, disponível em OBATA e PATRÍCIO (2001) 362
- Figura A9 Cobertura e fechamento lateral do estádio Allianz Arena em ETFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Allianz_Arena_Pahu.jpg (04/07/2007). 363
- Figura A10 Estádio Olímpico de Munique – construído em redes de cabos e placas de acrílico, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Olympiastadion_Muenchen.jpg (04/07/2007). . 363
- Figura A11 Cobertura do Georgia Dome em têxtil estrutural ,PTFE, e estrutura de apoio em tensegrity, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GeorgiaDome_md.jpg (04/07/2007). 363
- Figura A.12 (a) Estádio Olímpico de Seul com estrutura em tensegrity e cobertura em membrana e em (b) o estudo da seqüência de içamento, disponível em COLUMBIA UNIVERSITY (2001) 364
- Figura A13 Primeira estrutura em rede tensionada de cabos de aço do mundo durante a construção, projetada por Shukhov em Nizhny Novgorod em 1896, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_Shukhov (04/07/2007). 364
- Figura A14 Pavilhão oval tensionado disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Oval_pavilion_by_Vladimir_Shukhov_in_Nizhny_Novgorod_1896.jpg (04/07/2007) 365
- Figura A15 Bornmouth Steps – proposta do Archigram de um centro de recreação com membrana suspensa, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/bornmouth_steps_2.html (05/07/2007). 365
- Figura A16 Ambiente para celebração de casamento, disponível em <http://www.coberturasdeemergencia.com.br/fotos.htm> (04/07/2007). 365
- Figura A17 Vista aérea dos pavilhões da Expo 67 no Canadá, Quebec. Sendo que os pavilhões em azul e com a bandeira forma içados em 2007, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Aerial_view_of_Canada_%26_Quebec_pavillions_Expo_67_e000990837.jpg (04/07/2007). 366
- Figura A18 Pavilhão conversível da Venezuela na Expo2000 em Hannover (EXPO 2000 Hanover GmbH), disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000(04/07/2007). 366

- Figura A19 Pavilhão da Hungria na Expo2000 em Hannover (EXPO 2000 Hanover GmbH), disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_2000 (04/07/2007). 366
- Figura A20 Cobertura em PTFE do Centro de Convenções de San Diego - San Diego Convention Center, disponível em NJIT (2001). 367
- Figura A21 Millennium Dome com membrana de PTFE, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Millennium_Dome.jpg (04/07/2007). 367
- Figura A22 Domo inflável para eventos, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007). 367
- Figura A23 Jaula do Dragão de Komodo no zoológico de Londres - Zoological Society London, com membranas duplas de ETFE suportadas por estrutura metálica e cabos em um vão de 15m, projeto arquitetônico de 2004 de Wharmby Kozdon Architects e estrutura de David Dexter Associates, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/komodo.shtml> (06/07/2007). 368
- Figura A24 Cobertura do Bristol Wildscreen Atrium, projetado pelo engenheiro Gavin Sayers, tendo como sustentação o sistema em tensegrity, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/people/gsayer.shtml#> (07/07/2007). 368
- Figuras A25 Vista da cobertura e detalhes de ancoragens do Swimming Pool Boulevard Carnot em Paris construído em 1967 devido ao clima rigoroso no inverno e verões medianos, disponível em TENSINET (2007). 369
- Figura A26 Estruturas Infláveis – Turtles configuration possibilities, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007). 369
- Figura A27 Estufa para mudas cítricas em têxtil estrutural, disponível em http://www.citrolima.com.br/nossa_muda_citrica1.htm (04/07/2007). 370
- Figura A28 Estufa/viveiro com cobertura dobrável em faixas, disponível em http://www.vdh.com.br/mod_viv_retratil.html (04/07/2007). 370
- Figura A29 Estufa para piscicultura, disponível em http://www.vdh.com.br/mod_especiais.html (04/07/2007). 370
- Figura A30 Fechamento em ETFE do acesso entre os prédios da Swinburne University, projeto de David Dexter Associates, disponível em <http://www.ddassoc.co.uk/projects/etfe/swinburne.shtml#> (06/07/2007). 371
- Figura A31 Fechamento lateral de galpões, disponível em <http://www.auracustom.com/#> (04/07/2007). 371
- Figura A32 Forro em membrana da agência de publicidade Foote, Cone & Belding Worldwide projetada pelo escritório Clive Wilkinson Architects, disponível em <http://www.clivewilkinson.com/work/fcbirvine.htm#> (05/07/2007). 371
- Figuras A33 (a) a (e) Cobertura do restaurante PETROFINA COMPANY, disponível em <http://www.samynandpartners.be/> (05/07/2007). 372

- Figura A34 Ambientes infláveis, disponível em <http://www.inflate.co.uk/i-structures.html> (04/07/2007). 373
- Figura A35 Cobertura padrão para sombreamento em estacionamento da empresa Sol Técnica, disponível em http://www.soltecnica.com.br/arquivos_produtos_coberturas/01.html (04/07/2007).
373
- Figura A36 Entrada de um shopping center - Coastal Grand Mall - Myrtle Beach, disponível em <http://www.tensionstructures.com/jones.htm> (04/07/2007). 373
- Figura A37 Tendias Hiperbólicas em restaurante na Califórnia - The Minx Restaurant – Glendale, disponível em <http://www.tensionstructures.com/minx.htm> (04/07/2007). 374
- Figura A38 Brise Soleil do Museu de Milwaukee em estrutura tensionada por cabos, disponível em “The movable Burke brise soleil on the Quadracci Pavilion of the Milwaukee Art Museum closes at sunset” no site http://en.wikipedia.org/wiki/Brise_soleil (04/07/2007). 374
- Figura A39 Tenda judaica para casamento, disponível em <http://www.coberturasdeemergencia.com.br/tendas.htm> (04/07/2007). 374
- Figura A40 (a) Torre Hiperbólica em rede de aço, projetada pelo engenheiro russo Vladimir Shukhov (1853-1939) em 1896 para a “The All-Russia Industrial and Art Exhibition” em 1896 na cidade de Nizhny Novgorod, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:First_Shukhov_Tower_Nizhny_Novgorod_1896.jpg (04/07/2007).
375
- Figura A40 (b) Vista atual da Torre projetada por Vladimir Shukhov, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Image:World_First_1896_Hyperboloid_Structure_by_Vladimir_Shukhov_in_2006.jpg (04/07/2007). 375
- Figura A41 Tenda de um circo Billy Smart's Circus em estada na cidade de Cambridge em 2004, disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CircusTent02.jpg> (04/07/2007). 375
- Figura A42 Maquete da proposta do grupo Archigram para Circo, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus.html (05/07/2007). 376
- Figura A43 Situações de uso da proposta de circo do grupo Archigram, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus_3.html (05/07/2007). 376
- Figura A44 Composição da proposta de circo do grupo Archigram, com elementos e membranas dobráveis, disponível em http://www.archigram.net/projects_pages/ideas_circus_2.html (05/07/2007). 376
- Figura A45 Piscinas de recreação em membranas de PVC, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=306> (04/07/2007). 377
- Figura A46 Brinquedo inflável em membranas de PVC coloridas, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=340> (04/07/2007). 377
- Figura A47 Sofás infláveis, disponível em <http://www.ionfurniture.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=46&HS=1> (04/07/2007).
377

- Figura A48 Totens infláveis em PVC coloridos, disponível em http://www.birutasecia.com.br/bonecos_esp.html (04/07/2007). 377
- Figura A49 Réplicas infláveis de produtos em PVC, disponível em <http://www.avpi.com.br/portugues.htm> (04/07/2007). 378
- Figura A50 (a) Barraca para acampamento base e Figura A50 (b) barra de abrigo leve para veto, disponíveis em <http://www.manaslu.com.br/barracas.htm> (04/07/2007). 378
- Figura A51 Velas de barcos em membranas, disponível em http://www.arguscaruso.com.br/galeria/egito/pages/Asuan%20-%20Felucas_jpg.htm (04/07/2007).
378
- Figura A52 Quiosque para promoção de produtos da empresa Orvalho do sol em membrana de PVC, disponível em http://www.webapp.com.br/orvalho/website/portfolio_exibe.asp?img=http://www.webapp.com.br/orvalho/website/imgs/portfolio/GEO%2015.jpg&cod=GEO%2015 (04/07/2007). 378

Lista de Tabelas

TABELA 1: Classificação dos Subsistemas do edifício segundo a Norma ISO/DP6241 (CIB: International Council for Research and Innovation in Building and Construction – Publication 64, 1982).	26
TABELA 2: Definição de esquema estrutural de forma ativa face ao material e vão a ser alcançado (adaptada de ENGEL, 1997).....	65
TABELA 3: Características básicas das membranas e filmes (adaptado de MOLLAERT, 2002 e VANDENBERG, 1996).	73
TABELA 4: Comparação entre as geometrias, euclidiana e topológica, das formas arquitetônicas (FLÓRIO, 2005).....	94
TABELA 5: Resumo de valores da membrana e da tensoestrutura e arquitetura têxtil, segundo as citações, e estes valores parametrizados e atualizados para o ano de 2009 (da autora, 2009).....	144
TABELA 6: Especificações técnicas (adaptado de Plásticos do Paraná, 2008).....	158
TABELA 7: Matriz de movimentos de coberturas conversíveis (OTTO, F., 1971* apud WALTER, M., 2006)	181
TABELA 8: Avaliação qualitativa de condicionantes de projeto de materiais mais importantes por pontos unitários.	302
TABELA 9: Avaliação de atendimento qualitativo de condicionantes de projeto por pontos unitários e por análise visual das condições em uso de obras.....	348

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)