UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Kira Fischer Krebs

COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO COM PAINÉIS-MEMBRANA: DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO E IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS CRÍTICAS NA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE EXECUÇÃO

Porto Alegre
julho 2011

KIRA FISCHER KREBS

COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO COM PAINÉIS-MEMBRANA: DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO E IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS CRÍTICAS NA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE EXECUÇÃO

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre

julho 2011

KIRA FISCHER KREBS

COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO COM PAINÉIS-MEMBRANA: DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO E IDENTIFICAÇÃO DAS ETAPAS CRÍTICAS NA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE EXECUÇÃO

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2011

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. em Engenharia civil pela EPUSP
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Dr. em Engenharia civil pela EPUSP

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Dra. em Engenharia civil pela UFRGS

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Ma. em Engenharia de produção pela UFSM

Dedico este trabalho a meus pais, Antina e Eduardo, que são minha inspiração, e a minha irmã Katrin, que sempre esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Antina e Eduardo, por todo o apoio e dedicação para minha formação, além de serem meus exemplos de vida.

Agradeço ao professor Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pelo auxílio e pela dedicação para a realização deste trabalho.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt pela plena e total dedicação à todos os alunos durante toda a realização deste trabalho. Sua ajuda foi essencial.

Agradeço à Construtora Tedesco, por tornar possível a realização deste trabalho e por todo apoio e confiança em mim depositados.

Agradeço ao engenheiro Vitório Piffero, presidente do Sport Club Internacional (2007-2010), por ter dado início à reforma do estádio Beira-Rio, pelo empenho e dedicação prestados para realização da obra.

Agradeço ao engenheiro Ingo Klein, pela paciência, dedicação e auxílio prestados para a realização deste trabalho, fornecendo informações essenciais para o desenvolvimento e conclusão do mesmo.

Agradeço ao arquiteto Fernando Balvedi, pela paciência, dedicação e auxílio prestados para a realização deste trabalho, fornecendo informações essenciais para o desenvolvimento e conclusão do mesmo.

Agradeço ao engenheiro Luiz Eduardo P. da Silva, pela dedicação e auxílio, solucionando minhas dúvidas e fornecendo informações imprescindíveis.

Agradeço ao engenheiro Anderson Tavares, por permitir a realização deste trabalho, pelo apoio e pela confiança em mim depositados.

Agradeço ao Fabrício Antunes Rodrigues, por me receber na fábrica da empresa CTMC, fabricante de estruturas metálicas, e me explicar todo o procedimento de fabricação.

Agradeço ao meu namorado e amigo Leandro Mattos Beltrão, pelo apoio e ajuda durante todo o período do curso e especialmente na realização deste trabalho.

Where the crowds gather, history is made.

Paul Henry

RESUMO

KREBS, K. F. **Cobertura do Estádio Beira-Rio com Painéis-Membrana:** descrição do processo construtivo e identificação das etapas críticas na verificação da qualidade de execução. 2011. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Devido à realização da Copa do Mundo no Brasil em 2014, muitos estádios no país entraram em reforma. O estádio Beira-Rio em Porto Alegre está nesta situação e sua principal modificação é a construção de uma cobertura em todo o anel de arquibancadas do estádio. Esta cobertura possui um sistema construtivo complexo, constituído de estrutura metálica e fechamento com membrana têxtil (painéis-membrana). Este trabalho apresenta e descreve o processo construtivo desta cobertura, englobando todas as etapas do processo, remetendo-se às fundações, fabricação e montagem da estrutura metálica, bem como fabricação e instalação dos painéis-membrana. Tendo como base os projetos da estrutura metálica e obtendo informações e dados de outras obras nas quais foi utilizado este mesmo sistema, foi possível realizar a descrição da obra a ser executada da cobertura do estádio Beira-Rio antes da sua realização. Os materiais para os painéis-membrana de cobertura ainda não são muito difundidos e conhecidos no Brasil, por isso consta neste trabalho uma comparação entre os principais tipos de membrana utilizados para coberturas de estádios, contemplando as vantagens e desvantagens na utilização deste sistema construtivo. Em função do pouco conhecimento no assunto de membranas tensionadas pelos profissionais brasileiros da área de engenharia e arquitetura, foram identificadas as etapas críticas na verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana. Com isso, tem-se um trabalho que aborda um sistema complexo, inovador e muito vantajoso para as novas estruturas de coberturas de estádio.

Palavras-chave: estrutura metálica; painéis-membrana de cobertura; tipos de membrana; verificação da qualidade de execução.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: etapas da pesquisa 18
Figura 2: tipos de estruturas de membrana protendida por cabos 23
Figura 3: tipos básicos de estruturas pneumáticas 23
Figura 4: *Nelson Mandela Bay*, Port Elizabeth..... 30
Figura 5: *Gottlieb Daimler Stadium*, Stuttgart 32
Figura 6: *Allianz Arena*, Munich 33
Figura 7: construção do estádio Beira-Rio 39
Figura 8: estádio Beira-Rio antes da construção da cobertura 40
Figura 9: perspectiva do estádio Beira-Rio com a nova cobertura 41
Figura 10: bloco de fundação externo 43
Figura 11: bloco de fundação externo aterrado 44
Figura 12: armaduras do bloco de fundação interno 44
Figura 13: bloco de fundação interno 45
Figura 14: projeção em 3D da estrutura metálica da cobertura 46
Figura 15: conformação a fogo da barra metálica 47
Figura 16: pré-montagem da estrutura metálica 48
Figura 17: pintura das barras metálicas 48
Figura 18: detalhe da ligação entre fundação e estrutura metálica 49
Figura 19: detalhe da rótula 50
Figura 20: detalhe do travamento entre pilares internos 51
Figura 21: detalhe da fixação do pilar interno da estrutura existente 51
Figura 22: vista lateral da <P1F> 52
Figura 23: travamento folha/pilar principal 52
Figura 24: vista lateral da montagem da cobertura 54
Figura 25: vista lateral da <P2F> 54
Figura 26: montagem dos módulos da cobertura no canteiro de obras do estádio *Nelson Mandela Bay* 55
Figura 27: içamento do módulo da cobertura na construção do estádio *Nelson Mandela Bay* 55
Figura 28: vista frontal da fachada do estádio com a cobertura 57
Figura 29: perspectiva da fachada do estádio com os módulos da cobertura 57
Figura 30: tecidos de fibra de vidro revestidos com PTFE 60
Figura 31: soldagem da membrana 60

Figura 32: içamento das membranas até a rede auxiliar 62
Figura 33: instalação da rede de montagem 62
Figura 34: vista da montagem da membrana utilizando plataformas aéreas 63
Figura 35: instalação da membrana 63
Figura 36: plataforma metálica e armazenagem das membranas 64
Figura 37: detalhe cabo de aço e fixação da membrana 65
Figura 38: vista lateral interna da estrutura de membrana 65
Figura 39: vista frontal externa da estrutura de membrana 66
Figura 40: identificação das membranas e materiais de instalação 68
Figura 41: detalhe de fixação da membrana com a estrutura metálica 70
Figura 42: armazenagem dos materiais para instalação da membrana 71
Figura 43: rasgo na membrana da cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay* 72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: propriedades dos materiais de membrana 34

LISTA DE SIGLAS

FIFA: *Fédération Internationale de Football Association*

ETFE: etileno-tetrafluoretileno

PTFE: politetrafluoretileno

PVC: cloreto polivinílico

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 MÉTODO DE PESQUISA 15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA 15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO 15
2.2.1 Objetivo Principal 15
2.2.2 Objetivos Secundários 15
2.3 PRESSUPOSTOS 16
2.4 PREMISSA 16
2.5 DELIMITAÇÕES 16
2.6 LIMITAÇÕES 17
2.7 DELINEAMENTO 17
3 COBERTURAS DE ESTÁDIOS 19
3.1 HISTÓRICO DOS ESTÁDIOS 19
3.2 ESTRUTURAS DE COBERTURA 21
3.2.1 Tensoestruturas 22
3.2.2 Sustentação das membranas tensionadas 25
4 ESTRUTURAS DE MEMBRANA 28
4.1 TIPOS DE MATERIAL 28
4.1.1 Tecido de fibra de vidro revestido com PTFE 29
4.1.2 Tecido poliéster revestido com PVC 31
4.1.3 Filme de ETFE 32
4.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS 34
4.3 ESCOLHA DO MATERIAL 36
4.4 UTILIZAÇÃO NO BRASIL E TENDÊNCIAS PARA O FUTURO 37
5 COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO 39
5.1 HISTÓRICO DO ESTÁDIO BEIRA-RIO 39
5.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO..... 42
5.2.1 Fundações 42
5.2.1.1 Estaqueamento 42
5.2.1.2 Blocos de fundação..... 43
5.2.2 Estrutura metálica 45
5.2.2.1 Fabricação 46
5.2.2.2 Detalhes da estrutura 49

5.2.2.3 Montagem 50
5.2.3 Painéis-membrana 56
5.2.3.1 Fabricação e preparação do material 58
5.2.3.2 Instalação 61
6 QUALIDADE DE EXECUÇÃO DOS PAINÉIS-MEMBRANA DA COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO..... 67
6.1 ETAPAS CONSIDERADAS NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO 67
6.2 ETAPAS CRÍTICAS DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO 69
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 73
REFERÊNCIAS 75

1 INTRODUÇÃO

O estádio Beira-Rio, em Porto Alegre, sediará alguns dos jogos da Copa do Mundo de 2014. Em consequência disso, é necessário atender a determinadas exigências ou recomendações da FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*). No caso de cobrir todo o anel de arquibancadas do estádio, seria uma recomendação, pois segundo o caderno de encargos da FIFA, a cobertura é desejável em locais com alta incidência de sol e de climas frio ou úmido. Para o Beira-Rio, a oportunidade de criar uma estrutura nova para cobrir o estádio também possibilita a criação de um estádio mais moderno e com um melhor aspecto, se igualando aos estádios de grandes clubes ao redor do mundo. Porém, a partir do momento em que o projeto foi apresentado para a FIFA, essa cobertura passou a ser praticamente obrigatória, porque o estádio foi selecionado e aprovado com essa premissa.

O presente trabalho aborda todas as etapas de construção da cobertura do Beira-Rio, detalhando desde as fundações para a estrutura metálica, até o fechamento com as membranas de PTFE (politetrafluoretileno). A estrutura metálica da cobertura será construída em módulos para que não seja necessário interromper os jogos do Sport Club Internacional durante as obras. Além das etapas citadas anteriormente, foram identificadas, no final do trabalho, as etapas críticas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana.

A execução da nova cobertura em questão encontra-se na etapa de fundações para a estrutura metálica, e pelo cronograma atual da obra, a construção da estrutura metálica deverá iniciar em agosto de 2011, impossibilitando o acompanhamento da obra durante o trabalho. Em consequência, não foi possível acompanhar a instalação das membranas. Sendo assim, o trabalho tem um embasamento teórico, por meio de projetos estruturais e arquitetônicos, memoriais descritivos da obra do estádio Beira-Rio, bibliografia referente ao assunto e outras obras já executadas com o mesmo sistema.

O sistema construtivo desta cobertura é extremamente complexo, totalmente novo e desafiador para os parâmetros brasileiros. No exterior, já existem alguns estádios que utilizam este tipo de cobertura e as experiências foram muito bem sucedidas. Como exemplo, tem-se o estádio *Allianz Arena* em Munique, na Alemanha, onde foi utilizada uma cobertura metálica

com painéis-membrana de ETFE (etilenotetrafluoretileno), bem como o estádio *Nelson Mandela Bay*, em Port Elizabeth, na África do Sul, com painéis-membrana de PTFE, a mesma a ser utilizada no Beira-Rio.

Com base nessas coberturas já construídas ao redor do mundo, a elaboração de um sistema de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana torna-se viável e necessária para facilitar o processo da execução no Brasil. A falta de experiência e conhecimento deste tipo de construção no Brasil serviu de incentivo para a elaboração deste trabalho.

Após a introdução, o segundo capítulo deste trabalho aborda o método de pesquisa, com a questão de pesquisa, objetivos do trabalho, pressupostos, premissa, delimitações, limitações e delineamento. O terceiro capítulo é referente a coberturas de estádios, apresentando um breve histórico dos estádios, seguido das novas estruturas de cobertura da atualidade, as tensoestruturas. No quarto capítulo são apresentadas as estruturas de membrana mais utilizadas em coberturas de estádios, caracterizando os tipos de materiais, suas vantagens e desvantagens, os critérios a serem levados em conta na escolha do material e as tendências para o futuro na utilização deste tipo de estrutura. O quinto capítulo refere-se à construção da cobertura do estádio Beira-Rio, no qual é feito inicialmente um histórico do estádio, seguido da descrição do processo construtivo da cobertura, englobando as fundações, estrutura metálica e painéis-membrana. No sexto capítulo são listadas as etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana, sendo destacadas as etapas críticas deste processo. O sétimo e último capítulo aborda as considerações finais do trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é feita a descrição do método de pesquisa, abordando a questão, os objetivos, o pressuposto, a premissa, as delimitações, as limitações e o delineamento deste trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: considerando o processo construtivo da cobertura do estádio Beira-Rio, quais são as etapas críticas na verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a identificação das etapas críticas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

a) apresentação da execução de coberturas com membranas tensionadas;

b) descrição do processo construtivo da cobertura do estádio Beira-Rio;

c) listagem das etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana.

2.3 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressuposto que o estádio Beira-Rio será sede de jogos da Copa do Mundo de 2014, sendo necessária sua adequação aos padrões recomendados pela FIFA, e que para o projeto em questão, a estrutura metálica com painéis-membrana apresenta vantagens em relação aos demais sistemas pesquisados, tornando-se a solução construtiva mais adequada.

Os projetos estruturais e arquitetônicos que foram aprovados pela FIFA na escolha do Beira-Rio como sede da Copa, são adequados e serão utilizados na execução da estrutura metálica da cobertura, sendo a estrutura de membrana a ser utilizada o tecido de fibra de vidro de PTFE, conforme estabelecido nos projetos arquitetônicos.

2.4 PREMISSA

A modernização arquitetônica e estrutural dos estádios de futebol e a necessidade de adequação às exigências da FIFA foram determinantes para a construção da cobertura do estádio Beira-Rio.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao detalhamento do sistema construtivo da nova cobertura do estádio Beira-Rio, sendo coletados dados para a identificação das etapas críticas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana.

2.6 LIMITAÇÕES

Não foi possível acompanhar a construção da estrutura metálica e dos painéis-membrana de cobertura, visto que a entrega deste trabalho foi anterior ao início dos serviços, portanto foi necessário embasamento teórico por meio de bibliografia especializada no assunto.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1, e detalhadas nos próximos itens:

a) pesquisa bibliográfica;

b) descrição do processo construtivo da cobertura do estádio Beira-Rio;

c) apresentação da execução de coberturas com membranas tensionadas;

d) listagem das etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana;

e) identificação das etapas críticas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana;

f) considerações finais.

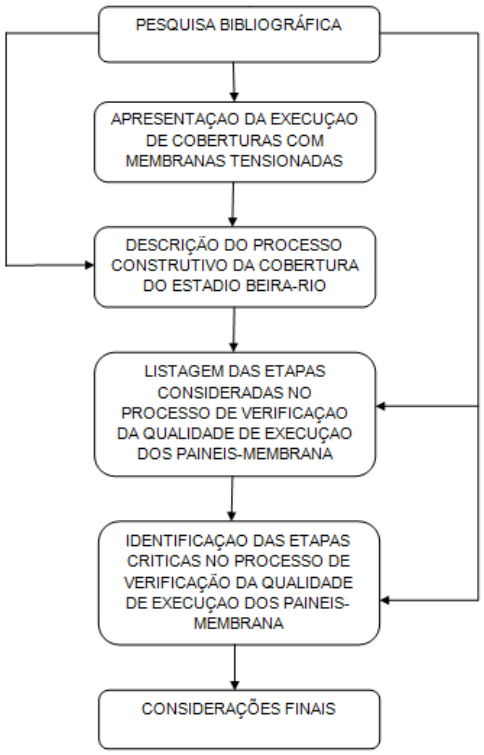

Figura 1: etapas da pesquisa

A pesquisa bibliográfica consistiu na busca e coleta de dados para se ter embasamento durante a realização do trabalho de diplomação. Para a pesquisa foram utilizadas informações existentes em livros, periódicos, documentos técnicos e sites referentes ao assunto. Com base na pesquisa bibliográfica realizada foram descritas todas as etapas de construção da cobertura, que englobam as fundações, a montagem da estrutura metálica e a instalação dos painéis-membrana. É mencionado também o processo de fabricação da estrutura metálica, e o processo de fabricação e preparação do material dos painéis-membrana.

Após esta descrição foi possível entender todo o processo construtivo e as razões para a escolha dos determinados materiais que compõem a estrutura e das técnicas construtivas adotadas. Assim, foram listadas as etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução e identificadas as etapas críticas deste processo. Por fim, através da análise dos dados e informações coletadas e do conhecimento adquirido durante o trabalho foram realizadas as devidas considerações finais sobre o tema abordado.

3 COBERTURAS DE ESTÁDIOS

Neste capítulo será apresentado um breve histórico dos estádios ao redor do mundo, seguido do tema de coberturas de estádios, estruturas de membrana e sua sustentação.

3.1 HISTÓRICO DOS ESTÁDIOS

Os precedentes dos estádios modernos têm suas origens na Grécia e Roma Antigas. A forma Grega era ditada pelo local e os estádios ocupavam uma área em um vale, onde os espectadores utilizavam as inclinações naturais como assento, ou eles eram construídos no pé de uma montanha com as inclinações superiores formando os assentos. Eles eram essencialmente incorporados na topografia e os espectadores tinham uma vista panorâmica da paisagem. A forma romana era o contrário disto: anfiteatros como o Coliseu em Roma, dominavam a paisagem. Os estádios Romanos tinham um formato oval e eram englobados por fachadas significativas. A atenção do espectador era focada para o interior, para a intensa e frequentemente violenta ação, e não havia nenhuma oportunidade de contemplação da natureza. Enquanto os estádios gregos eram essencialmente rurais, a versão romana era na forma urbana (SHEARD, [2005], p. 100).

A Primeira Geração de estádios dava ênfase à acomodação de um grande número de espectadores, com uma mínima preocupação com a qualidade das instalações ou com o conforto dos espectadores. A televisão, que foi criada nos anos 1930, começou a transmitir eventos esportivos no final dos anos 1950, quando houve um grande declínio no número de pessoas comparecendo nos eventos esportivos. A Segunda Geração de estádios foi a resposta a este fato, dando maior ênfase no conforto dos espectadores e melhorando as instalações dos locais. No entanto, estes estádios eram ainda enormes bacias de concreto e muitos dos locais esportivos no mundo permanecem nesta geração. A Terceira Geração de estádios surgiu no início dos anos 1990, desenvolvendo instalações mais amigáveis e atrativas para toda a família. O esporte era o foco, mas não a única atração, e a principal receita dos clubes esportivos modificou, passando de ingressos de catracas para propaganda e televisão. Tornou-

se claro que estádios poderiam gerar dinheiro se o projeto, o financiamento e o gerenciamento estivessem integrados. A Quarta Geração de estádios significou o início de uma nova era, com estádios compostos de cobertura retrátil, arquibancadas móveis e estacionamento subterrâneo, proporcionando um diagrama da cidade do futuro. Os determinantes cruciais para o *design* dos estádios no século XXI serão o potencial para a regeneração urbana e o papel do estádio no marketing e posicionamento de uma cidade global. A Quinta Geração de estádios é uma peça de arquitetura menos tangível que as quatro gerações anteriores, será identificada e categorizada pela sua presença global e pelo seu potencial regenerativo regional (SHEARD, [2005], p. 103-116).

A forma de um estádio é determinada pelo seu propósito. Neste caso, pode-se citar estádios de *baseball*, hipismo e de corridas de automóveis. Os estádios de futebol, por sua vez, são compostos de quatro terraços de assentos retos, que são configurados ao redor de um campo retangular de jogo. Eles são geralmente abertos, mas podem ter coberturas retráteis ou podem até ser completamente cobertos. Às vezes são também utilizadas membranas para a construção da cobertura. Neste caso, normalmente, tecidos revestidos de poliéster, sendo consequentemente, muito duráveis e resistentes (LLORELLA, 2006, p. 4).

O conceito de um estádio significa um grande desafio, já que várias funções devem estar integradas em um único complexo. Em um pequeno espaço de tempo o estádio deve receber um grande número de visitantes. Deve oferecer segurança ao vento e às intempéries, fazendo isso em grandes áreas de construção, que são, no entanto, equipadas com poucos materiais. Especialmente no caso de estádios de futebol, regulamentos da Federação Internacional de Futebol (FIFA) padronizaram os assentos e arquibancadas. Por este motivo, os estádios se parecem muito uns com os outros internamente. As diferenças aparecem primariamente na fachada externa, na cor dos assentos e na construção de uma cobertura (LLORELLA, 2006, p. 4).

Sheard ([2005], p. 166) comenta que uma clara tendência no desenvolvimento de grandes esportes ao redor do mundo é a visão compartilhada de que o esporte e o entretenimento devem ser uma parte essencial da comunidade. A infraestrutura de nossas cidades, tanto existente quanto proposta, deve ser projetada para permitir que os locais de esporte façam parte da vida cotidiana. Marg (2006, p. 17) salienta que a construção de estádios sempre foi um dos mais fascinantes desafios arquitetônicos. Seu centro é o ser humano, como um

indivíduo e uma parte das massas. No século XXI, muitos estádios continuam a ser construídos, assim como foram nos últimos 2.000 anos. Isso ocorre por causa das próprias pessoas e de sua necessidade natural de estarem fisicamente presentes no meio da vida orquestrada, em todos os sentidos (MARG, 2006, p. 16).

Os estádios atingiram a maioridade, tornando-se construções que podem ser usadas como catalisadoras para o crescimento planejado e estratégico das cidades do século XXI. Estádios tornaram-se símbolos poderosos da nossa cultura, das nossas aspirações e, às vezes, de nossas falhas, sendo necessário aprender como usá-los sabiamente e como tirar o melhor do seu potencial (SHEARD, [2005], p. 116).

Segundo o Portal Metálica (2010a):

> O propósito fundamental dos projetos de estádios e arenas mudou radicalmente ao longo da última década. Essas mudanças são tão dramáticas que muitas instalações hoje se tornaram obsoletas. Mesmo aquelas mais recentemente construídas, há cerca de 10 ou 20 anos, estão enfrentando sérios problemas. A idéia básica por trás dessas mudanças é a de que estádios e arenas modernos não são somente locais para se assistir a um evento, mas idealizados para fornecer também ampla experiência de entretenimento.

3.2 ESTRUTURAS DE COBERTURA

Göppert e Stockhusen ([2008?], p. 1) afirmam que “A cobertura é o elemento mais importante na concepção de um estádio.”. O formato retangular do interior do estádio e de sua cobertura gera muito frequentemente uma forma exterior também retangular, inicialmente abandonando a imagem dos clássicos anfiteatros. Estruturas de coberturas para vãos enormes têm de ser desenvolvidas, geralmente, para uma altura maior que 50 metros. Visto que as novas estruturas são muitas vezes implantadas sobre áreas de reconstrução, sendo erguidas sobre os estádios pré-existentes, é de grande importância que os procedimentos de montagem não prejudiquem o funcionamento normal do estádio. Corsini[1] (2010, p. 45) ressalta que “A estrutura da cobertura é concebida de forma independente da estrutura da arquibancada.”,

[1]Esta informação foi obtida pelo autor da reportagem em entrevista com a arquiteta Míriam H. Sayeg, que atua no Brasil como coordenadora de projetos da *Schlaich Bergermann und Partner*, empresa alemã de consultores independentes de cálculo estrutural.

indicando que a montagem de coberturas em estádios já construídos não traz problemas para a obra.

Segundo Corsini (2010, p. 45), as estruturas tensionadas em cabo sustentam coberturas leves como as membranas têxteis. Por isso, e por muitos outros motivos, como a capacidade de vencer grandes vãos, é que os estádios de futebol da atualidade estão cada vez mais fazendo uso dos cabos tensionados nas suas estruturas de cobertura. O mesmo autor[2] comenta ainda que "Se fosse utilizada uma estrutura convencional, como a treliça metálica, seria difícil fazê-la em balanço com um vão de 60 m.".

3.2.1 Tensoestruturas

O termo **arquitetura têxtil** designa todas as soluções arquitetônicas que utilizam como principal material a membrana, tanto estruturalmente, como para fechamento, definindo assim um tipo de arquitetura própria da nossa época (PORTAL METÁLICA, 2010b). Dotadas de grande impacto visual, as tensoestruturas foram escolhidas para alguns estádios devido a sua qualidade escultórica, facilidade de fabricação e transporte, montagem rápida e adaptação a qualquer geometria (MEDEIROS, 2010).

Segundo Elias (2002):

> As coberturas tensionadas são estruturas constituídas por membranas nas quais atuam esforços apenas de tração. Por possuírem espessura muito delgada, as membranas não oferecem resistência à compressão ou à flexão. Estruturas tensionadas são muito apropriadas quando o projetista deseja utilizar uma quantidade mínima de apoios, por razões funcionais e estéticas.

Para assegurar que a membrana esteja sempre submetida a esforços de tração, é necessário um pré-tensionamento na mesma, podendo este ser alcançado através do seu estiramento por meio de cabos tensores que compõem o sistema estrutural de suporte – geralmente situados no contorno da membrana –, ou através da atuação da pressão de gases. No primeiro caso, estas estruturas são chamadas de **estruturas de membrana tracionadas (ou protendidas) por cabos**. Já quando o pré-tensionamento é alcançado pela pressão de gases estas estruturas são

[2] Esta informação foi obtida pelo autor da reportagem em entrevista com Eduardo de Castro Mello, sócio do escritório Castro Mello Arquitetos, especializado em arquitetura esportiva.

chamadas de **estruturas pneumáticas** (OLIVEIRA; BARBATO, 2005, p. 108). Estes tipos básicos podem ser subdivididos em diversas alternativas de projeto, como mostram os organogramas das figuras 2 e 3.

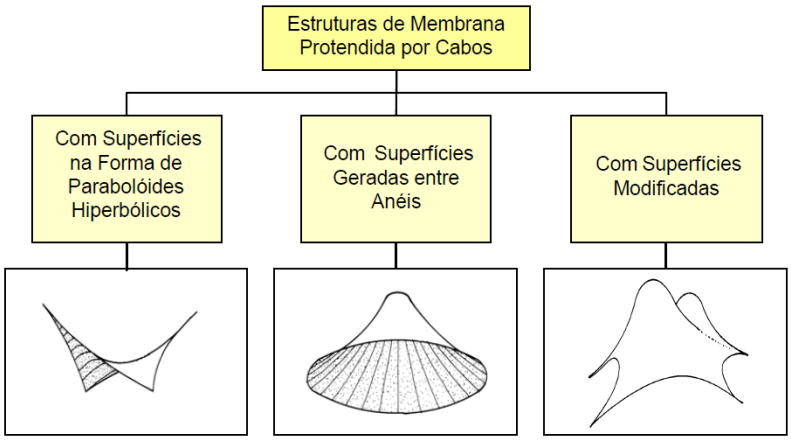

Figura 2: tipos de estruturas de membrana protendida por cabos
(OLIVEIRA; BARBATO, 2005, p. 108)

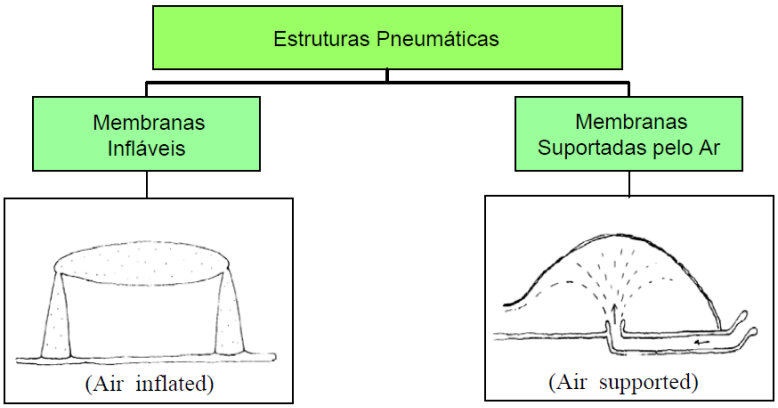

Figura 3: tipos básicos de estruturas pneumáticas
(OLIVEIRA; BARBATO, 2005, p. 109)

Existem dois componentes principais em qualquer estrutura de membrana (GÖPPERT; WAKEFIELD, 2004, p. 71):

a) a membrana propriamente dita, que pode ser uma simples área, ou região, ou múltiplas áreas com uma variedade de subdivisões. Esta membrana pode estar conectada diretamente na estrutura suporte nas suas bordas ou ter um sistema

na ponta do cabo que é então conectado em pontos discretos ao sistema limitante;

b) a estrutura primária, ou suporte, que equilibra os esforços de tração na membrana e transmite os mesmos ao chão sob protensão e condições de carga aplicada. Esta estrutura primária pode simplesmente ser constituída de mastros carregados à compressão e cabos na sua mais simples forma, através de um anel de vigas de concreto armado ou arcos, como também pode ser constituída de complexas montagens de vigas, escoras e elementos de cabo.

Para Elias (2002), estruturas de membrana tensionadas são construções que possuem características diferentes das construções usuais, sendo muitas vezes esse tipo de estrutura a única opção para determinados projetos. Para uma boa utilização das tensoestruturas o projetista deve considerar as seguintes características:

a) desmontabilidade;

b) evocação simbólica;

c) translucidez;

d) vencimento de grandes vãos;

e) baixo peso;

f) variabilidade formal e geométrica;

g) relação custo/ benefício.

Sobre estas características, Silva (2006, p. 13) comenta que conceitos importantíssimos atualmente como a flexibilidade e possibilidade de reuso encontram-se implícitos na facilidade de desmontagem das estruturas. A evocação simbólica refere-se às tensoestruturas que remetem às tendas utilizadas no deserto, às formas de velas de navio ou até montanhas. A translucidez da membrana, além de permitir a transmissão de uma luz natural difusa, possibilita ainda a iluminação interior noturna, devido à alta refletividade da superfície. Elias (2002) afirma que “Pelos materiais e sistema estrutural utilizado, as tensoestruturas são capazes de vencer vãos maiores que qualquer outro tipo de sistema construtivo convencional.”. Em comparação com estruturas de concreto armado, Silva (2006, p. 14) afirma que as tensoestruturas apresentam peso de duas ordens de grandeza menor, e de uma ordem de grandeza menor do que estruturas convencionais de aço.

Com relação ao custo/benefício de utilizar este tipo de estrutura, Elias (2002) salienta que:

> Devido ao fato de ser fruto de uma tecnologia sofisticada, as estruturas de membrana tensionadas normalmente possuem custos elevados em relação a construções convencionais. Porém, atualmente a relação custo benefício tem imperado, e levando-se em conta que estas estruturas podem vencer grandes vãos, ser totalmente dobradas, desmontadas e/ou transportadas de acordo com a necessidade; elas são vantajosas para determinados casos.

Medeiros (2010) afirma que "As estruturas tensionadas têm como característica o fato de seus elementos – membranas, estruturas metálicas e cabos – serem portantes, participando ativamente da composição estrutural.". São estruturas consideradas leves, com a massa do material substituída pela forma para alcançar a estabilidade, apresentando peso próprio muito menor que o peso suportado. O mesmo autor reforça ainda que:

> Nas estruturas tensionadas, a geometria, a distribuição das cargas, as propriedades do material, o comportamento estrutural sob influências externas, como os ventos, e até o corte do tecido são tão interdependentes que exercem uma influência direta sobre o sistema. O fluxo das forças de tração e compressão representa o ponto nevrálgico das estruturas de sustentação.

3.2.2 Sustentação das membranas tensionadas

De acordo com Elias (2002), a estrutura de sustentação das membranas tensionadas pode ser executada em madeira, bambu ou ligas metálicas como aço e alumínio, sendo o aço a alternativa mais interessante quando se necessita de alta resistência mecânica, como no caso de coberturas de estádio. Nogueira (2002, p. 5) reforça esta afirmação citando que os projetistas de coberturas de estádios de futebol optam por estruturas metálicas constituídas de perfis de aço, pois este material possui a capacidade de vencer grandes vãos livres, sendo simultaneamente bastante versátil, o que permite produzir coberturas com formas variadas que vão ao encontro dos requisitos estéticos exigidos. Por outro lado tem ainda as vantagens da pré-fabricação e da rapidez de montagem, o que, quando se está perante prazos de execução relativamente apertados, são fatores condicionantes.

O Centro Brasileiro da Construção em Aço (2010, p. 20-21) ressalta as vantagens em projetar estruturas utilizando componentes pré-fabricados de aço em comparação com estruturas de concreto convencionais:

a) liberdade e flexibilidade arquitetônica – elaboração de projetos arrojados, adaptações, ampliações, reformas e mudanças de ocupação;

b) aproveitamento do espaço – pilares e vigas de aço são esbeltos, resultando em melhor utilização do espaço interno e aumento da área útil;

c) compatibilidade com outros materiais – compatível com qualquer tipo de material para fechamento, seja convencional ou pré-fabricado;

d) qualidade e precisão – precisão medida em milímetros e fabricação da estrutura dentro de ambiente industrial controlado, garantindo uma obra com qualidade superior;

e) reciclabilidade – atende demandas atuais com relação à sustentabilidade, sendo um material 100% reciclável;

f) menos impactos ambientais – por apresentar um prazo de execução mais curto, por produzir menos ruídos e poeira, e por gerar menos entulhos;

g) segurança – ambiente de trabalho mais limpo e com maior segurança;

h) prazo – agilidade na montagem pode viabilizar o retorno mais rápido do capital investido. A redução no tempo de execução pode chegar a 40%.

Os arranjos estruturais do aço no caso de estruturas de cobertura consistem em treliças espaciais em que as barras ficam sujeitas exclusivamente a esforços axiais de tração e compressão, garantindo alta eficiência estrutural, uma vez que as barras são solicitadas permitindo o melhor aproveitamento da capacidade resistente do material (ELIAS, 2002). As barras que compõem a estrutura geralmente possuem seção transversal tubular, como afirma Nogueira (2002, p. 5), “Sempre que as vigas tomam a forma de arco, os perfis mais utilizados são os tubulares, uma vez que são estes os que têm melhor comportamento à compressão.”. Essa forma garante boa rigidez com pouca quantidade de material, resultando em estruturas leves e muito resistentes (ELIAS, 2002).

Segundo Corsini (2010, p. 45-46), a tecnologia de construção das estruturas de cabos tensionados funciona assim:

> [...] há um anel de compressão na parte externa e, desse anel, saem cabos em direção ao centro da estrutura. Esses cabos vão se unir a outro anel central, um anel de tração. Esse anel central pode sofrer a tensão e segura a cobertura. A estrutura é comparada com uma roda de bicicleta. A execução dos cabos é feita depois que o anel de compressão já está pronto, onde eles são puxados até os pontos de fixação da cobertura. Os macacos hidráulicos são acionados com a mesma intensidade e levantam os cabos até que cheguem à posição final, onde serão fixados.

As grandes edificações com estruturas de membrana sempre foram classificadas como sofisticadas. Muitas vezes existem diferenças significativas no projeto das estruturas de sustentação e na avaliação de seu comportamento estrutural em comparação com as formas convencionais de construção. De acordo com Medeiros[3] (2010), "A necessidade de *expertise* no manuseio de materiais – como as membranas e os cabos –, suas propriedades pouco conhecidas, bem como o processo de projeto, diferente do convencional, contribuem para isso.".

[3] Esta informação foi obtida pela autora da reportagem em entrevista com a arquiteta Míriam H. Sayeg, que atua no Brasil como coordenadora de projetos da *Schlaich Bergermann und Partner*, empresa alemã de consultores independentes de cálculo estrutural.

4. ESTRUTURAS DE MEMBRANA

Neste capítulo serão descritas e analisadas as características dos principais materiais utilizados nas estruturas de membrana.

4.1 TIPOS DE MATERIAL

Um fator decisivo na viabilidade de um projeto arquitetônico de cobertura de estádios é a capacidade de atender as exigências quanto ao material da membrana. Como a membrana é um componente construtivo flexível estabilizado somente sob tensão, sua resistência mecânica à tração e qualidades elásticas são critérios importantes. Até agora, cerca de 90% de todos os projetos de membrana foram executados utilizando um dos seguintes materiais (PUDENZ, 2004, p. 48):

a) tecido de fibra de vidro revestido com PTFE (politetrafluoretileno);
b) tecido poliéster revestido com PVC (cloreto polivinílico);
c) filme de ETFE (etileno tetrafluoretileno).

Segundo Pudenz (2004, p. 48), uma série de razões contribui para tanto. Primeiramente, estes materiais em particular têm sido utilizados com sucesso desde a metade do século passado e assim foram testados e comprovados. O tecido poliéster revestido de PVC, por exemplo, tem sido utilizado para construções com membrana desde 1950. Desde 1970 a fibra de vidro revestida de PTFE provou seu valor através de um número crescente de construções de membrana. Filmes transparentes de ETFE, que são frequentemente usados em construções pneumáticas de dupla ou tripla camada, conquistaram seu lugar especial neste campo de atuação. Por outro lado, as tecnologias utilizadas nas construções com estes materiais atingiram agora um alto nível de sofisticação e todo aspecto de seu desempenho de longo prazo é conhecido e documentado.

Devido à variedade de materiais disponíveis hoje em dia e suas múltiplas funções é difícil classificá-los em forma de lista concisa de aplicação orientada. No entanto, tal lista serve de assistência para fazer escolhas preliminares, que devem então ser confirmadas pelas análises dos pontos de vista da engenharia, da fabricação e de conveniência (PUDENZ, 2004, p. 50).

Além dos materiais citados neste capítulo, existem ainda muitos outros tipos, que são normalmente derivações dos mesmos, com tratamentos especiais desenvolvidos para um melhor desempenho em determinadas funções. Serão abordados aqui somente os três principais: PTFE, PVC e ETFE.

4.1.1 Tecido de fibra de vidro revestido com PTFE

De acordo com PORTAL METÁLICA (2010c) o PTFE (politetrafluoretileno):

> Este tecido foi desenvolvido inicialmente para as necessidades da roupa dos astronautas, em 1960. Devido a excelente qualidade e por ser totalmente incombustível, passou a ser utilizado para cobertura de edificações onde a segurança é muito rigorosa, como por exemplo, no caso de aeroportos. A incombustibilidade do produto ocorre porque é constituído totalmente de fibra inerte, no caso fibra de vidro, tanto em seu substrato como nos revestimentos.

O fio utilizado para o tecido é formado por filamentos torcidos e então trançados no tecido cru nas máquinas de tecelagem com a ajuda de tipos de vinculação específicos para o produto. No caso de produtos revestidos, seguido de uma série de pré-tratamentos adicionais, o tecido cru é revestido em ambos os lados com o PTFE. A excelente aderência do revestimento com o tecido significa que com a união das superfícies revestidas na forma de junções sobrepostas, podem ser produzidas resistências que se equivalem ou excedem a resistência do próprio material (PUDENZ, 2004, p. 50).

Pudenz (2004, p. 50) afirma que os tecidos de fibra de vidro revestidos de PTFE atendem todos os requisitos técnicos importantes para materiais externos e para o uso como proteção contra intempéries em grandes vãos e unidades modulares. Eles são convincentes devido à sua longa expectativa de vida e incombustibilidade, bem como seu baixo coeficiente de adesão, que fornece aos mesmos uma superfície auto-limpante. Portal Metálica (2010c) afirma que a expectativa de vida útil deste material é superior a 30 anos.

O tecido de fibra de vidro revestido de PTFE apresenta baixo grau de elasticidade e comportamento flexível ruim (fissuração e tendência de desgaste por atrito do revestimento), impondo maiores demandas no detalhamento das conexões, na fabricação e na instalação, e, até certo ponto, no projeto estrutural da subestrutura (PUDENZ, 2004, p. 51). O PTFE é quimicamente inerte, resistente à umidade e a microorganismos e tem baixa deterioração com a idade. Combinado com tecidos em fibra de vidro torna-se um material de grande estabilidade (ELIAS, 2002).

Com relação à manutenção e limpeza das membranas constituídas deste material, Elias (2002) comenta o seguinte:

> Nas tendas revestidas de PTFE, as partículas de sujeira praticamente não se fixam devido as suas propriedades e, além disso, são transportadas pela água da chuva. A fibra de vidro revestida de PTFE não mostra tendência para descolorar com o tempo e tornar-se branca. A limpeza é então menos importante que com as membranas de PVC revestidas. Em estruturas permanentes de ambos tipos de revestimento o acesso à limpeza deveria ser considerado na etapa projetual.

Como exemplo de uma construção com membrana de PTFE, tem-se a cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay* (figura 4), em Port Elizabeth, na África do Sul. A cobertura apresenta 21.300 m² de membrana tensionada em fibra de vidro revestida com PTFE, dispostas em 36 módulos que envolvem completamente o estádio (THE FLYING MAST, 2010). É uma estrutura muito semelhante à do Beira-Rio.

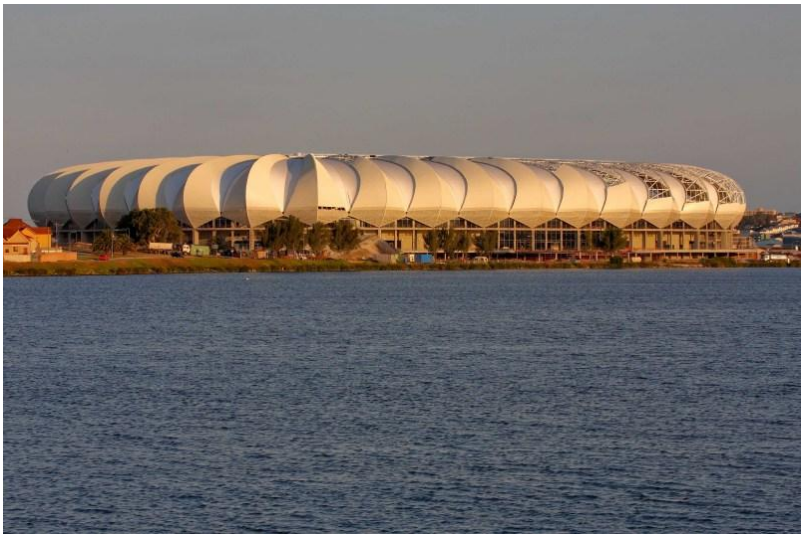

Figura 4: *Nelson Mandela Bay*, Port Elizabeth
(foto cedida por Fernando Balvedi)

4.1.2 Tecido poliéster revestido com PVC

A fabricação do tecido poliéster revestido com PVC é semelhante ao tecido de fibra de vidro revestido com PTFE, sendo o tecido cru revestido em ambos os lados com o PVC. Um sobrerevestimento é às vezes aplicado como processo final de fabricação, e no caso de tecidos de poliéster de PVC este revestimento pode ser um verniz de flúor que sela a superfície e aumenta sua resistência à sujidade. O revestimento protege o tecido garantindo uma longa vida útil (PUDENZ, 2004, p. 50). Segundo Elias (2002), o PVC é leve e maleável, proporcionando assim formas desejadas às tensoestruturas. Este material é resistente aos raios UV e permite a sua fabricação em praticamente qualquer coloração.

Os tecidos de poliéster revestidos de PVC de baixa inflamabilidade com diferentes acabamentos superficiais, como um sobre-revestimento de fluoropolímero, que é econômico e ao mesmo tempo apresenta excelentes propriedades mecânicas e também oferece excelente resistência à fraturas quando dobrado. É, portanto, apropriado para membranas dobráveis e para construções de membrana temporárias e reutilizáveis, sendo utilizados com sucesso ao longo de muitos anos (PUDENZ, 2004, p. 50).

Com relação à manutenção e limpeza das membranas constituídas deste material, Elias (2002) comenta o seguinte:

> Tendas revestidas de PVC apanham sujeira e são evitadas em locais urbanizados e outras atmosferas com altas concentrações de sujeira. Elas devem ser regularmente limpas para evitar perda de translucidez e aparência não atrativa (entretanto, superfícies finas de acabamento podem aliviar o problema). Mas quanto mais são limpas, mais elas se fragilizam pelo contato com sabões, detergentes e óleos. Deve-se garantir que a limpeza seja feita exatamente como as instruções do fabricante, usando leves escovas, água e detergentes suaves. Novas demãos de laca e impermeabilizantes podem ser feitas ao longo do tempo, sempre após a lavagem.

Um exemplo de cobertura com este tipo de membrana é a do estádio *Gottlieb Daimler* (figura 5), em Stuttgart na Alemanha. Quarenta cabos de treliças radiais são suportados no perímetro por dois anéis de compressão e são protendidos por um cabo do anel no interior da estrutura. O material da membrana é de poliéster revestido de PVC com um selante adicional de fluoropolímero, que fornece um certo grau de auto-limpeza e resistência à sujeira para a superfície (HABERMANN, 2004, p. 218).

Figura 5: *Gottlieb Daimler Stadium*, Stuttgart
(GÖPPERT; STOCKHUSEN, [2008?], p. 9)

4.1.3 Filme de ETFE

De acordo com Portal Metálica (2010d), “Esse produto não é um tecido, mas uma película, também chamada de filme.”. Esse filme foi inicialmente usado em meados de 1975 na eletrônica e aviação, devido a suas propriedades de resistência ao calor, química e condições climáticas, além de ser um produto antiadesivo e com excelente característica elétrica.

Portal Metálica (2010d) afirma que a durabilidade dos filmes de ETFE é de mais de 20 anos e que são extremamente leves, podendo suportar 400 vezes o seu peso próprio. É um material muito resistente e não se degrada com a luz solar. Pudenz (2004, p. 50) salienta que para uso externo permanente somente filmes com uma base fluoropolimérica podem ser aplicados com sucesso.

Para Pudenz (2004, p. 50), os filmes de alto desempenho feitos de ETFE, são submetidos à extrusão a fim de alcançar grande qualidade e uma espessura consistente do material. Este processo também assegura máxima transparência. Devido à sua transparência, Portal Metálica (2010d) indica que o ETFE é um produto comparável aos sistemas de vidro para cobertura e fechamento, apresentando grandes vantagens em relação aos mesmos, por serem muito mais leves e apresentarem melhores propriedades de insolação.

Os filmes de ETFE são utilizados em duas ou mais camadas predominantemente em construções pneumáticas. Sua utilização permite uma grande variedade de formas, como as superfícies curvas irregulares. Além disso, este material, que é totalmente reciclável, possui um alto grau de translucidez de raios UV, bem como uma superfície auto-limpante (PUDENZ, 2004, p. 51).

De acordo com Portal Metálica (2010d), “As soluções de cobertura utilizando os colchões de ar feitos com o ETFE, mantidos insuflados com pressão constante de ar, constituem uma inovação para as coberturas, e podem suportar grandes cargas, como as de neve por exemplo.”. Porém, Pudenz (2004, p. 51) salienta que devido a grandes demandas feitas na área de detalhes de projeto, fabricação e adequação, o uso deste material requer anos de experiência e *know-how*.

O estádio Allianz Arena (figura 6), em Munique, na Alemanha, é um exemplo de cobertura com este tipo de material. Para a cobertura foram utilizadas 48 treliças metálicas posicionadas radialmente suportando uma estrutura secundária, com pequenas peças que formam uma grelha interligada aos painéis da cobertura. Cerca de 2.800 painéis em forma de losangos translúcidos compõem o revestimento do estádio, e dos quais 1.056 podem ser iluminados em diversas combinações das cores azul, vermelho e branco. Nos painéis foram utilizadas membranas de ETFE de 2 mm de espessura que formam almofadas infladas (PORTAL METÁLICA, 2006).

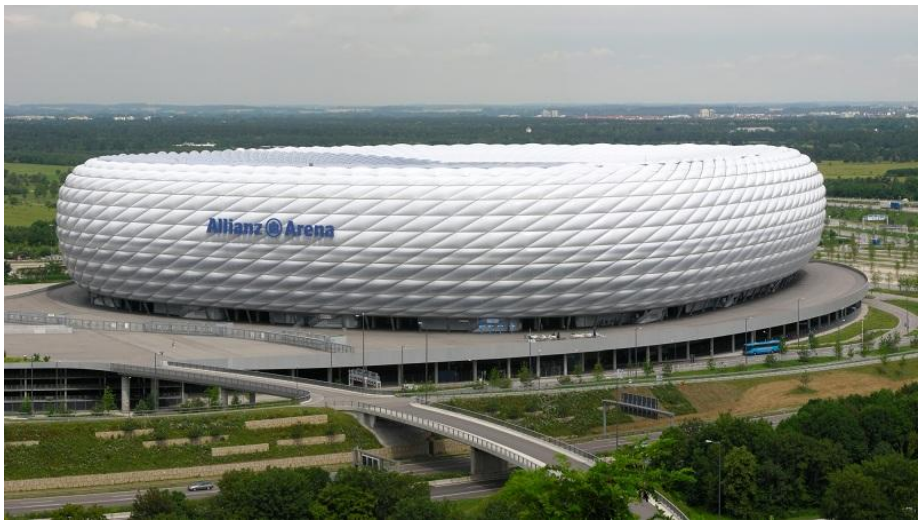

Figura 6: *Allianz Arena*, Munich
(WIKIMEDIA COMMONS, 2010)

4.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Algumas propriedades e características dos materiais citados anteriormente estão relacionadas no quadro 1. São feitas aqui afirmações essencialmente qualitativas em todas as categorias, para que na fase de projeto isso seja suficiente para avaliar a membrana em termos de seleção do material apropriado (PUDENZ, 2004, p. 57).

Construção	**tecido de poliéster revestido c/ PVC**	**tecido de fibra de vidro revestido c/ PTFE**	**filme de fluoropolímero (ETFE)**
uso em coberturas e fachadas	permanente + móvel, interno e externo	permanente, interno + externo	permanente, interno + externo
propriedades especiais	material padrão c/ ampla possibilidade de aplicações	material padrão de alta qualidade, fabricação exigida tecnicamente	material padrão de alta qualidade, usado em construções pneumáticas.
impermeável	Sim	Sim	Sim
inflamabiilidade	baixa	incombustível	incombustível
resistência à raios UV	boa	excelente	excelente
durabilidade	15 - 20 anos	30 - 40 anos	20 - 30 anos
translucidez	0 a 25%	4 a 22%	até 96%
reflexão da luz	50 a 70%	65 a 75%	até 60%
cores	branco padrão, ampla possibilidade de cores	branco padrão, possibilidade limitada de cores	transparente, cores brancas a pedido, pode ser impresso
propriedade auto-limpante	boa	excelente	excelente
resistência à químicos	boa	excelente	excelente
peso (kg/m²)	0,6 a 1,65	0,4 a 1,6	0,05 a 2,0
resistência à tração (N/5cm)	2.000 a 10.000	1.000 a 8.000	300 a 600
maleabilidade	boa	incapaz	incapaz
reciclabilidade	boa	neutra	excelente
temperatura recomendável p/ construções	-30°C a +70°C	limites não estabelecidos	limites não estabelecidos

Quadro 1: propriedades e características dos materiais de membrana
(adaptado de PUDENZ, 2004, p. 58-59)

Para Portal Metálica (2010a), as vantagens em utilizar as coberturas de membrana tensionadas são:

a) custo de construção inicial menor do que o de uma construção convencional;
b) o peso de um teto de tecido é 1/30 do peso de um teto de estrutura metálica;
c) tempo menor de construção;
d) iluminação natural;
e) menor custo de energia;
f) menos manutenção;
g) espaço coberto ilimitado.

Segundo Telles (mensagem pessoal), Os custos de construção inicial são normalmente mais baixos quando comparados com os custos iniciais de uma construção convencional. Vários fatores contribuem para isso e o primeiro dos quais é o peso. Uma cobertura em tecido representa 1/30 do peso de um sistema de cobertura convencional suportado por estrutura metálica ou madeira. Este peso reduzido significa que as paredes e fundações não precisam ser tão resistentes quanto às projetadas para um prédio convencional. Göppert (2004, p. 80) assegura que as maiores vantagens das construções com membrana são seu baixo peso, sua elasticidade (a grande possibilidade de expansão e, portanto, a capacidade de absorver maiores deformações estruturais) e sua qualidade de transmitir luz sobre grandes áreas. Por outro lado, existem algumas desvantagens na utilização deste tipo de construção, sendo estas as seguintes (PORTAL METÁLICA, 2010a):

a) o custo da cobertura em tecido é mais elevado do que o da cobertura convencional;
b) durabilidade de 25 anos em média;
c) isolamento térmico ruim;
d) problemas acústicos;
e) restrição a ventos fortes.

Telles (mensagem pessoal) afirma que ventos fortes referem-se a um furacão de categoria 1 (119-153 km/h). Em ventos com essa velocidade, muitas normas exigem que o estabelecimento com a estrutura em tecido seja imediatamente evacuada. Uma outra característica a ser levada em conta é o impacto energético gerado pela tensoestrutura, que depende da relação entre a economia de energia devido à iluminação natural diurna e os gastos com aquecimento em regiões onde se faz necessário (por causa do isolamento térmico ruim da mesma). Por este motivo, a avaliação dos gastos com energia deve incluir iluminação, aquecimento e resfriamento, além dos custos com equipamentos (SILVA, 2006, p. 13).

A manutenção da cobertura é um aspecto importante em qualquer sistema construtivo, sendo muito especial neste tipo, onde estrutura e fechamento se fundem num material só. É fundamental manter as características físico-químicas iniciais, ao longo da vida útil da membrana, e por este motivo, devem ser realizadas lavagens periódicas com água e sabão neutro, a fim de evitar possíveis ataques químicos da contaminação atmosférica e urbana a seus materiais constituintes (PORTAL METALICA, 2010b).

Quanto a eventuais reparações na membrana, dependendo da importância do dano, é possível ser reparada *in loco*, seja com adesivos apropriados ou com sistema de soldas térmicas portáteis. Em caso de reparos maiores, as membranas sempre podem ser desmontadas. Quanto às estruturas suportes e ancoragem, estas são afetadas pelas regras de manutenção da construção, especialmente os elementos metálicos (proteção à corrosão, limpeza, etc.) (PORTAL METÁLICA, 2010b).

4.3 ESCOLHA DO MATERIAL

A abordagem mais eficiente na escolha do material é resultado de um processo baseado em idéias iniciais de projeto, cálculos estruturais preliminares e desempenho requerido do material de membrana. Além das características dos materiais, os aspectos de transformação e montagem da membrana são fatores importantes. As diferentes possibilidades de montagem, incluindo a praticidade do detalhamento, devem ser acordadas com os respectivos especialistas, para que seja assegurado na fase inicial do projeto que o mesmo é viável e também garantir que seja implementado de forma economicamente viável. A complexidade em selecionar o material apropriado se resume em diminuir a série de materiais possíveis,

passo a passo, durante os processos de planejamento e projeto, a fim de alcançar a melhor solução ao tomar a decisão final com relação ao material (PUDENZ, 2004, p. 65).

Segundo Taylor (2004, p. 14), optar pela arquitetura de membrana não é uma decisão para o arquiteto ou o engenheiro sozinho. Apesar do uso de tecidos revestidos com PTFE ou PVC, e de filmes de ETFE, ter se tornado hoje uma forma mais consagrada de construção, as estruturas de membrana são ainda relativamente incomuns, e nunca é fácil persuadir um cliente a confiar e utilizar esta forma de construção.

4.4 UTILIZAÇÃO NO BRASIL E TENDÊNCIAS PARA O FUTURO

O desenvolvimento da tecnologia das estruturas tensionadas para a cobertura de grandes vãos no Brasil foi impulsionado pela Copa do Mundo de 2014. Segundo Corsini (2010, p. 44), por exigências ou recomendações da FIFA, as partidas da Copa devem ser jogadas em arenas com toda a área de arquibancadas coberta. Até o momento não existe nenhum estádio que atenda a este requisito no Brasil, o que mostra que a instalação de coberturas é uma das principais adaptações dos estádios de futebol no País.

De acordo com Silva (2006, p. 15), “A falta de cultura técnica, a dependência de materiais importados (membranas sintéticas, determinados cabos e elementos de ancoragem) e os conceitos equivocados sobre durabilidade são barreiras para a utilização da tensoestrutura no Brasil.”. As possibilidades oferecidas por este sistema construtivo são pouco conhecidas pelos profissionais brasileiros da área de Engenharia e Arquitetura, e o número de projetistas e calculistas especializados é ainda menor, o que mostra um mercado de trabalho com bom potencial de crescimento no país, comenta a mesma autora.

Ainda não existem normas técnicas brasileiras específicas para tensoestruturas, como afirma Silva (2006, p. 15). A boa durabilidade destas estruturas foi alcançada por meio de avanços tecnológicos que melhoraram a qualidade das membranas, segundo normas internacionais, o que impulsionou a construção de inúmeras coberturas de estádios ao redor do mundo utilizando este sistema construtivo.

No momento existe um grande avanço com a descoberta de novos materiais e níveis de sofisticação. Lâminas, filmes e materiais compostos vão continuar a expandir o vocabulário e as possibilidades, fornecendo um melhor desempenho térmico, altas eficiências estruturais e maiores economias. Como esta evolução aumenta o alcance de aplicações onde membranas são apropriadas, pode-se ver o surgimento de uma nova linguagem arquitetônica, na qual a relação entre forma, espaço, material, luz e textura diferem de qualquer um anterior. Em um sentido, será abstrato e matemático, mas em outro, poderá permitir arquitetos a desenvolver totalmente novas configurações entre forma e pessoas (TAYLOR, 2004, p. 14-15).

5 COBERTURA DO ESTÁDIO BEIRA-RIO

Neste capítulo é apresentado um breve histórico do estádio Beira-Rio, seguido da descrição do processo construtivo da nova cobertura. Esta descrição contempla as etapas de fundação, fabricação e montagem da estrutura metálica e instalação dos painéis-membrana.

5.1 HISTÓRICO DO ESTÁDIO BEIRA-RIO

No dia 12 de setembro de 1956, o Sport Club Internacional recebeu do governo a doação de uma área que seria aterrada no rio Guaíba. Foi assim que esse clube de futebol de Porto Alegre recebeu um terreno para erguer sua nova sede. Mas o problema era que essa área ficava anteriormente dentro da água. Após três anos de estudos e planejamento sobre a melhor e mais segura maneira de construir seu estádio o Clube começou a erguer o Gigante da Beira-Rio sobre a área aterrada (CORRÊA, 2009, p. 39). A figura 7 mostra a construção do estádio.

Figura 7: construção do estádio Beira-Rio
(SKYSCRAPER CITY, 2008)

O estádio foi construído em grande parte com a contribuição da torcida, que trazia tijolos, cimento e ferro para a obra. No ano de 1969, dez anos após o início da construção e com o

aterro finalizado, foi inaugurado o Beira-Rio, que comportava naquela época até 100.000 pessoas. Hoje em dia (figura 8), o estádio possui capacidade de 56.000 pessoas, devido à colocação de cadeiras em grande parte das arquibancadas e da interdição de algumas áreas anteriormente destinadas a torcedores (CORRÊA, 2009, p. 39-40).

Figura 8: estádio Beira-Rio antes da construção da cobertura
(BOL NOTÍCIAS, 2010)

Em função de Porto Alegre ter sido escolhida como uma das cidades-sede da Copa do Mundo de 2014, o Internacional apresentou à CBF (Confederação Brasileira de Futebol) e à FIFA seu projeto de remodelação do Complexo Beira-Rio, o qual foi escolhido como palco dos jogos que serão realizados na capital gaúcha. Muitas mudanças serão realizadas no estádio e ao redor do mesmo, mas a principal é a construção da cobertura sobre todo o anel de arquibancadas do estádio, incluindo as rampas e os portões. A cobertura (figura 9), construída em estrutura metálica, foi projetada em módulos, permitindo uma construção rápida e em etapas, não havendo a necessidade de interdição do Estádio. A capacidade do Estádio será ampliada para 65.000 lugares, com a demolição e reconstrução das arquibancadas inferiores (NUNES, 2010, p. 11).

Figura 9: perspectiva do estádio com a nova cobertura
(SPORT CLUB INTERNACIONAL, 2007)

O projeto de remodelação do Beira-Rio teve início em 2006 com a contratação do escritório de arquitetura Hype Studio, de Porto Alegre, a fim de pesquisar e estudar os tipos de cobertura possíveis para o estádio. A empresa desenvolveu cinco alternativas de coberturas, as quais foram observadas e analisadas ao redor do mundo, e apresentou as mesmas em uma reunião com a presidência do clube. A alternativa que mais impressionou os presentes tinha a seguinte descrição[4]:

> [...] uma estrutura em módulos, que viabiliza a construção em etapas, com possibilidade de interromper alguns setores do estádio durante a execução ao invés de interditar o estádio inteiro, criando uma nova fachada para o estádio, visto que a fachada existente nada mais é do que uma extrusão da planta. A estrutura nasce a 10 metros da estrutura original e se projeta em balanço de 50 metros para dentro do estádio de forma concêntrica.

Com relação à membrana, os arquitetos da Hype Studio optaram pela membrana tensionada de PTFE (também conhecido como Teflon), julgando ser o melhor material para cobrir o estádio por uma série de fatores, dentre eles, a possibilidade de vencer grandes vãos com pouquíssimo peso próprio, material muito resistente e manutenção praticamente zero. Foi assim que iniciou o projeto que é descrito a seguir neste capítulo.

[4] Informação obtida com o arquiteto Fernando Balvedi, um dos sócios do escritório de arquitetura Hype Studio, que desenvolveu todo o projeto arquitetônico da reforma do Complexo Beira-Rio.

5.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

O maior desafio desta reforma é a construção da cobertura sobre o anel de arquibancadas do Estádio, por possuir um sistema construtivo complexo e jamais executado no Brasil. Neste capítulo será apresentado o detalhamento do sistema construtivo da cobertura do Estádio em questão e a descrição de todas as etapas de construção da mesma.

O sistema construtivo da cobertura é composto de estrutura metálica com fechamento em membrana tensionada. Conforme mencionado pelos integrantes da Hype Studio, que desenvolveram o projeto arquitetônico do Estádio, esta é uma solução com estrutura leve, de baixa manutenção e pouco impacto ambiental.

5.2.1 Fundações

As fundações para os pilares da nova cobertura do estádio Beira-Rio são constituídas de 65 blocos externos, cada um contendo três estacas, e 65 blocos internos (junto à estrutura existente do estádio), cada um contendo duas estacas. Detalhes do estaqueamento e dos blocos de fundação são descritos a seguir.

5.2.1.1 Estaqueamento

Foram utilizados dois tipos de estacas: estacas cravadas pré-moldadas metálicas e injetadas do tipo raiz:

a) metálicas: utilizadas na região ao redor do estádio voltada para a av. Beira Rio, onde o solo é menos resistente, resultante do aterro sobre o rio Guaíba. As estacas foram cravadas alcançando profundidades na média de 16 m;

b) raiz: foram utilizadas na região ao redor do estádio voltada para a av. Padre Cacique, onde o solo é rochoso, perfurando a rocha e alcançando profundidades em torno de 12 m.

5.2.1.2 Blocos de fundação

Os blocos externos estão posicionados a oito metros da estrutura existente do estádio, podendo ser visualizados nas figuras 10 e 11. Os blocos internos encontram-se junto à estrutura existente, de forma a se unirem com os blocos dos pilares existentes, através de armadura de ancoragem chumbada no bloco do pilar com chumbador químico. Estes novos blocos variam muito na sua configuração, por terem de se adequar ao bloco existente, sendo estes separados em cinco diferentes tipos. Por este motivo existem cinco projetos de fôrma e armadura de blocos internos, para os diferentes casos observados. As armaduras de um bloco interno podem ser visualizadas na figura 12, enquanto o bloco concretado aparece na figura 13.

Figura 10: bloco de fundação externo

Figura 11: bloco de fundação externo aterrado

Figura 12: armaduras do bloco de fundação interno

Figura 13: bloco de fundação interno

5.2.2 Estrutura metálica

A concepção estrutural atual do Estádio é constituída em pórticos aparentes de concreto armado. Totaliza 156 pórticos distribuídos em 26 setores separados através de juntas de dilatação. Como já foi indicado neste trabalho, a nova estrutura de cobertura será constituída por 65 módulos que terão como apoio novas fundações executadas a aproximadamente oito metros da face dos pilares externos existentes e novos pilares constituídos por perfis de aço com seu eixo baricêntrico afastado 45 cm da face dos pilares existentes. Assim, é criada uma linha externa de pilares e com o auxílio da estrutura existente executa-se uma estrutura em balanço para dentro do estádio, cobrindo as arquibancadas, como pode-se ver na projeção em 3D da figura 14.

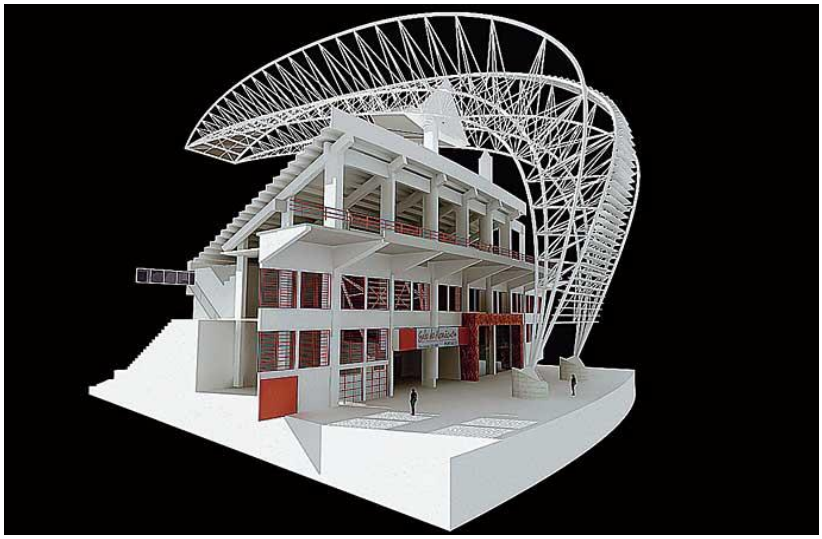

Figura 14: projeção em 3D da estrutura metálica da cobertura
(MEIO NORTE, 2010)

Cada módulo é composto por perfil tipo caixão com altura variável, formado por chapas de aço na parte inferior, perfis tubulares na parte superior e nas diagonais da estrutura. A interligação entre os módulos será realizada através de perfis tubulares de aço, estes localizados na parte superior da estrutura, servindo de apoio ao elemento de cobertura nas áreas de arquibancada, e localizados nas laterais tendo o efeito de brises (trabalho não publicado)[5].

Em todo o perímetro interno do anel de cobertura (no extremo dos módulos) haverá o elemento de rigidez da estrutura, treliça espacial, formado por perfis tubulares de aço. Este anel treliçado tem a função de estabilizar as deformações nas extremidades da cobertura, e também funciona como um anel de compressão e tração para as cargas acidentais atuantes na cobertura, como por exemplo, as cargas do vento (informação verbal)[6].

5.2.2.1 Fabricação

Em visita realizada a uma empresa fabricante de estruturas metálicas foi possível visualizar o projeto de uma estrutura muito semelhante à da cobertura do estádio Beira-Rio, e também

[5] Descrição contida no memorial descritivo da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

[6] Informação obtida com o engenheiro civil Luiz Eduardo P. da Silva, da empresa Simon Engenharia, que executou todo o projeto estrutural da obra de reforma do estádio Beira-Rio.

acompanhar as etapas de produção da estrutura. As etapas na fabricação das barras de aço que compõem a estrutura da cobertura são as seguintes:

a) recebimento da matéria-prima – tubo de aço bruto de 12 metros de comprimento;

b) preparação – oxicorte, furação e chanfros;

c) caldeiraria – conformação a fogo, montagem das micelâneas e pré-montagem da folha;

d) soldagem – estruturas de fixação (Gusset) são soldadas nos tubos.

e) inspeções – dimensional de caldeiraria, visual de solda, ultrassom na solda;

f) jato e pintura – jato de granalha de aço e pintura com tinta anticorrosiva de cor branca;

g) inspeção de pintura;

h) expedição.

Para fornecer a devida curvatura à barra, é feita uma conformação a fogo, sendo a barra colocada sobre o chão onde está desenhado o raio de curvatura que a mesma deve alcançar. É fixada a uma estrutura, travada por meio de cabos de aço nas suas extremidades, e então é aos poucos aplicado o calor ao longo de todo o comprimento da barra. Este procedimento leva aproximadamente 3 horas e pode ser visualizado na figura 15.

Figura 15: conformação a fogo da barra metálica

Sempre é necessário fazer a pré-montagem dos módulos da estrutura na fábrica, onde são feitos os ajustes nas peças para o perfeito encaixe e fixação durante sua execução. Na figura 16 pode-se observar a pré-montagem do módulo (também chamado de folha) de uma estrutura muito semelhante à da cobertura do estádio Beira-Rio.

Figura 16: pré-montagem da estrutura metálica

Após a pré-montagem, as peças são encaminhadas para a etapa de jateamento e pintura, como mostra a figura 17. Quando da secagem da pintura é feita uma última inspeção e as peças são colocadas em um caminhão para serem transportadas até o local da obra.

Figura 17: pintura das barras metálicas

5.2.2.2 Detalhes da estrutura

O peso total da estrutura é de aproximadamente 3.500 toneladas. As fundações externas foram dimensionadas com três estacas, sendo duas verticais com capacidade de carga de 90 tf de compressão e 30 tf de tração, e uma estaca inclinada com capacidade de carga de 40 tf de compressão e 20 tf de tração. As fundações internas foram dimensionadas com duas estacas com capacidade de carga de 90 tf de compressão e 30 tf de tração (informação verbal)[7].

Nos pilares externos a ligação da estrutura com as fundações será feita através de uma rótula fixada no sóculo dos blocos externos. A chapa base da rótula é encaixada nos chumbadores do bloco, e o travamento é realizado utilizando porca e contra-porca rosqueadas nos chumbadores, como mostra a figura 18. Pode-se visualizar nessa mesma figura a ligação dos pilares metálicos internos com os blocos de fundação, que é feita com a chapa base do pilar encaixada e rosqueada com porca nos chumbadores do bloco. Na figura 19 é apresentado um detalhe da rótula dos blocos externos.

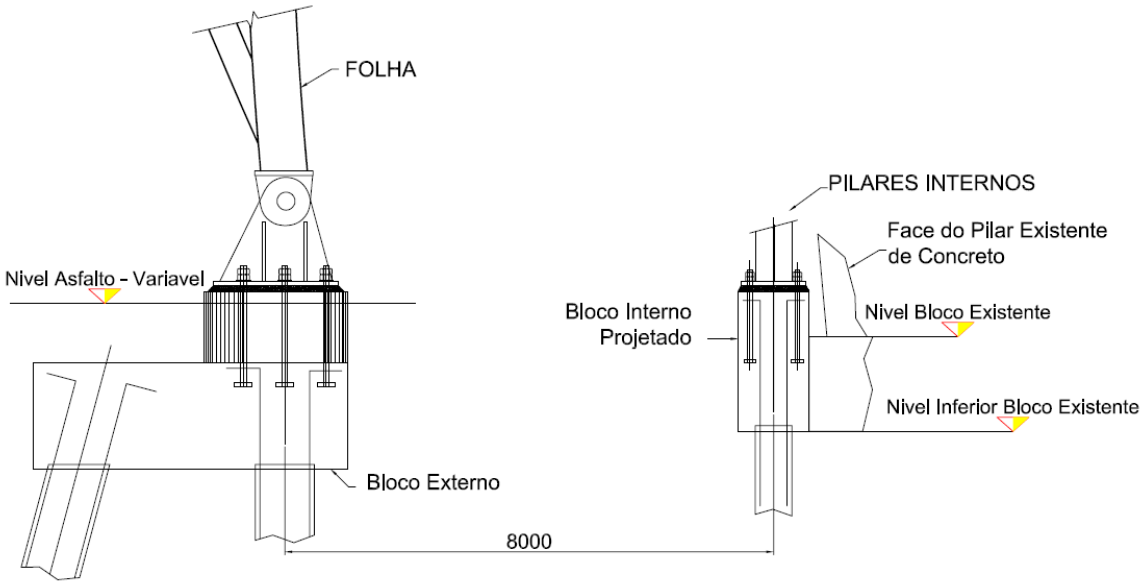

Figura 18: detalhe da ligação entre fundações e estrutura metálica
(trabalho não publicado)[8]

[7] Informação obtida com o engenheiro civil Luiz Eduardo P. da Silva, da empresa Simon Engenharia, que executou todo o projeto estrutural da obra de reforma do estádio Beira-Rio.

[8] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

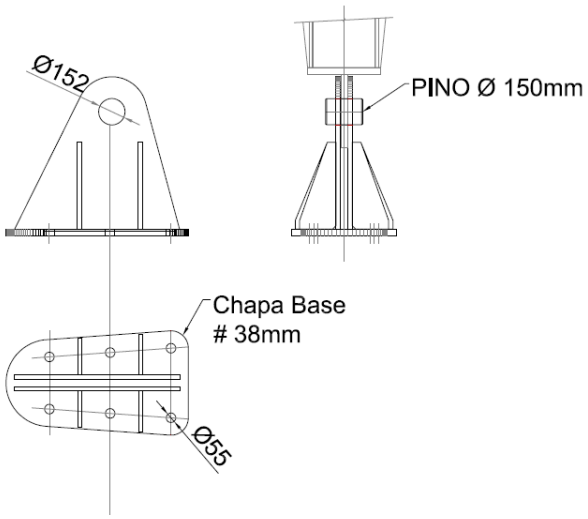

Figura 19: detalhe da rótula
(trabalho não publicado)[9]

Os pilares internos são formados por dois perfis metálicos HP 310x79, barras tubulares, perfis laminados e chapas, que dão suporte à estrutura da folha, sendo fixados na estrutura existente e interligados com a folha por meio de barras de aço tubulares que possibilitam o travamento da estrutura. A configuração dos pilares varia conforme exigências estruturais, tanto na parte inferior como na intermediária e superior.

Cada módulo da estrutura de cobertura é ligado a um bloco externo e é composto por perfil metálico do tipo caixão no banzo inferior e perfis tubulares no banzo superior. São 65 módulos travados horizontalmente entre si, e travados verticalmente nos pilares internos. O diâmetro das barras tubulares do banzo superior varia conforme exigências estruturais, sendo o maior diâmetro na região intermediária, onde ocorre o travamento vertical e a maior solicitação na estrutura.

5.2.2.3 Montagem

Inicialmente é feita a montagem dos pilares principais (internos) junto a estrutura existente do Estádio, seguida da montagem do perfil de travamento superior entre os mesmos, garantindo o nivelamento e travamento entre os pilares principais já montados (figura 20).

[9] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

A fixação dos pilares com a estrutura existente pode ser visualizado na figura 21.

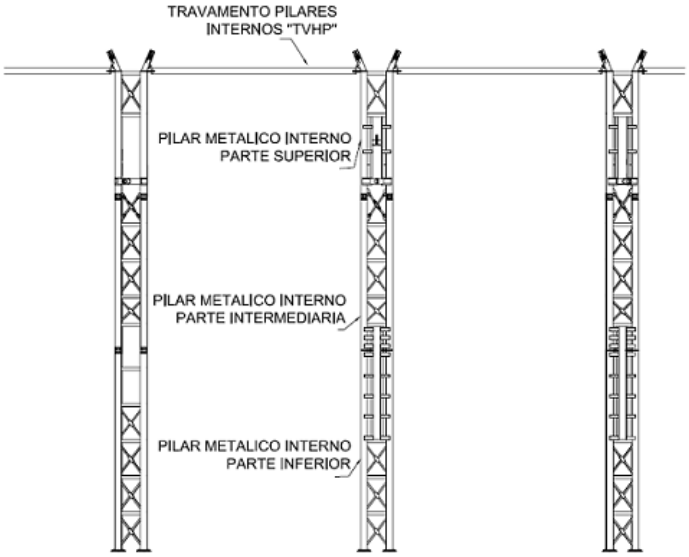

Figura 20: detalhe travamento entre pilares internos
(trabalho não publicado)[10]

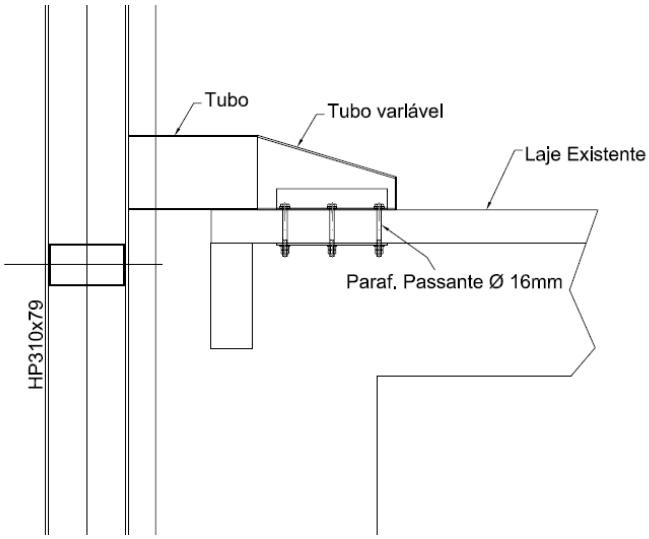

Figura 21: detalhe de fixação do pilar interno na estrutura existente
(trabalho não publicado)[11]

[10] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

[11] Idem.

A peça 1 da folha de cobertura (figura 22), representada por <P1F>, formada por barras tubulares, perfil caixão e barras treliçadas, é montada no local da obra, sendo içada por um guindaste de aproximadamente 400 toneladas, fixada à fundação e travada ao pilar metálico principal com a colocação dos perfis de travamento nos banzos superiores e inferiores da folha. Assim a peça está travada verticalmente, e é executada a montagem da <P1F> e perfis de travamento superior folha/pilar subsequente a já montada, para então ser feita a montagem dos perfis de travamento entre módulos <P1F> já montados.

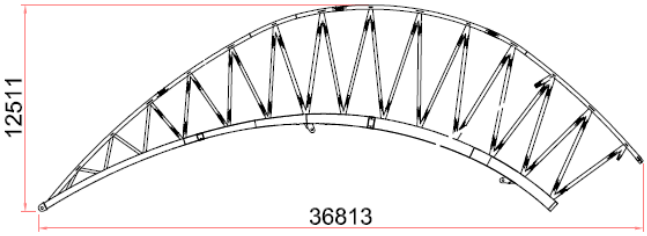

Figura 22: vista lateral <P1F>
(trabalho não publicado)[12]

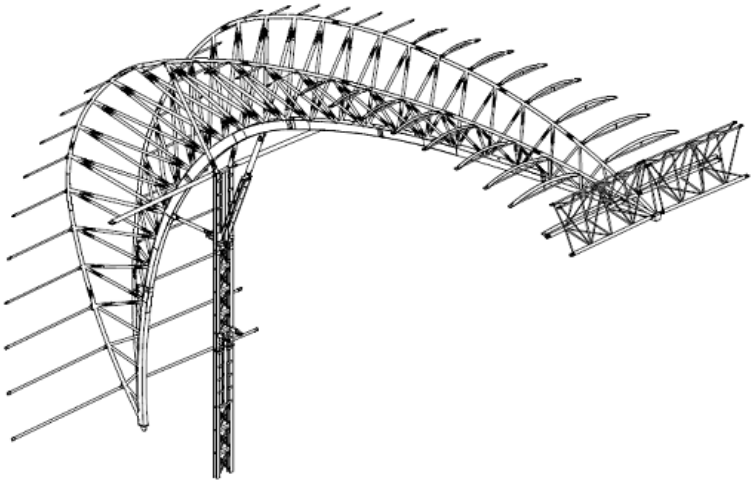

Figura 23: travamento folha/pilar principal
(trabalho não publicado)[13]

[12] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

[13] Idem.

Este procedimento deve ser adotado, caso haja a necessidade ou possibilidade de se trabalhar com mais de uma frente de trabalho, até a finalização da montagem de no mínimo cinco módulos. Assim, a estrutura alcança sua rigidez estrutural e está apta a receber a segunda parte da folha de cobertura.

Com isso, pode ser iniciada a segunda etapa de montagem, com o devido escoramento, como mostra a figura 24 com a vista lateral da montagem, e a colocação da primeira peça 2 da folha de cobertura (figura 25), representada por <P2F>. Em seguida é feita a montagem da <P2F> subsequente a já montada. Logo após, é executada a montagem do trecho da treliça do anel interno entre as <P2F> já montadas. Este procedimento deve ser adotado até a finalização da montagem de no mínimo cinco módulos, pelo mesmo motivo explicado anteriormente. A retirada do escoramento pode ser feita somente após a montagem dos cinco módulos completos com todos seus travamentos. Para finalizar, é realizada a montagem dos contraventamentos e demais perfis de travamento entre módulos, conforme detalhes do projeto estrutural (trabalho não publicado)[14].

Este procedimento pode ser feito com até duas frentes de trabalho, depois da primeira folha pode-se avançar com duas frentes, em sentidos contrários, até se encontrarem do outro lado. No cronograma atual da obra foi considerado apenas uma frente de trabalho para execução da estrutura metálica, resultando em aproximadamente nove meses de execução.

[14] Informações obtidas no memorial descritivo da estrutura de cobertura do Beira-Rio, fornecido pela empresa responsável pelo projeto estrutural da obra.

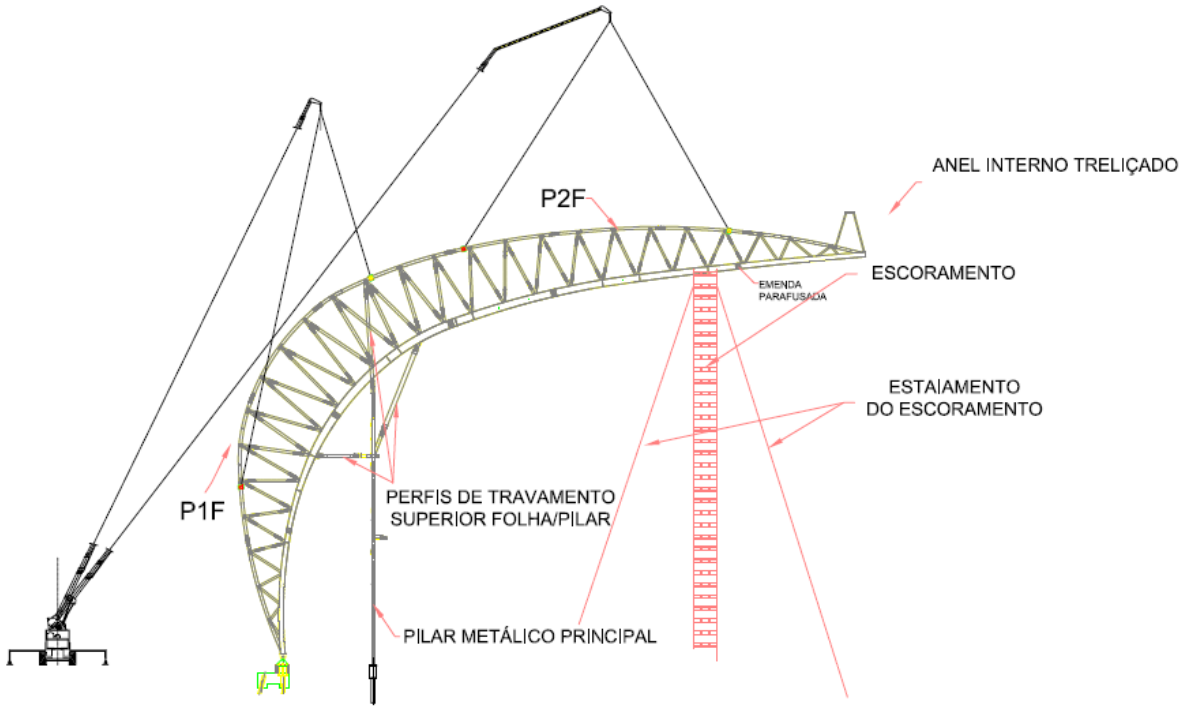

Figura 24: vista lateral da montagem da cobertura
(trabalho não publicado)[15]

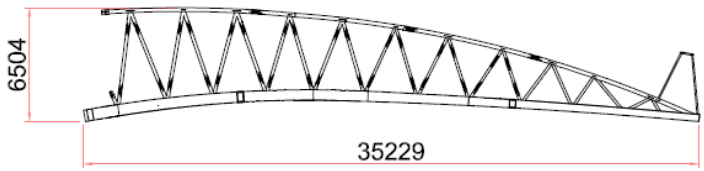

Figura 25: vista lateral "P2F"
(trabalho não publicado)[16]

As figuras 26 e 27 ilustram algumas etapas da montagem descritas anteriormente.

[15] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos da estrutura metálica da cobertura do estádio Beira-Rio.

[16] Idem.

Figura 26: montagem dos módulos da cobertura no canteiro de obras do estádio *Nelson Mandela Bay*
(foto cedida por Fernando Balvedi)

Figura 27: içamento do módulo da cobertura na construção do estádio *Nelson Mandela Bay*
(foto cedida por Fernando Balvedi)

5.2.3 Painéis-membrana

Foi necessário muita pesquisa e estudo na área de membranas tensionadas para escolher o material mais apropriado para o projeto da cobertura do estádio Beira-Rio. A empresa que desenvolveu o projeto arquitetônico da cobertura optou pelo tecido de fibra de vidro revestido com PTFE, após observar e pesquisar várias estruturas de cobertura com os diferentes tipos de membranas existentes no mundo. Uma das justificativas utilizadas na opção por membranas tensionadas é que como a geometria da cobertura é bastante complexa, utilizar um material duro (ex: telha) pareceu muito mais problemático frente à alternativa de um material que se comporta quase como um tecido (informação verbal)[17].

Devido ao custo extremamente elevado em comparação com os outros materiais, o ETFE foi descartado, sendo duas as principais possibilidades de produtos para a confecção dos painéis-membrana da cobertura do estádio Beira-Rio, o PVC ou o PTFE. O primeiro é um material com durabilidade garantida pelas empresas na faixa dos 15 anos, de menor resistência ao longo do tempo e recomendado para projetos de coberturas mais simples ou de menores vãos. Este também apresenta boa flexibilidade, quanto às formas geométricas, e possui um menor custo unitário. O segundo é um material bem mais caro, porém com durabilidade garantida pelos fornecedores de 30 anos, (sendo que a estrutura mais antiga do mundo[18] foi instalada há quase 40 anos e continua intacta até hoje), de maior qualidade e extrema resistência, sendo recomendados para projetos de grandes vãos. Ambos os materiais evitam o acúmulo de umidade e poeira, uma simples lavagem pela chuva mantém a aparência de permanente limpeza e coloração natural, por isso são consideradas autolimpantes, porém o PTFE é superior ao PVC com relação a esta propriedade.

Analisando estas informações os projetistas optaram pelo tecido de fibra de vidro revestido de PTFE, sendo nas áreas dos módulos o material opaco e de alta refletância, e nas áreas entre-módulos (por uma extensão desde a treliça do anel superior até onde pode ser visualizado, em amarelo, na figura 28), o material com 50% de translucidez. Os 65 módulos são idênticos e a área de tecido é de aproximadamente 44.000 m², enquanto os entre-módulos formam uma

[17] Informação obtida com o arquiteto Fernando Balvedi, um dos sócios do escritório de arquitetura Hype Studio, que desenvolveu todo o projeto arquitetônico da reforma do Complexo Beira-Rio.

[18] *University of La Verne Sports Science and Athletics Pavilion*, na Califórnia, primeira membrana de PTFE permamente do mundo, feita pela empresa *Birdair* em 1973.

área de tecido de 11.000 m². A figura 29 mostra uma perspectiva da fachada do estádio com os módulos da cobertura.

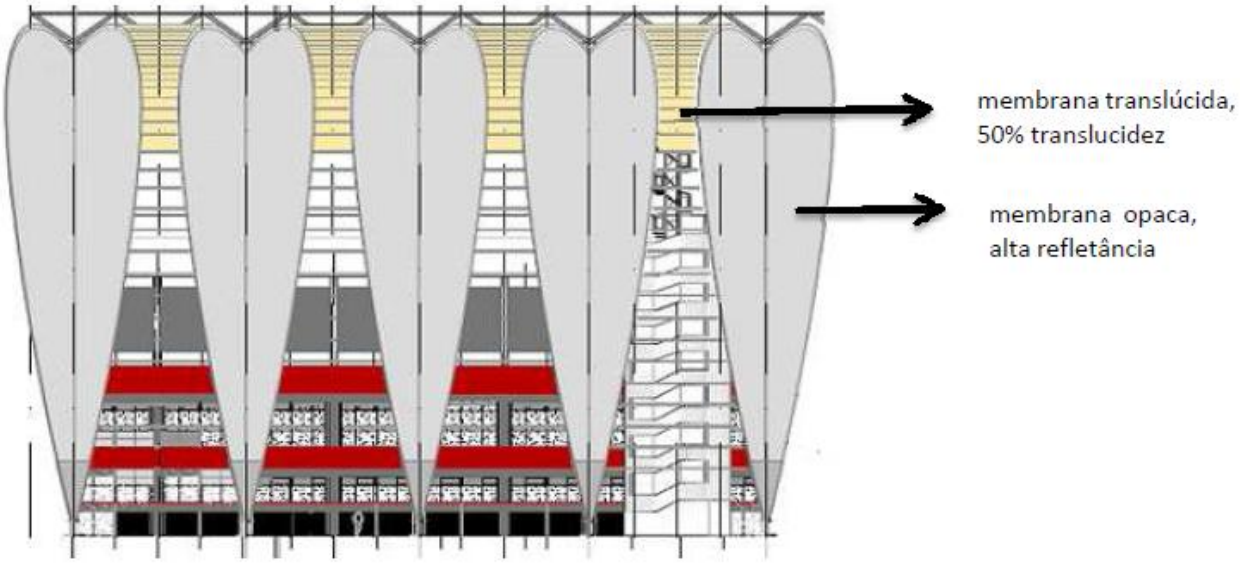

Figura 28: vista frontal da fachada do estádio Beira-Rio com a cobertura
(trabalho não publicado[19])

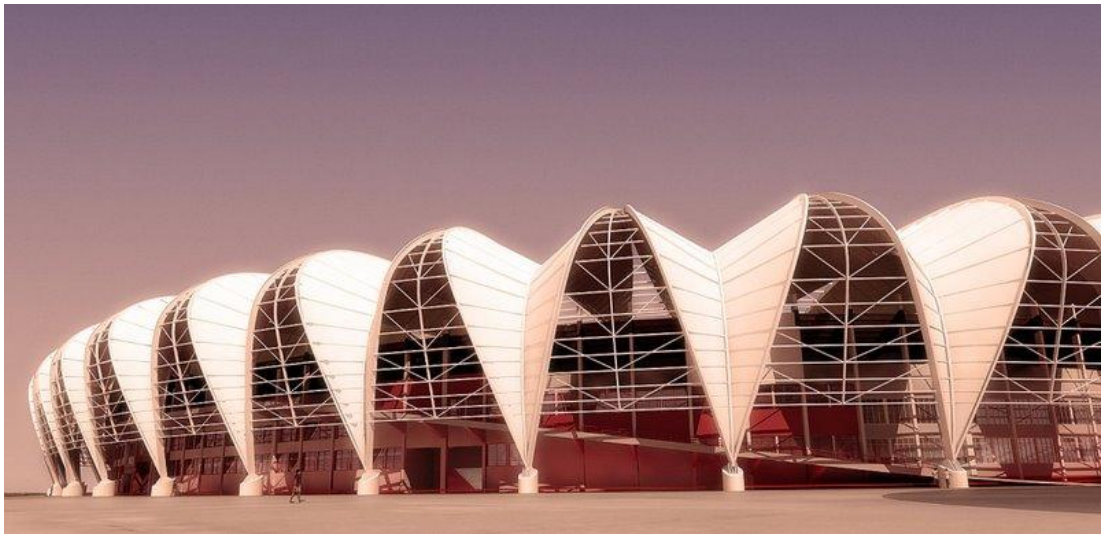

Figura 29: perspectiva da fachada do estádio Beira-Rio com os módulos da cobertura
(LAMPERT, 2007)

[19] Detalhe apresentado pela empresa Simon Engenharia em seus projetos arquitetônicos da cobertura do estádio Beira-Rio.

Como este sistema construtivo é ainda pouco conhecido no Brasil, e não existe no País nenhuma empresa fornecedora e instaladora de membranas de PTFE, os custos decorrentes da sua utilização são bem altos. A mão de obra requerida para a instalação é especializada, o que dificulta ainda mais o processo, tendo de ser fornecida também pela empresa instaladora (do exterior). Porém, levando em conta todas as vantagens citadas anteriormente, a utilização deste sistema tornou-se viável e a melhor opção para a cobertura do estádio Beira-Rio, segundo os projetistas.

A seguir são descritas as etapas consideradas na instalação das membranas.

5.2.3.1 Fabricação e preparação do material

A matéria-prima da membrana é um tecido constituído por malha ortogonal de fios de fibra de vidro com tratamento superficial de politetrafluoretileno (PTFE). As fibras de vidro são retiradas de um composto fundido através de uma cavidade de platina na forma de filamento contínuo, e é em seguida torcida, dobrada e agrupada em fios. Os fios são tecidos em telas largas e são impregnadas com PTFE completando o processo. O tecido é adquirido pela empresa instaladora, como pode ser visualizado na figura 30, e esta precisa executar cuidadosamente as etapas que antecedem a instalação propriamente dita, que englobam, dentre outros, o corte e a solda para produzir uma membrana para cada módulo da cobertura. Todas estas preparações do material são executadas na sede da empresa (no exterior), e são transportadas em containers em navios para o país onde se situa a obra. A figura 31 mostra a soldagem do tecido. Segundo Pudenz (2004, p. 63-64) estas etapas são as seguintes:

a) controle de qualidade do material da membrana – todos os testes de qualidade necessários são executados antes ou no início do processamento da membrana. Isto inclui testes elaborados pelo fabricante do material para verificar a resistência à tração e a capacidade de adesão do revestimento, bem como testes mecânicos e verificação da qualidade visual do material;

b) molde e corte – o corte das peças moldadas pode ser total ou parcialmente executado por máquinas ou pode ser manual. O tipo de material utilizado, bem como os cálculos de molde, o maquinário disponível na empresa e as características especiais do projeto, determinam qual processo utilizar;

c) fixação – os comprimentos individuais do material podem ser unidos diretamente ou inicialmente fixadas, sendo alinhadas ao longo da linha de

junção, a fim de fixar precisamente a posição da junção, antes de costurar ou soldar, e para assegurar que as peças não se movam umas em relação às outras durante esses processos;

d) ligação – as superfícies ou partes de superfícies são unidas através de costura, solda ou por adesivos. De acordo com o detalhamento e os processos de fabricação utilizados, os detalhes são então incorporados;

e) costura – principalmente tecidos sem revestimento são costurados entre si. Materiais soldáveis, como filmes e tecidos revestidos, são costurados somente se costuras extremamente fortes e impermeabilidade não são requeridas, como é normalmente o caso em materiais utilizados internamente;

f) solda – é a técnica mais comum de ligação utilizada em membranas estruturais. Muitas tecnologias são aplicadas, como soldagem em alta frequência ou temperatura de soldagem;

g) adesivos – são somente utilizados quando outras técnicas são inviáveis, como por exemplo, quando não se deseja introduzir um meio adicional que poderia afetar o desempenho a longo prazo da membrana e fazer com que a reciclagem seja mais problemática;

h) detalhes – detalhes como reforços ou tiras de proteção de bordas são incorporados na produção o quanto antes, para que a grande superfície composta de um módulo de membrana seja movida e trabalhada o menos possível;

i) controle de qualidade – antes de dobrar a membrana, é feita uma verificação final, na qual são realizadas medidas de controle e o acabamento é checado em detalhe pela última vez;

j) dobra e acondicionamento – nesta etapa as condições de transporte e a duração do mesmo devem ter a mesma consideração que o procedimento de montagem planejado. A descrição das áreas em que o módulo será utilizado, do processo de instalação planejado e o desdobramento final devem ser verificados, e feitas quaisquer correções e alterações finais.

Figura 30: tecidos de fibra de vidro revestidos com PTFE
(foto cedida por Ingo Klein)

Figura 31: soldagem da membrana
(foto cedida por Ingo Klein)

Segundo Forster (2004, p. 128), o tecido de fibra de vidro revestido de PTFE só pode ser unido a si mesmo de maneira eficiente e duradoura mantendo os painéis de tecido sob calor e pressão por um período de tempo. A costura como um método de junção não pode ser utilizado por causa dos danos mecânicos que podem ser causados às fibras de vidro. A costura também possibilitaria a umidade de penetrar no tecido, causando perda de resistência.

5.2.3.2 Instalação

Somente após a finalização da montagem de toda a estrutura de cobertura (65 pilares metálicos principais, 65 módulos de cobertura, anel interno treliçado, perfis de travamento entre módulos e contraventamentos) poderá ser iniciada a montagem da membrana de cobertura. Este procedimento deverá ser adotado, pois os resultados de carregamento de vento obtidos em um ensaio em túnel de vento (da UFRGS) são considerando a estrutura de cobertura como um todo, e não funcionando em partes isoladas. Por este motivo não é recomendada a montagem da estrutura por partes em conjunto com a colocação da membrana de cobertura sem a conclusão total da estrutura de cobertura (trabalho não publicado)[20].

A empresa contratada para execução das membranas sempre fornece o detalhamento do projeto de instalação. Até o presente momento nenhuma empresa foi contratada para tanto, por isso, serão abordadas duas opções diferentes de instalação já executadas em outras obras.

A primeira opção, utilizada na construção de um estádio de Londres, consiste na utilização de uma rede auxiliar. Esta rede é fixada nas barras do anel central (parte superior) da estrutura metálica em um comprimento de aproximadamente um quarto do módulo, e serve de apoio para receber a membrana dobrada e embalada, sendo a mesma erguida por meio de guindastes e colocada sobre a rede para posterior instalação. Como as membranas já estão embaladas conforme seu posicionamento em cada módulo, elas são colocadas na parte superior do módulo, e ficam ali estocadas, com uma proteção temporária que as envolve, até o momento em que são desenroladas e devidamente instaladas. Os materiais para instalação (cabos, perfis metálicos, etc.) também são erguidos junto com a membrana e colocados sobre a rede auxiliar. Esta rede pode ser chamada de interna e é executada ao redor de todo o anel central da estrutura de cobertura do estádio. A rede auxiliar e o içamento das membranas podem ser visualizados na figura 32.

[20] Informações obtidas no memorial descritivo da estrutura de cobertura do Beira-Rio, fornecido pela empresa responsável pelo projeto estrutural da obra.

Figura 32: içamento das membranas até a rede auxiliar
(foto cedida por Ingo Klein)

Feito isso é executada a continuação da rede de montagem (figura 33), para possibilitar o trabalho dos operários. No caso da estrutura da cobertura do estádio Beira-Rio, esta rede poderá ser utilizada enquanto não houver uma inclinação acentuada do módulo. Nas regiões mais íngremes (aproximadamente da metade do módulo até o chão) será necessária a utilização de plataformas aéreas (figura 34).

Figura 33: instalação da rede de montagem
(foto cedida por Ingo Klein)

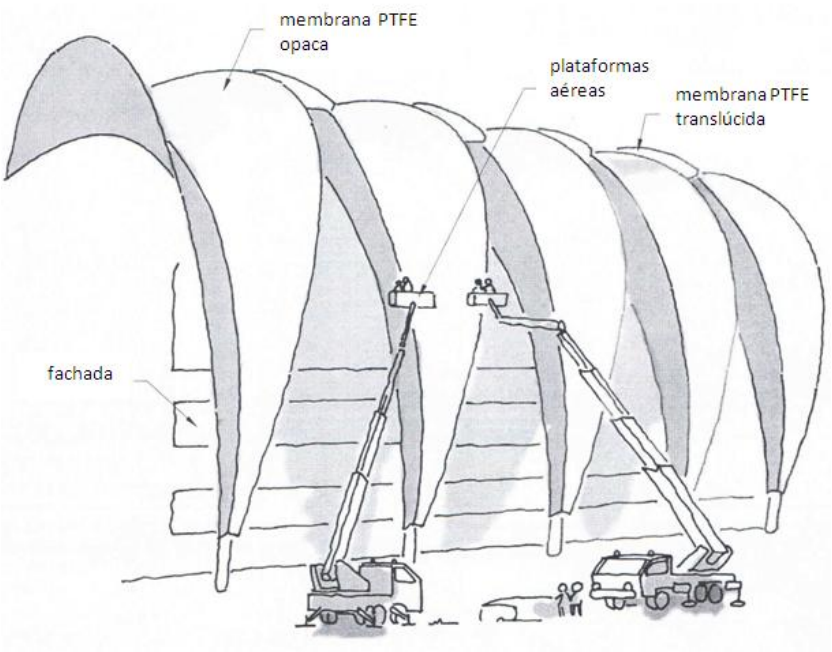

Figura 34: vista da montagem da membrana utilizando plataformas aéreas

O próximo passo consiste em desenrolar a membrana, estendê-la e fixá-la nos cabos de fixação junto às barras da estrutura metálica, desde a parte superior do módulo até a parte inferior, tornando a mesma uma membrana tensionada (figura 35). Após a instalação completa das membranas em um quarto do estádio, a rede de montagem pode ser retirada e instalada no próximo quarto do estádio.

Figura 35: instalação da membrana
(foto cedida por Ingo Klein)

A segunda opção de montagem é conforme a construção do estádio *Nelson Mandela Bay* em Port Elizabeth, na África do Sul, onde a membrana só foi instalada em módulos alternados da estrutura, pois foi executado também um fechamento com chapa de alumínio, que, segundo os responsáveis pela execução, não foi uma boa opção devido a dificuldade de manuseio e construção.

A membrana embalada era armazenada na parte superior da estrutura metálica, sobre a treliça espacial (bem semelhante à da cobertura do estádio Beira-Rio), e para auxiliar na instalação foi executada uma plataforma metálica ao longo dos módulos. Um cabo flexível de aço era colocado por dentro da membrana para possibilitar sua fixação na parte inferior. Para o caso da estrutura de membrana da cobertura do estádio Beira-Rio, não será necessária a utilização deste cabo de aço pois a membrana será fixada tanto nas barras do banzo superior dos módulos como no inferior (perfil tipo caixão). A mão de obra tinha de ser muito bem qualificada, muitas vezes com treinamento de alpinismo, pois os operários ficavam amarrados com cintos de segurança nas barras da estrutura metálica e para a fixação tinham de se movimentar sobre a estrutura. Após a fixação, pode-se caminhar sobre a membrana tensionada sem problema algum. Esta descrição pode ser visualizada na figura 36.

Figura 36: plataforma metálica e armazenagem das membranas
(foto cedida por Fernando Balvedi)

As figuras 37 a 39 mostram detalhes da estrutura de membrana da cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay*.

Figura 37: detalhe cabo de aço e fixação da membrana
(foto cedida por Fernando Balvedi)

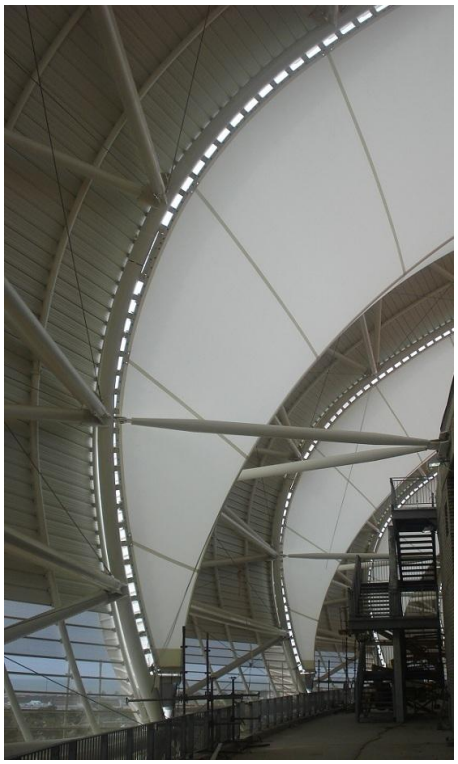

Figura 38: vista lateral interna da estrutura de membrana
(foto cedida por Fernando Balvedi)

Figura 39: vista frontal externa da estrutura de membrana
(foto cedida por Fernando Balvedi)

Com estes dois sistemas de instalação de membranas, é possível um melhor entendimento do processo e têm-se duas opções viáveis para a instalação dos painéis-membrana da cobertura do estádio Beira-Rio.

6 QUALIDADE DE EXECUÇÃO DOS PAINÉIS-MEMBRANA

Neste capítulo é apresentada uma lista contendo as etapas a serem consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana, e são identificadas as etapas críticas deste processo.

6.1 ETAPAS CONSIDERADAS NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO

Como o processo a ser utilizado para instalação da cobertura do estádio Beira-Rio ainda não foi definido, foram elaboradas duas listas contendo as etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana, a primeira utilizando o método semelhante ao empregado na construção da cobertura do estádio em Londres, e a segunda baseada no método utilizado para execução da cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay*, ambos descritos anteriormente.

Para facilitar o processo de controle é necessário identificar qual lote ou setor está sendo verificado, por isso será feita uma numeração de cada módulo da estrutura e as membranas e materiais de instalação para cada módulo deverão possuir identificação, conforme figura 40.

Figura 40: identificação das membranas e materiais de instalação
(foto cedida por Ingo Klein)

Para a elaboração de uma lista de verificação da qualidade de execução é necessário conhecer todos os detalhes construtivos que constam no projeto executivo da estrutura. Sem possuir estas informações não foi possível estabelecer critérios de medição e tolerâncias a serem consideradas em cada item. A listagem elaborada neste trabalho foi baseada em processos construtivos de outras obras já executadas que utilizaram o mesmo material da membrana da cobertura do estádio Beira-Rio. As tolerâncias são estabelecidas de acordo com o projeto, as dimensões da estrutura e as condições climáticas do local. Portanto, essa listagem das etapas a serem consideradas no processo de verificação da qualidade de execução serve como base para uma planilha de verificação da qualidade definitiva, contendo todas as informações necessárias para um controle padronizado da execução dos painéis-membrana da cobertura do estádio Beira-Rio, a ser elaborada após a definição do projeto executivo da estrutura de membrana. A listagem a seguir foi feita para a opção 1 de instalação da membrana (conforme estádio em Londres).

a) Condições para início dos serviços:
   - estrutura metálica 100% executada;
   - instalação de cabo vida;
   - condições gerais de segurança.

b) Instalação da rede auxiliar:
   - fixação;

- condições do material da rede.

c) Içamento das peças:
- condições do guindaste;
- sequenciamento;
- condições do material da membrana;
- condições dos materiais de instalação.

d) Instalação da rede de montagem:
- fixação;
- condições do material da rede.

e) Plataformas aéreas:
- condições de segurança.

f) Instalação da membrana:
- elementos de fixação → dimensões, solda, quantidade, espaçamento;
- membrana → condições do material e fixação em todos os pontos.

g) Inspeção final.

Sendo a opção 2 (estádio *Nelson Mandela Bay*) de instalação a ser utilizada na cobertura do estádio Beira-Rio, os itens de instalação de rede auxiliar, rede de montagem e plataformas aéreas (alíneas “b”, “d” e “e”) seriam suprimidos e na alínea “b” constaria a instalação das plataformas metálicas com as respectivas verificações de fixação e condições de segurança. Os demais itens continuariam os mesmos.

6.2 ETAPAS CRÍTICAS DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO

O sistema construtivo com membranas tensionadas é complexo por possuir uma série de detalhes de execução que são essenciais para o bom desempenho da estrutura. Por este motivo é necessário se atentar a determinados pontos ou etapas durante a execução da membrana, a fim de garantir seu melhor desempenho e qualidade, e evitar problemas posteriores.

Com base nos projetos de coberturas de estádio já executados em que foram utilizadas membranas tensionadas, foi possível destacar alguns pontos críticos no processo de

verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana. Segundo Forster (2004, p. 126), o **detalhamento dos elementos de fixação** é de extrema importância para a segurança e melhor desempenho de uma construção com membrana, seja estática ou móvel. Isto devido ao fato de que como a flexibilidade e deformabilidade são características próprias da membrana, os elementos de fixação precisam ser projetados para suportar graus apropriados de rotação e deslocamentos, bem como a transmissão de esforços através da estrutura.

De acordo com o exposto, os elementos de fixação da membrana com a estrutura metálica são os itens mais importantes para a perfeita instalação da membrana. Estes elementos devem ser corretamente projetados e fabricados, para chegarem à obra em ótimas condições de instalação. Existem vários tipos de fixação e alguns podem ser visualizados nas figuras 37 e 41. O detalhamento dos elementos de fixação é realizado pelos engenheiros das empresas fornecedoras da membrana, que no caso do projeto do estádio Beira-Rio ainda não foram contratadas, portanto não é conhecido o sistema de fixação a ser utilizado nesta obra.

Figura 41: detalhe da fixação da membrana com a estrutura metálica
(foto cedida por Fernando Balvedi)

A **solda dos elementos de fixação com as barras da estrutura metálica** deve ser cuidadosamente executada e posteriormente verificada. Qualquer solda ou perfuração não deverá ser executada em contato com a membrana, pois pode ocasionar danos à mesma. Todos os materiais utilizados para instalação e fixação (cabos, parafusos, etc.) da membrana

devem estar nas condições ideais de fabricação e precisam ser revisados por um fiscal responsável antes da sua utilização. Estes materiais devem estar embalados com plástico-bolha e devidamente identificados com o local ou ponto de utilização da peça, conforme figura 42. A **mão de obra** para instalação da membrana deve ser altamente capacitada e ter total domínio e conhecimento dos projetos de detalhamento da estrutura. Os elementos de fixação devem ser executados com o espaçamento conforme previsto em projeto e os furos na membrana, para fixá-la à estrutura também devem ser corretamente executados e verificados.

Figura 42: armazenagem dos materiais para instalação da membrana
(foto cedida por Ingo Klein)

O **tensionamento da membrana** é alcançado quando a mesma está totalmente fixada aos elementos de fixação em todos os pontos pré-definidos pelo projeto. A Engenharia de Membranas é o termo geral dado aos serviços especializados de engenharia necessários para o projeto e a construção de estruturas de membranas tensionadas. Isso engloba a procura pela forma, a análise de carregamentos e padronização destas estruturas não-lineares (WAKEFIELD, 2004, p. 98). Para isso são utilizados modelos numéricos baseados no método dos elementos finitos. Para que a estrutura seja corretamente instalada e tensionada *in loco*, devem ser fornecidas ao contratante, **informações precisas de fabricação da membrana**, dos cabos e dos elementos de fixação da estrutura. Estruturas tensionadas são de alta precisão, os itens pré-fabricados, o processamento geométrico e a fabricação são essenciais. A análise

detalhada do processo de instalação também pode ser necessária para auxiliar o monitoramento da sequência de montagem real na obra, garantindo que o estado final correto da construção s eja alcançado, sem que ocorra o excesso de tensionamento da estrutura.

Outro aspecto importante durante a execução dos painéis-membrana é o **cuidado com peças e materiais que possam vir a danificar a membrana**. O tecido revestido com PTFE é muito resistente, mas existem casos em que o material não resiste e rasga. Como exemplo, pode-se citar a membrana da cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay*, onde a mesma foi danificada pois uma das chapas de alumínio perfurado, que também compõe o módulo da fachada do estádio, estava mal instalada e se soltou durante uma forte ventania no local, perfurando a membrana e provocando o rasgo que pode ser visualizado na figura 43. Foram executados alguns remendos de emergência no tecido enquanto aguardavam a chegada de um novo rolo de membrana para substituí-la.

Figura 43: rasgo na membrana da cobertura do estádio *Nelson Mandela Bay*
(foto cedida por Fernando Balvedi)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um controle de qualidade de execução de determinado serviço é crucial para garantir o desempenho e funcionamento da estrutura. No caso dos painéis-membrana, este controle é extremamente importante, pois sua instalação é complexa e repleta de detalhes construtivos que devem ser muito bem executados para garantir a qualidade da estrutura. O uso de painéis-membrana para cobertura de estádios ainda é relativamente novo no panorama mundial e totalmente inédito no Brasil, influenciando ainda mais o propósito deste trabalho. Foram apresentados os tipos de material de membrana mais utilizados para este sistema, contemplando suas vantagens e desvantagens, visando familiarizar o leitor com esta forma inovadora de construção.

As estruturas de membrana tensionadas apresentam diversas vantagens em relação aos sistemas com materiais rígidos, sendo elas a estabilidade (baixa deformação), a possibilidade de fabricação em grandes e diversos formatos, a rapidez de execução, a facilidade de manutenção, a flexibilidade, a estanqueidade e a translucidez. Devido a estas muitas vantagens os estádios de futebol construídos atualmente utilizam as membranas tensionadas em suas coberturas. A renovação de um estádio é possibilitada com a construção de uma cobertura, que fornece um aspecto moderno e arrojado ao estádio antigo, e os painéis-membrana são uma ótima opção para isso. A construção da cobertura do Beira-Rio foi impulsionada por esta possibilidade de modernização e também pela necessidade em adequar-se às recomendações da FIFA.

A descrição do processo construtivo da cobertura do estádio Beira-Rio foi realizada com auxílio dos projetos estruturais existentes da estrutura metálica, com a pesquisa bibliográfica e com informações de profissionais atuantes nesta área. Como esta descrição foi feita antes da construção, não é possível ter total certeza de alguns detalhes construtivos, e algumas modificações de projeto podem ocorrer durante sua execução, fazendo com que o presente trabalho não seja 100% fiel ao que irá ser construído.

A listagem das etapas consideradas no processo de verificação da qualidade de execução dos painéis-membrana serve como base para a elaboração de uma planilha de verificação da

qualidade quando do recebimento dos projetos de instalação da membrana da cobertura do estádio Beira-Rio. As etapas críticas destacadas devem ser muito bem verificadas para que não haja qualquer transtorno durante e após a execução.

Com isso, tem-se um trabalho que apresenta as características dos tecidos de membrana para estruturas tensionadas, a escolha do material para a cobertura do estádio Beira-Rio e todas as etapas de construção desta cobertura, com enfoque na instalação dos painéis-membrana, uma novidade no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

BOL NOTÍCIAS. Lula assina MP que reduz impostos para construção de estádios para a Copa-2014. 2010. Disponível em: <http://noticias.bol.uol.com.br/esporte/2010/07/28/lula-assina-mp-que-reduz-impostos-para-construcao-de-estadios-para-a-copa-2014.jhtm>. Acesso em: 30 mar. 2011.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Aço viabiliza obras para a Copa do Mundo e os Jogos Olímpicos. **Revista Téchne**: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Pini, ano 18, n. 157, p. 20-21, abr. 2010.

CORRÊA, A. Histórico: nasce o templo colorado, surge o Beira-Rio. **Revista do Inter**: revista oficial do Sport Club Internacional, Porto Alegre: Sport Club Internacional, ano 5, n. 38, p. 39-40, abr. 2009.

CORSINI, R. Arena de obras: pré-moldados, coberturas tensionadas, painéis reforçados com fibras, estruturas metálicas de cobertura – veja os sistemas mais utilizados na construção dos estádios modernos. **Revista Téchne**: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Pini, ano 18, n. 157, p. 44-50, abr. 2010.

ELIAS, B.S. **Membranas Tensionadas**: permanentes ou efêmeras? **Revista Assentamentos Humanos**: revista da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Tecnologia, Marília: Unimar, v. 4, n. 1, p. 59-71[21], out. 2002. Disponível em: <http://www.unimar.br/feat/assent_humano4/membranas.htm>. Acesso em: 6 nov. 2010.

FORSTER, B. Design of the Details. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 126-137.

GÖPPERT, K. Primary Structures. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 74-95.

GÖPPERT, K.; STOCKHUSEN, K. **Projetos de estádios internacionais:** únicos e inconfundíveis. [2008?]. Disponível em: <http://www.construmetal.com.br/2008/downloads/PDFs/31_International_stadia_SBP_port.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2010.

GÖPPERT, K.; WAKEFIELD, D. Development of form and structure. In: KOCH, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 68-71.

HABERMANN, K. J. A selection of membrane structures worldwide. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 140-243

LAMPERT, R. O novo estádio Beira-Rio. 2007. Blog de Ricardo Lampert. Disponível em: <http://ricardolampert.wordpress.com/category/futebol/page/6/>. Acesso em: 28 abr. 2011.

[21] Sem paginação visível no site.

LLORELLA, A. **Stadium Design.** Köln: Daab, 2006.

MARG, V. Regie und Selbsterfahrung der Massen. In: MARG, V. **Stadien und Arenen:** von Gerkan, Marg und Partner. Ostfildern-Ruit: Ratje Cantz, 2006. p. 12-18.

MEDEIROS, H. Estruturas tensionadas para grandes vãos**.** Disponível em: <http://www.metalica.com.br/estruturas-tensionadas-para-grandes-vaos>. Acesso em: 6 nov. 2010.

MEIO NORTE. Copa do Mundo: estádio Beira-Rio em Porto Alegre. 2010. Disponível em: <http://www.meionorte.com/robertofreitas/copa-do-mundo-estadio-beira-rio-em-porto-alegre-135813.html>. Acesso em: 5 abr. 2011.

NOGUEIRA, R. Materiais utilizados em coberturas de estádios de futebol. In: _____. Coberturas de Estádios de Futebol. 2002, p. 5-7. Disponível em: <http://www.construlink.com/2003_ConstrulinkPress/Ficheiros/MonografiasPrimeirasPaginas/mn_cobestadios6.pdf>. Acesso em: 29 out. 2010.

NUNES, P. Modernização: o Gigante se transforma. **Revista do Inter**: revista oficial do Sport Club Internacional, Porto Alegre: Sport Club Internacional, ano 6, n. 55, p. 10-11, set. 2010.

OLIVEIRA, M. B.; BARBATO, R. L. A. Estudo das estruturas de membrana: uma abordagem integrada do sistema construtivo, do processo de projetar e dos métodos de análise. **Cadernos de Engenharia de Estruturas,** São Carlos, v. 7, n. 22, p. 107-122, 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee22.pdf#page=113>. Acesso em: 21 nov. 2010.

PORTAL METÁLICA. Allianz Arena: Mundial de Futebol 2006. 2006. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/allianz-arena-mundial-de-futebol-2006>. Acesso em: 17 nov. 2010.

_____. Tendências para projetos de Estádios e Arenas. 2010a. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/tendencias-para-projetos-de-estadios-e-arenas>. Acesso em: 6 nov. 2010.

_____. Tensoestrutura: comentários técnicos e características sobre membranas tensionadas. 2010b. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/tensoestrutura-comentarios-tecnicos-e-caracteristicas>. Acesso em: 6 nov. 2010.

_____. Membranas tensionadas em fibra de vidro revestida com PTFE e suas aplicações em tensoestruturas. 2010c. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/membranas-tensionadas-em-tensoestruturas-fibra-de-vidro>. Acesso em: 6 nov. 2010.

_____. Membranas tensionadas: filmes ETFE. 2010d. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/membranas-tensionadas-filme-etfe>. Acesso em: 6 nov. 2010.

PUDENZ, J. Materials and Workmanship. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 48-65.

SHEARD, R. **The Stadium**: architecture for the new global culture. Singapore: Periplus, [2005].

SILVA, C. A. B. **Modelo computacional para análise da tensoestrutura de cobertura do Centro Comunitário da Universidade de Brasília.** 2006. 92 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/3586/1/2006_Cristina%20Almeida%20Bueno%20e%20Silva.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2010.

SKYSCRAPER CITY. Vista de POA, ano de 1967. 2008. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=689848>. Acesso em: 30 mar. 2011.

SPORT CLUB INTERNACIONAL. Material para Imprensa. Porto Alegre: 2007. Disponível em: <http://www.internacional.com.br/imprensa/index.php?inicio=3343>. Acesso em: 19 out. 2010.

TAYLOR, W. Opting for membrane architecture. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 12-15.

TELLES, F. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <kira@krebseng.com.br> em 15 jul. 2011.

THE FLYING MAST. Nelson Mandela Bay in Port Elizabeth. 2010. Disponível em: <http://www.flyingmast.com/?tag=ptfe>. Acesso em: 29 abr. 2011.

WAKEFIELD, D. Membrane Engineering. In: KOCK, K-M. **Membrane Structures:** innovative building with film and fabric. Munich: Prestel, 2004. p. 98-123.

WIKIMEDIA COMMONS. Allianz-Arena-München.jpg. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Allianz-Arena-M%C3%BCnchen.jpg>. Acesso em: 17 nov. 2010.