

Arena Allianz Parque: um Projeto Inovador

Laura Maria Paes de Abreu¹, Hermes Carvalho², Ricardo HallalFakury³

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, laurapaes@gmail.com

^{2,3} Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Bloco 1 – 4º Andar, Belo Horizonte/MG, hermes@dees.ufmg.br e fakury@dees.ufmg.br

Resumo

No cenário da Copa do Mundo de 2014, a reforma e modernização do antigo estádio da Sociedade Esportiva Palmeiras, atual Arena Allianz Parque, despontou como um investimento promissor. Uma cobertura em estrutura de aço treliçada foi construída com perfis de aço de seção tubular totalizando 22.000 kN e abrangendo uma área coberta de 23.000 m². A estrutura teve um projeto arrojado, com cinco grandes treliças apoiadas em núcleos de concreto suportando um anel interno que, por sua vez, servia de apoio para tesouras secundárias vindas das arquibancadas. O dimensionamento dos elementos estruturais foi realizado conforme as prescrições das normas ABNT NBR 8800:2008 e ANSI/ AISC 360-10. Devido aos elevados valores das ações, dimensões e consequentes deslocamentos da estrutura, uma sequência criteriosa de montagem e descimbramento foi planejada, com o objetivo de garantir a tolerância dimensional, estabilidade e segurança da estrutura.

Palavras-chave:

Estruturas de aço; coberturas de arenas; montagem de estruturas.

Introdução

Em 2010, no período que antecedia a Copa do Mundo de Futebol no Brasil, foi proposta a reforma e a modernização do estádio da Sociedade Esportiva Palmeiras, na época denominado Palestra Itália e conhecido popularmente como Parque Antártica, na cidade de São Paulo, então com cem anos de construção (Figura 1). Tratava-se de uma proposta arrojada, composta por um complexo de prédios de quadras, setores administrativos e estacionamento, além de uma nova arena com capacidade para 45.000 pessoas sentadas.



Figura 1 - Antigo Estádio Palestra Itália
(Fonte: sitecampeoesdofutebol.com.br)

O projeto da nova arena, que passaria a se chamar Arena Allianz Parque, envolvia a demolição parcial das arquibancadas e vestiários existentes e sua substituição por novas estruturas concebidas em concreto pré-fabricado. Envolvia ainda uma cobertura suportada por estrutura de aço treliçada para proteger toda a arquibancada e ainda avançar sobre parte do gramado, proporcionando assim uma área multiuso que, entre outras finalidades, poderia ser usada para shows e eventos. A Figura 2 mostra duas imagens do projeto original da arena, numa das quais se vê parte da estrutura, descrita no Item 2 deste trabalho, e na outra o aspecto visual previsto originalmente para a arena.

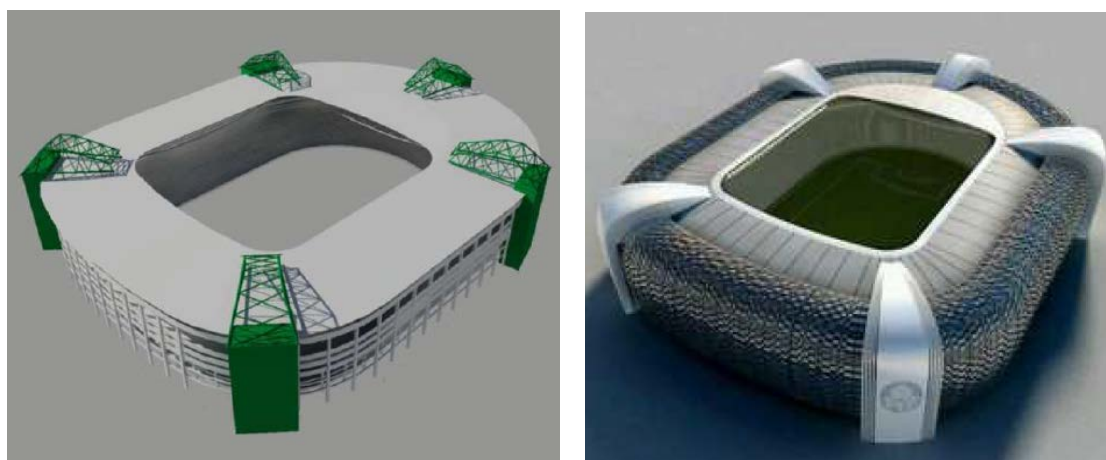


Figura 2 - Imagens do projeto da Arena Allianz Parque (Fonte: Edo Rocha Arquiteturas)

A empresa responsável pelo empreendimento foi a Construtora WTorre, com projeto arquitetônico desenvolvido por Edo Rocha Arquiteturas. A parte da estrutura de concreto foi projetada pelo Eng. César Pereira Lopez e, a parte da estrutura de aço, pela Enga. Laura Maria Paes de Abreu, da Usiminas Mecânica, empresa que também efetuou o fornecimento e a montagem dessa estrutura.

Concepção estrutural da cobertura da arena

Como se vê na Figura 3, a arena projetada possui uma forma particular constituída por uma combinação de um semicírculo em concordância com trechos laterais retos, que por sua vez concordam com um trecho ortogonal reto por meio de arcos de raio menor. Para sua cobertura, grandes estruturas espaciais de aço, as treliças principais, se projetam do topo de cinco núcleos de concreto armado que contêm escadas de acesso em seu interior.

Apoiado nas pontas das treliças principais, foi projetado um anel treliçado interno para suportar uma das extremidades de tesouras radiais (tesouras secundárias), que possuem a outra extremidade apoiada na estrutura de concreto das arquibancadas. Com essa solução, foi possível eliminar o balanço dessas tesouras, de modo que não fossem transmitidos momentos para as arquibancadas. Na região semicircular da cobertura, que avançava até 60 m além da arquibancada, foram projetadas vigas do anel interno de

maneira a distribuir igualmente os esforços entre três treliças principais simetricamente posicionadas.

A estrutura da cobertura da arena totalizou um peso de 22.000 kN, abrangeu uma área de 23.000 m² e foi constituída em sua maior parte por perfis tubulares de seções circular e quadrada, fabricados pela Vallourec do Brasil com aço de resistência ao escoamento especificada como igual a 350 MPa.

Descrição e comportamento dos elementos estruturais principais.

A Figura 3 apresenta os elementos estruturais principais que compõem a estrutura de aço da cobertura da arena: as tesouras secundárias radiais, o anel interno e a projeção das cinco treliças principais. Pode-se observar ainda todo o intertravamento desses elementos (terças e contraventamentos horizontais) para estabilização e suporte das telhas.

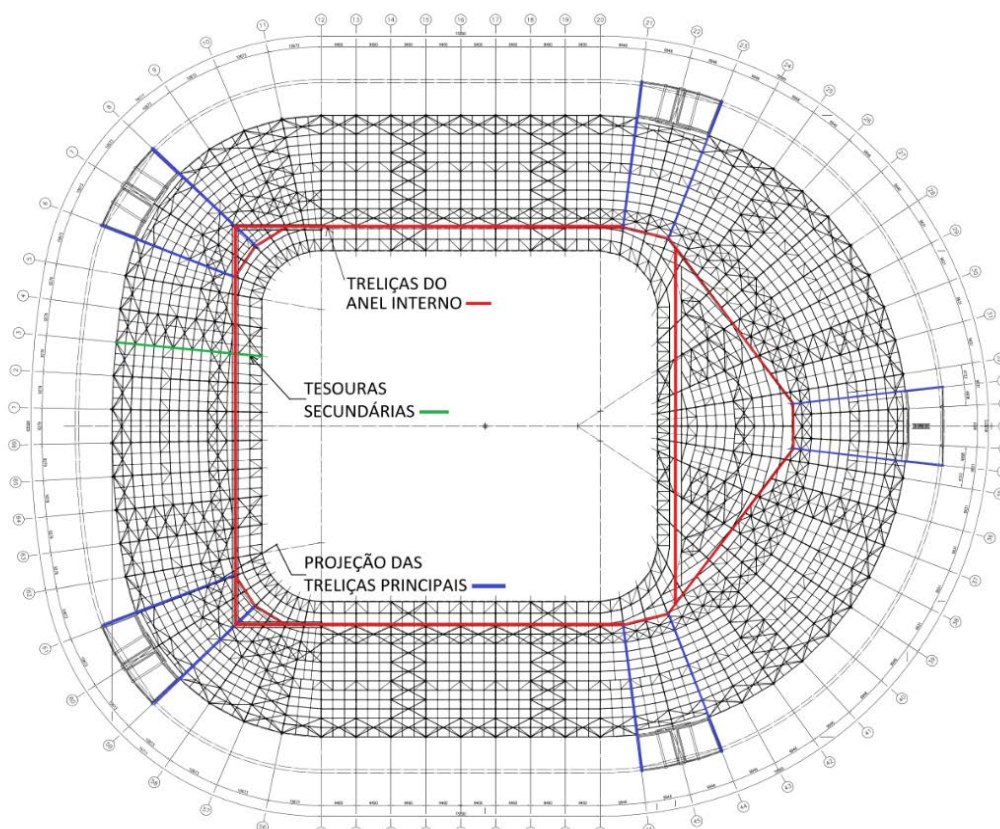


Figura 3– Arranjo estrutural do plano da cobertura

As cinco treliças principais, com altura máxima de 8,8 m, vencem um vão em balanço de 40 m e são os elementos fundamentais de sustentação da cobertura (Figura 4). A ação do balanço gerou forças de arrancamento de 7.000 kN no apoio posterior, onde foram previstas cordoalhas de ancoragem associadas a placas de cisalhamento planas embutidas no concreto, capazes de absorver as ações verticais de tração e horizontais.

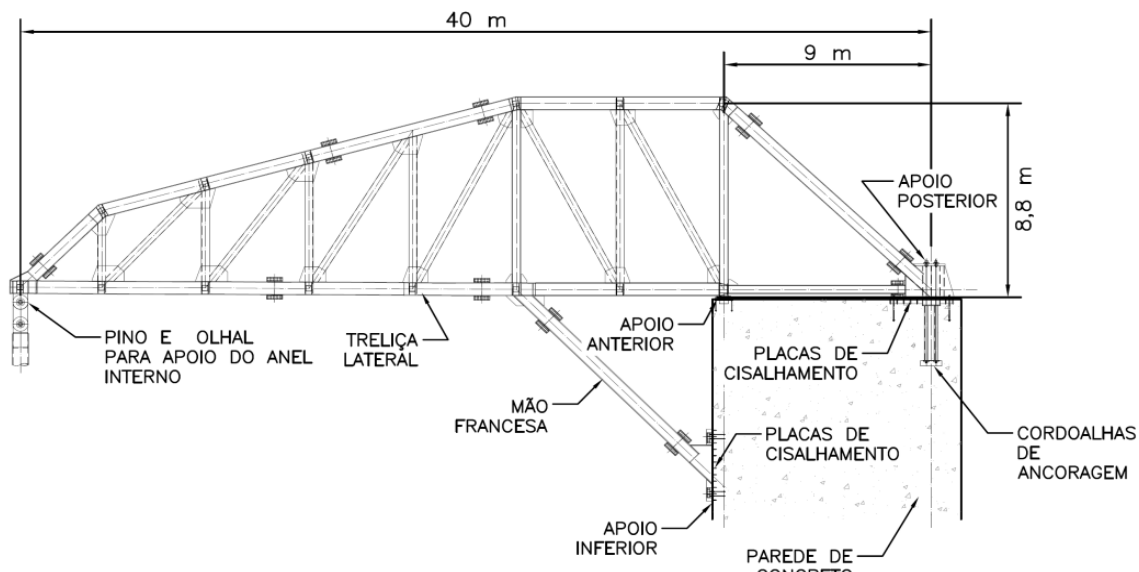


Figura 4 - Elevação de uma treliça principal típica

Uma mão-francesa entre cada treliça e seu núcleo de concreto foi utilizada para facilitar a ligação entre ambos. As cinco treliças totalizaram 7.000 kN de perfis tubulares, o que representa 30% do peso total da estrutura de aço usada na obra.

O anel interno, que serve de apoio para 66 tesouras secundárias radiais, é formado por seis treliças planas com perfis tubulares laminados e soldados, das quais quatro acompanham os lados do gramado e têm vão de 100 m, e duas se projetam da treliça principal situada no centro do semicírculo para as duas treliças principais adjacentes e têm vão de 53 m (ver Figura 3). As treliças com vão de 100 m possuem altura variável de 3,5 m nas extremidades a 6,5 m no centro, e as de 53 m, de 3,5 m a 4,1 m. Para absorver os efeitos de variação de temperatura, as ligações entre o anel interno e as extremidades das treliças principais foram concebidas como rótulas compostas por chapas de olhal e um pino cilíndrico forjado em aço inox a fim de liberar os vínculos horizontais (Figura 5). Dessa forma, permitiu-se que a cobertura se deformasse livre de tensões térmicas.



Figura 5 – Detalhe da ligação entre a extremidade da treliça principal com o anel interno por meio de um sistema de pinos e olhais

As 66 tesouras secundárias radiais são treliças de altura padrão igual a 2,5 m e vão médio de 32 m. A Figura 6 mostra a estrutura em fase final de acabamento, onde é possível observar o apoio dessas tesouras na arquibancada de concreto e no anel interno. Nessa figura são vistas também mísulas que sustentam uma faixa de cobertura em telha translúcida dentro do anel, para permitir a insolação do gramado.



Figura 6 – Detalhe do apoio das tesouras radiais no anel interno e das mísulas com telhas translúcidas

Considerações sobre o projeto estrutural

- Análise numérica e normas de dimensionamento: A primeira etapa da concepção do projeto estrutural da cobertura da Arena Allianz Parque, a rigor um projeto híbrido de aço e concreto, consistiu na análise da estrutura de aço para a determinação das suas reações nos suportes de concreto armado e respectivas fundações. Essa análise foi desenvolvida no programa SAP2000® (1995), levando em conta a não linearidade geométrica, como é usual nesse tipo de estrutura com comportamento espacial e que apresenta deslocamentos significativos (ver Lazzari et al., 2009), e contemplou cerca de 6.000 barras e nós. Adicionalmente, com os resultados dos esforços solicitantes e deslocamentos, foi realizado o dimensionamento dos elementos estruturais de aço e suas ligações conforme as prescrições das normas brasileira ABNT NBR 8800:2008 e americana ANSI/AISC 360-10.
- Ações atuantes: as ações atuantes na Arena Allianz Parque são devidas à carga permanente decorrente do peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos, como as telhas, e também decorrente dos equipamentos de som e iluminação na projeção da arquibancada e equipamentos de cenografia na projeção da área do semicírculo (local que servirá de palco em eventos); à sobrecarga de uso para a cobertura e passarelas; ao vento, segundo as pressões dinâmicas determinadas a partir de ensaio em túnel de vento (ver Subitem 3.3); à variação da temperatura, considerada como +20°C ou -20°C em relação à temperatura ambiente.
- Consideração da ação do vento: maiores níveis de segurança e confiabilidade são atingidos quando a consideração criteriosa dos efeitos do vento é feita na etapa de

concepção, podendo inclusive levar a alterações arquitetônicas na forma externa da construção. Diante das limitações dos procedimentos normativos, o ensaio de edificações com formas arrojadas em túnel de vento, não previstas nas normas, como é o caso Arena Allianz Parque, se torna indispensável. Nesse tipo de ensaio são determinadas as pressões dinâmicas para diversos ângulos de incidência do vento, considerando inclusive os efeitos de vizinhança causados pelo relevo ou edificações do entorno.

Os ensaios de túnel de vento da cobertura da arena foram desenvolvidos no Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a partir da construção de um modelo rígido reduzido na escala 1/400, mostrado na Figura 7-a. Os resultados são apresentados em forma de curvas isobáricas na superfície da estrutura (Figura 7-b). A pressão dinâmica do vento a 40 m de altura foi calculada conforme ABNT NBR 6123:1988, sendo considerado o valor de 940 N/m^2 no projeto.

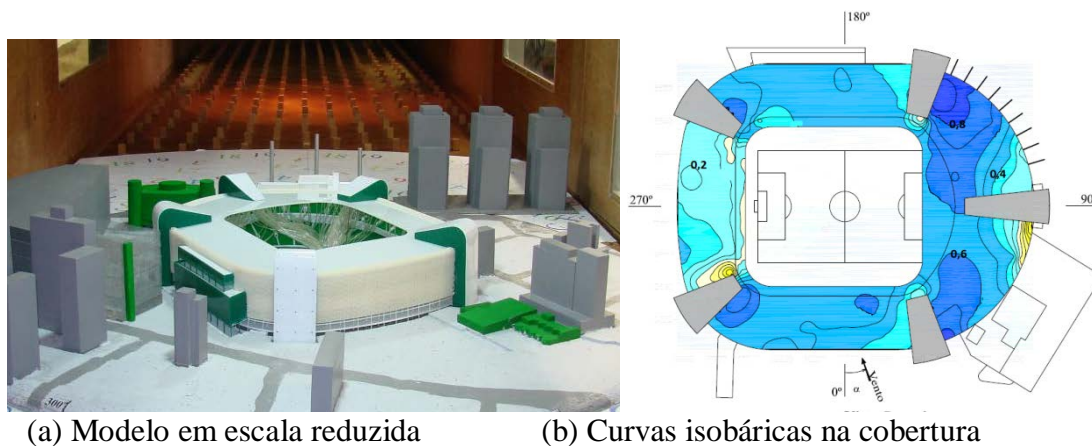


Figura 7 - Ensaio da arena em túnel de vento (Loredo-Souza *et al.*, 2012a)

Segundo Loredo-Souza *et al.* (2012b), para a consideração das respostas dinâmicas da estrutura no túnel de vento, uma vez que o modelo é rígido e não representa o comportamento dinâmico do conjunto estrutural, é necessária a realização de uma análise dinâmica. Essa análise, na estrutura em estudo, foi desenvolvida a partir de um modelo que combina as pressões dinâmicas de vento medidas experimentalmente em túnel de vento com um modelo dinâmico teórico-numérico da estrutura, permitindo assim a determinação das amplitudes de deslocamentos, velocidades e acelerações que ocorrerão em resposta às flutuações das pressões aerodinâmicas.

Montagem da estrutura da cobertura

Uma obra de alta complexidade envolve inúmeras abordagens no que tange às soluções de montagem. É fato que, em estruturas especiais com elementos de grandes dimensões e peso, com canteiro de obras de difícil acessibilidade para equipamentos de grande porte e área extremamente reduzida para estoque de peças e pré-montagem, um projeto considerando todas as etapas de montagem deve ser elaborado, a fim de se garantir não só a segurança e qualidade da estrutura, mas o cumprimento de prazos e custos.

No projeto da Arena Allianz Parque, foram estabelecidos critérios de montagem que priorizavam os pontos determinantes para o caminho crítico, tais como: (i) peso e dimensão das peças; (ii) sequência da montagem dos elementos e a garantia da estabilidade dos semiconjuntos em cada etapa; (iii) sequência do descimbramento via controle das cargas e dos deslocamentos por meio de macacos hidráulicos; (iv) especificação dos equipamentos necessários (guindastes, torres de escoramento, atirantamento provisório, etc.); e, (v) interação da estrutura da cobertura com os demais elementos, estruturais ou não (concreto armado, telhas, estruturas auxiliares, etc.).

A montagem da estrutura de aço teve início com o posicionamento das cinco treliças principais. Para os demais elementos, efetuou-se uma sequência em sentido anti-horário, de maneira que a cobertura fosse liberada em etapas, sendo a parte de geometria semicircular executada por último, como mostrado na Figura 8. Dessa forma, alcançou-se o melhor desempenho em termos de planejamento na montagem das subestruturas das arquibancadas em concreto pré-fabricado, que obedeceu à mesma sequência.

Em cada etapa de 1 a 4 (Figura 8), inicialmente metade da treliça do anel interno foi apoiada na treliça principal e em uma torre de escoramento e içados conjuntos pré-montados constituídos por um par de tesouras radiais e, posteriormente, o mesmo procedimento foi executado com a outra metade da treliça do anel, sendo as duas metades ligadas entre si. Finalmente, foi feito o içamento das demais peças principais e execução dos ajustes nas ligações entre os elementos de aço e desses elementos com o concreto.

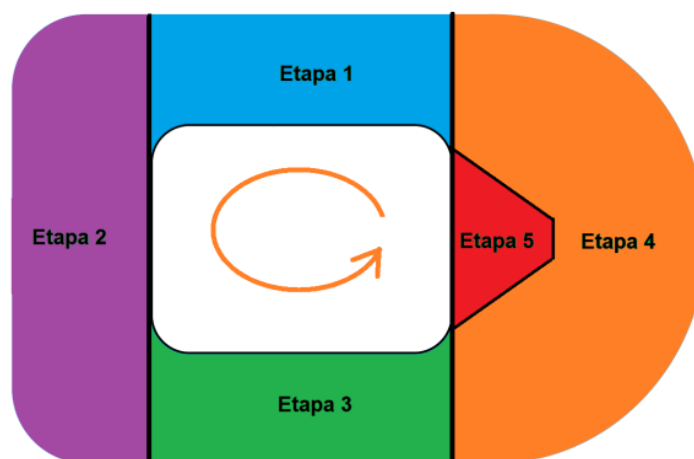


Figura 8 – Esquema da sequência de montagem da estrutura

Como ilustração, a Figura 9 apresenta o posicionamento dos elementos de aço durante a montagem da Etapa 1: içamento de metade da treliça do anel interno (1), apoiada na treliça principal sobre uma torres de escoramento (2), e travada lateralmente por um conjunto de duas tesouras radiais (3).

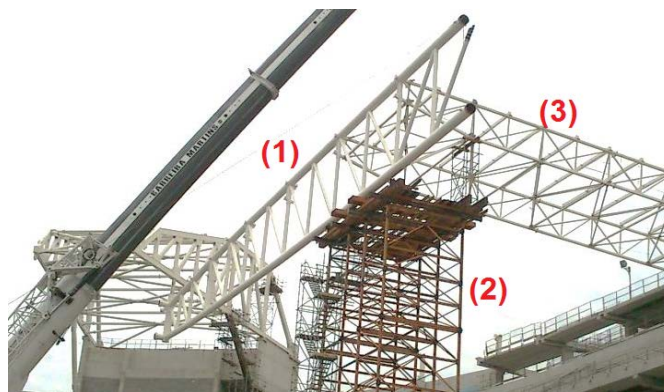


Figura 9 – Montagem de parte da treliça do anel interno da Etapa 1

Na Etapa 5 (Figura 10), a última treliça do anel interno foi totalmente pré-montada “*in loco*” e içada em seu comprimento total de 100 m sem escoramento, totalizando 650 kN de peso. Nessa operação, foi necessária a mobilização de toda a área do canteiro de obras para o posicionamento de dois guindastes de grande porte.

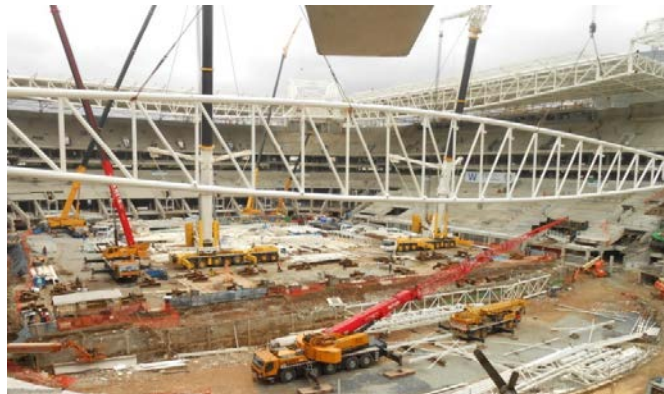


Figura 10 – Içamento da última treliça do anel interno (Etapa 5)

A Figura 11 apresenta uma imagem aérea da arena multiuso concluída. Observa-se que o revestimento externo que cobriria as treliças principais, e que pode ser observado na Figura 1, não foi executado por decisão arquitetônica, o que permite uma melhor visualização do sistema estrutural



Figura 11 – Imagem aérea da arena concluída



Considerações finais

A Arena Allianz Parque é hoje referência mundial em arenas multiuso devido ao aspecto moderno e inovador de sua concepção. Tem sido palco de grandes eventos esportivos e culturais, nacionais e internacionais.

Devido ao conceito estrutural inovador, inúmeras soluções inéditas e não convencionais foram desenvolvidas pela equipe técnica. As etapas essenciais e os principais desafios de engenharia para o desenvolvimento de um projeto dessa magnitude foram apresentados neste trabalho, fornecendo assim parâmetros que podem ser úteis no desenvolvimento de novos projetos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da CAPES e do CNPq.

Referências bibliográficas

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete. 2005.
- ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, 2010.
- ABNT NBR 6123:1988. Forças devidas ao Vento em Edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT NBR 8800:2008. Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 2008.
- LAZZARI, M.; MAJOWIECKI, M.; VITALINI, R.V.; SAETTA, A.V. Nonlinear F.E. analysis of Montreal Olympic Stadium roof under natural loading conditions. *Engineering Structures*, v.31, p.16-31. 2009.
- LOREDO-SOUZA, A.M.; ROCHA, M.M.; OLIVEIRA, M.G.K. Ação do Vento sobre a Nova Cobertura do Estádio Palestra Itália. Relatório Técnico, São Paulo. 2012a.
- LOREDO-SOUZA, A.M.; ROCHA, M.M.; OLIVEIRA, M.G.K. Análise Dinâmica por Integração de Pressões (HFPI) – Relatório Final. Relatório Técnico, São Paulo. 2012b.
- SAP 2000 v. 14.1.0, Computer and Structures Inc., Berkeley, California, USA. 1995.