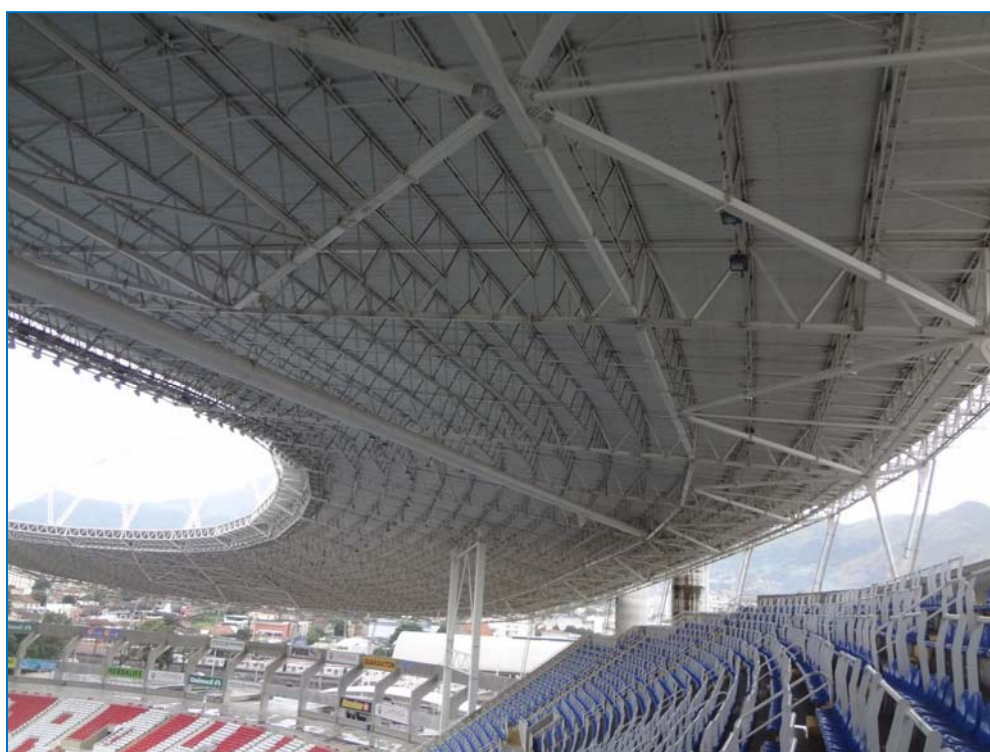




Comissão Especial de Avaliação do Engenhão

Laudo Final



Integrantes:

- Carlos Dantas de Campos
- Nelson Szilard Galgoul
- Sebastião Arthur Lopes de Andrade





ÍNDICE:

ITEM	Página
DECRETO Nº 37152 DE 14 DE MAIO DE 2013	03
PREMISSAS	05
NORMAS APLICADAS	06
MATERIAIS UTILIZADOS	07
CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DE AÇÕES:	08
DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA	09
AVALIAÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL DA COBERTURA	20
RESULTADOS FINAIS DAS AVALIAÇÕES DE RESISTÊNCIA OBTIDOS PELA SBP:	20
RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO	23
CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS	25



DECRETO Nº 37152 DE 14 DE MAIO DE 2013 (Publicado no DO Rio em 15/05/2013)

Institui Comissão Especial para analisar os laudos e estudos técnicos existentes sobre o Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão), e dá outras providências.

O PREFEITO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela legislação em vigor; e

CONSIDERANDO que o Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão) foi interditado no dia 26 de março de 2013, após a apresentação de relatório da empresa alemã SBP, que informava haver risco para os torcedores, devido a problemas estruturais na cobertura do estádio;

CONSIDERANDO que compete a Município do Rio de Janeiro gerir os seus bens e assegurar que a sua utilização se dê com segurança para os usuários;

CONSIDERANDO a necessidade de buscar solução para as irregularidades identificadas na construção do estádio e que resultaram na sua interdição;

CONSIDERANDO a elaboração de diversos laudos/estudos técnicos sobre a atual situação do Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão);

DECRETA

Art. 1º. Fica instituída Comissão Especial de Avaliação do Engenhão para analisar os laudos/estudos técnicos existentes sobre a atual situação do Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão), com a atribuição de, no prazo de até quinze dias, apresentar proposta voltada para solucionar as irregularidades identificadas nas obras de construção do estádio e que resultaram em sua interdição.

§ 1º. A Comissão Especial de Avaliação do Engenhão será composta pelos seguintes membros:

I – Eng. Carlos Dantas de Campos (SMO/SUBOP/CGP);

II - Eng. Sebastiao Arthur Lopes de Andrade (PUC); e

III - Eng. Nelson Szilard Galgoul.

§ 2º. Compete à Comissão Especial de Avaliação do Engenhão apreciar todos os laudos/estudos técnicos existentes sobre a atual situação do Estádio Olímpico João Havelange (Engenhão), de forma a verificar os procedimentos técnicos utilizados na condução dos referidos trabalhos e, especialmente, sua pertinência para implementação das medidas necessárias a solucionar as irregularidades identificadas na obra de construção do estádio.

Art. 2º. Ao final dos trabalhos, a Comissão Especial de Avaliação do Engenhão elaborará relatório a ser submetido ao Prefeito, apontando as possíveis soluções para os problemas



existentes, bem como as falhas eventualmente encontradas nos laudos/estudos técnicos, e as adequações que entender pertinentes.

Art. 3º. Fica estipulado o prazo de quinze dias para entrega do Relatório Final.

Art. 4º. Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Rio de Janeiro, 14 de maio de 2013; 449º ano da fundação da Cidade.

EDUARDO PAES



PREMISSAS

A Comissão Especial de Avaliação do Engenhão, de modo a atender à solicitação do Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro, procedeu uma extensa análise dos relatórios, pareceres, fotografias, memórias de cálculo e projetos estruturais relacionados à cobertura do Estádio Olímpico João Havelange - EOJH.

Foram realizadas diversas reuniões entre os membros desta comissão, inclusive, em datas distintas, com a presença do calculista responsável, o engenheiro Flávio D'Alambert e de representantes do Consórcio Engenhão formado pelas empresas Odebrecht e OAS.

Foi realizada uma vistoria em toda a cobertura do EOJH pelos membros desta comissão para analisar in loco as condições atuais dessa estrutura.

Este relatório técnico apresenta um extrato dos resultados da análise estrutural, dimensionamento e verificações de segurança da estrutura de aço da cobertura do Estádio João Havelange, no Rio de Janeiro-RJ, executada pelos Consórcios Racional/Delta/Recoma e Odebrecht/OAS.



NORMAS APLICADAS

NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações;

NBR 8800/1986 – Projeto e execução de estruturas de aço de edificações

NBR 8800/2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, Agosto de 2008, 237 pags;

AISC 2010 - Specification for the Design, Fabrication & Erection of Structural Steel for Buildings.

ASCE 7 -98 – Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers Standard for Loads and Load Combinations, 1998.

AWS D1.1-2004 - Structural Welding Code of American Welding Society.



MATERIAIS UTILIZADOS

Perfis laminados: Aço ASTM A572 – grau 50;

Tubos dos Arcos e Tirantes: USI-SAC-300, Tensão limite de escoamento = 300 MPa;

Perfis de chapa dobrada: USI-SAC-300;

Parafusos: ASTM A325 Galvanizados a fogo.



CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DE AÇÕES:

Segundo os critérios da NBR-8800/2008 serão adotadas as seguintes combinações de ações:

- a) $1.25 D + 1.50 L$
- b) $1.25 D + 1.40 W + 0.5 L$
- c) $1.00 D + 1.40 W$
- d) $1.40 D$

Onde:

D = carregamento permanente,

L = Sobrecarga acidental na cobertura (25kg/m²) e

W = Carga de vento segundo relatório de ensaio de túnel de vento de Wachter Ingenieure, Wind Engineering, versão 17/04/2012.



DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA:

O estádio JOÃO HAVELANGE concluído e inaugurado em 2007, para os Jogos Panamericanos realizados no mesmo ano, tem um esquema estrutural complexo como será demonstrado através das fotos e do descritivo fornecido a seguir.



Foto 1 - Vista global do estádio

A cobertura deste estádio abrange uma área projetada de um anel com aproximadamente 36.000 m² limitado por uma extremidade sinuosa cuja cota varia de ponto para ponto, tornando a concepção estrutural de difícil realização.

O estádio, concebido originalmente para receber 60000 espectadores comporta hoje cerca de 45000 estando pendente, ainda, a implementação de uma expansão nos setores Norte e Sul prevista para os Jogos Olímpicos de 2016.

Os quatro arcos de 2.000mm de diâmetro que sustentam a estrutura através de vários pares de pendurais, e que podem ser vistos em primeiro plano na foto 1, constituem a estrutura primária do estádio. Detalhes desta estrutura primária são mostrados nas ampliações das fotos 2 e 3.

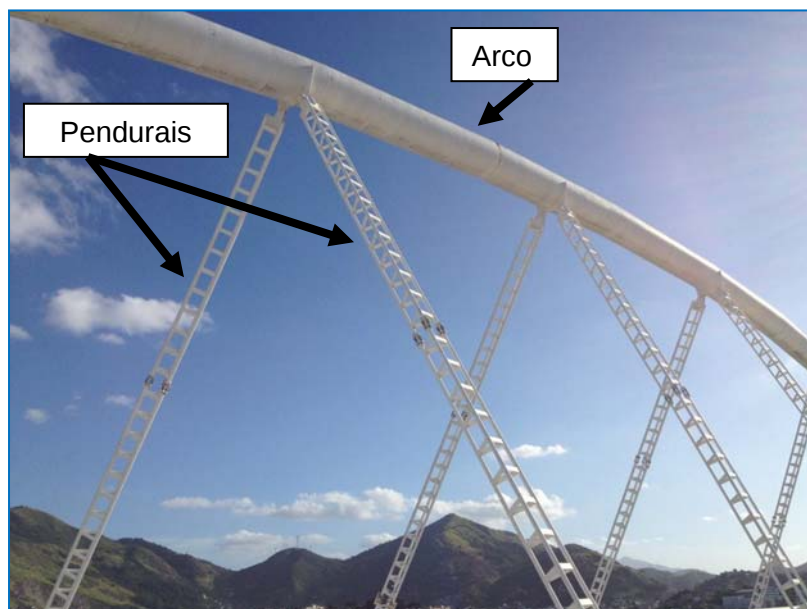


Foto 2 – Detalhes dos pares de pendurais que ligam as tesouras ao arco primário

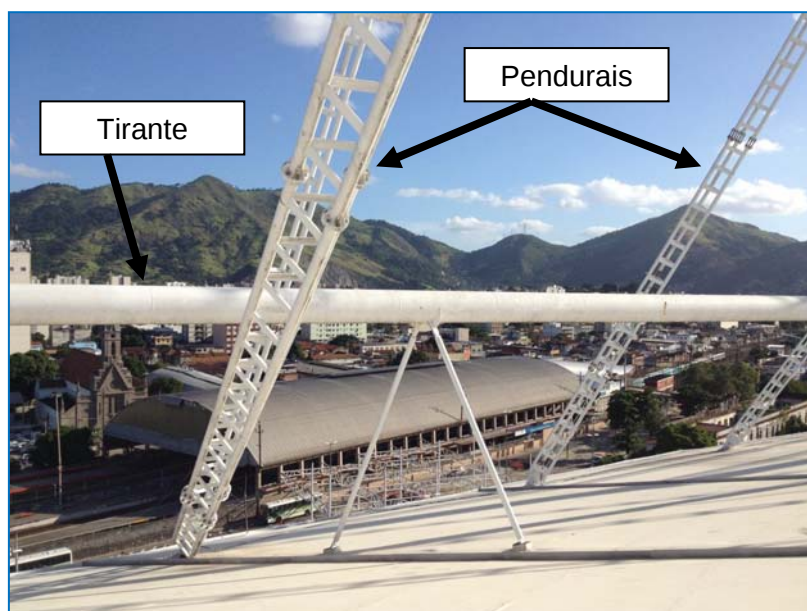


Foto 3 – Detalhes da ligação do pendural com a tesoura (que não pode ser vista por estar debaixo do telhado), do tirante do arco (elemento tubular horizontal que liga as extremidades do arco), bem como os apoios do tirante sobre as tesouras (pórticos planos), cuja finalidade é apenas manter o tirante reto



Os arcos em apreço são apoiados em 8 colunas circulares de concreto (gigantes), conforme mostrado, também, na foto 1, mas que se pode ver mais detalhadamente nas fotos 4 e 5.

Arcos são elementos estruturais que sustentam grandes cargas distribuídas justamente porque funcionam mais à compressão do que por flexão. A foto 4 mostra o apoio na coluna de concreto, bem como a ligação do tirante à base do arco. A fixação do conjunto arco-tirante na coluna de concreto é mostrada na foto 5.

O sistema arco-tirante é auto-equilibrado, ou seja, o grande componente horizontal da força do arco é resistido pelo tirante e não pela coluna de concreto. Esta última é dimensionada para resistir predominantemente aos esforços verticais.

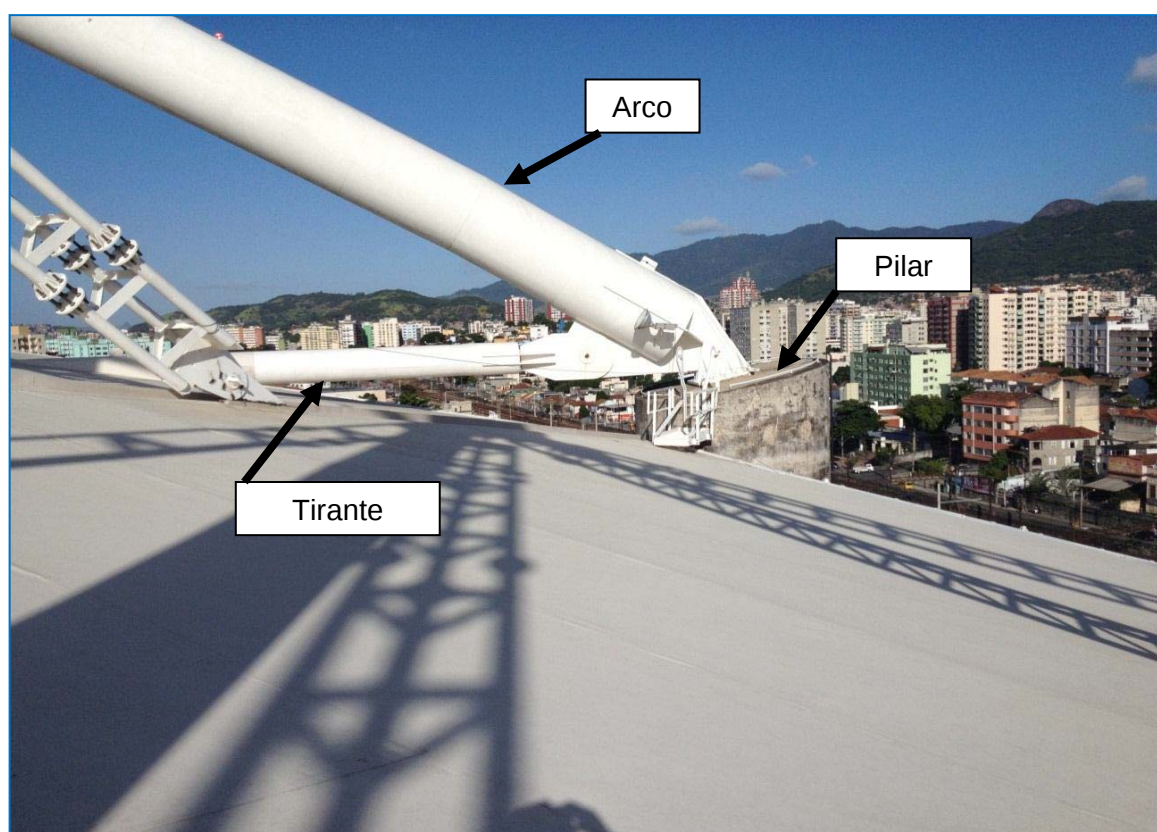


Foto 4 – Apoio da treliça no topo da coluna de concreto e ligação do tirante à base do arco

Os pontos de ligação dos pendurais com as tesouras são mostrados esquematicamente nas figuras 1 e 2 extraídos de /16/.

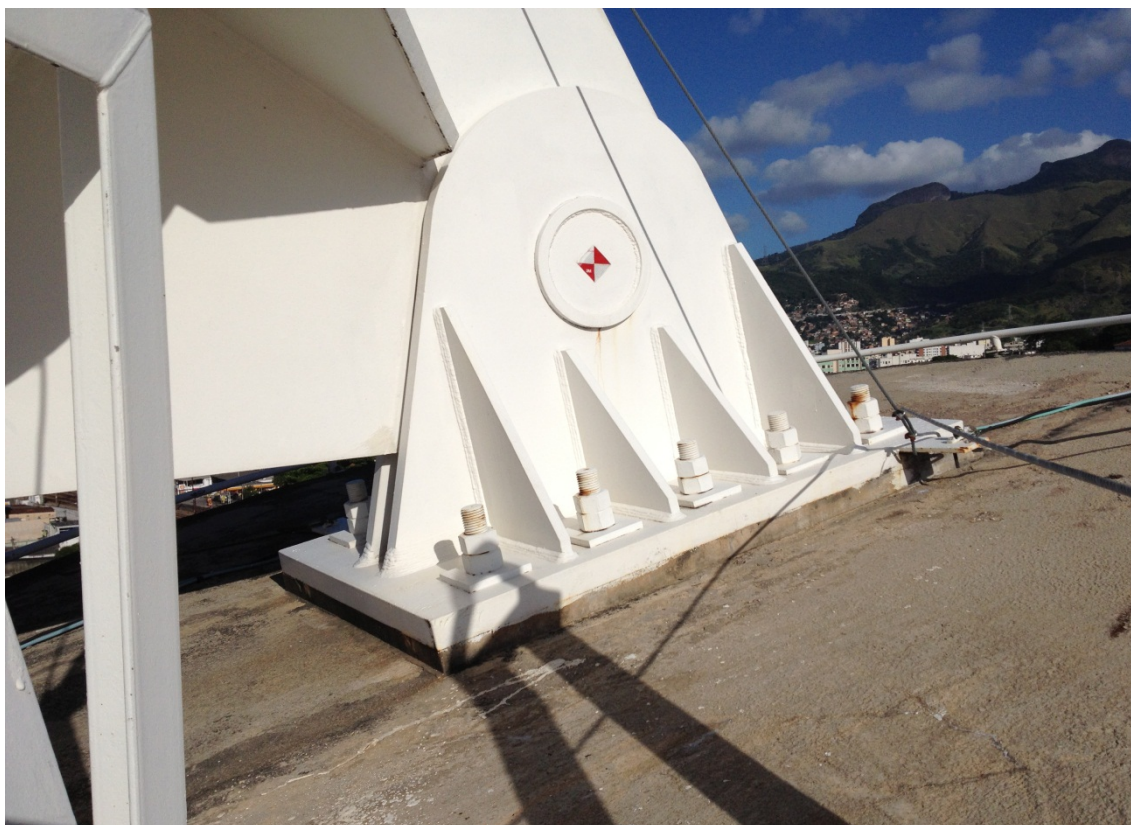


Foto 5 – Base de ligação do arco ao bloco de topo do gigante

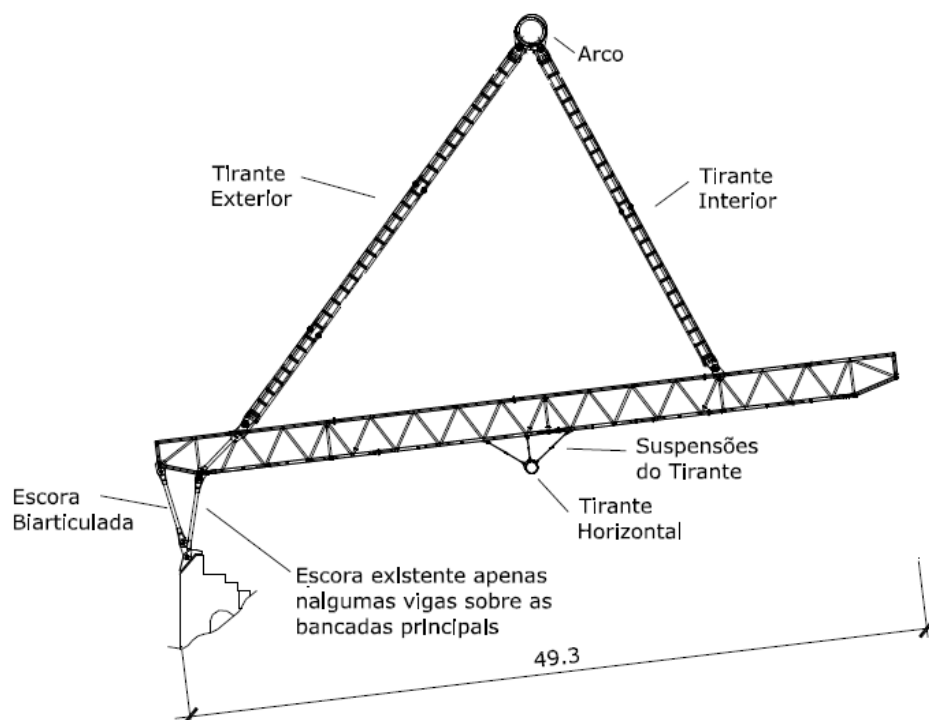


Figura 1 – Suspensão das tesouras pelos pendurais dos arcos leste e oeste

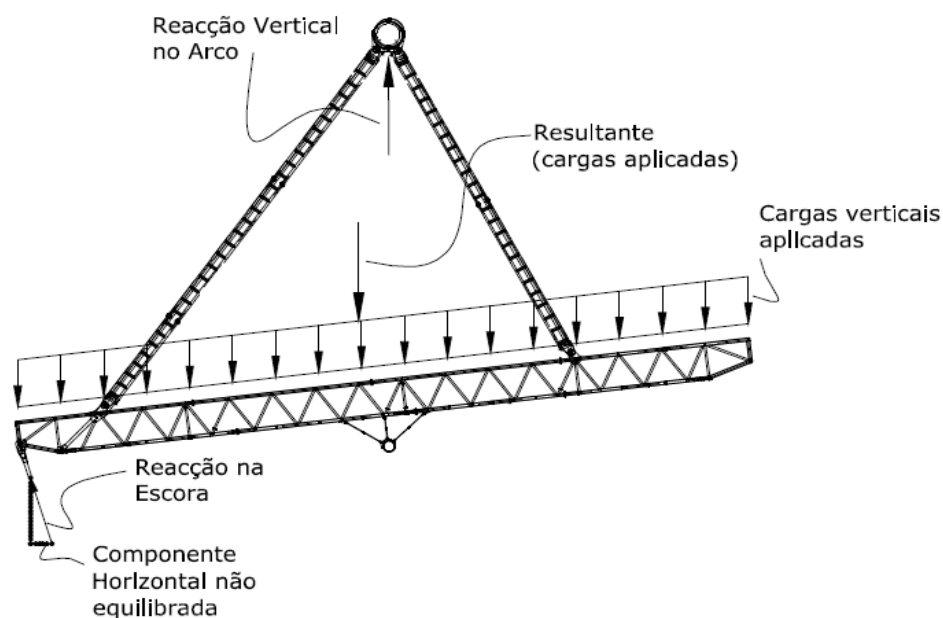


Figura 2 – Suspensão das tesouras pelos pendurais dos arcos norte e sul

A foto 6 mostra uma vista lateral de um trecho de uma dessas tesouras.

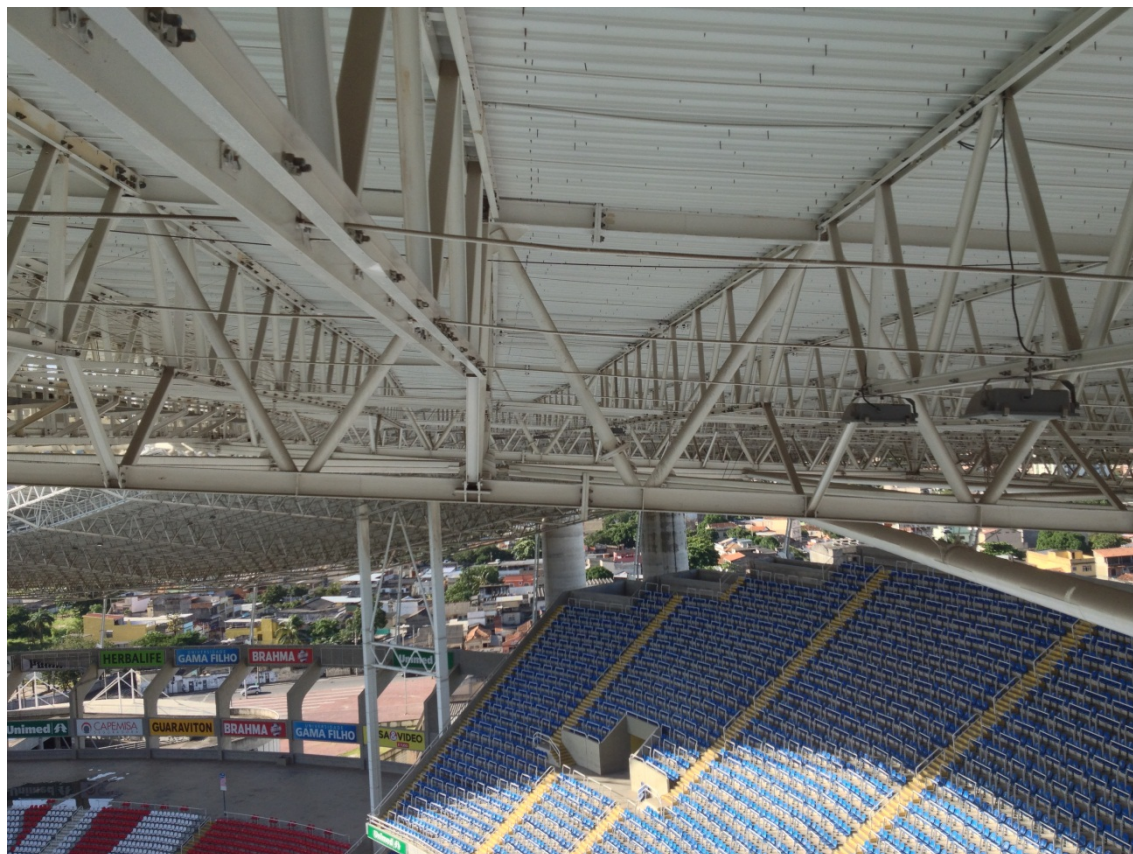


Foto 6 – Parte central de uma das tesouras do lado leste

As tesouras em apreço podem ser consideradas o sistema secundário no qual se apoia todo o telhado. São formadas por perfis I nas cordas e travejadas no plano vertical por tubos. Estas treliças requerem um travejamento lateral que é provido pelas terças, as quais sustentam, também, as telhas. A foto 6 mostra também as treliças de perfis U que formam as terças de menor altura que as tesouras e perpendiculares às mesmas.

As treliças das terças, chamadas de “joists” no projeto original e no relatório SBP/1/, têm uma função difícil de definir, já que elas podem acabar exercendo 3 funções distintas: como terças elas suportam as telhas para que estas não ultrapassem seus vãos limites; fazem o travejamento fora do plano das tesouras como já vimos; tendo em vista a sua continuidade, contudo, elas podem exercer a função de contenção de todo o telhado na direção tangencial ou como anéis em toda a volta do estádio.

Esse é um dos pontos de crítica da SBP porque se trata de uma estrutura terciária, que acaba exercendo uma função similar à estrutura primária, visto que os arcos são travejados lateralmente pelos pendurais, que suportam as tesouras, que ao mesmo tempo provêm o travejamento dos arcos, mas sendo simultaneamente travejadas pelos anéis formados pelas terças.



Outra foto com vista lateral de uma tesoura travada transversalmente pelas terças ("joists") é fornecida a seguir:



Foto 7 – Vista de uma tesoura travejada pelas terças

As treliças das terças também requerem travejamento fora do seu plano de ação, mas isso é feito por tirantes de barras finas, conforme pode ser visto na própria foto 7.

Uma vista esquemática mostrando colunas de concreto, arcos, tirantes, pendurais e tesouras é dada na figura 3, também extraída de /16/.

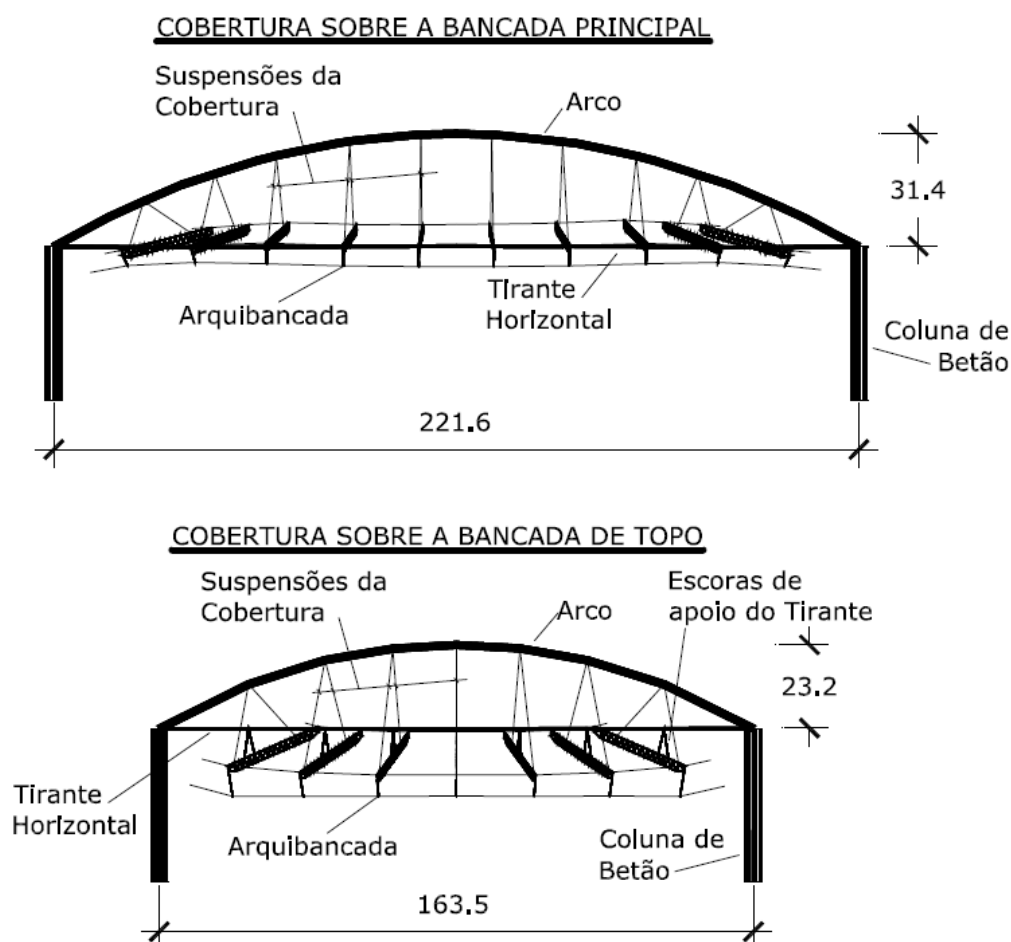


Figura 3 – Vista esquemática das estruturas primária e secundária

Na figura 2 acima, extraída de um artigo descrevendo os trabalhos da TAL Projetos como verificadora da estrutura ora em apreço, já foi ressaltado o fato das tesouras das faces norte e sul terem apenas um apoio articulado que não resiste à componente horizontal das cargas do telhado. Para que estas não tivessem que ser resistidas pelas terças foi introduzido no projeto, por solicitação da TAL, um sistema adicional que desempenha o papel de ajudar a transferir forças horizontais de todo o sistema estrutural.

A figura 4, igualmente extraída de /16/ mostra um sistema estrutural independente que foi incluído por sugestão da TAL, mas ao mesmo tempo tornou ainda mais obscuro o papel final exercido pela estrutura terciária como anel.

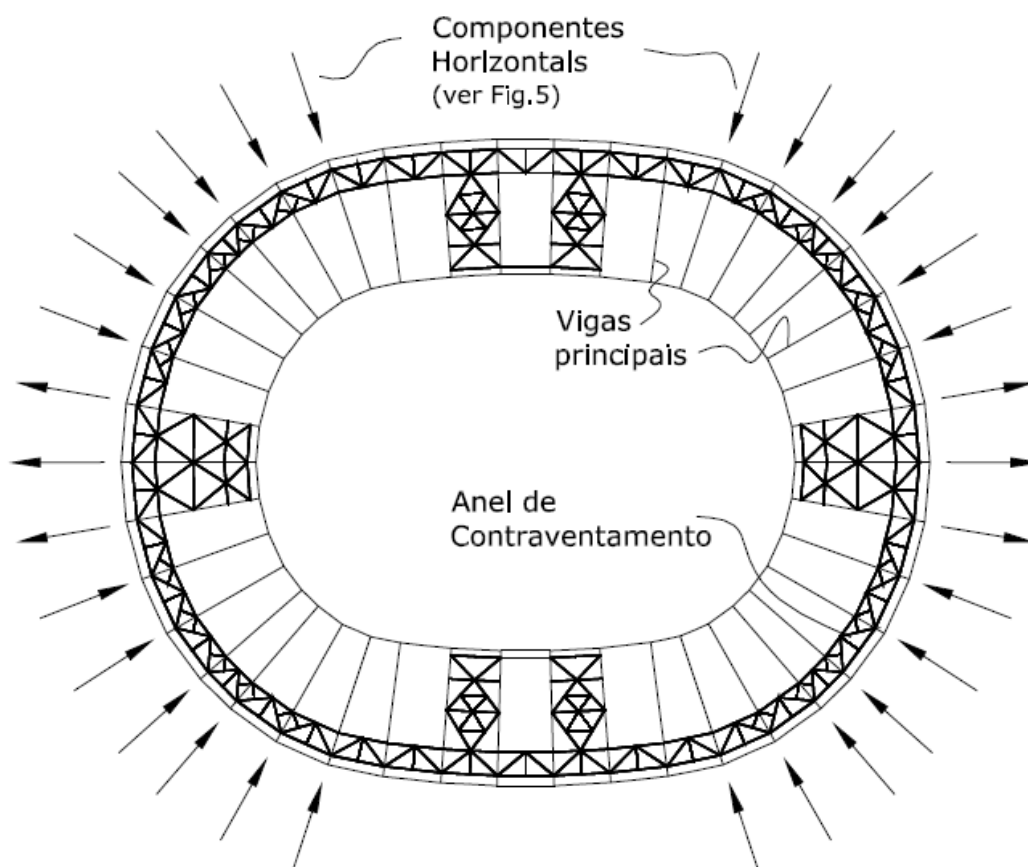


Figura 4 – Sistema de travejamento horizontal para ajudar a transferir os componentes horizontais das cargas do telhado

As fotos 8 e 9 mostram detalhes desse sistema, onde se observa que é formado por elementos de tubos quadrados bem mais rígidos que os elementos dos sistemas secundário e terciário.



Foto 8 – Vista do sistema de travejamento horizontal sugerido pela TAL



Foto 9 – Vista do sistema de travejamento horizontal mostrando a treliça do lado sul bem como o anel treliçado em toda a volta



AValiação DO SISTEMA ESTRUTURAL DA COBERTURA

A empresa Projeto ALPHA Engenharia de Estruturas SC Ltda (Brasil) teve seus trabalhos verificados pela empresa TAL Projecto (Portugal).

Durante a avaliação dos motivos que levaram a um deslocamento lateral de 1052mm dos arcos e à necessidade ou não de correção da estrutura, observou-se um impasse nos valores dos resultados das duas empresas a ponto de se ter decidido pela contratação de uma terceira empresa, reconhecidamente experiente em projetos de estádios, para uma nova avaliação. A empresa escolhida com aprovação de ambos os projetistas foi a SBP – Schlaich Bergermann und Partner (Alemanha), cuja experiência preenche totalmente os requisitos supracitados, obteve valores que confirmaram os resultados mais críticos da TAL Projecto. A SBP, por sua vez, contratou a Wacker Ingenieure para a realização de novos ensaios em túnel de vento com a estrutura atualizada.

Tendo em vista os recursos computacionais mais precisos da SBP são feitos a seguir comentários apenas do relatório apresentado por essa empresa.

Ressalta-se que houve discordâncias da ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural em relação ao fato da SBP ter realizado um novo estudo de vento com o modelo baseado na estrutura como construída (as built), em detrimento do anterior realizado pela RWDI (Canadá) e que foram utilizados no projeto original. Mas, ouvidas as críticas da ABECE respaldadas por uma consultoria da BRE – Building Research Establishment Ltd (Inglaterra) e dada uma oportunidade de defesa à empresa Wacker Ingenieure que realizou os novos estudos, esta comissão entendeu serem mais adequados os valores das cargas de vento desta última.

Será mostrado, todavia, que as conclusões finais das análises são as mesmas independentes dos distintos ensaios de túnel de vento realizados.

RESULTADOS FINAIS DAS AVALIAÇÕES DE RESISTÊNCIA OBTIDOS PELA SBP:

Esta seção contém um resumo dos resultados obtidos pela SBP considerando as forças de vento definidas pelo relatório WACKER e as imperfeições geométricas existentes. Estas foram consideradas através de uma técnica moderna conhecida como “form finding” e que permite partir de uma estrutura inicial que reproduz a deformada medida no campo quando solicitada pelas cargas de projeto.

As diferentes cores indicadas a seguir representam níveis distintos de rigor nas análises:

Curva Azul – Índices de tensões obtidos considerando a instabilidade local do tubo do arco e uma imperfeição geométrica. As cargas de vento são aquelas previstas pela WACKER;



Curva Vermelha – Índices de tensões obtidos ao longo os arcos considerando apenas a imperfeição geométrica, ou seja, desprezando a instabilidade local do arco. As cargas de ventos são aquelas preconizadas pela WACKER;

Curva Verde – Índices de tensões desprezando as imperfeições locais e dos arcos. As cargas de vento são as da WACKER;

Curva Violeta – Idem verde, mas com as cargas de vento originais da RWDI.

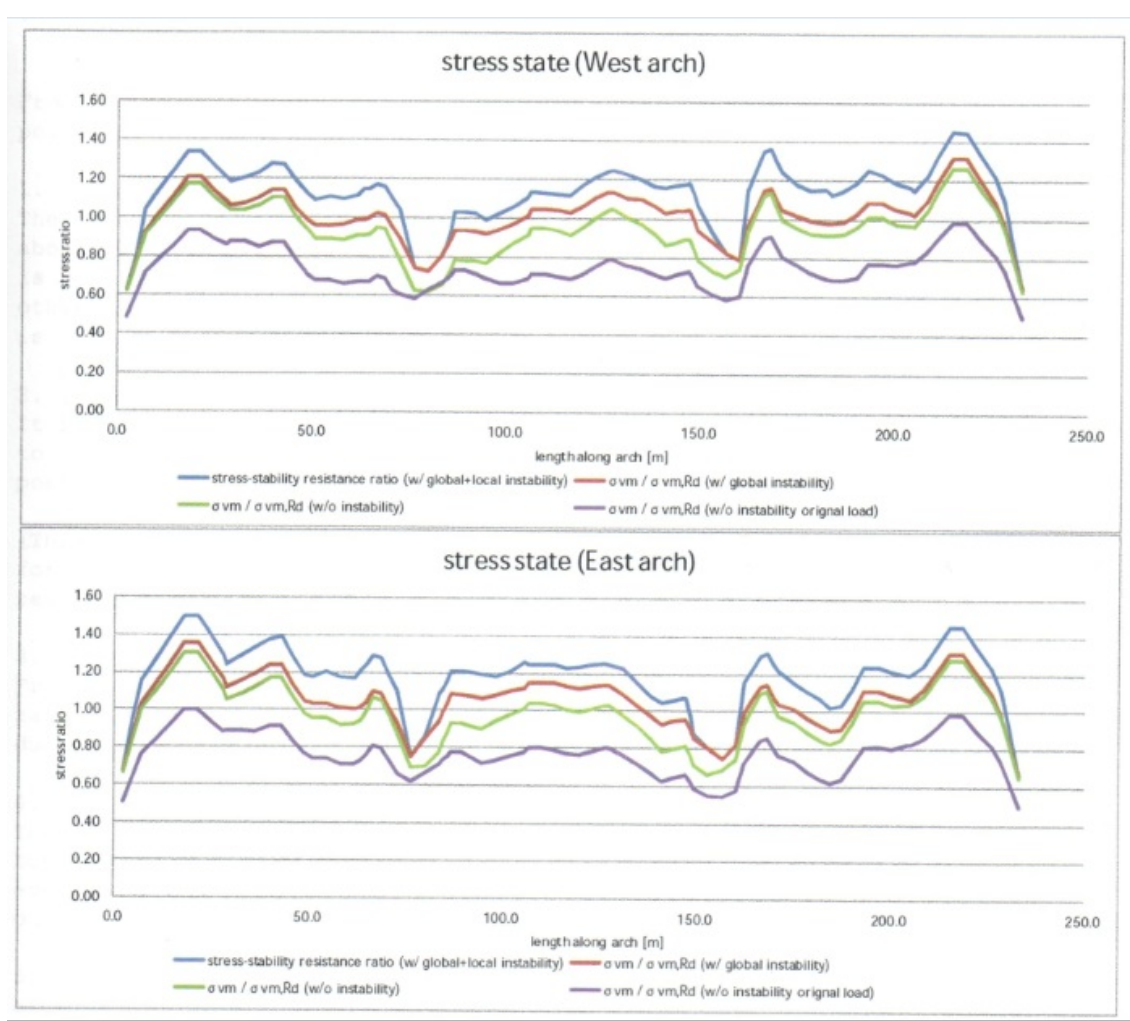


Figura 5 – Índices de tensões para análises realizadas considerando os ventos WACKER

Depois de obtidos os resultados plotados acima na figura 5, a SBP foi informada de que o aço utilizado na construção não fora aquele previsto nos cálculos. A tensão limite de escoamento utilizada nos projetos originais é de 300 MPa e a SBP empregou 345 MPa.



Assim sendo, nos comentários feitos a seguir já levam em conta a correção desse equívoco com o conseqüente agravamento dos resultados. Cabe ressaltar que o índice de tensões aceitável é no máximo 1,00.

- Os arcos estariam com índice de tensões de 1,75, se a carga de vento fosse a do WACKER e as instabilidades locais e globais tivessem sido consideradas;
- Se tivesse sido desprezada a flambagem local dos tubos do arco esse índice seria de 1,61;
- Se a geometria fosse considerada perfeita então, o índice resultaria em 1,48;
- Se, além disso tudo as cargas de vento fossem as da RWDI (ventos originais com apenas pressões verticais) haveria ainda sobretensão, ou seja, as tensões máximas estariam limitadas no arco a um índice de aproximadamente 1,17.
- Utilizando as mesmas reduções constatadas acima isso nos permitiria inferir que o índice de tensões máximas nos arcos considerando o vento RWDI (sem forças horizontais), mas levando em conta a instabilidade local do tubo e as imperfeições geométricas de norma chegaria a cerca de 1,44.

Observa-se que o índice de tensões de 1,75 pelo ensaio da Wacker ou 1,44 pela RWDI, ambos levam a conclusão de que os arcos requerem reforço estrutural de grande extensão.

A ênfase do relatório da SBP foi o reforço dos arcos, mas seus resultados mostram também que as estruturas secundária e terciária se encontram igualmente sobretensionadas e os respectivos reforços estruturais devem ser estudados.



RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO:

Diante das considerações expostas e da avaliação de toda a documentação disponibilizada (ver “Bibliografia”), esta comissão entende **que o reforço estrutural imediato da cobertura do estádio é imprescindível para que possa ser utilizado com os níveis mínimos de segurança exigidos pela legislação vigente.**

Para a definição de um plano completo de intervenção na estrutura da cobertura, recomenda-se:

- Desenvolver um estudo do escoramento da estrutura, associado à elaboração de um procedimento compatível de transferência de cargas tanto no escoramento como no descimbramento;
- Estudar novos travamentos dos arcos de modo a evitar deslocamentos horizontais excessivos;
- Definir uma forma mais eficiente de transferência das cargas horizontais da cobertura e que não produzam grandes esforços no centro dos tirantes;
- Estudar um reforço estrutural dos arcos e tirantes, e dos pendurais caso necessário;
- Estudar um reforço das tesouras e dos respectivos travamentos destas, visando a substituição mínima de joists de modo a colocar entre as tesouras elementos estruturais mais robustos, em termos de resistência e rigidez estrutural, necessários para os travamentos no plano da cobertura. Alternativamente pode ser previsto um sistema independente para travamento lateral das tesouras, deixando para as joists somente o papel de terças.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas dos arcos e tirantes, e as treliças, da cobertura do Estádio Engenhão apresentam não-conformidades de projeto com reflexos já visíveis sobre o estado da estrutura, pelo que os níveis de confiabilidade estrutural prescritos pela norma NBR-8800/08 não são atendidos.

Há necessidade urgente de colocação dos arcos numa posição estruturalmente correta, ou seja, cada arco em funcionamento deve estar contido no seu plano ressalvando-se as tolerâncias de deslocamentos previstas em norma que são da ordem de vão/1000 a vão/500. No presente caso estes limites máximos são da ordem de 220 a 440 mm para os arcos dos setores Leste/Oeste e de 160 a 320 mm para os arcos dos setores Norte/Sul. Adicionalmente o desvio de alinhamento de qualquer trecho dos arcos entre duas seções de travamento através de pendurais não deve ser maior que 40 mm.

Qualquer que seja a metodologia de intervenção para a reabilitação estrutural, deve-se sempre procurar uma solução que requeira o menor prazo de execução de modo a devolver o equipamento público à população.

Rio de Janeiro, 06 de junho de 2013

CARLOS DANTAS DE CAMPOS
CREA-RJ 1988105974
O/SUBOP/CGP

NELSON SZILARD GALGOUL
CREA-RJ 22.065/D
NSG ENGENHARIA

SEBASTIÃO ARTHUR LOPES DE ANDRADE
CREA-PR 4534/D
PUC-RIO



REFERÊNCIAS

Projeto Alpha Engenharia de Estruturas

1. Memorial de cálculo – Joists da Cobertura-29/06/2007
2. Memorial de cálculo – Arco 2-29/06/2007
3. Relatório final-15/08/2007
4. Procedimentos de inspeção e manutenção-20/12/2007
5. Construmetal 2008 – Estádios esportivos-2008
6. Resposta ofício Prefeitura 025/2010-RU/PRE-24/02/2010
7. Parecer técnico Arcos Leste Oeste-22/03/2011
8. RWDI – Rowan Williams Davies & Irwin Inc. - Estudo de carga de vento – Relatório final – EOJH-19/11/2004
9. Consórcio Engenhão: Odebrecht - OAS Procedimentos de Manutenção e Inspeção-18/08/2008

TAL Projecto

10. EOJH – Estrutura da Cobertura – Especificação para fornecimento, fabricação, montagem e inspeção-04/2006
11. EOJH – Estrutura da Cobertura – Avaliação das Condições de Segurança – Relatório final-09/08/2007
12. EOJH – Estrutura da Cobertura – Avaliação das Condições de Segurança – Relatório final-14/08/2007
13. EOJH – Estrutura da Cobertura – Descimbramento dos sectores Norte e Sul-2007
14. Estrutura da cobertura – Quantificação das forças horizontais causadas pela acção do vento na direcção longitudinal – “Wlong” 2007



15. EOJH – 2ª Avaliação das condições de segurança do arco Leste-20/10/2010
16. EOJH – Estrutura da cobertura, Tiago Braga Abecasis, VI Congresso de Construção Metálica e Mista, Lisboa, 2012
17. SBP Schlaich Bergermann und Partner - Estádio Olímpico João Havelange Peer Review on the Structural Safety (Alemanha) - 12/03/2013
Wacker Ingenieure (Ensaio de túnel de vento – Alemanha)
18. Determination of structural quase-steady and dynamic wind loads acting on the stadium roof-12/03/2013
19. Answer to the ABECE statement and the BRE report from 29th April 2013-14/05/2013
20. BRE – Building Research Establishment Ltd- Review of Joao Havelange Olympic Stadium Wind Tunnel Test Studies-29/04/2013
21. ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural - Esclarecimentos sobre a cobertura do Estádio Olímpico João Havelange- 06/05/2013
22. NSG Engenharia - Parecer relativo ao laudo da SBP: Estádio Olímpico João Havelange: Peer Review on the Structural Safety - 10/05/2013