

Aquário do Pantanal: desafios de projeto e construção

SÉRGIO DONIAK • HUGO CORRES

FHECOR DO BRASIL

MARIANA CARVALHO

PHD ENGENHARIA

PAULO HELENE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

O CEPRIC, conhecido como Aquário do Pantanal, é um aquário de água doce dentro do Parque das Nações Indígenas, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Brasil). Projetado pelo renomado Arquiteto Ruy Ohtake, é considerado o maior aquário de água doce do mundo, com 18.635m², sendo constituído por 23 grandes aquários dentro do edifício e 9 na área externa, totalizando um volume de água de aproximadamente 6 milhões de litros, que vão abrigar 263 espécies da fauna aquática. Este artigo apresenta os desafios e engenhosidades envolvidos no projeto e construção da estrutura de concreto (cerca de 17.500m³ apli-

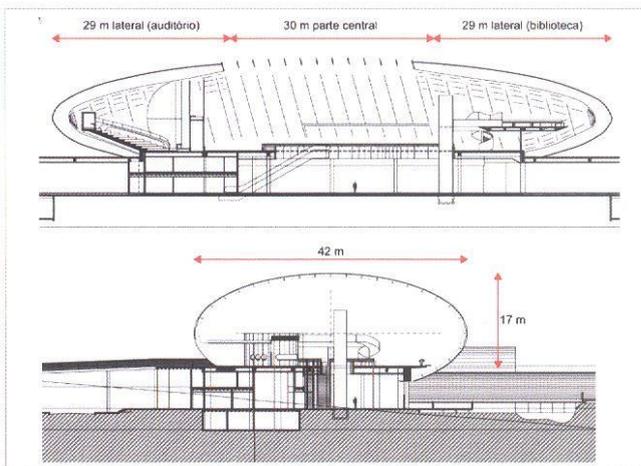
cados) estanque, de alta resistência e aparente em alguns trechos. Os resultados demonstraram que o projeto estrutural, os procedimentos executivos e o concreto utilizado foram determinantes no sucesso da obra e conseguiram atender aos desafios rigorosos do projeto arquitetônico, resultando em elementos estruturais com integridade e durabilidade condizentes com a importância desta obra emblemática para a região e o país.

I. INTRODUÇÃO

Localizado no Parque das Nações Indígenas, o Aquário do Pantanal, nome popular para o Centro de Pesquisa e Reabilitação da Ictiofauna Pantaneira (CEPRIC), será o maior

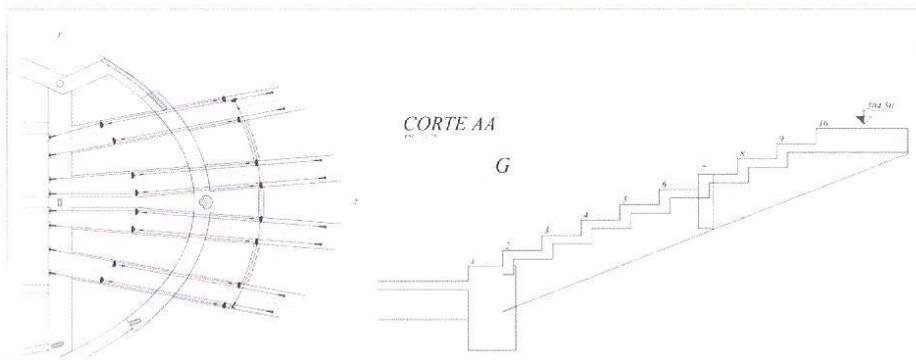
aquário nacional e primeiro de porte internacional do Brasil (com padrão chamado de "World Class Aquarium"). O aquário possui propósitos contemplativos, turísticos, educacionais e científicos, sendo a finalidade do projeto incentivar o desenvolvimento de pesquisas e diálogos com universidades nacionais e internacionais, fortalecer a educação ambiental e ainda funcionar como um espaço de turismo e lazer para a população campo-grandense e a sociedade brasileira.

O aquário apresentará espécies de peixes, anfíbios e répteis da fauna sul-mato-grossense, parte das espécies vegetais locais, além de espécies da Amazônia, Bacia do Paraná e do litoral brasileiro, tornando-se referência



▶ **Figura 1**

Vista externa e seções (longitudinal e transversal) do pavilhão central



► **Figura 2**
Auditério: vista em planta (vigas protendidas hachuradas) e corte transversal

mundial como aquário de água doce.

É formado por duas grandes estruturas conectadas: o pavilhão central e os aquários, que têm em comum um jardim central dedicado à biodiversidade do Pantanal. O pavilhão central é formado por uma estrutura metálica de formato quase elipsoidal, com 88m de comprimento, 42m de largura e 17m de altura, dividido em três partes distintas ao longo do eixo longitudinal do edifício (Figura 1).

No seu interior se localizam dois elementos singulares do edifício: o auditório e a biblioteca.

O auditório, em concreto protendido e aparente, é composto por 10 ní-

veis de arquibancadas de planta circular que ficam em balanço, suportadas por quatro vigas protendidas de comprimentos entre 16 e 19m, com inclinação de 21° (Figura 2).

Existe ainda uma quinta viga protendida, ortogonal às anteriores e disposta na metade do trecho inclinado, com a função de minimizar e equalizar as deformações produzidas no trecho em balanço do auditório.

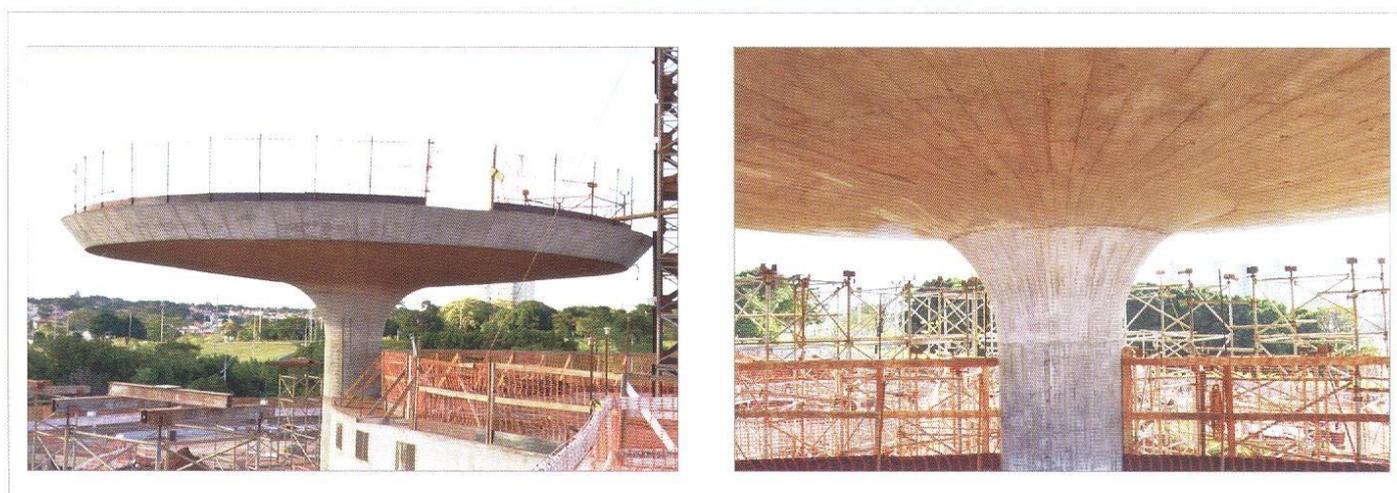
A biblioteca, em concreto armado e aparente, é constituída de uma laje de planta circular com 14m de diâmetro e altura variável, apoiada em um único pilar central de 1,40m de diâmetro (Figura 3).

A estrutura de suporte da laje de

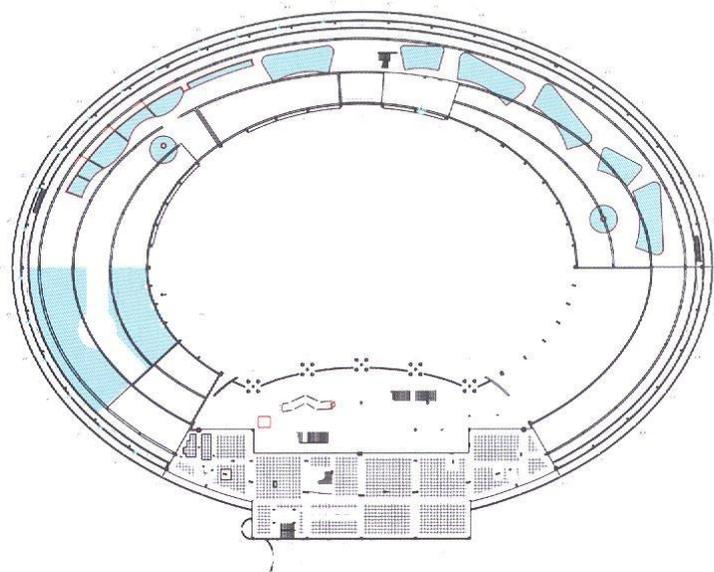
concreto armado é constituída por uma malha de vigas com altura variável entre 40cm e 90cm, dispostas nas direções principais e ortogonais entre si, conectadas por uma viga de borda circular em planta. Os vazios entre as lajes superiores e inferiores foram preenchidos com blocos de EPS (poliestireno expandido).

Na área interna da edificação estão dispostos 10 aquários em concreto armado, que formam o circuito dos aquários internos, todos no mesmo nível que o *hall* de entrada. Os aquários são formados por uma estrutura de concreto com formato quase elipsoidal em planta e fachada exterior composta por painéis de vidro transparente até meia altura, com o objetivo iluminar naturalmente os aquários do túnel e de garantir que os visitantes possam desfrutar do jardim interno ao longo de todo o caminho (Figura 4).

A estrutura tipo dos aquários em concreto armado consiste em uma laje de fundo e três paredes de espessura variável, dependendo da altura do nível de água (entre 1m e 3m). Na quarta parede há uma abertura com painel acrílico, que permite aos visitantes observar o interior do tanque. Para o



► **Figura 3**
Biblioteca: vista geral e detalhe do pilar central



► **Figura 4**
Planta da área interna da edificação e disposição dos aquários

suporte do acrílico, alguns com espessura de até 30cm, foi disposta uma viga superior embutida nas paredes laterais, e na parte inferior foi executado um ressalto em forma de dente na laje (Figura 5).

O aquário interno de maiores dimensões é o chamado “Rio Paraguai”, com uma altura de lâmina de água de 5m, 29m de comprimento e 17m de

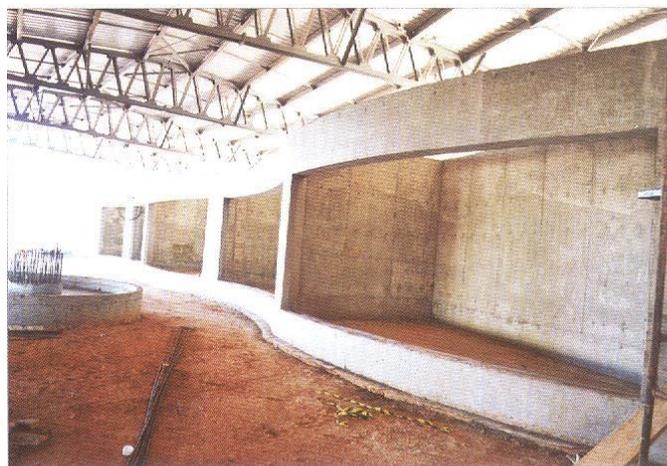
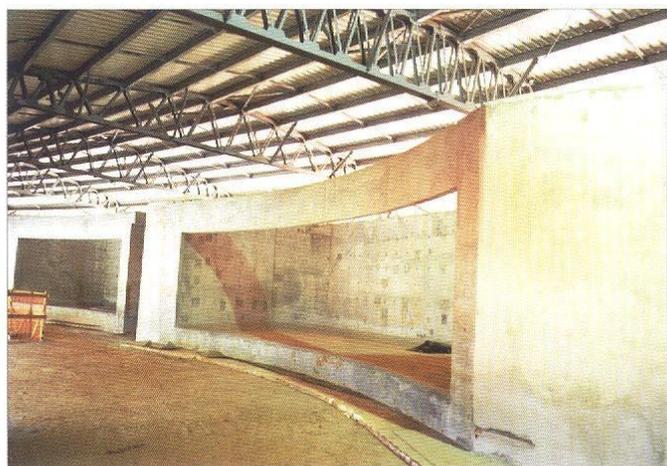
largura. As paredes laterais do tanque em concreto armado possuem espessura de 25 a 40cm, e são engastadas à laje em sua base. Neste trecho há um túnel de acrílico ao longo do aquário (Figura 6).

Com elementos em diversas formas e angulações, durante a execução desta superestrutura, mostrou-se necessário agregar tecnologia especializada em

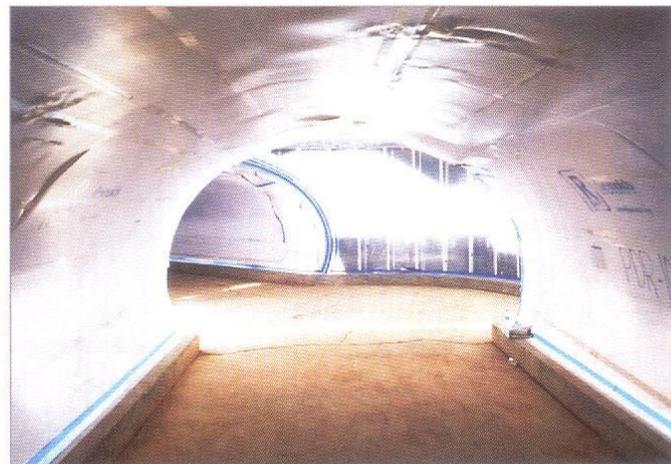
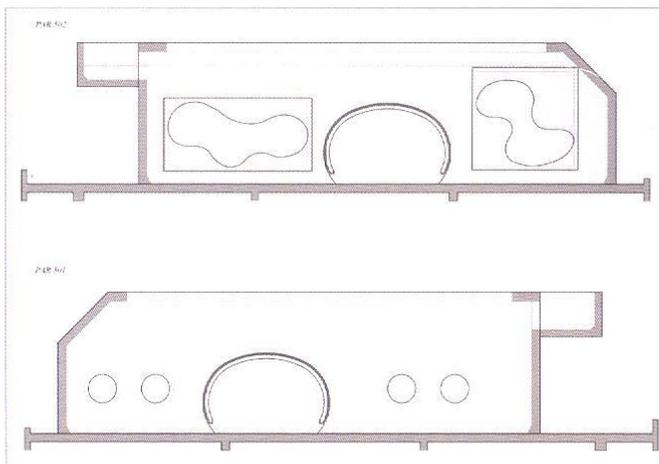
concreto, para enfrentar a complexidade da obra, que apresenta um projeto arquitetônico de aparente leveza, mas com grandes massas de água sob a forma dos tanques de circulação e de peixes vivos (ecossistemas), gerando cargas muito significativas, esforços de flexão vultosos, necessidade de absoluta estanqueidade e muitas cortinas (paredes de tanques e divisórias).

Outros aspectos relevantes da concepção da estrutura são a alta resistência do material concreto (especificada como $f_{ck} = 50\text{MPa}$ aos 28 dias de idade por razões de durabilidade e estanqueidade) e a necessidade de atendimento a requisitos estéticos nos trechos em concreto aparente. Dada a complexidade da obra e por se tratar de estruturas diferenciadas, foi imprescindível a adoção de concretos especiais, assim como a execução de um rigoroso controle tecnológico do concreto. Nesta obra foram empregados 14.736m^3 de concreto de $f_{ck} = 50\text{MPa}$, 458m^3 de concreto de $f_{ck} = 60\text{MPa}$, 178m^3 de concreto de $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e 236m^3 de concreto de $f_{ck} = 15\text{MPa}$.

O tipo de concreto empregado,



► **Figura 5**
Tipologia dos aquários, com abertura para painel de acrílico



► **Figura 6**
Rio Paraguai: elevações das paredes do aquário e vista do túnel de acrílico

bem como algumas práticas de bem construir e outras engenhosidades, foram determinantes para a obtenção de elementos estruturais íntegros e adequados às especificações de projeto e às necessidades da obra. A maior parte dos conceitos e procedimentos empregados consta nas premissas das normalizações nacionais vigentes à época (ABNT NBR 6118:2007, ABNT NBR 12655:2006, ABNT NBR 14931:2004, ABNT NBR 15823:2010) e em literaturas consagradas [1][2][3][4].

2. BOAS PRÁTICAS: ESTANQUEIDADE E CONCRETO AUTOADENSÁVEL

A partir do entendimento da função das estruturas do Aquário do Pantanal percebe-se que, especialmente para a região do circuito dos aquários, a estanqueidade dos tanques é uma necessidade e premissa de projeto [ACI 224.3R-95 (Reapproved 2008)]. Esse cuidado com a estanqueidade é fundamental, pois essas estruturas estão sujeitas a cargas diferenciadas, condições de exposição mais severas (forte preocupação com as questões de durabilidade) e exigências mais restritivas

de serviço com relação às estruturas convencionais (ACI 350-06).

É importante esclarecer que *impermeabilidade de um material* e *estanqueidade de uma estrutura* são conceitos distintos. O concreto, quando visto exclusivamente como um material, é capaz de prover condições suficientes de baixíssima permeabilidade, promovendo uma barreira eficiente à percolação de água, ou seja, pode ser considerado impermeável para a maioria dos usos (piscinas, coberturas, tanques, fundações, paredes diafragma etc.).

Por outro lado, uma *estrutura de concreto estanque* é aquela capaz de não permitir a percolação de água por nenhuma imperfeição, ou fissura, ou *insert* nas paredes e laje que a confinam, e envolve principalmente aspectos rela-

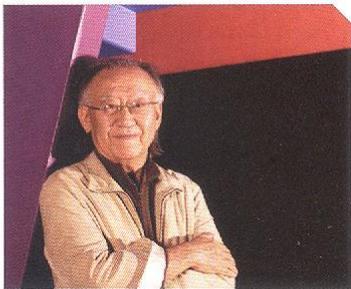
cionados com a técnica de bem construir, requerendo cuidados especiais durante a execução, de modo a evitar ninhos de concretagem, adensamento inadequado, fissurações não previstas e juntas frias ou de concretagem não estanques, através das quais possa haver, eventualmente, percolação ou infiltração de água [5].

Corroborando esse ponto de vista, o ACI 350-06 destaca que usualmente é mais econômico e seguro garantir a estanqueidade de uma estrutura com uso da *qualidade do material concreto* (dosagem adequada) e de *procedimentos executivos condizentes com as boas práticas* de construção (lançamento, adensamento, cura, juntas bem executadas e projetadas, entre outros) do que através da aplicação de

► DECLARAÇÃO DO MINISTRO-CHEFE DA SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, ROBERTO MANGABEIRA, PARA O DIÁRIO DIGITAL DE CAMPO GRANDE, POR CONTA DE SUA VISITA ÀS OBRAS DO AQUÁRIO DO PANTANAL NO ÚLTIMO DIA 8 DE JULHO

“É uma imensa oportunidade de colocar o Brasil e o Mato Grosso do Sul na vanguarda do grande projeto nacional que é a mudança da educação no Brasil”.

▶ ARQUITETO RUY OHTAKE, AUTOR DO PROJETO DO AQUÁRIO DO PANTANAL



“Arquitetura inovadora e significativa que a todos deve empolgar. Imbuídos de entusiasmo para o início do funcionamento do Complexo, que além de evidenciar os animais (peixes, jacarés, etc.), ressalta a grande importância do meio ambiente, agregando pesquisa da biodiversidade e contribuição para os aspectos turísticos, educativos, culturais e sociais”.

barreiras ou revestimentos protetivos, ou seja, o concreto bem especificado e executado é suficiente para promover a estanqueidade.

As dimensões dos elementos estruturais impostas pelo projeto básico da obra resultaram em um Projeto Estrutural Executivo densamente armado, onde a dificuldade de concretagem tornou-se outro grande desafio, exigindo grande esforço de montagem de fôrmas e armaduras, com pouco ou nenhum espaço para vibração e adensamento adequados do concreto (Figura 7).

Esta característica, somada às fôrmas diversas dos elementos estruturais, consistiu um grande inconveniente para o emprego de um concreto convencional.

Diante disso, fez-se necessário pro-

ceder com a elaboração de um concreto especial, fino, fluido e com maior plasticidade, além de teor de argamassa e granulometria compatíveis com as necessidades do projeto.

Neste contexto, o concreto autoadensável é um material que pode atender a todos estes requisitos, pois é capaz de fluir e autoadensar pelo seu peso próprio, preenchendo adequadamente as fôrmas e envolvendo embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de misturas, transporte, lançamento e acabamento (ABNT NBR 15823:2010).

Este concreto apresenta um equilíbrio entre elevada fluidez e moderada viscosidade, obtido através da utilização

de aditivos superplastificantes e agregados com menores granulometrias, e também pode representar produtividade e redução de mão de obra. Nesta obra, foram empregados 14.736m³ de concreto autoadensável, 1.840m³ de concreto fluido (abatimento > 220mm) e 872m³ de concreto convencional bombeável (abatimento entre 100mm e 160mm).

3. PROJETO, INSUMOS E PROCEDIMENTO EXECUTIVO

3.1 Projeto: dimensionamento estrutural e modelos de cálculo

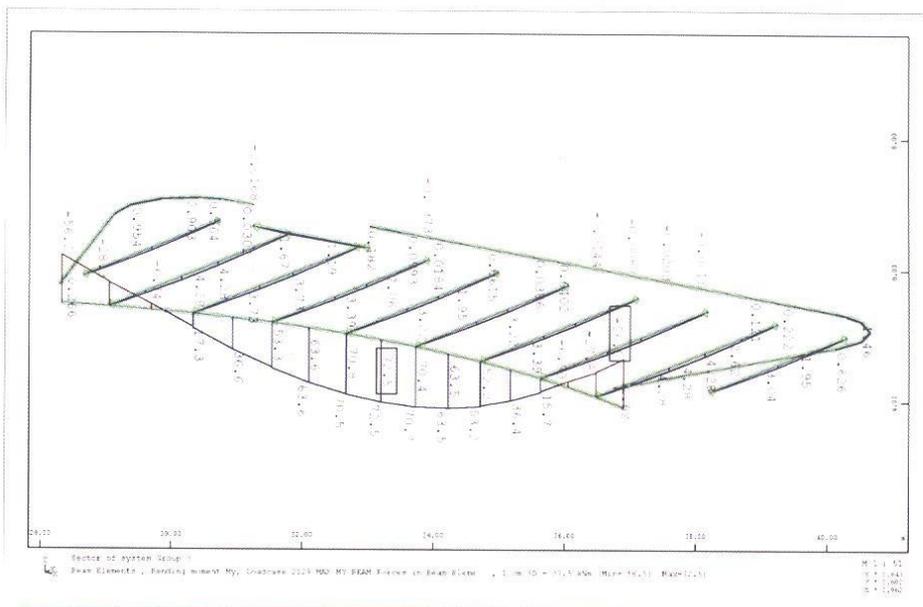
O projeto estrutural executivo foi elaborado pela FHECOR DO BRASIL, a partir de um projeto básico já existente.

Para determinar as cargas empregadas no dimensionamento estrutural foi utilizada a norma vigente para estruturas de edificações ABNT NBR 6120:1980. Versão corrigida: 2000. As cargas consideradas foram as seguintes:

- ▶ Cargas permanentes: incluem as cargas de peso próprio dos diferentes elementos estruturais, assim como as cargas permanentes dos pavimentos e divisórias, além dos



▶ **Figura 7**
Aquário do Pantanal: trechos de armadura de vigas e lajes



► **Figura 8**
Momento fletor nas vigas superiores

e as vigas. O dimensionamento dos tanques foi realizado através da análise dos esforços e deformações. A partir das cargas obtidas nos modelos dos tanques, também foram dimensionadas as lâminas de EPS dispostas entre os tanques e as lajes do edifício sobre a qual se apoiam.

No dimensionamento dos aquários internos a ação principal considerada foi a pressão hidrostática sobre as paredes dos tanques.

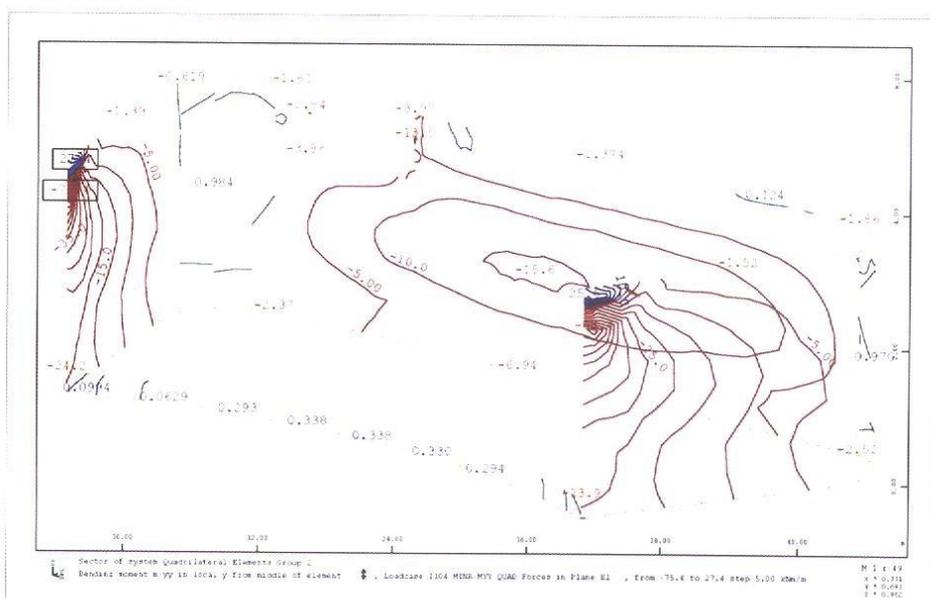
As Figuras 8 e 9 apresentam os esforços nas vigas da parte superior do tanque e nas paredes verticais, resultantes dos modelos de cálculo. Na Figura 8, pode-se perceber que é na ligação das vigas superiores e inferiores com as paredes que ocorre grande concentração de tensões.

As deformações e esforços na laje de fundo do tanque também são resultados obtidos do lançamento da estrutura no *software*. Nesse caso, as maiores tensões se concentram nos cantos dianteiros, que recebem a carga transmitida pelo pórtico formado

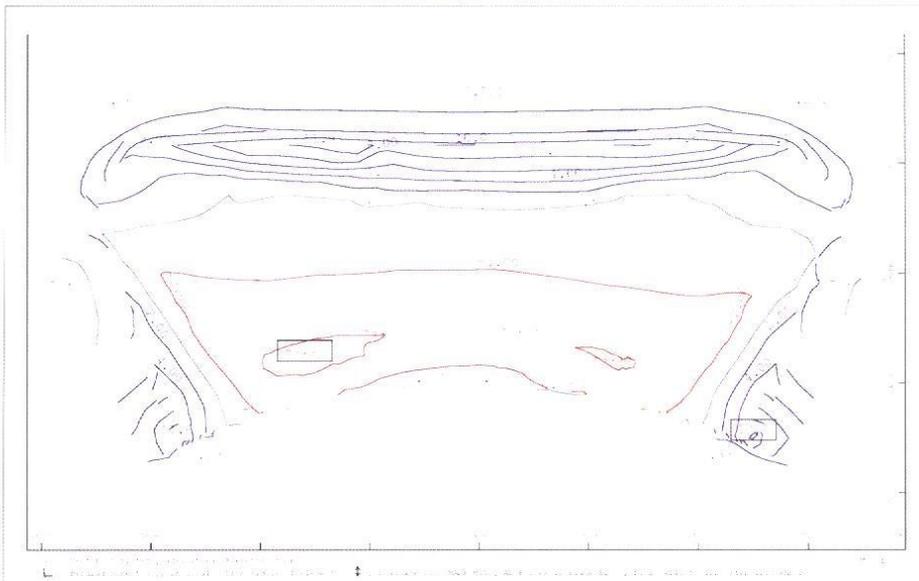
- enchimentos técnicos de contrapiso;
- Sobrecargas de uso: os valores adotados baseiam-se na utilização a que se destina o elemento analisado, podendo variar entre os 3kN/m² para as zonas técnicas do nível subsolo, 4kN/m² para as zonas de acesso ao público e 7,5kN/m² nas áreas de instalações;
- Sobrecargas de água: no caso das zonas de aquários, foi introduzida a carga variável do peso da coluna d'água associada à capacidade máxima dos tanques. Esta carga alcançou em alguns casos valores de 50kN/m², correspondente a 5 metros de coluna d'água;
- Sobrecarga de vento: foi determinada em função da localização da obra e da altura da edificação, com base no indicado na norma.

Dadas as inúmeras possibilidades de variação nos carregamentos de água, foram simuladas várias hipóteses de carga, para se considerar a mais crítica envoltória nos dimensionamentos das estruturas que suportam os tanques.

A utilização de modelos de elementos finitos facilitou o dimensionamento dos diferentes elementos estruturais, permitindo a confecção de um modelo tridimensional de todo o edifício, combinando elementos do tipo placa, para a representação de lajes e muros, com elementos tipo barras, para representar os pilares



► **Figura 9**
Esforço fletor nas paredes laterais. Tanque 4



► **Figura 10**
Envolvória de momentos fletores na laje de fundo

pelos muros laterais e a viga dianteira (Figura 10).

Assim, para aumentar a área de distribuição da carga transmitida pelo tanque sobre a laje de fundo, foram dispostas chapas metálicas abaixo dos cantos dianteiros do tanque, conectadas à estrutura de concreto por pinos tipo *Stud* (Figura 11).

Por ser o de maior capacidade do aquário, o dimensionamento do tanque

do Rio Paraguai levou em conta o suporte de maiores cargas de pressão hidrostática. O modelo realizado permitiu obter os esforços nas paredes laterais que formam o tanque, considerando adição do efeito conjunto de todas as paredes (Figuras 12 e 13).

3.2 Concreto e procedimentos executivos

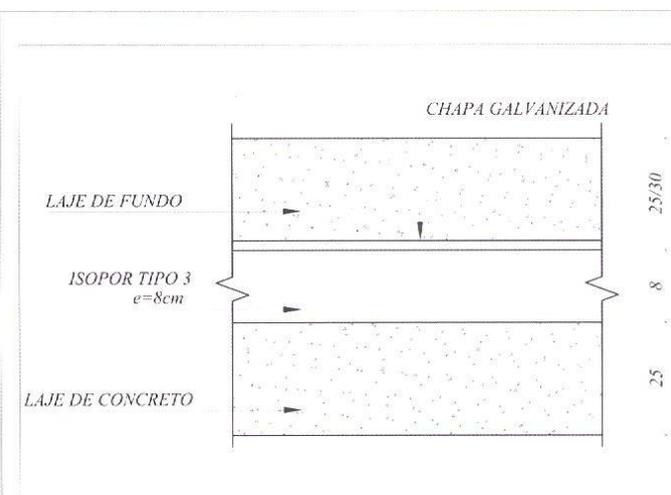
A partir de um cuidadoso estudo de

► **Tabela 1 – Traço de concreto autoadensável desenvolvido para Aquário do Pantanal**

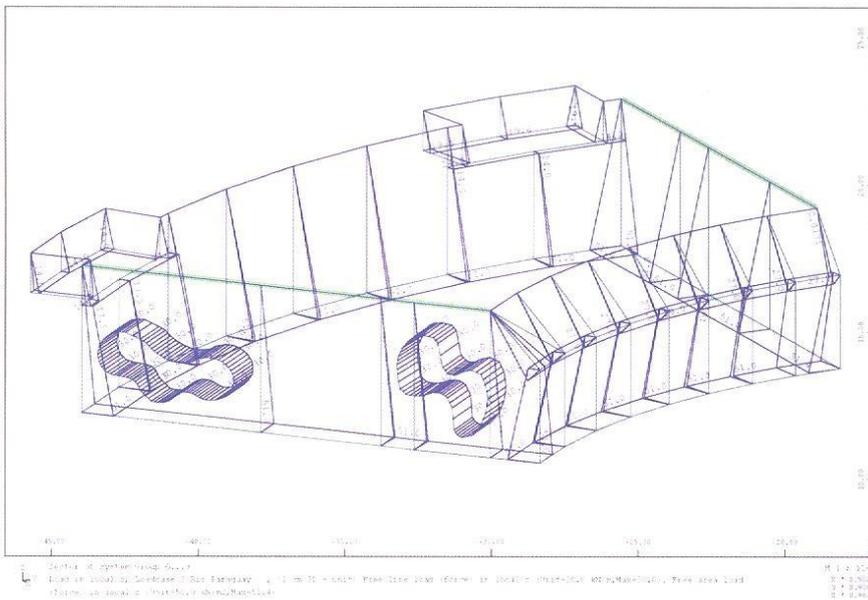
Traço do concreto	f_{cd} 50MPa; slump-flow > 650mm
Consumo de cimento CPIIF32 por m ³	489 kg
Relação água/cimento	0,35
Teor de argamassa seca	57%
Areia artificial por m ³	245 kg
Areia natural por m ³	515 kg
Pedrisco por m ³	941 kg
Água por m ³	170 L
Aditivo plastificante por m ³	3,400 L
Aditivo superplastificante por m ³	4,150 L

dosagem, foi escolhido e empregado o seguinte traço referência de concreto resultante, que pode ser observado na Tabela 1.

Em estruturas massivas, a combinação do calor produzido pela



► **Figura 11**
Detalhe das chapas de distribuição abaixo dos cantos dianteiros da laje de fundo



► **Figura 12**
Cargas de pressão hidrostática sobre as paredes laterais. Tanque Rio Paraguai

foram orientados com relação ao procedimento que deveria ser empregado nas concretagens especiais, ensaios e controles, de modo que as responsabilidades de cada interveniente foram bem definidas.

Além disso, ressalta-se que, apesar de todo o conhecimento técnico e teórico de obras envolvendo os conceitos de estanqueidade e o uso de concreto autoadensável, a experiência tem demonstrado que o uso de simulações em campo e protótipos é uma ferramenta necessária e indispensável em projetos de alta complexidade [6], como neste caso.

No auditório, por exemplo, foi construída uma viga de sacrifício (Figura 14) com todas as características da peça original (elevada taxa de armadura, fôrma inclinada e aberta, concreto de alto desempenho e impossibilidade de adensamento por vibração).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

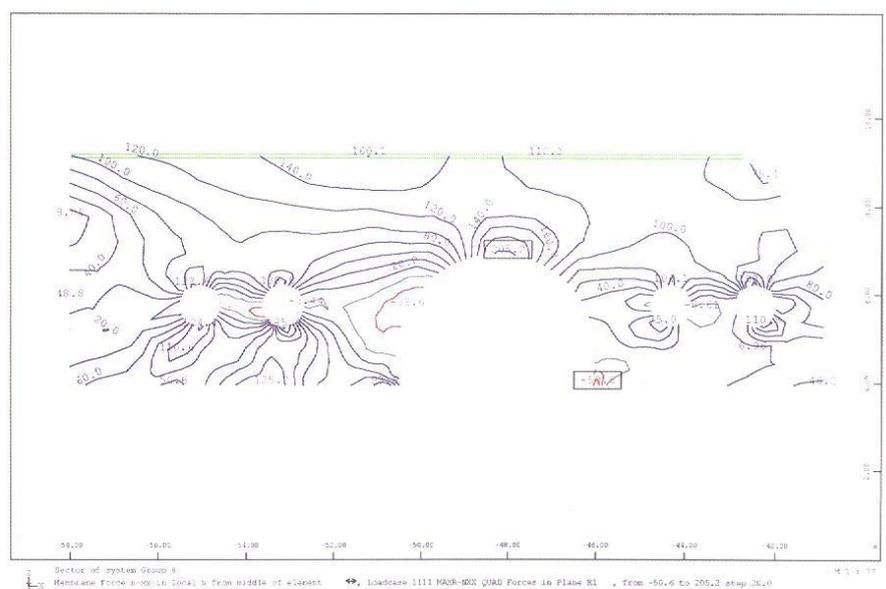
Considera-se que o conjunto formado pelo estudo e desenvolvimento

hidratação do cimento e condições relativamente baixas de dissipação do calor resulta em grande elevação da temperatura do concreto nas primeiras idades, e o resfriamento até a temperatura ambiente pode fissurar o concreto. O controle da temperatura de lançamento do concreto é uma das formas mais eficientes de evitar fissuração de origem térmica [2].

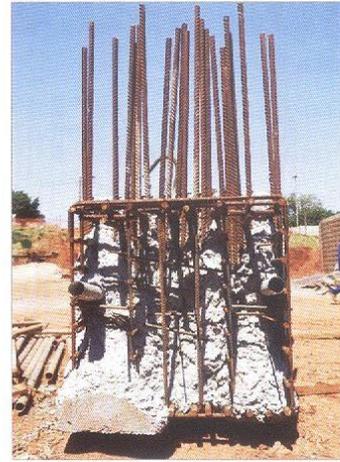
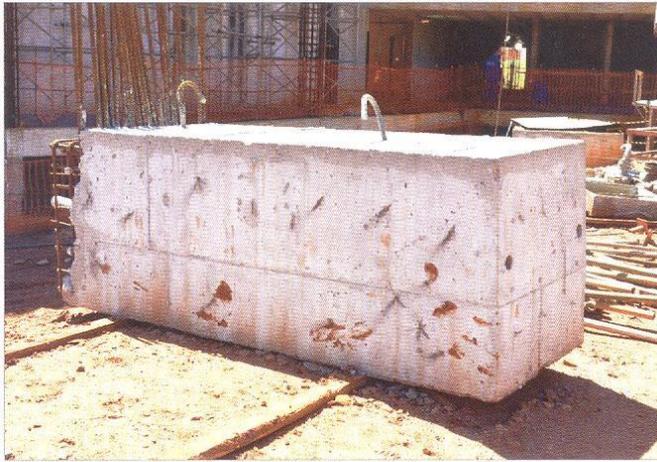
Tendo em vista a importância e a diversidade das peças concretadas, além do grande volume de concreto aplicado em diversas concretagens, foi necessário elaborar um planejamento detalhado dos eventos de execução das estruturas, envolvendo tecnologia avançada quanto ao controle do carregamento dos escoramentos (inclusive, com realização da concretagem em camadas e monitoramento topográfico das deformações, com o intuito de possibilitar a suspensão da concretagem caso fosse verificada uma movimentação inadequada ou perigosa dos escoramentos), concreto autoadensável e uso de gelo em substituição à água de amassamen-

to, nos locais com características de concreto massa.

O programa planejado compreendeu treinamentos para as equipes da obra, numa temática variada que incluiu prática e teoria para os operários e engenheiros participantes. Também os demais envolvidos no processo (Empresa de Serviços de Concretagem e Laboratório de Controle Tecnológico)



► **Figura 13**
Esforço axial nas paredes laterais. Tanque Rio Paraguai



► **Figura 14**

Viga de sacrifício (protótipo), com detalhe na região da junta de concretagem

de um traço de concreto apropriado, a concepção de protótipos e uma execução adequada e em conformidade com as normas vigentes e práticas de bem construir foram determinantes para a execução da estrutura de concreto do Aquário do Pantanal, resultando em integridade, estanqueidade e durabilidade condizentes com as necessidades da obra (Figura 15).

O estudo de caso apresentado neste artigo demonstra claramente uma obra emblemática de grande singularidade, não

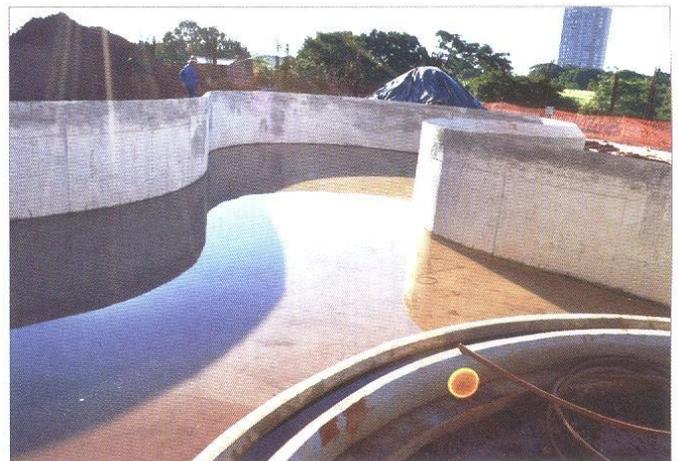
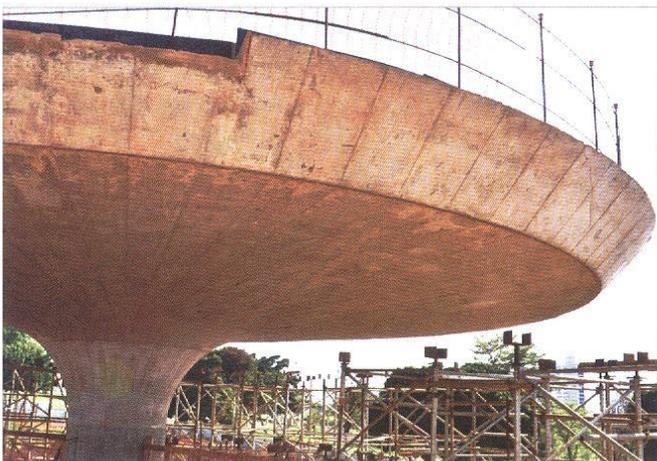
somente no que diz respeito à arquitetura, mas também às demais considerações relacionadas com a estrutura, sujeita a esforços não convencionais, e às interfaces com outros sistemas construtivos, como a estrutura metálica de cobertura.

Sem dúvida, a garantia de desempenho frente aos requisitos de estética, forma e função deve-se, especialmente, à interdisciplinaridade e integração das equipes de Arquitetura, Estrutura, Tecnologia do Concreto, Controle Tecnológico, Serviços Espe-

ciais de Engenharia (como o caso da protensão), assim como à realização de um rigoroso Controle de Qualidade de Projeto (CQP) por parte do proprietário (governo do Estado), que foi imprescindível para os bons resultados obtidos ao longo da obra.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos parceiros arquiteto Ruy Ohtake e sua equipe, à Prof^ª. Sandra Regina Bertocini, ao Eng. Egydio Hervé Neto, ao Eng. Paulo Sérgio



► **Figura 15**

Aquário do Pantanal: integridade, estanqueidade e durabilidade

(Diretor da SERMIX Serviços e Concretagem Ltda.), ao Eng. Egídio Vilani Comin (Diretor da Egelte Engenharia Ltda.) e sua equipe, ao Eng. Pedro Marcondes Machado (Diretor da Proteco Construções Ltda.), e ao Governo do Estado do MS, na pessoa do Eng. Domingos Sávio Mariuba [Fiscal da Agência Estadual de Gestão de Empreendimento (AGESUL)], sem os quais seria impossível atingir as metas e o resultado desejado. ➤

► FICHA TÉCNICA

Cliente

Governo do Estado do MS.

Construção

EGELTE Engenharia Ltda. e PROTECO Construções Ltda.

Arquitetura

RUY OHTAKE Arquitetura e Urbanismo Ltda.

Projeto Estrutural

FHECOR DO BRASIL Engenharia Ltda.

Tecnologia do Concreto
PhD Engenharia Ltda.

Empresa de Serviços de Concretagem
SERMIX Serviços e Concretagem Ltda.

Protensão
MAC Sistema Brasileiro de Protensão Ltda.

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, P. R.; SARDINHA, V. L. A. Considerações sobre estanqueidade de estruturas de concreto. In: Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 1980, p. 176-197.
- [02] MEHTA, P.; K; MONTEIRO, J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. IBRACON, 2ª edição. São Paulo, 2014.
- [03] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Concrete Technology. New York: Longman Scientific & Technical, 1987. 438 p.
- [04] KOSMATKA, Steven H.; WILSON, Michelle L. Design and control of concrete mixtures. 15ª edição. Illinois: Portland Cement Association, 2011.
- [05] BRITZ, Carlos; HELENE, Paulo; BUENO, Suely; PACHECO, Jéssika. Estanqueidade de Lajes de Subpressão. Caso MIS-RJ. Trabalho apresentado ao 55º Congresso Brasileiro do Concreto (55º CBC), Gramado, 2013.
- [06] BRITZ, C.; PACHECO, J.; BUENO, S.; HELENE, P. Recomendações para a concepção de pilares inclinados em concreto aparente. Caso MIS-RJ. 2014. Trabalho apresentado ao 56º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2014, Natal, 2014.

 **57º Congresso Brasileiro do CONCRETO**
Bonito • MS • 2015

MARQUE PRESENÇA!

O 57º Congresso Brasileiro do Concreto é o maior evento técnico-científico sobre tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos

27 a 30 de outubro | Bonito - MS

Presença institucional da empresa/instituição

- Exponha suas pesquisas e inovações no Seminário de Novas Tecnologias
- Apresente seus produtos e serviços na XI Feibracon – Feira Brasileira das Construções em Concreto
- Estreite relacionamentos com seus clientes em coquetéis, jantares e premiações
- Participe ativamente das discussões e conheça os mais recentes avanços nas pesquisas e inovações sobre o concreto

Garanta ainda hoje seu espaço!

Cotas de patrocínio e os espaços de exposição ainda disponíveis!

INFORMAÇÕES

Tel.: (11) 3735-0202

e-mail: arlene@ibracon.org.br

site: www.ibracon.org.br



O 57º Congresso Brasileiro do Concreto é destinado à divulgação técnica do bom uso do concreto e enquadra-se no **Fundo de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, que permite às empresas patrocinadoras e expositoras deduzirem do Imposto de Renda o valor da contribuição.