



## ESTANQUEIDADE DE LAJES DE SUBPRESSÃO. CASO MIS-RJ

*Watertightness in anti-flotation slabs. MIS-RJ Case.*

Carlos Brites (1); Paulo Helene (2); Suely Bueno (3); Jéssika Pacheco (4)

(1) *Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. carlos.brites@concretophd.com.br*

(2) *Professor Titular da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. paulo.helene@concretophd.com.br*

(3) *Escritório Técnico Julio Kassoy e Mario Franco Eng. Civis Ltda. (JKMF). suelybueno@jkmf.com.br*

(4) *Jéssika Pacheco: PhD Engenharia. jessika.pacheco@concretophd.com.br*

### Resumo

Tem sido comum em cidades litorâneas, como a do Rio de Janeiro, observar a construção de subsolos em edificações localizadas nas proximidades de orlas marítimas. Na maioria dos casos, a solução de engenharia envolvida nesses projetos é o uso de lajes de subpressão com o objetivo de garantir, principalmente, os aspectos relacionados com o dimensionamento estrutural e hipóteses de cálculo. No entanto, há complexidades significativas quanto à execução desse tipo de solução, no que tange aos aspectos de estanqueidade e durabilidade do concreto armado. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre os desafios e as engenhosidades envolvidas para concretagem da laje de subpressão em concreto armado da nova sede do Museu de Imagem e do Som (MIS), com 1m de espessura e volume de 1200m<sup>3</sup>, situada a 50m da orla marítima, na região de Copacabana, Rio de Janeiro, RJ. Os resultados demonstraram que a composição do concreto, o plano de concretagem e os procedimentos executivos empregados foram decisivos para promover uma estrutura íntegra e com propriedades estanques, dispensando, nesse caso, alternativas tradicionais e convencionais de impermeabilização.

*Palavras-Chave: laje de subpressão, concreto estanque, estanqueidade estruturas de concreto, concreto em orla marítima.*

### Abstract

It is common in coastal cities as Rio de Janeiro, that buildings located close to the shoreline have their basements below water table level. In most cases, the engineering solution for these buildings is to design a massive anti-flotation slab to satisfy, principally, the issues related to structural dimensioning and calculation hypothesis. On the other hand, the execution of this solution imply in significant construction problems related to reinforced concrete watertightness and durability. This paper presents a case study about challenges and solutions devised to execute an anti-flotation, 1m thick, 1200m<sup>3</sup> reinforced concrete slab for the new Museu de Imagem e Som (MIS) – Sound and Image Museum, located at 50m from the seashore, at Copacabana in Rio de Janeiro, RJ. The results show that concrete proportions, concreting plan and pouring method adopted were decisive in obtaining a watertight structure, avoiding thus the employment of traditional waterproofing alternatives.

*Keywords: anti-flotation slab, watertight concrete, watertight concrete structures, concrete at seashore.*

## 1 Introdução

Com o intuito de tornar a nova sede do Museu de Imagem e do Som (MIS) um ícone arquitetônico de projeção mundial para a cidade do Rio de Janeiro, conhecida pela criatividade de suas manifestações artísticas e pela diversidade de ritmos musicais, a Secretaria de Estado e Cultura do Rio de Janeiro, em parceria com a Fundação Roberto Marinho (FRM), realizou recentemente um importante concurso internacional de arquitetura, visando a escolha de um projeto futurista. O escritório de arquitetura americano Diller Scofidio + Renfro foi vencedor dentre sete finalistas selecionados. O desenvolvimento do projeto no Brasil ficou a cargo do renomado escritório Índio da Costa Arquitetura, Urbanismo, Design e Transporte (ICA).

Implantado na Avenida Atlântica, em Copacabana, a 50m da orla marítima, a nova sede do MIS substituirá as instalações do museu aberto em 1965, que atualmente funciona em dois endereços simultaneamente, na Praça XV, região central da cidade, e na Lapa. A nova sede ainda abrigará o Museu Carmen Miranda, localizado atualmente no bairro do Flamengo (CORBIOLI, 2011).

Destaca-se que os arquitetos norte-americanos propuseram um museu na forma de bulevar vertical com sete pavimentos, percurso contínuo externo e volumetria que corresponde ao traçado de rampas e patamares sequencias. A edificação, quando concluída, possuirá uma área total de aproximadamente sete mil metros quadrados, divididos em vestibulos, com espaço para bilheteria; guarda-volumes e área para encontro de grupos; salas de exposição fixas e temporárias; auditório; espaço para atividades didáticas; salas para consulta e pesquisa; loja; cafeteria; restaurante panorâmico; bar/terraço; piano-bar; um mirante; áreas administrativas e salas especiais para o acervo; estacionamento e áreas de carga e descarga. A nova sede do MIS, atualmente sendo construída pela Construtora Rio Verde e gerenciada pela Engineering, pode ser observada nas ilustrações das Fig. 1.



Figura. 1- Ilustrações da futura da Sede do MIS, Copacabana, Rio de Janeiro, RJ, produzidas pela Diller Scofidio + Renfro na oportunidade do concurso internacional, cedidas gentilmente pela ICA.

A edificação provida de 02 subsolos e um mezanino técnico (pavimento abaixo do nível do mar), além dos pavimentos superiores, está atualmente sendo construída na orla de Copacabana, o que pela proximidade com o mar (50m), requereu procedimentos e



engenhosidades especiais para a concepção de uma laje de subpressão estanque com elevado volume (1200m<sup>3</sup>) e espessura (1m de altura).

Outros agravantes dessa concepção, além da garantia dos parâmetros técnicos relacionados com a estanqueidade e a alta resistência característica do material concreto (especificada em projeto como  $f_{ck}$  50MPa aos 28dias de idade), estão atrelados com fatores climáticos (muito calor, é comum as concretagens serem realizadas com temperaturas da ordem de 35°C) e logísticos (a central fornecedora de concreto é longínqua da obra, aproximadamente uma distância de 30km, num percurso na rota de turismo com tráfego intenso; em dias e horários comerciais, o padrão é que o caminhão tarde no mínimo 1hora no transporte do concreto).

Entre os meses de novembro de 2012 e janeiro de 2013 foi executada a laje de subpressão numa cota de aproximadamente 10m abaixo do nível do mar. O traço de concreto, bem como algumas engenhosidades empregadas na construção dessa laje, principalmente as que tangem os parâmetros de estanqueidade, serão abordados adiante. A maior parte dos procedimentos empregados consta nas premissas das normalizações nacionais vigentes (ABNT NBR 6118:2007; ABNT NBR 12655:2006; ABNT NBR 14931:2004) e em literaturas internacionais consagradas (KOSMATKA; WILSON, 2001; KENNEDY, 2005; LAMOND; PIELERT, 2006). No entanto, a maior parte do procedimento aplicado baseou-se nas diretrizes defendidas no artigo de referência publicado por Helene, Terzian e Sardinha (1980).

## 2 Conceito de estanqueidade

É importante esclarecer que o concreto, quando visto exclusivamente como um material, é capaz de prover condições suficientes de baixíssima permeabilidade, ou seja, ser considerado impermeável. Como material é capaz de promover uma barreira eficiente ao ingresso de água, e, portanto, ser um material utilizado abundantemente na concepção de grandes reservatórios de armazenamento de água, piscinas, barragens, estações de tratamento de água e esgoto, etc.

No entanto, a maior problemática do correto uso desse material potencialmente “impermeável” está relacionada com a dificuldade de se obter a estanqueidade da estrutura, que depende por um lado do material, mas por outro, e principalmente, dos procedimentos executivos. Neste aspecto, além de um material de qualidade pertinente, são necessários procedimentos executivos condizentes com boas práticas de execução para que não ocorram 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.

A estanqueidade de uma estrutura de concreto pode ser então entendida como a capacidade dessa estrutura de não permitir a percolação de líquidos, por nenhuma das paredes, juntas ou lajes que os confinam. Envolve principalmente os aspectos relacionados com a técnica de bem construir, requerendo cuidados especiais durante a execução.



Entende-se, portanto, que para o sucesso da construção de uma laje de subpressão estanque, pelo menos dois conceitos devem ser cuidadosa e profundamente considerados:

- O primeiro relativo ao material (concreto) que deve ser resistente, íntegro, de baixíssima permeabilidade e durável;
- O segundo relativo aos cuidados e procedimentos que constituem o conjunto de técnicas de bem construir, para que se possa obter uma estrutura final estanque;

A experiência tem comprovado, no entanto, que as maiores e mais frequentes falhas em estruturas hidráulicas estão relacionadas menos com o material e mais com as técnicas e procedimentos de execução (as boas práticas de construção).

### **3 Dados de projeto, insumos e procedimentos adotados no MIS**

#### **3.1 Histórico e dados básicos de projeto**

Inicialmente, a solução de projeto prevista pelo projetista, Escritório Técnico Julio Kasso e Mario Franco Eng. Civis Ltda. (JKMF), para a fundação do MIS, se caracterizava pela execução de paredes diafragma para as contenções laterais, estacas barretes com perfis implantados e a construção da estrutura no sentido do térreo para baixo até se atingir o nível da fundação, quando seriam executados os blocos, os pilares de concreto e a laje de subpressão com 30cm de espessura atirantada no solo. No entanto, foi verificado que este processo executivo seria bastante moroso.

Foi estudada então uma segunda alternativa com a execução de tirantes provisórios em três das laterais do terreno, onde não havia construções nas divisas. Dessa forma, poder-se-ia, em quase todo terreno, atingir o nível da fundação e executar a estrutura de baixo para cima com uma velocidade bem maior. As fundações dos pilares principais seriam executadas em sapatas, sendo assim, em uma das laterais (com construções vizinhas) foram executadas lajes de travamento provisório funcionando como vigas horizontais, o que permitiria a escavação à medida que estas lajes fossem atingindo a respectiva resistência de projeto.

Por ser um terreno muito próximo ao mar, inclusive com um projeto de fundação premiado (Prêmio Milton Vargas 2012), durante o processo de escavação houve vários problemas de entupimento das ponteiros do rebaixamento do lençol e de rupturas do solo com o conseqüente alagamento do terreno. Nestas condições, tornou-se cada vez mais inviável a execução das sapatas, pois o terreno não se mantinha estável quando era escavado para execução das fundações localizadas. O processo idealizado se tornara, portanto, penoso.

Partiu-se então para o estudo com uma fundação em radier, onde seria executada uma escavação completa do terreno em um só nível e seria executada uma laje com 1,0m de altura (espessura) com a função de laje de subpressão e também de fundação para os pilares. Foi verificado ainda que a altura de 1,0m não seria suficiente para todas as “sapatas embutidas”, que funcionariam dentro dessa laje de subpressão. Mesmo com a resistência de 50MPa do concreto, as tensões na sapata seriam muito elevadas para esta altura. Para solucionar este problema, a cota de apoio do radier foi rebaixada de forma



que, para os pilares com carga mais alta, fosse executada uma inversão na laje, aumentando a altura da sapata em até 47cm. A dimensão de alguns pilares também foi acrescida de forma a reduzir as tensões de punção na sapata. Essa foi a solução adotada, o maior desafio, portanto, seria uma execução que garantisse a integridade do concreto sem o surgimento de manifestações patológicas que comprometessem a distribuição das tensões e o funcionamento da estrutura.

Em síntese, a laje de subpressão do MIS foi concebida numa geometria trapezoidal, em planta, com medidas aproximadas de 51m de comprimento (paralelo com a Av. Atlântica), com lados de 25m e 20m, respectivamente. Os quatro lados estão engastados em paredes de reforço com espessura variável, em função das características da direção, da vizinhança e do terreno. A resistência característica à compressão do concreto especificada em projeto é de  $f_{ck}$  50MPa e o volume aproximado da laje é de 1200m<sup>3</sup> com espessura média de 1m de altura. A laje foi armada em forma de “gaiola” e nos terços intermediários foi incorporada uma armadura complementar em malha bidirecional com 1  $\varnothing$  12,5mm a cada 30cm. Sendo assim, há duas camadas de armaduras complementares equidistantes em 33cm ao longo da espessura. A taxa de aço global da laje de subpressão, excetuando-se as armaduras da sapata e as complementares (construtivas) é da ordem de 72kg/m<sup>3</sup>. Considerando-se as armaduras das sapatas e as complementares mencionadas, essa taxa global é da ordem de 105kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Traço de concreto e insumos empregados

O concreto para a laje de subpressão foi desenvolvido pela PhD Engenharia (Consultora de Tecnologia do Concreto da Fundação Roberto Marinho) a partir de extenso programa laboratorial, em conjunto com a empresa Votorantim Cimentos / Engemix S. A. (fornecedora do concreto), e protótipos foram testados em obra em elementos secundários, a fim de se aferir as condições do concreto no estado fresco e as posteriores resistências no estado endurecido. Nesse contexto, foram consideradas as prescrições da ABNT NBR 12655:2006 “Concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento – Procedimento” no que tange ao item 5.2.2.2 “Condições especiais de exposição”, bem como as especificações de projeto mínimas, a saber:

- $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$  (aos 28dias de idade), conforme especificado no projeto estrutural;
- relação água/cimento  $\leq 0,4$  (vinculado a classe de agressividade);
- teor de argamassa da ordem de 52 a 55% (vinculado a altura de lançamento e trabalhabilidade);
- slump de 16 a 25cm (concreto fluído: vinculado aos fenômenos de segregação e exsudação);
- adição de sílica ativa (no mínimo 5%) (concreto de alta resistência e prevenção de RAA);
- adição de aditivo impermeabilizante por cristalização integral, com propriedade de autocicatrização de fissuras (teor depende da concentração/fornecedor).

Observa-se que o aditivo impermeabilizante de cristalização integral, com propriedade de autocicatrização de fissuras, foi dosado conforme especificações técnicas do fabricante, inclusive com a recomendação da presença obrigatória de seu representante técnico, que

ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2013 – 55CBC



visitou a usina esporadicamente onde ocorreu a dosagem, para verificação dos procedimentos. No caso foi usado 1,0% em massa do consumo de cimento do produto XYPEX NF 500 (concentrado), fornecido pela empresa MC-Bauchemie Brasil.

É importante salientar, também, que o traço candidato foi desenvolvido tendo em vista os insumos disponíveis no Rio de Janeiro (que não são os mais apropriados para um concreto fluído, com alta resistência e, conseqüentemente, elevado módulo de elasticidade, conforme as especificações de projeto). O maior agravante no caso dos insumos foi o elevado valor do módulo de finura das areias [nas curvas granulométricas fornecidas pela empresa Engemix, usadas comumente em linha de produção na unidade do Caju, observava-se a ausência de finos nas duas areias (natural e artificial) o que conseqüentemente corresponde a um valor de módulo de finura mais elevado (entre 2,3 e 2,9, respectivamente)].

O traço de concreto, bem como a procedência dos insumos empregados na concretagem da laje de subpressão do MIS, podem ser observados na Tabela 1. Observa-se que não fora usada água de amassamento, além da contida nas areias (posteriormente descontada do quantitativo total de gelo). Toda a água livre de amassamento foi substituída por gelo em cubos com temperatura inicial especificada de -10°C (com uso de caminhão frigorífico com uso de motor de refrigeração tipo Thermo King). A especificação técnica para recebimento do concreto em obra foi da ordem de 20°C de temperatura. Na prática, essa temperatura oscilou em 25°C em dias muito quentes. Como as etapas possuíam volumes máximos da ordem de 150m<sup>3</sup> e a laje continha uma taxa de aço elevada e bem distribuída ao longo da espessura de 1m, a diferença de temperatura em dias quentes não acarretou em fissurações de origem térmica. O tempo médio para recebimento e descarga dos caminhões betoneira também foi rápido, em média de 12minutos.

Tabela 1. Traço da laje de subpressão, em materiais secos, com  $f_{ck}$  previsto de 50MPa aos 28 dias de idade para 1m<sup>3</sup> de concreto.

Traço do concreto	concebido para $f_{ck}=50MPa$
consumo de cimento por m <sup>3</sup> (CP III-40 RS – Votoran Moagem Santa Cruz)	448kg
adição de sílica ativa (Silmix)	30kg
relação água/cimento+adição (aglomerantes)	0,35
água (da umidade das areias, média ponderada fixada em 5%) + gelo total	168kg
areia média natural (Areal D. Lucia)	650kg
areia artificial, areia de brita tipo II (A 21 Mineração)	73kg
brita 0 (A 21 Mineração)	162kg
brita 1 (A 21 Mineração)	921kg
aditivo impermeabilizante por cristalização integral (XYPEX NF 500 concentrado, MC-Bauchemie)	4,5kg
aditivo plastificante polifuncional (MIRA RT 75, Grace)	4,0kg
aditivo superplastificante (Tecflow 9040, Rheoset/Grace)	2,9kg
100% de gelo em substituição à água livre de amassamento (materiais úmidos, umidade da areia de 5% em média ponderada)	130kg (gelo)



Observa-se que para não comprometer a produção do concreto nos eventos de concretagem, admitiu-se, com base em extenso histórico das umidades das areias da usina responsável pelo fornecimento do concreto, uma umidade fixada em 5% em média ponderada das duas areias (natural e artificial) e, portanto, a quantidade de gelo no traço foi constante para os caminhões betoneiras, sendo essa quantidade fixada em 130kg por metro cúbico, com a ressalva explícita na especificação técnica de um procedimento de correção para o caso de dias chuvosos ou detecção de cargas de areia com umidade muito elevada aferidas pelas equipes de controle da usina.

### 3.3 Recomendações para o procedimento executivo

Toda especificação técnica foi redigida com base no artigo de referência “*Considerações sobre estanqueidade de estruturas de concreto*” publicado por Helene, Terzian e Sardinha (1980). Além das orientações básicas nessa publicação sobre o tratamento da interface entre o concreto magro e o concreto estrutural, das proposições de garantia de cobrimento e do posicionamento das armaduras, outras engenhosidades foram essenciais para garantir a estanqueidade do elemento estrutural, sendo a principal relacionada com as juntas de concretagem e as outras com os procedimentos executivos. Além das recomendações gerais, a equipe da Construtora Rio Verde, responsável pela execução, recebeu também orientações técnicas específicas sobre os procedimentos executivos que deveriam ser empregados na laje de subpressão pela consultoria da PhD (Consultoria).

#### 3.3.1 Juntas de concretagem

Em virtude, principalmente, das restrições de horário para circulação de caminhões betoneira na orla de Copacabana, bem como da legislação nacional vigente relacionada com os ruídos causados pelas atividades em obra, não foi possível programar a concretagem em um evento único e contínuo, o que seria ideal (e possível) com o uso de aditivos e procedimentos especiais. Sendo assim, a concretagem foi dividida em 10 etapas distintas (por determinação do projetista).

Durante a execução de uma obra em concreto estanque e “impermeável”, é a junta fria ou de concretagem um dos pontos mais delicados e que merecem maior atenção. Planejar a execução de forma a minimizar não conformidades nesses pontos deve sempre ser a preocupação permanente de uma boa execução.

Na interface das juntas de concretagem previstas, ao longo de todo seu comprimento, foi recomendado o uso de tela de aço galvanizada como fôrma incorporada, a qual foi estruturada na própria armadura construtiva situada na mesma, associado ao uso de fita hidro-expansiva. Foi previsto em projeto uma armadura construtiva tipo grampo em “C” a cada 25cm com o intuito de servir como anteparo de amarração da tela, ao longo do contorno de todas as juntas (em um dos lados). Desta forma foi obtida uma junta vertical de modo a permitir que o concreto fosse adequadamente adensado nessa laje, em toda sua extensão e principalmente no limítrofe das juntas de concretagem, que são os locais mais críticos. O detalhe típico do uso da tela de aço galvanizado como fôrma incorporada e da fita hidro-expansiva, da laje em questão, pode ser observado na perspectiva da figura 2.

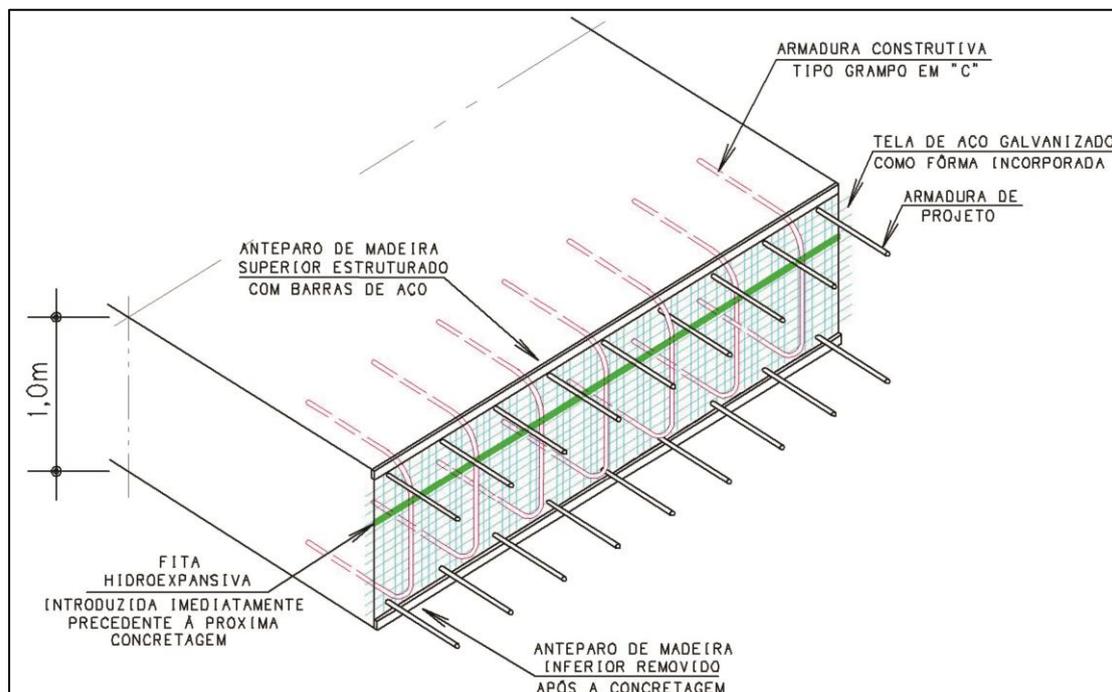


Figura. 2- Detalhe típico na região da junta de concretagem com uso de tela de aço galvanizado como fôrma incorporada e uso de fita hidro-expansiva.

Nota-se que o ideal seria a colocação da fita hidro-expansiva na região mais próxima da base da tela de aço galvanizada, no entanto, por questões pertinentes a dificuldade de acesso quando a próxima etapa de concretagem já estivesse armada, a fita foi colocada numa região mais superior (aproximadamente 30cm abaixo da superfície acabada da laje), conforme ilustrado na figura 2. Esse mesmo procedimento (fitas) foi implementado nos encontros com a parede de reforço sobre as paredes diafragma. A figura. 3 exemplifica a situação real em obra antes, durante e depois da concretagem de uma etapa genérica.



(a) Detalhe de uma das etapas precedentemente a concretagem: ajuste da tela de aço galvanizada na junta prevista



(b) Detalhe da junta de concretagem com uso de tela de aço galvanizada e da armadura de anteparo pela parte externa



(c) Detalhe do funcionamento da tela de aço galvanizado durante a concretagem: pouca fuga de nata



(d) Detalhe da junta de concretagem ainda sem a fita hidro-expansiva: superfície vertical e rugosa, a laje ainda não foi totalmente armada



(e) Detalhe da fita hidro-expansiva flexível já instalada para o procedimento de concretagem: a etapa a ser concretada já está totalmente armada



(f) Detalhe do acabamento promovido pelo anteparo superior, a tela remanescente abaixo ainda será cortada

Figura. 3- Detalhes típicos envolvidos nas juntas de concretagem da laje de subpressão no contorno das 10 etapas.

Destaca-se que a fita hidro-expansiva somente foi colocada alguns instantes antes da concretagem da etapa conjugada à etapa já concretada, ou seja, como as mesmas não foram concretadas em sua maioria em sequência, esse intervalo foi de pelo menos 7 dias. Na base da tela de aço galvanizada também foi colocado um anteparo de madeira a fim de se evitar a fuga de nata pelo fundo. Evidentemente, foi normal a fuga controlada de nata (bem pouca) na face da tela de aço, pois o concreto empregado foi do tipo fluído, mas nada que comprometesse o objetivo de uma superfície rugosa com a tela incorporada. A condicionante ideal para a concretagem da camada posterior conjugada seria uma superfície na condição “saturada superfície seca” e bem rugosa. Para tal, o substrato da junta (face vertical) foi saturado precedentemente a concretagem da etapa conjugada. Como a fita hidro-expansiva empregada possui ação inicial controlada (lenta)



não houve problemas quanto a esse procedimento (o qual prejudicasse a fita que é ativada em contato com a água).

Na região da junta de concretagem, foi utilizada uma tela de aço galvanizada hexagonal, padrão Viveiro, fio 24, abertura de ½" polegada, com três torções e duas camadas deslocadas para diminuir a abertura da malha, fornecida pela Fábrica de Telas São Jorge. No caso da fita, foi empregada uma fita hidro-expansiva com maior flexibilidade (acompanhando o contorno do substrato de concreto) não necessitando prover um sulco para colocação da mesma, tipo PENEBAR SW 55 (veda-junta de expansão controlada) fabricada pela PENETRON Brasil, instalada conforme especificações do fabricante. O fornecedor do produto também acompanhou esse procedimento in loco, visto que a fita não poderia encostar-se às armaduras e a instalação requeria cuidados especiais.

### 3.3.2 Procedimentos de concretagem

#### 3.3.2.1 Plano de concretagem

O plano de concretagem da laje “subpressão” esteve de acordo com as especificações do projeto executivo, o qual já indicava a divisão de 10 etapas distintas e os respectivos contornos das juntas de concretagem. Quanto a esse aspecto, se observa que o mapeamento previsto, por questões de prazo e características do projeto de armação, não obedecia ao procedimento de faixas de retração (ideal), ou seja, não permitia que todas as faces do elemento concreto (correspondente a cada etapa) permanecessem “livres” para deformações e dilatações, inclusive nas regiões do encontro com as paredes de reforço construídas sobre as paredes diafragmas.

Sendo assim, planejou-se que não fossem concretadas etapas conjugadas, ou seja, dever-se-ia preferencialmente pular a etapa subsequente de modo que o máximo possível de bordas permanecesse livre. Além disso, em todos os casos, que fosse respeitado um tempo mínimo de intervalo de concretagem de pelo menos 1 (uma) semana entre camadas conjugadas, o que não impedia a concretagem de duas camadas simultâneas (desde que não conjugadas), para que as temperaturas de reação exotérmica procedentes do calor de hidratação do cimento estivessem em decréscimo e, conseqüentemente, as deformações atreladas a esse fenômeno fossem minimizadas. Essas medidas, portanto, não comprometeram o cronograma da obra, permitindo uma produção efetiva de aproximadamente 20m<sup>3</sup>/h, ou seja, os 1200m<sup>3</sup> de concreto foram lançados em aproximadamente 60 horas divididos em 10 eventos de concretagem distintos. Esse plano de concretagem com camadas não conjugadas (em faixas intercaladas) pode ser bem observado na figura 4.

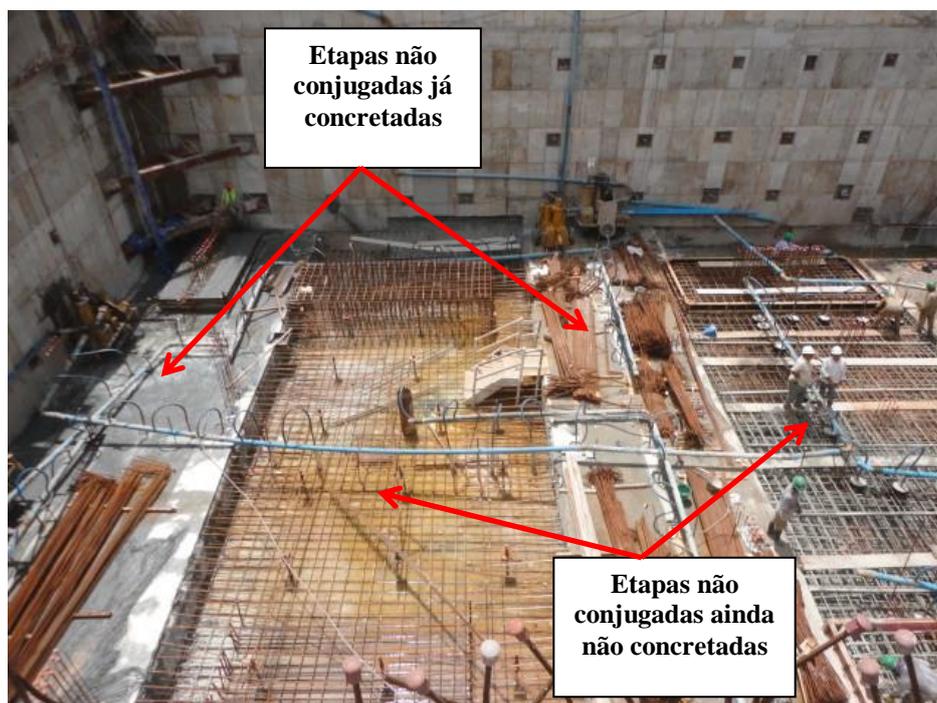


Figura 4 - Etapas de concretagem não conjugadas (faixas intercaladas).

#### Procedimentos de concretagem e controle tecnológico

Orientou-se que a primeira camada fosse lançada no fundo com cuidado para assegurar que houvesse a penetração do concreto através da malha de aço inferior. Recomendou-se, neste caso, o uso de adensamento por vibração com agulhas com menor diâmetro (de 2"), com cuidados especiais (não encostando, por exemplo, a agulha do vibrador nas armaduras, principalmente nas bordas onde havia maior concentração de aço). Uma vez lançada a primeira camada que superou a altura da armadura de fundo, ou seja, cobriu as armaduras de fundo, as demais camadas e operações de vibração foram realizadas desde a subcamada já anteriormente vibrada (limitação também definida através do comprimento da agulha do vibrador).

Basicamente, o concreto foi lançado em três subcamadas horizontais de aproximadamente 0,33m (33cm) de altura e em toda a extensão, sem preocupações com juntas frias para que a espessura da camada fosse uniforme. O concreto foi lançado continuamente na direção preferencial da tela de aço galvanizada para o sentido oposto, prevendo que o endurecimento do concreto ocorresse mais rápido na região da tela, evitando assim um empuxo elevado nesses pontos mais frágeis, retornando ao ponto inicial de partida (sem concretar) para lançar a próxima subcamada; e assim por diante. Em casos excepcionais de paralisação imprevista devido ao fluxo de caminhões da central fornecedora de concreto ou por trânsito intenso no trajeto usina-obra, recomendou-se re-adensar (re-vibrar) o concreto precedentemente à retomada da concretagem (procedimento popularmente conhecido como "costura"), sendo que essa interrupção não poderia ser superior à 1h.

Durante todas as etapas de concretagens foram previstos pelo menos 02 vibradoristas durante os eventos de concretagem, com pelo menos 03 vibradores extras, pois poderia



ocorrer da quebra de algum durante os serviços, o que impactaria na qualidade do concreto aplicado. Recomendou-se também o uso de vibradores com agulhas de diâmetro de 2 e 3”, sendo as com menor diâmetro mais apropriadas para as regiões com maior taxa de aço concentrada (fundo e bordas).

Todo o concreto foi rigorosamente adensado e curado. Os procedimentos detalhados de adensamento podem ser consultados em literaturas consagradas (KOSMATKA; WILSON, 2001; KENNEDY, 2005; LAMOND; PIELERT, 2006) e também na ABNT NBR 14931:2004 “Execução de Estruturas de Concreto. Procedimento”. Alguns pontos relevantes que merecem destaque empregados na concretagem dessa laje de subpressão da obra do MIS, foram:

- ✓ o concreto foi adensado (vibrado) sempre na direção vertical (nunca na direção inclinada ou horizontal);
- ✓ o concreto foi adensado (vibrado) no maior número de pontos possível do elemento em cada etapa isolada de concretagem;
- ✓ houve cuidado extra com o excesso ou falta de adensamento;
- ✓ introduziu-se rápido e retirou-se lentamente a agulha do vibrador (evitando assim eventuais bolsões de ar);
- ✓ empregou-se o comprimento da agulha sempre maior que a “subcamada” a ser concretada;
- ✓ houve cuidados extras para não vibrar as armaduras;
- ✓ foi respeitado um raio mínimo vinculado a profundidade da agulha do vibrador, na definição dos pontos de adensamento (o quanto a agulha ingressou em profundidade foi o quanto se afastou do ponto adjacente adensado).

Sobre a cura, pode-se afirmar que essa foi uma das etapas mais importantes do processo de concretagem. Caso a mesma não fosse eficiente e correta seria capaz de tornar o concreto inadequado, mesmo que todas as etapas anteriores do procedimento tivessem sido bem executadas. No caso da laje “subpressão”, foi adotada uma lavadora de alta pressão tipo WAP, com o bico regulado para espalhar a água, tipo nebulizadores, de modo a “varrer” a parte já concretada e também umedecer a faixa em concretagem. Ressalta-se que não há prejuízo de névoa durante a concretagem.

Após o relativo endurecimento do concreto (ao tato), cobriu-se o local com manta encharcada de água, mantida pressionada sobre a área da superfície da etapa de laje concretada, aspergindo-a com água potável a cada 2h, no máximo. Essa manta foi saturada sempre no fim do expediente para assegurar que durante a noite a manta permanecesse úmida e novamente, logo cedo, no início do expediente. Esse procedimento cuidadoso de cura foi mantido por pelo menos 7 dias (até a data provável da próxima etapa concretagem). O procedimento de cura (manta sendo encharcada) pode ser observado na Fig. 5. A manta de cura empregada foi base 100% poliéster com um filme de polietileno aderido e perfurado fabricada pela BIDIM da linha Bidim CC-10.

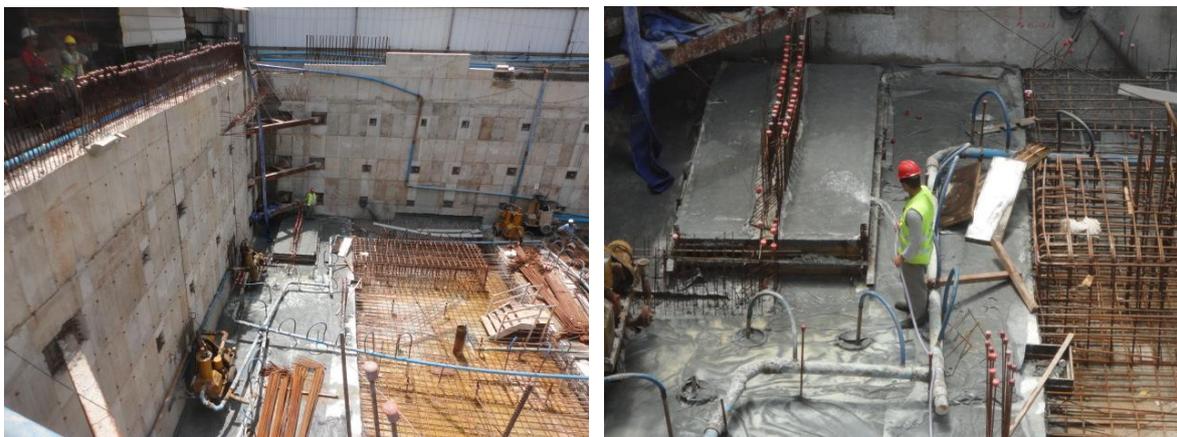


Figura 5- Detalhe de etapa concretada, junto à parede de reforço, com manta de cura disposta na superfície e do procedimento de cura (manta sendo encharcada).

## 4 Resultados

### 4.1 Estanqueidade aparente

Respeitada as premissas dos procedimentos executivos descritos no item precedente, equipes da própria Construtora (Rio Verde), da Gerenciadora (Engineering) e da Consultoria (PhD Engenharia) foram responsáveis por verificar, através de inspeção visual, eventuais fissurações originadas por retração ou por origem térmica em cada etapa concretada. Nesse contexto, destaca-se que durante e após a conclusão das 10 etapas não foram detectadas quaisquer fissurações, de qualquer natureza, por onde houvesse percolação de água. A laje de subpressão já finalizada pode ser observada na figura 6 com as fôrmas dos pilares do 2º subsolo já lançadas.



Figura 6 – Laje de subpressão finalizada e início da montagem das fôrmas dos pilares do 2º subsolo (alguns já concretados).

## 4.2 Controle tecnológico do concreto

Foi realizado também um extenso controle tecnológico do concreto aplicado na laje [amostragem total (100%)] conforme mencionado anteriormente. Do montante total foi identificado que somente 1 (um) caminhão betoneira apresentou resistência à compressão abaixo do especificado em projeto com valor de 43,2MPa. Esse valor foi apresentado ao projetista que proveu com a aprovação do mesmo, mediante verificação de cálculo, dispensando, em princípio, quaisquer procedimentos adicionais de reforço estrutural, por exemplo.

O gráfico da figura 7 apresenta os resultados de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade. Nota-se que houve uma excessiva dispersão o que possivelmente está associada a falhas no procedimento de moldagem ou no ensaio de ruptura, propriamente dito, ou seja, mais vinculadas aos procedimentos do controle tecnológico. Posteriormente, numa análise estatística mais refinada foram descartados os resultados anômalos.

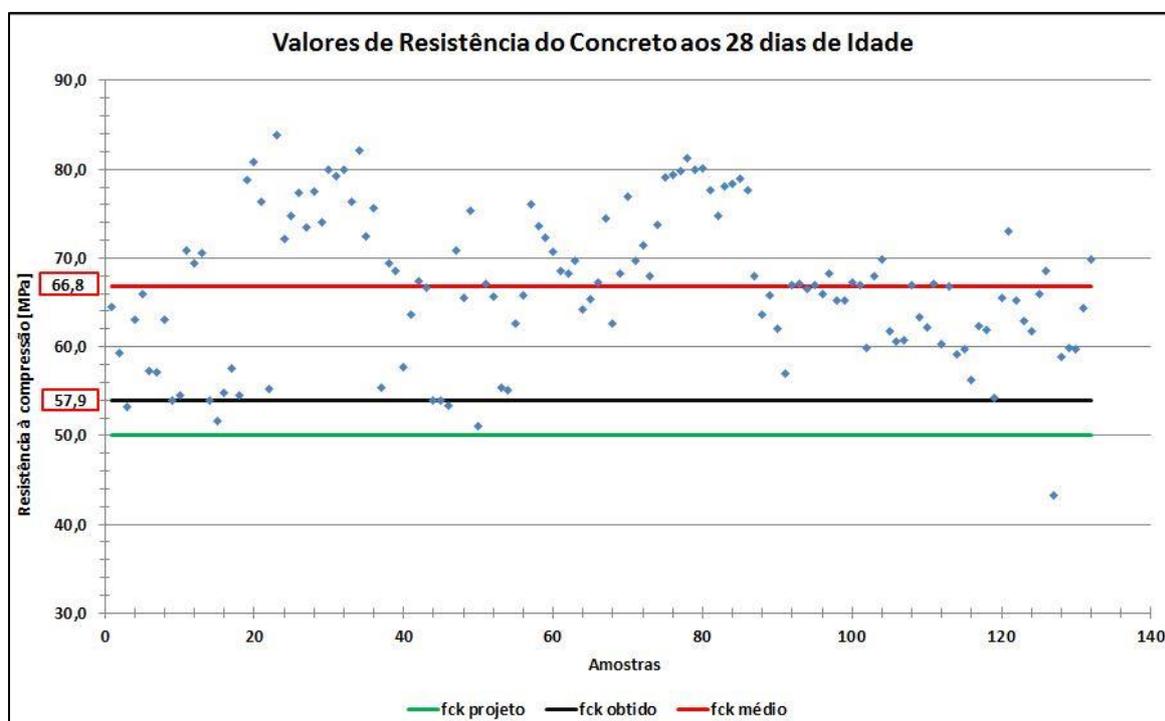


Figura 7 – Resultados de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade.

## 5 Considerações Finais

1. Considera-se que o conjunto formado por um projeto adequado, o estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, bem como os procedimentos rigorosos e as engenhosidades apresentadas e empregadas na concretagem da laje de subpressão do MIS, foram determinantes para a concepção de um elemento estrutural íntegro e estanque em condições adversas de terreno, clima e logística. Entende-se ainda que o conteúdo apresentado nesse artigo pode ser



considerado como uma boa alternativa em obras similares, sendo uma opção mais rápida e menos onerosa, dispensando, em casos específicos, o uso de propostas tradicionais de impermeabilização.

2. Considera-se também que este artigo possibilitou alertar o quanto o uso adequado de procedimentos simples (e bem menos onerosos), descritos em normalizações nacionais vigentes e em literaturas consagradas, associados com boas práticas de engenharia e técnicas de bem construir, são favoráveis para um resultado final satisfatório. Muitos dos procedimentos descritos no conteúdo deste artigo estão em concordância com as prescrições da normalização nacional vigente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Roberto Marinho pela permissão da publicação desse artigo, ao escritório de arquitetura Indio da Costa, a Construtora Rio Verde e a Gerenciadora Engineering pela troca valiosa de informações, em especial ao Eng. Bruno Lery Santos (Rio Verde) pelo apoio e colaboração no repasse de informações.

## 6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento: Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: execução de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53p.

CORBIOLI, N. Museu da Imagem e do Som, Rio de Janeiro. São Paulo, PROJETODESIG, ed. 372, Fevereiro de 2011. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/diller-scofidio-renfro-museu-rio-16-03-2011.html>>. Acesso em 21/06/2012 às 17:52h.

HELENE, P. 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. 176-97.

KENNEDY, Lindsay K., ed. The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction. 3ª ed. American Society of Concrete Contractors - ASCC, 2005.

KOSMATKA, Steven H; WILSON, Michelle L. Design and control of concrete mixtures. 15ª edição. Illinois: Portland Cement Association, 2011.



Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2013  
Outubro / 2013



@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

LAMOND, Joseph F., PIELERT, James H., eds. Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials. Pensilvânia: American Society for Testing & Materials - ASTM, 2006.