



15º Simpósio Brasileiro
de Impermeabilização 2018



Instituto de
Impermeabilização

ANAIS DO 15º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

4 e 5 de junho de 2018 - São Paulo / SP

ESTUDO DE CASO: METODOLOGIA EXECUTIVA DE UMA LAJE DE SUBPRESSÃO NO SETOR NOROESTE, BRASÍLIA – DF

FRACON, Felipe Santini Teixeira

Engenheiro Civil
UniCEUB
Brasília/DF
felipefstf@gmail.com

FRACON, Celestino JR

Engenheiro Civil
Habitar
Brasília/DF
cfracon@uol.com.br

SILVA, Eugenia Cornils Monteiro

Engenheira de Produção
UniCEUB
Brasília/DF
eugeniicornils@yahoo.com.br

RESUMO

Quando o nível do lençol freático no terreno é maior que o último nível do subsolo previsto em projeto, a estrutura estará sujeita à pressão hidrostática negativa. Neste caso, a laje em contato direto com o solo sofre empuxo da água, sendo esta denominada laje de subpressão. Diversos benefícios são observados na utilização de laje de subpressão, tais como o descarte da utilização de sistemas permanentes de drenagem, diminuindo o uso de energia elétrica e reduzindo impactos ambientais. Além de menor influência sobre a água subterrânea, gerando menos consequências negativas na disponibilidade desse recurso. O presente trabalho visa descrever, detalhar e analisar a metodologia executiva de uma laje de subpressão de uma edificação localizada em Brasília/DF. O estudo de caso abordado explicita os métodos executivos para a construção de uma laje de subpressão, com dimensões de 19,50 por 42 metros e espessura de 30 cm, em concreto armado, em um edifício residencial misto, localizado no Setor Noroeste. Pode ser identificado que o conjunto formado pelo cumprimento das especificações de projeto, o estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, assim como uma metodologia construtiva bem definida, são imprescindíveis para garantir um elemento estrutural íntegro e estanque.

PALAVRAS-CHAVE

Laje de subpressão; Estanqueidade; Estruturas de concreto.

ABSTRACT

When the level of the water table is higher than the deeper basement predicted in project, the structure shall be subjected to negative hydrostatic pressure. The slab in direct contact with the soil, which suffers more effects from the lifting force of groundwater is called anti-flotation slab. Several benefits are observed in its use, such as the disposal of permanent drainage system, reducing the use of electric energy and minimizing environmental impacts. In addition, it has less influence on groundwater, causing fewer negative consequences in the availability of this resource. This paper aims to describe, detail and analyze the construction methodology of an anti-flotation slab in a building located in Brasília/DF – Brazil. A case study is presented, explaining the executive methods for the construction of an anti-flotation slab, dimensions of 19,50 meters wide, 42 meters long and 30 centimeters high, in reinforced concrete, located in a mixed residential building in the Northwest Sector. It is observed that the set composed by the compliance of the project specifications, the study and development of a suitable concrete recipe, as well as a defined constructive methodology, are essential to guarantee a watertight structural element.

KEY WORDS

Anti-flotation slab; Watertight concrete; Concrete structure.

1. INTRODUÇÃO

A estanqueidade de uma estrutura de concreto pode ser 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 (BRITTEZ, 2014).

Segundo o mesmo autor, para o sucesso da construção de elementos estanques, pelo menos dois conceitos devem ser cuidadosa e profundamente considerados: o primeiro relativo ao material que deve ser homogêneo e apresentar a resistência requerida, assim como durabilidade adequada frente a um determinado ambiente; 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 (BRITTEZ, 2014).

Duas são as maneiras de garantir a estanqueidade do pavimento enterrado. O sistema de drenagem permanente, no qual bombas são responsáveis por coletar e descartar a água na rede pluvial, e a segunda, o preparo de um concreto estanque a água, consistindo esta, no uso de aditivo cristalizando integral no concreto, assegurando a estanqueidade da cortina e laje de subpressão (CORTOPASSI; OURIVES, 2017).

Os sistemas de drenagem permanente, utilizam-se de bombas para coletar e descartar a água na rede pluvial. Desta maneira a estrutura não precisa suportar a pressão de empuxo, possibilitando paredes do subsolo mais finas. No entanto, o maquinário gera um elevado gasto energético para manter o funcionamento contínuo, causando um grande impacto ambiental negativo. Existe a necessidade de investimentos nos geradores e nas bombas à combustão que permitem o funcionamento do sistema mesmo em caso de falta de energia (CORTOPASSI; OURIVES, 2017).

Por sua difícil manutenção, a vida útil acaba não sendo como esperada. Segundo Cortopassi e Ourives (2017), existem casos de edificações que precisaram revitalizar o sistema após três anos de funcionamento, devido à colmatação dos equipamentos. Essa manutenção costuma ser onerosa e traumática, necessitando de demolição de piso e movimentação de terra.

Quando o nível do lençol freático no terreno é maior que o último nível do subsolo previsto em projeto, a estrutura estará sujeita à pressão hidrostática negativa, desde que não exista a instalação de procedimentos permanentes de drenagem ou rebaixamento do lençol freático. A laje em contato direto com o solo sofre mais empuxo da água, sendo esta denominada laje de subpressão (VARELA, 2014).

Para se garantir a estanqueidade da laje de subpressão e da cortina, é necessário a preparação de um concreto com uso de aditivo cristalizante integral, além da indispensabilidade de um projeto detalhado com o intuito de evitar fissuras e deformações geradas pelo empuxo da água (CORTOPASSI; OURIVES, 2017).

A adição de materiais autocicatrizantes no concreto pode gerar grandes benefícios. Ele evita fissuras que acabam por comprometer a durabilidade do concreto, representando uma economia de custo pela menor necessidade de reparos (TAKAGI, 2013).

De acordo com Moreira *et al.*, (2016), o uso de aditivo redutor de permeabilidade

introduz propriedades autocicatrizantes na microestrutura do concreto. Os aditivos químicos que buscam diminuir a permeabilidade, são classificados em: Aditivos redutores de permeabilidade não expostos a pressão hidrostática (ARPNH) e os Aditivos de permeabilidade expostos à pressão hidrostática (ARPH).

Ainda segundo Moreira e colaboradores (2016), classificados como impermeabilizantes hidrófilos, os ARPH's são materiais cimentícios sintéticos que diminuem a permeabilidade com base no aumento da resistência à penetração de água sob pressão no concreto, elevando assim, a durabilidade da estrutura. No concreto, na presença de água e partículas de cimentos, estes aditivos cristalinos geram hidratos de silicato de cálcio que acabam por bloquear os poros nas microfissuras existentes.

Em busca da maior durabilidade de estruturas, concretos autocicatrizantes vem sendo utilizados em diversos empreendimentos. A realização dos procedimentos executivos de acordo com as especificações de projeto, a definição dos parâmetros do concreto e a escolha do produto a ser utilizado para garantir a estanqueidade da laje, são de suma importância para se chegar nos resultados esperados.

2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

2.1. Dados de projeto

Considerado o primeiro bairro ecológico planejado do Brasil, o Setor Noroeste de Brasília – Distrito Federal é formado por 20 quadras, 11 lotes, 220 prédios residenciais, 140 edifícios comerciais e áreas exclusivas para ciclovia. Toda a região foi planejada por soluções sustentáveis, sendo o último setor habitacional a ser construído na cidade, declarada patrimônio cultural da humanidade. A TERRACAP – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal, desenvolveu o Manual Verde, no qual descreve os procedimentos sustentáveis à serem seguidos pelas construtoras nas obras realizadas no Setor Noroeste (MOREIRA *et al.*, 2016).

O empreendimento, localizado neste Setor, é uma construção vertical composta por nove pavimentos: 3 Subsolos, utilizados como estacionamento; 1 Pilotis, sendo este acesso e lojas; 1 Mezanino para utilização das lojas; 3 Pavimentos residenciais de apartamentos e 1 Cobertura; além de caixa d'água inferior. O período de construção do empreendimento ocorreu entre agosto de 2014 e fevereiro de 2017.

A Construtora responsável pelo empreendimento, encarou um grande desafio perante o projeto de execução, a construção de uma laje de subpressão. A necessidade da mesma, surgiu pela presença de água no subsolo que poderia alcançar até 2,5 metros do último nível do subsolo. Foi desenvolvido uma metodologia executiva específica para assegurar a estanqueidade da laje, seguindo os padrões ecológicos do bairro.

Dados da laje de subpressão estanque:

- Laje em concreto armado; [SEP]
- Área de 2.500m² e 30 cm de espessura; [SEP]
- Volume total de 750m³ de concreto na laje de subpressão e cortinas; [SEP]
- 72.208Kg de armadura de aço; [SEP]
- 3.000Kg de aditivo redutor de permeabilidade à pressão hidrostática [SEP] (ARPH) junto à mistura do concreto.

2.2. Planejamento e pré execução

2.2.1. Definição do tipo de fundação

A partir de metodologia específica definiu-se uma altura de lâmina d'água máxima da ordem de 2,5m da cota do subsolo, portanto a solicitação de subpressão utilizada na verificação foi de 2.500Kg/m².

Como foi identificada a presença de água no terreno, vários tipos de fundações foram automaticamente eliminadas. Dentre as soluções que podem ser realizadas em terrenos com água, optou-se pela fundação em Hélice Contínua Monitorada.

Esta decisão deu-se pela facilidade executiva da mesma, destacando a alta produtividade promovida pela versatilidade de equipamento, que por sua vez compensa os elevados custos de execução devido à redução dos cronogramas de obra, além de possibilitar um excelente controle de qualidade dos serviços executados através do monitoramento computadorizado realizado em todas as estacas concretadas.

2.2.2. Definição da solução de execução da laje de subpressão

Com a definição do nível do lençol freático acima do último subsolo do empreendimento, a Construtora se deparou com duas soluções para garantir a estanqueidade da estrutura. O sistema de drenagem permanente com laje tradicional, ou, a laje de subpressão com o uso de aditivo cristalizante integral no concreto.

Dentre os sistemas possíveis, decidiu-se pela solução de execução da laje de subpressão. O mesmo se deu pelo fato de se tratar de um método mais sustentável, além de sua fácil manutenção e não oferecer riscos estruturais futuros para o condomínio, apesar do custo de execução ser bem mais elevado.

Com base em estudo prévio à respeito do sistema de drenagem permanente, e o estudo de caso da metodologia executiva de laje de subpressão, foi possível definir um quadro comparativo entre os dois modelos, descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Quadro comparativo entre o sistema de drenagem permanente e laje de subpressão

Critério	Sistema de drenagem permanente	Laje de subpressão
Custo	Maquinário gera um elevado gasto energético, sendo necessário investimento nos geradores e nas bombas à combustão que mantêm o seu funcionamento mesmo em caso de queda de energia.	Devido aos esforços suportados pela laje de subpressão é necessário uma estrutura mais robusta, resultando em um custo maior de implantação com maiores volumes de concreto e aço. Além da utilização de aditivo cristalizante para a obtenção de um concreto estanque.
Vida útil	A colmatação das valas de drenagem, bem como o desgaste natural dos equipamentos de bombeamento que funcionam de forma ininterrupta (24h por dia) podem trazer grandes transtornos futuros para o condomínio.	Em caso de eventual aparecimento de fissuras, que permitam percolação de água, o aditivo reagirá com a mesma, movendo os cristais dissipados no concreto para a região da fissura, promovendo sua "auto cicatrização" e fazendo com que seja selada. Tal fato garante uma maior durabilidade da construção.
Impactos Ambientais	Elevado gasto energético e grande impacto sobre o volume da água subterrânea presente na região, uma vez que se bombeia água do subsolo de forma ininterrupta, descartando a mesma nas galerias de águas pluviais.	Redução de impactos ambientais uma vez que evita a instalação de sistemas permanentes de drenagem, o que diminui o uso de energia elétrica, além de não acarretar impacto sobre o volume da água subterrânea.

Fonte: O autor, 2017.

2.2.3. Contratação de tecnologista de concreto

Para obtenção do concreto com a resistência, durabilidade e com grande controle de retração para garantir a estanqueidade requerida na determinada função, percebeu-se a necessidade de contratação de tecnologista para definir o traço do concreto, juntamente com as especificações técnicas do projetista, no qual determinou-se a proporção entre os materiais e as propriedades do concreto a ser utilizado na execução da laje, atendendo as exigências específicas. O concreto teve sua produção em acordo com as prescrições da ABNT NBR 12655:2015 e da ABNT NBR 7212:2012.

De acordo com as recomendações do tecnologista e o projeto estrutural, o concreto utilizado na laje de subpressão apresentava as seguintes especificações técnicas observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações Técnicas do Concreto (MOREIRA *et al.*, 2016)

Especificações Técnicas do Concreto
• $F_{ck} \geq 35\text{Mpa}$ (aos 28 dias de idade);
• Relação água/cimento $\leq 0,60$: de acordo com a classe de agressividade;
• Teor de argamassa de ordem de 53 a 55%: para garantir um concreto coeso e com maior trabalhabilidade;
• Slump de $18 \pm 2\text{cm}$: para melhor segurança na descarga e lançamento por bombeamento do concreto (fluido), em função da fibra de polipropileno aplicada;
• Consumo mínimo de cimento = 350 Kg/m^3 ;
• Diâmetro característico do agregado brita 1 com $D < 19\text{ mm}$;
• Módulo de elasticidade mínimo na idade da desforma – $E > 21\text{ Gpa}$;
• Adição de ARPH: para o processo de autocicatrização de fissuras;
• Temperatura do concreto fresco $\leq 30^\circ\text{C}$: para prevenção de fissuras de origem térmica;
• Uso de fibras de polipropileno;
• Evitar taxa de evaporação superior à $0,5\text{ kg/m}^2$ de superfície exposta, por hora.

O traço do concreto, assim como as especificações dos materiais empregados na concretagem da laje de subpressão, podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3 - Composição do concreto utilizado na laje de subpressão (MOREIRA *et al.*, 2016)

Materiais	Consumo/m ³
CP III-40 RS – Cauê (Intercement) consumo de cimento por m ³	380 kg
Areia Quartzo (Areia de Cava Quartzosa - Sobradinho-DF MF = 1,07)	384 kg
Areia Britada ((Mineração Calcário - Sobradinho-DF MF = 2,95)	415 kg
Brita 0 (Mineração Calcário - Sobradinho-DF)	205 kg
Brita 1 (Mineração Calcário - Sobradinho-DF)	818 kg
Água de amassamento	170 kg
Aditivo plastificante polifuncional	1,9l kg
Aditivo superplastificante	1,5l kg
Aditivo redutor de permeabilidade hidrostática	3,04 kg
Fibra de Polipropileno	0,45 kg
Ar aprisionado considerado na mistura	2,0%

A adição do aditivo redutor de permeabilidade hidrostática (produto cristalizante) foi realizada na usina, diretamente no caminhão betoneira, conforme as especificações do fabricante, por técnico habilitado da fornecedora do produto. Utilizou-se 0,8% do ARPH em relação à massa de cimento.

Em função do *Slump* do concreto definido em projeto ser muito alto (18 ± 2), foi necessário a adição de aditivo superplastificante, aumentando assim, a plasticidade do concreto.

Buscando evitar problemas relacionados à retração por secagem e temperatura, foi incorporado à mistura fibra de polipropileno. O mesmo evita que aconteça o fenômeno da retração e protege o concreto dos desgastes por variação de temperatura.

2.3. Execução

2.3.1. Execução da fundação

Em função das características do solo do terreno, do nível da água e da profundidade necessária das estacas de aproximadamente 15,60 m abaixo do nível do último subsolo, foi necessária a utilização de perfuratriz de alto torque. Este equipamento possui maior porte e robustez comparado aos dispositivos convencionais de hélice contínua, como mostra a Figura 1. Trata-se de equipamento com monitoramento computadorizado, que confecciona um relatório detalhado dos parâmetros da concretagem de cada uma das estacas, garantindo assim um maior controle de qualidade. Todos os relatórios foram enviados para o projetista de fundação, que analisava e liberava individualmente cada estaca.

Como o equipamento possui mais torque, ele foi capaz de realizar estacas mais profundas, possibilitando assim, uma diminuição de 30% do número de pontos de fundação. Cabe ressaltar que o custo operacional deste equipamento é bem mais elevado que os equipamentos convencionais, não havendo economia no custo global da fundação. Porém a fundação foi executada em um menor espaço de tempo, gerando um ganho de produtividade do empreendimento.

Como as estacas da obra trabalhavam a tração em função da subpressão, houve a necessidade de que elas fossem 100% armadas, trazendo um grande desafio técnico executivo de como cravar uma ferragem de 15 metros após a concretagem da estaca. A solução técnica encontrada foi incorporar ao concreto um aditivo modificante de viscosidade, que permitiu a execução da fundação, uma vez que sem o aditivo a instalação da armadura seria inviável.



Figura 1 – Execução da fundação com solução em hélice contínua.

2.3.2. Rebaixamento do lençol freático

O lençol freático aflorava no terreno após a escavação, sendo necessário o rebaixamento provisório do mesmo. O procedimento adotado foi a confecção de valetas drenantes, preenchidas com britas interligadas a poços de drenagem com bombeamento ininterrupto (24 horas por dia), como apresentado na Figura 2. Este processo rebaixou o nível da água, permitindo a execução da fundação, blocos e cintas, laje de subpressão e cortinas do terceiro subsolo.

O bombeamento somente foi desligado, permitindo que o lençol freático voltasse ao nível natural, após a concretagem da laje e piso do segundo subsolo, em função da necessidade de se ter peso próprio para suportar parte das cargas ascendentes da subpressão.



Figura 2 – Rebaixamento do lençol freático

2.3.3. Execução de blocos

Os blocos da fundação são caracterizados por distribuir a carga para o terreno de forma pontual, sendo responsáveis pela distribuição da carga do pilar para o solo. Desta maneira, após o rebaixamento do lençol freático, realizou-se a execução dos blocos (Figura 3 (a)) de acordo com o projeto de fundações e da laje de subpressão.

Em função das cargas ascendentes a serem suportadas pela laje de subpressão, houve a necessidade de engastar a laje nos blocos de fundação. O procedimento adotado consistiu em parar a concretagem do bloco 30 centímetros (espessura da laje de subpressão) abaixo do seu nível acabado, procedendo uma lavagem do concreto superficial com bomba de pressão para expor os agregados. No momento da execução da armação da laje de subpressão, esta transpassou as armaduras aparentes do trecho não concretado dos blocos, como mostra a Figura 3 (b).

Uma vez que os blocos ficaram submersos em função do nível da água do empreendimento, foi necessário garantir a proteção das armaduras contra a corrosão. Para isso foi utilizado aditivo cristalizante, tornando o seu concreto estaque. Antes do início da concretagem da laje foi feita uma ponte de aderência sobre toda a superfície dos blocos, com a utilização do aditivo cristalizante (Figura 3 (c)), buscando garantir a perfeita colagem entre as concretagens de diferentes idades. O mesmo teve seu traço, em volume, de 1(água): 2,5(aditivo), e sua aplicação ocorreu no máximo 20 minutos antes do lançamento do novo concreto. A concretagem dos trechos restantes dos blocos aconteceu juntamente com a da laje de subpressão.



Figura 3 – (a) Execução dos blocos; (b) Armaduras trespessadas da laje de subpressão e do bloco; (c) Execução de ponte de aderência com aditivo autocicatrizante

2.3.4. Execução de laje de concreto magro

Em função da quantidade de lama presente no terreno e buscando evitar a contaminação das armaduras, optou-se por utilizar camada de concreto magro, como representado na Figura 4. O concreto magro é um tipo de concreto sem função estrutural, com baixo consumo de cimento, utilizado para regularização e proteção de superfícies que posteriormente receberão concreto armado. Suas especificações consistiam em $f_{ck} = 15\text{MPa}$, brita 1 e slump de 10 ± 2 . Tal procedimento deu condições para a correta execução da armação da laje de subpressão.



Figura 4 – Execução de laje de concreto magro

2.3.5. Execução da concretagem

De acordo com as especificações do projeto de execução, a laje de subpressão foi executada em 3 etapas paralelas com foco a inibir a fissuração. Na interface de cada etapa da laje foram executadas as juntas de concretagem.

Cada etapa exigiu aproximadamente 27 caminhões betoneiras, consistindo em um volume máximo de concreto de 270m³ por etapa. O volume total de 750m³ de concreto foi lançado em aproximadamente 12 horas de execução. A Figura 5 (a) representa a concretagem do primeiro trecho, a Figura 5 (b) do segundo trecho e a Figura 5 (c) do terceiro trecho.

A temperatura e o abatimento de cada lote de concreto usinado, foram verificados na chegada dos caminhões na obra, e o controle da temperatura continuou depois do lançamento. Utilizou-se termômetro digital de vareta, como demonstrado na Figura 6 (a), para a medição da temperatura de chegada do concreto em todos os caminhões betoneiras, buscando avaliar a temperatura em todo o seu volume.

Como o controle de temperatura é determinante para impedir a fissuração da laje, houve a necessidade de realizar a concretagem no período noturno buscando evitar as altas temperaturas do dia, além disso, resfriou-se externamente os balões dos caminhões betoneiras com a aplicação de água corrente. Paralelamente a isto, a concreteira estocou os agregados e o cimento por mais de 24 horas na sombra, protegendo do sol e molhando constantemente a brita e a areia. Desta maneira, a temperatura limite de projeto do concreto lançado de 30°C foi garantida, evitando ao máximo a fissuração por temperatura.

Foi executado, em todos os caminhões, o ensaio de abatimento do tronco de cone, *Slump Test*, de acordo com a norma ABNT NBR NM 67:1998, buscando confirmar a consistência requerida do concreto de 18 ± 2 cm. Realizou-se ainda, análise visual para verificar indícios de segregação. Foi contratado laboratório técnico especializado para proceder o controle tecnológico de todo o concreto utilizado na obra. Foram moldados corpos de prova, os quais foram rompidos aos 3, 7 e 28 dias de acordo com as normas ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739.

Buscando reduzir o risco de diferentes temperaturas de hidratação em partes da mesma etapa, o lançamento do concreto ocorreu através de bombeamento utilizando duas bombas (uma de reserva), uma vez que a concretagem não podia ser interrompida após iniciada, como mostra a Figura 6 (b). Por se tratar de uma área de concretagem de difícil acesso, foram utilizadas bombas para grandes distâncias, tanto verticais quanto horizontais.

Durante todo o processo de concretagem o lançamento e adensamento foram executados de forma concomitante. O lançamento se deu de forma vertical, em camadas uniformes de 30 cm de espessura. Quatro vibradores de imersão foram utilizados para o adensamento, contando ainda com três vibradores reserva, a operação seguiu os preceitos da ABNT NBR 14931:2004. Após o adensamento do concreto, utilizou-se de régua vibratória para garantir o nivelamento da camada superficial da laje, e o acabamento superficial final foi vassourado.



Figura 5 – (a) Concretagem do primeiro trecho; (b) Concretagem do segundo trecho; (c) Concretagem do terceiro trecho



Figura 6 – (a) Medição da temperatura do concreto nos caminhões, a partir de um termômetro digital de vareta; (b) Concretagem sempre com duas bombas

2.3.6. Controle de umidade e temperatura do microclima

Variáveis como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, influenciam diretamente no controle da taxa de evaporação da água superficial do concreto, exigindo assim, um cuidadoso monitoramento destes parâmetros durante a concretagem.

A execução da laje ocorreu em um período de seca no Distrito Federal, desta maneira para se atingir os parâmetros definidos em projeto para combater a fissuração (umidade relativa do ar de 60% e temperatura inferior a 30°C), realizou-se a aspersão de água sobre a superfície do concreto com o auxílio de motobomba, conforme demonstrado na Figura 7. A nebulização trabalha na perda de água para o meio ambiente, minimizando o risco de fissuração, além de contribuir positivamente com o aspecto visual final da laje.



Figura 7 - Aspersão de água para controle de umidade do microclima

2.3.7. Execução das juntas de concretagem

Os pontos de maior cuidado para se garantir a estanqueidade da estrutura, foram as juntas de concretagem formadas na região de ligação entre as três etapas de execução da laje. O tratamento das juntas de concretagem, foi realizado com a instalação de tela galvanizada na posição vertical ao longo da futura junta de concretagem para garantir a rugosidade desejada no concreto das juntas, como mostra a Figura 8 (a). Foi instalado também, um sarrafo com as dimensões da fita hidroexpansiva que foi retirado após a cura do concreto, deixando o espaço para a colocação da fita.

As juntas de concretagem foram preparadas com a escarificação do concreto e pintura com primer, vide Figura 8 (b). A pintura foi executada no centro da seção de concreto, buscando melhor aderência entre a fita e a superfície do concreto. Instalou-se então a fita hidroexpansiva, como apresentado na Figura 8 (c). Este é um produto de selamento à base de materiais hidrofílicos, no qual se expande de forma controlada quando exposto a umidade, tornando-se um material de selamento. A fita hidroexpansiva foi instalada minutos antes do início da etapa seguinte de concretagem, sendo inserida no meio da espessura da laje anterior.



Figura 8 – (a) Detalhe da tela galvanizada ao longo da futura junta de concretagem; (b) Detalhe da pintura com primer na interface da junta; (c) Detalhe da fita hidroexpansiva flexível instalada na interface da junta

2.3.8. Instalação do Termopar para controle de temperatura de cura

Sensores Termopar foram utilizados para medir a temperatura do interior do concreto após o seu lançamento, como apresentado na Figura 9. O equipamento é constituído de dois metais distintos, unidos por suas extremidades e ligados a um termômetro termopar na outra extremidade. Ao contrário de ensaios executados com medições realizadas superficialmente, que podem sofrer influência da temperatura externa, esse procedimento afere a temperatura real dos pontos no interior do concreto. Um Data Logger foi utilizado para medir a temperatura automaticamente, a cada 60 minutos, avaliando dados relacionados a temperatura no interior do concreto por um período de 24 horas.

Desta maneira, foi possível aferir as temperaturas máximas atingidas pelo concreto durante o período de cura. A Figura 10 apresenta a evolução da temperatura ao longo do tempo, na etapa II – termopar I, onde a temperatura máxima alcançada foi de 34,9°C, medida após 19 horas do lançamento do concreto. De acordo com os resultados encontrados nos sensores, concluiu-se que o procedimento executado foi adequado, pois as temperaturas máximas ficaram abaixo do limite máximo previamente estipulado, de 60°C.



Figura 9 - Instalação do TERMOPAR para controle da temperatura de cura

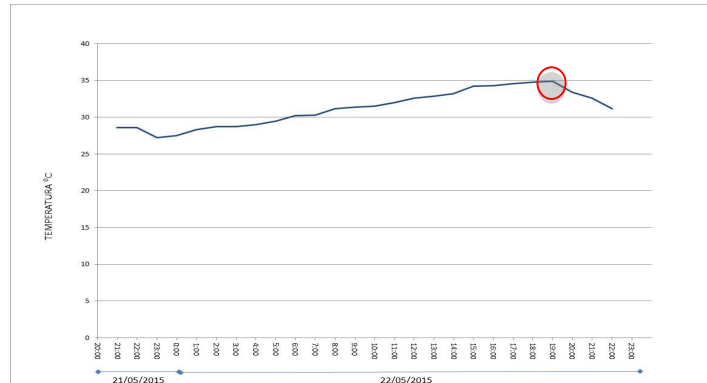


Figura 10 – Evolução da temperatura do concreto (etapa II – termopar I) ao longo do tempo (MM Engenharia, 2015)

2.3.9. Cura Submersa

A cura úmida de cada etapa de concretagem da laje de subpressão foi realizada através de um colchão de água sobre toda a superfície concretada ($h \pm 5$ centímetros), pelo período mínimo de 7 dias (Figura 11). O procedimento foi iniciado após o endurecimento superficial do concreto, através de uma análise tátil-visual.



Figura 11 - Cura submersa com 5 cm de colchão de água sobre a laje

2.3.10. Execução de concreto polido sobre a laje de subpressão e coleta de águas servidas

Como não é permitido nenhuma perfuração na laje de subpressão, foi necessário que o sistema de captação de água servida fosse instalada sobre a mesma. Para tanto a solução adotada foi a instalação de calhas metálicas e confecção de concreto polido com caimento, conforme demonstrado na Figura 12 (a).

Após a execução de concreto polido sobre a laje de subpressão, foram realizadas as demarcações de garagem de acordo com as especificações de projeto (Figura 12 (b)).



Figura 12 – (a) Execução de concreto polido sobre a laje de subpressão; (b) Vista final do piso acabado após demarcações de garagem

2.4. Fluxogramas

Buscando facilitar o entendimento geral da metodologia construtiva apresentada no presente trabalho, elaborou-se esquemas genéricos para o planejamento e pré execução, assim como para a execução da laje de subpressão, a partir dos serviços que os compõem.

2.4.1. Planejamento e pré execução

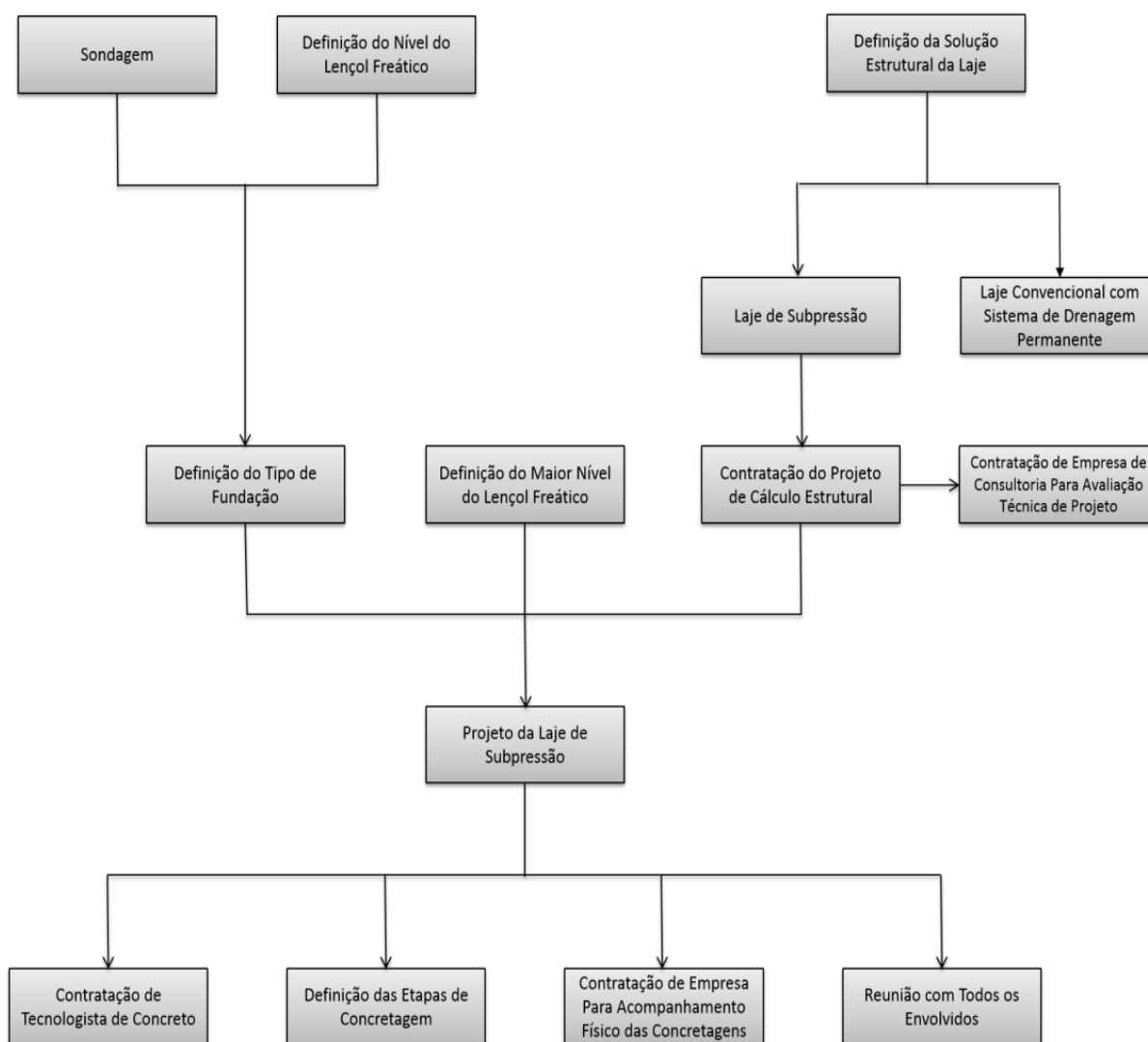


Figura 13 – Esquema genérico para o planejamento e pré execução da laje de subpressão (O autor, 2017)

2.4.2. Execução

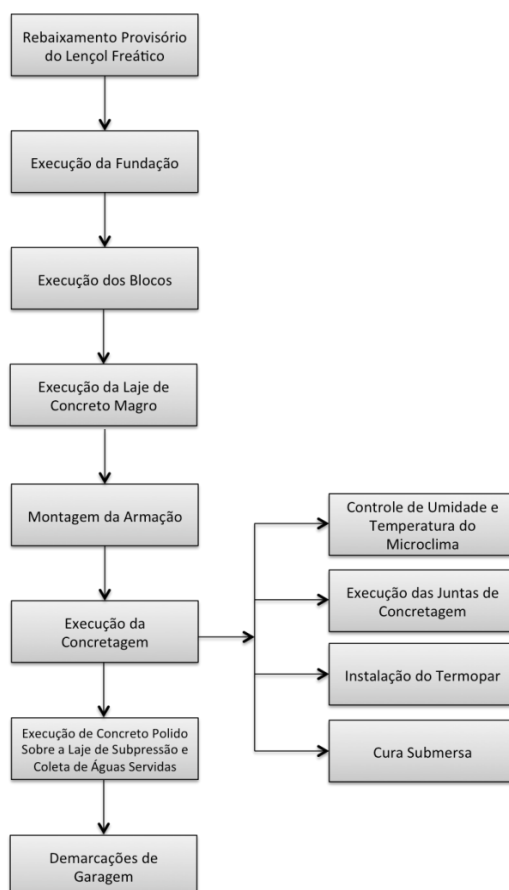


Figura 14 – Esquema genérico para a execução de laje de subpressão (O autor, 2017)

3. CONCLUSÕES

Considera-se que o conjunto formado pelo cumprimento das especificações de projeto, o estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, assim como uma metodologia construtiva bem definida, foram imprescindíveis para garantir um elemento estrutural íntegro e estanque.

Com a realização do presente trabalho pode-se inferir a importância da definição de um procedimento construtivo, com o intuito de garantir as exigências requeridas em projeto. Tal metodologia documentada, busca assegurar a qualidade da execução de lajes de subpressão, podendo este, servir de guia para profissionais da área.

A decisão por lajes de subpressão, quando comparada com sistema de drenagem permanente, acarreta uma série de vantagens para a construtora, o futuro condomínio e o meio ambiente:

- Devido aos esforços suportados pela laje de subpressão é necessário uma estrutura mais robusta, resultando em um custo maior de implantação com maiores volumes de concreto e aço. Além da utilização de aditivo cristalizante para a obtenção de um concreto estanque. No entanto, o investimento inicial é diluído ao longo do tempo, devido à ausência de gastos com energia elétrica e manutenções, entre outros fatores.
- Em caso de eventual aparecimento de fissuras, que permitam percolação de água, o aditivo reagirá com a mesma, movendo os cristais dissipados no

concreto para região da fissura, promovendo sua “auto cicatrização” e fazendo com que seja selada. Tal fato garante uma maior durabilidade da construção.

- Redução de impactos ambientais uma vez que evita a instalação de sistemas permanentes de drenagem, o que diminui o uso de energia elétrica, além de não acarretar impacto sobre o volume de água subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: *Execução de concreto dosado em central: Procedimento*. Rio de Janeiro, 2012. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: *concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento: Procedimento*. Rio de Janeiro, 2012. 18p.

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

BRITEZ, C. *et al.* Estanqueidade de lajes de subpressão. Caso MIS-RJ. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. 2014, vol. 7, n. 6, p. 913-921. ISSN 1983-4195.

CORTOPASSI, R. S.; OURIVES, C. N. *Concreto pode garantir estanqueidade a obras enterradas*. AECweb, Revista Digital Materiais e Soluções. 2017. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-pode-garantir-estanqueidadea-obras-enterradas_13897_10_0> Acesso em: 02 de fevereiro de 2018.

MM ENGENHARIA. *Relatório Técnico Medição de Temperatura Da Laje De Subpressão*. Brasília-DF, 2015.

MOREIRA, M. *et.al.*. *Uso de aditivo redutor de permeabilidade em lajes de subpressão. Caso Habitar-DF*. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT 2016. ISSN 2448-1467.

TAKAGI, E. M. *Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto-forno ativados por catalisador cristalino*. 2013. 130p. Dissertação de mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

VARELA, W. D. *Entenda a execução da estrutura do Museu da Imagem e do Som, no Rio de Janeiro*. Rev. Técnica Educação. [online]. Ed. 206, maio/2014.

AGRADECIMENTOS

À Construtora responsável pelo empreendimento por todo o auxílio e colaboração no repasse de informações.



Instituto de
Impermeabilização

<http://ibiBrasil.org.br/>