



PRÁTICAS RECOMENDADAS PARA EXECUÇÃO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO DO EDIFÍCIO GRANDE UFFICIALE EVARISTO COMOLATTI *RECOMMENDED PRACTICES FOR CONCRETING THE FOUNDATION BLOCK OF THE GRANDE UFFICIALE EVARISTO COMOLATTI BUILDING*

Eduardo I. Funahashi Jr. (1); Selmo C. Kuperman (2); Grazielle R. Vicente (3); Fernando Sobrinho (4); Ricardo Valtorta (5)

(1) Engenheiro Civil, Desek Ltda., eduardo.desek@gmail.com

(2) Diretor, Desek Ltda., selmo@desek.com.br

(3) Engenheira Civil, Desek Ltda., grazielle.desek@gmail.com

(4) Engenheiro Civil, RFM Construtora, fernando@rfm.com.br

(5) Engenheiro Civil, RFM Construtora, ricardo.valtorta@rfm.com.br

Av. Nove de Julho, 3229, cj. 1511 – Jardim Paulista, São Paulo, SP

Resumo

Durante a execução de estruturas em concreto massa há necessidade de cuidados especiais para evitar manifestações patológicas relacionadas às temperaturas desenvolvidas em seu interior. Este trabalho apresenta de que modo o estudo de temperaturas e tensões de origem térmica do bloco de fundação do edifício Grande Ufficiale Evaristo Comolatti localizado na cidade de São Paulo auxiliou na definição do plano de concretagem. De acordo com o cronograma da obra e peculiaridades da região central de São Paulo-SP, adotaram-se práticas construtivas para que o lançamento do concreto ocorresse de forma contínua e em conformidade com o projeto. Para o zoneamento das temperaturas de lançamento do concreto fresco e plano de camadas de concretagem o estudo empregou um modelo tridimensional de elementos finitos (MEF) utilizando o software B4cast. As temperaturas desenvolvidas pelo concreto foram registradas através de termopares instalados no interior da estrutura. A partir da definição da melhor logística e considerando as dimensões do bloco de, 22,7m x 17,4m x 3,0m com volume teórico de 1185m³, lançados em duas etapas de concretagem, com concreto autoadensável (fabricado com adição de gelo) e resistência característica de 40MPa aos 28 dias, o estudo de tensões térmicas minimizou a possibilidade de fissuração bem como reduziu a probabilidade de ocorrência de etringita tardia. Os resultados demonstraram a importância dos estudos térmicos através de simulação computacional para definição do nível de refrigeração do concreto fresco e a adequação do cálculo de tensões térmicas através do modelo empregado, além da definição de metodologia construtiva e logística adequada e que correspondeu satisfatoriamente ao cronograma da obra.

Palavra-Chave: concreto massa, refrigeração do concreto, plano de concretagem, concreto autoadensável

Abstract

During the construction of mass concrete structure there is a need for special care to avoid severe problems related to the temperatures developed by the concrete. This paper presents a study that helped in defining the concreting plan and was based on the thermal stresses analysis of the large concrete foundation block of Grande Ufficiale Evaristo Comolatti building located in São Paulo-SP. According to the timetable of the work and peculiarities of the central region of São Paulo-SP, constructive practices were adopted so that the concrete placement occurred continuously and in accordance with the project. To fix different placement temperatures of the concrete (cooling with ice) and the layers plan, the thermal study used a three-dimensional finite element model (MEF), using the B4cast software. At the site temperatures developed by the concrete were recorded through embedded thermocouples in the concrete.

Based on an adequate logistics and considering that the dimensions of the foundation block are 22.7m x 17.4m x 3.0m comprising a theoretical volume of 1185m³ placed in two layers a self-compacting concrete (SCC) (cooled using ice) was used with a characteristic strength of 40MPa at 28 days, and the study of thermal stresses was performed to minimize the possibility of cracking and also the formation of delayed ettringite. The results proved the importance of performing a thermal study by computational simulation to define the level of concrete cooling and the adequacy of the calculation of thermal stresses through the model, besides fixing the constructive methodology that satisfactorily corresponded to the timetable of the work.

Keywords: mass concrete, thermal study, cooling concrete, concrete plan, self-compacting concrete

1 Introdução

Este trabalho apresenta as práticas recomendadas, os cuidados especiais e a logística adotados para a execução do bloco de fundação do edifício Grande Ufficiale Evaristo Comolatti. O edifício comercial com obras iniciadas em 2015 e entrega em 2018 possui uma torre e 11 pavimentos, sendo quatro subsolos. A área total do terreno é de 3.237,50 m², aproximadamente, com área construída de 19.384 m². A obra foi executada pela RFM Construtora com incorporação da Stan e está localizado na região central de São Paulo na esquina da Avenida Paulista com a Rua Consolação.

O edifício recebeu o prêmio ABEG Sigmund Golombek da Associação Brasileira das Empresas de Projeto e Consultoria em Engenharia Geotécnica (ABEG) que reconhece como melhor projeto de fundações e contenções concluídos entre 2015 e 2017, que teve como principais desafios causar o mínimo possível de deformação às estruturas existentes e transmitir os carregamentos da edificação ao subsolo sem interferir nas operações do Metrô de São Paulo, pois o impacto de algum problema nestas instalações poderia causar um grande transtorno ao maior meio de transporte público da maior cidade da América Latina.

O projeto do edifício foi o vencedor, na categoria Contratante, do 2º Prêmio de Excelência BIM Sinduscon-SP que foi concebido com o intuito de atender as exigências para obtenção da Certificação LEED Silver de forma a garantir a eficiência energética para o empreendimento e construção sustentável. Devido à necessidade da execução do projeto sobre as construções subterrâneas (túneis de áreas técnicas de instalações pertencentes ao Metrô - Linhas 2-Verde e 4-Amarela), em pleno funcionamento, tanto na fase de projeto como durante a execução da obra, o projeto foi desenvolvido para não impactar e nem oferecer riscos de danos a estas instalações. O BIM e o monitoramento online das deformações do solo foram utilizados para garantir que a execução da obra não criasse nenhum tipo de interferência no metrô.

2 Execução do bloco de fundação

Neste trabalho são apresentados os procedimentos adotados para o controle da qualidade e metodologias adotadas para reduzir a probabilidade de ocorrência de manifestações patológicas durante a execução do bloco de fundação.

Para a construção do edifício que está localizado em cima das áreas técnicas da Linha Amarela do Metrô exigiu-se fundações com características bastante complexas, já que as estacas escavadas foram posicionadas para evitar interferência com as estruturas do Metrô de São Paulo. Por esta razão não foi possível o alinhamento dos pilares da torre às estacas sendo necessário executar um bloco de grandes dimensões com cerca de 1168m³ e 180 toneladas de aço para distribuição dos esforços aplicados pelos pilares às estacas. Como a execução da obra não poderia interferir nas operações do Metrô, foram instalados medidores de deformação e de recalque para monitorar a execução dos serviços da escavação, contenção e fundação do edifício.

Devido à localização da obra, com intenso tráfego de veículos e pessoas, além de pouco espaço disponível no canteiro, houve a necessidade de uma logística adequada para a execução do bloco. A Figura 1 e a Figura 2 apresentam o projeto arquitetônico e o edifício construído, respectivamente.



Figura 1 – Projeto arquitetônico do edifício Grande Ufficiale Evaristo Comolatti



Figura 2 – Foto do edifício Grande Ufficiale Evaristo Comolatti

Para que o lançamento do concreto fosse de forma rápida, contínua e com garantia da qualidade de execução para atender as exigências de excelência em eficiência energética exigidas para a obtenção do certificado LEED Silver, adotou-se a utilização do concreto autoadensável (CAA), para que, além de melhor preenchimento do material nas formas, não fossem utilizados vibradores de imersão.

A partir do conhecimento das características de projeto, inicialmente foi realizado o estudo térmico considerando a dosagem do concreto disponibilizada pela concreteira para a definição dos níveis de refrigeração do concreto. Com base nos resultados dos estudos preliminares verificou-se a necessidade de lançamento do concreto refrigerado com baixos níveis de refrigeração e que seriam impraticáveis, considerando o tempo de transporte entre a central de concreto e obra e as altas temperaturas ambiente verificadas para o mês de fevereiro e março. Com base nisso, verificou-se a necessidade de fazer um ajuste na dosagem do concreto, reduzindo parcialmente o consumo de cimento através da sua substituição por sílica ativa, para que o lançamento do concreto refrigerado fosse exequível, considerando os desafios logísticos. A partir do estudo foi feita a redução do intervalo de lançamento de 5 dias ao invés de 7 dias, inicialmente previsto, de forma a proporcionar um melhor ajuste no cronograma para esta etapa construtiva.

Após a definição das temperaturas de lançamento do concreto refrigerado com a nova dosagem, foi definido o melhor plano de concretagem. O controle tecnológico do concreto e recebimento dos caminhões betoneira para adição do aditivo superplastificante, controle do Slump Flow e eventual adição de gelo foi realizado em área próxima à obra, devido ao pouco espaço disponível no canteiro. Previamente ao início da concretagem do bloco foi realizada uma concretagem teste para avaliar o seu desempenho em campo, além do ganho de temperatura do concreto fresco refrigerado durante o transporte entre a central e a obra. A definição da logística de concretagem foi fundamental para auxiliar no

lançamento contínuo do concreto de forma a não impactar no tráfego local, além de garantir a qualidade de execução da estrutura.

3 Concreto Massa

Concreto massa é definido como aquele que possui volume de tal magnitude que requer meios especiais para combater a geração de calor e a decorrente mudança de volume devido ao gradiente entre a temperatura em seu interior e a temperatura ambiente. O aumento de temperatura em toda a seção de uma estrutura, em qualquer instante, após o lançamento do concreto, é resultante do desenvolvimento do calor de hidratação do cimento.

Em estruturas com grandes dimensões é possível que as temperaturas a serem desenvolvidas no seu interior, pelo concreto, possam originar elevadas tensões de origem térmica. Estas têm como origem as reações de hidratação do cimento, sempre exotérmicas e que, em razão das dimensões da estrutura, encontrarão dificuldades em se dissipar para o meio circundante. Desta forma criam-se condições para que, durante o arrefecimento da temperatura do concreto surjam tensões de tração que, se forem superiores à resistência à tração do material poderão provocar fissuras no mesmo (KUPERMAN, 2005). Princípios básicos, derivados principalmente de experiências que orientem a seleção de materiais, dosagens e práticas construtivas para controlar o aumento ou queda de temperatura no concreto massa, devem ser considerados neste tipo de projeto (MEHTA, 2006).

É possível estudar a evolução tridimensional de temperaturas e tensões através de modelos matemáticos realizados através de softwares baseados no método dos elementos finitos. Para o estudo foi utilizado o programa b4cast versão 3.31, que considera diversos fatores para sua modelagem matemática. Como parâmetros relacionados ao concreto considera-se além da sua geometria tridimensional, o consumo de cimento, as propriedades térmicas (condutividade térmica e calor específico) e a sua temperatura de lançamento. Ainda são consideradas as condições de contorno relacionadas ao ambiente como velocidade do vento, temperatura ambiente, tipo de forma e cura. Considera-se ainda a evolução das propriedades mecânicas como resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração em relação à maturidade do concreto e em função dos dados do calor de hidratação ou elevação adiabática.

4 Características do projeto

Para a execução do bloco de fundação com dimensões de aproximadamente, 22,7m x 17,4m x 3,0m e com volume teórico de 1185m³, houve a necessidade de algumas premissas de projeto previamente a sua execução e considerando as dificuldades logísticas para a região. O concreto foi especificado com $f_{ck}=40$ MPa aos 28 dias. Devido ao tipo de carregamento e solicitações de esforços da estrutura não foi possível aumentar a idade de controle do concreto e alterar o zoneamento de sua resistência à compressão pela Projetista. Estas práticas são adotadas, quando possível, para diminuir o consumo de cimento na dosagem e, conseqüentemente, minimizar os efeitos das tensões de

origem térmica resultantes da elevação de temperatura do concreto, devido ao calor de hidratação do cimento. A Figura 3 apresenta a planta e a vista aérea geral do bloco de fundação do edifício *Grande Ufficiale Evaristo Comolatti*.

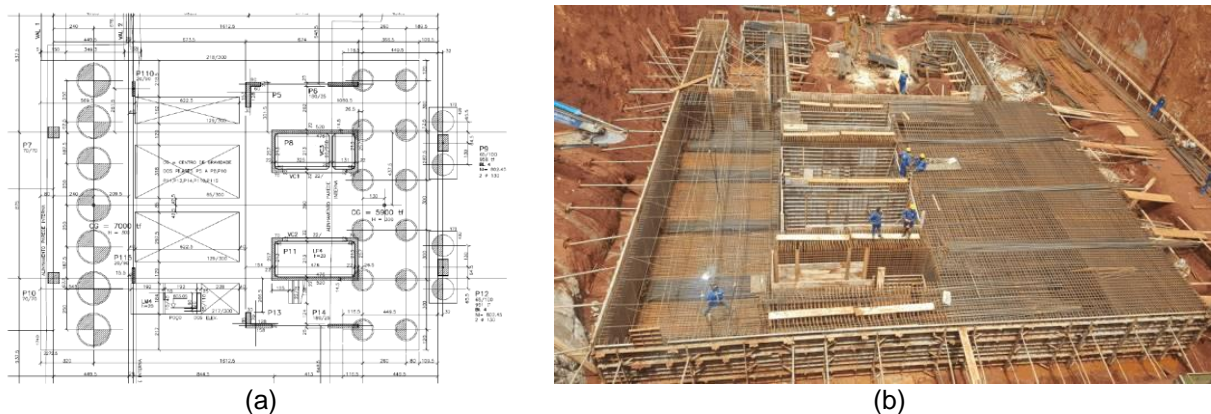


Figura 3 - (a) Planta do bloco de fundação - medidas em centímetros e (b) vista aérea geral do bloco

4.1 Estudo de tensões de origem térmica

Em função da localização da obra, logística e dimensões da estrutura considerou-se o lançamento do concreto em duas etapas de concretagem. Neste estudo foi empregada dosagem de concreto baseada nas cartas de traço fornecidas pela concreteira, com utilização do cimento tipo CP III 40 RS, $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$ e relação água-cimento $(a/c) \leq 0,50$.

Para o cálculo de temperaturas e tensões adotou-se modelo tridimensional baseado no método dos elementos finitos (MEF) através do software b4cast. Vários fatores integram o modelo matemático como, por exemplo, a temperatura e velocidade de lançamento do concreto fresco, intervalo de lançamento entre as camadas, condições ambientais (temperatura ambiente e velocidade do vento), características do cimento, dosagem do concreto utilizado, características térmicas e mecânicas do concreto, entre outros.

Devido à alta taxa de armadura e baseado na indicação preliminar da construtora, foi realizado o estudo térmico considerando CAA com agregado graúdo com dimensão máxima de 12,5 mm até a altura de 0,50 m, com consumo de cimento de 382 kg/m³ e, para o restante do bloco, concreto convencional com consumo de cimento de 406 kg/m³ conforme dosagens sugeridas pela concreteira. A partir das simulações preliminares realizadas verificou-se que devido à utilização do concreto convencional, com maior consumo de cimento, seria necessário refrigerar o concreto fresco para obter temperaturas de lançamento inferiores a 14°C, que seria inviável para as condições ambientais da obra.

A partir dos estudos iniciais e focando na redução do custo final do concreto estudou-se a possibilidade de lançamento de concreto autoadensável sem adição de sílica e com consumo de cimento igual a 382 kg/m³ para toda a estrutura (nomeado CAA). Nesta etapa os estudos mostraram que a menor temperatura de lançamento para que a probabilidade de fissuração fosse minimizada em algumas regiões seria de 16°C.

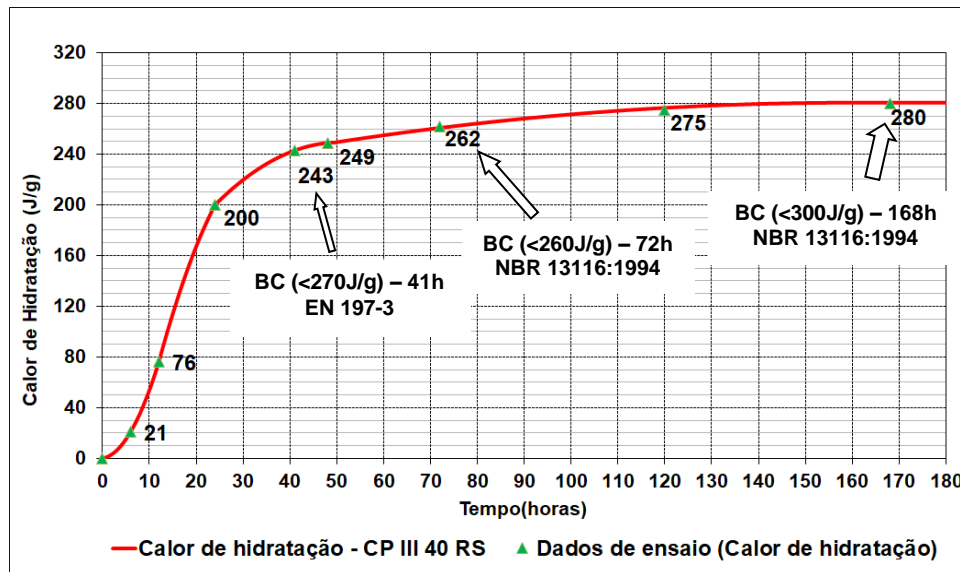
Após um novo ajuste no traço de CAA realizado para que tivesse uma melhor condição de lançamento, com temperaturas pouco maiores em relação aos estudos previamente realizados, adotou-se o lançamento do CAA com consumo de cimento de 340 kg/m³ e consumo de sílica ativa de 30 kg/m³ (nomeado CAA8%). A partir destes estudos verificou-se que a menor temperatura de lançamento para que a probabilidade de fissuração fosse minimizada seria igual a 18°C.

A Tabela 1 apresenta as principais diferenças verificadas a partir dos estudos térmicos, considerando o CAA com substituição parcial de 8% de sílica ativa (nomeado CAA8%) em relação ao concreto sem adição (nomeado CAA), considerando três temperaturas de lançamento do concreto fresco sendo 14°C, 20°C e 30°C e intervalo de lançamento entre as camadas de concretagem (IL) de 5 dias. Durante os estudos foi possível verificar que o IL entre as camadas de concretagem de 7 dias mostrou-se mais crítico para o lançamento da segunda etapa de concretagem, exigindo menores temperaturas de lançamento do concreto fresco.

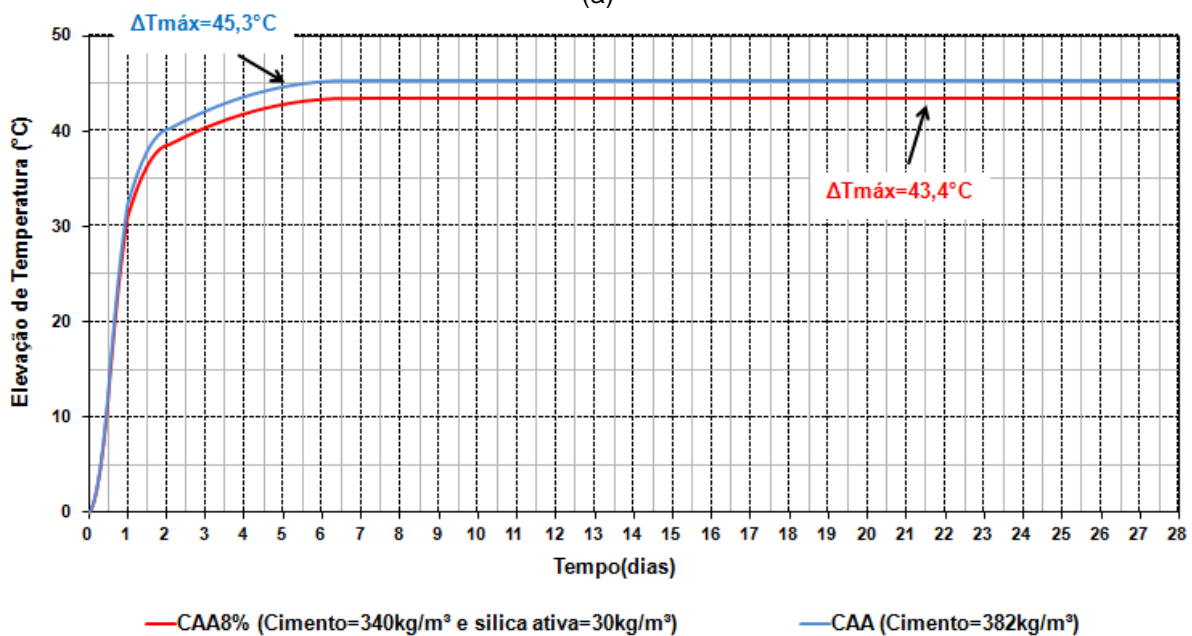
Tabela 1 – Resumo dos dados adotados para o estudo de tensões de origem térmica

	Material	CAA	CAA 8%
Traço do concreto	Cimento CP III 40 RS (kg/m ³)	382	340
	Sílica ativa (kg/m ³)	-	30
	Areia de cava fina (quartzo) (kg/m ³)	512	607
	Areia artificial média (gnaisse) (kg/m ³)	539	405
	Brita 0 (gnaisse) (kg/m ³)	830	830
	Aditivo polifuncional (I)	3,1	2,96
	Aditivo superplastificante (I)	2,5	3,0
	Água (kg/m ³)	191	185
	Massa específica (kg/m ³)	2454	2397
Propriedades mecânicas	$f_{c3} - f_{c7} - f_{c28} - f_{c63}$ (MPa)	17,8 - 33,3 - 47,9 - 52,7	
	$f_{ct3} - f_{ct7} - f_{ct28} - f_{ct63}$ (MPa)	2,0 - 3,1 - 4,0 - 4,2	
	$E_{cs3} - E_{cs7} - E_{cs28}$ (GPa)	18 - 26 - 33	
	Coeficiente de Poisson	0,21	0,21
Propriedades térmicas	Calor específico (kJ/kg°C)	0,96	0,93
	Condutividade térmica (kJ/m.h.°C)	8,3	8,2
	Coeficiente de dilatação térmica	9,4 x 10 ⁻⁶ /°C	

A partir dos dados de calor de hidratação, determinado pelo método da garrafa de *Langavant* para o cimento CP III 40 RS, consumo de cimento, calor específico e massa específica de cada traço, estimou-se a sua elevação adiabática, como mostra a Figura 4.



(a)



(b)

Figura 4 - (a) Desenvolvimento do calor de hidratação do Cimento Portland CP III 40 RS (b) desenvolvimento da elevação de temperatura adiabática estimada para o concreto CAA8% e CAA

Além das propriedades relacionadas ao concreto, o software considera também a geometria da estrutura, as condições de contorno, como as características das estacas, solo de apoio e lastro de concreto em que a estrutura estará apoiada, bem como as condições ambientais da região, velocidade de lançamento do concreto, intervalo de lançamento entre as camadas, entre outros. A Tabela 2 mostra as características adotadas para as estacas, solo de apoio e lastro de concreto.

Tabela 2 – Resumo dos dados adotados para o estudo de tensões de origem térmica

Características da base de apoio	Condições de contorno		
	Estacas	Solo de apoio	Lastro de concreto
Massa específica (kg/m ³)	2400	1400	2327
Calor específico (kJ/kg.°C)	1,0	1,0	1
Condutividade térmica (kJ/m. h.°C)	0,8	2,5	9,5
Módulo de elasticidade (GPa)	32	20	15
Coefficiente de dilatação térmica (10 ⁻⁶ /°C)	10,0	10,0	10
Coefficiente de Poisson	0,21	0,21	0,21

A Figura 5 apresenta a malha de elementos finitos adotada e as isotermas geradas pelo software utilizado para o cálculo.

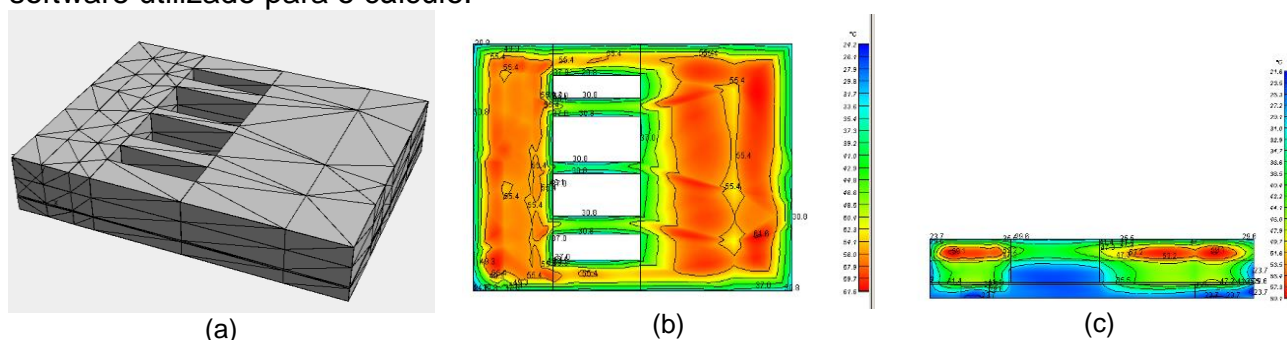
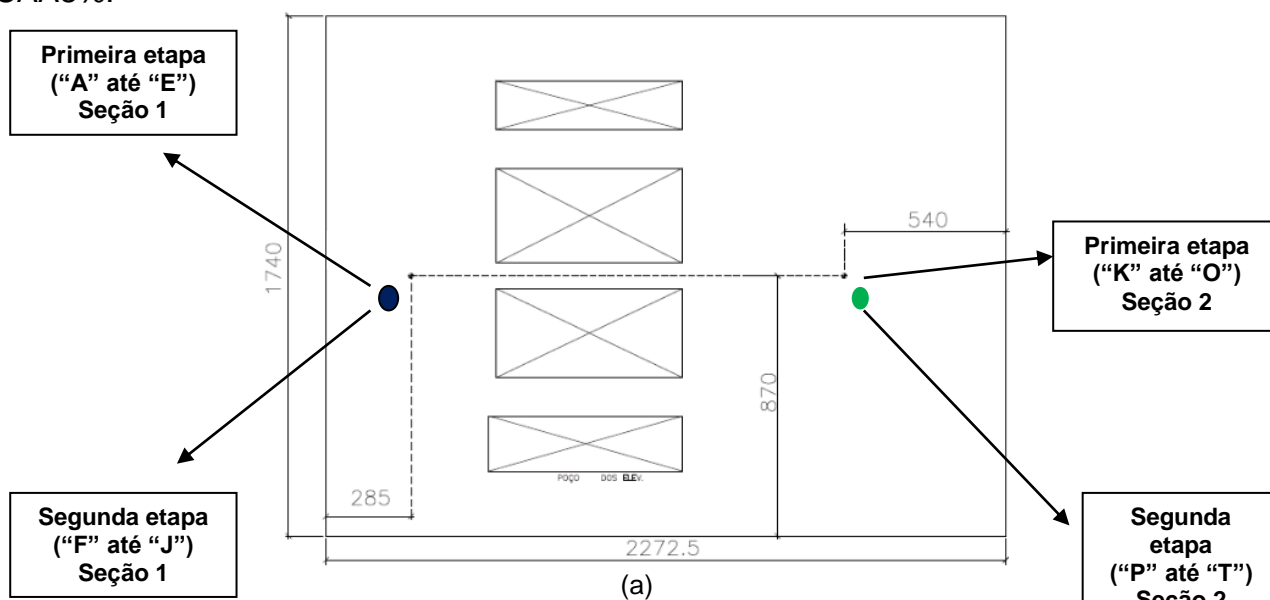
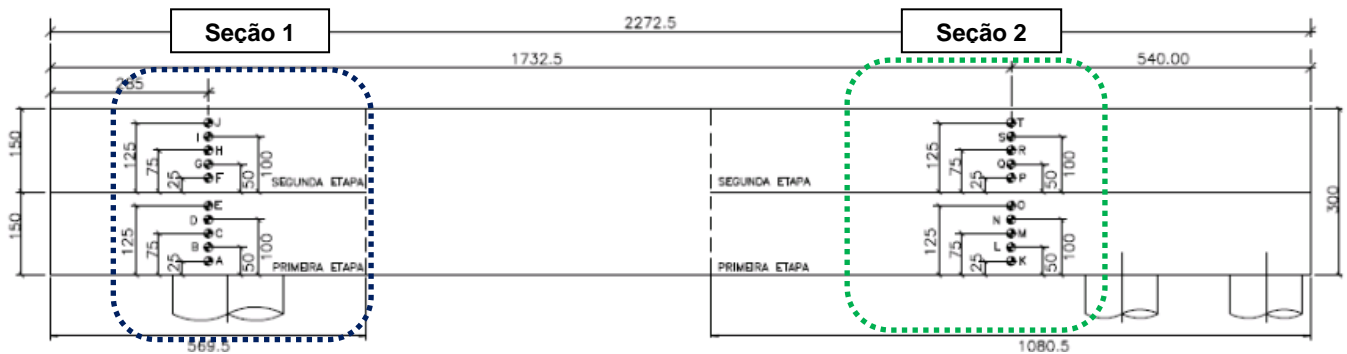


Figura 5 - (a) Malha de elementos finitos formada por elementos tetraédricos e gerada automaticamente pelo software; (b) isotermas na seção em planta e (c) isotermas na seção longitudinal após 32 horas do início do lançamento da segunda camada de concretagem e na altura de 2,25 m a partir da base

Para a análise do desenvolvimento das temperaturas e tensões do bloco de fundação foram estudados 20 pontos nas diversas seções e a cada 25 cm de altura, sendo 10 pontos em cada etapa de concretagem, conforme mostra a Figura 6. A Figura 7 apresenta um resumo das máximas temperaturas calculadas considerando o concreto CAA e CAA8%.

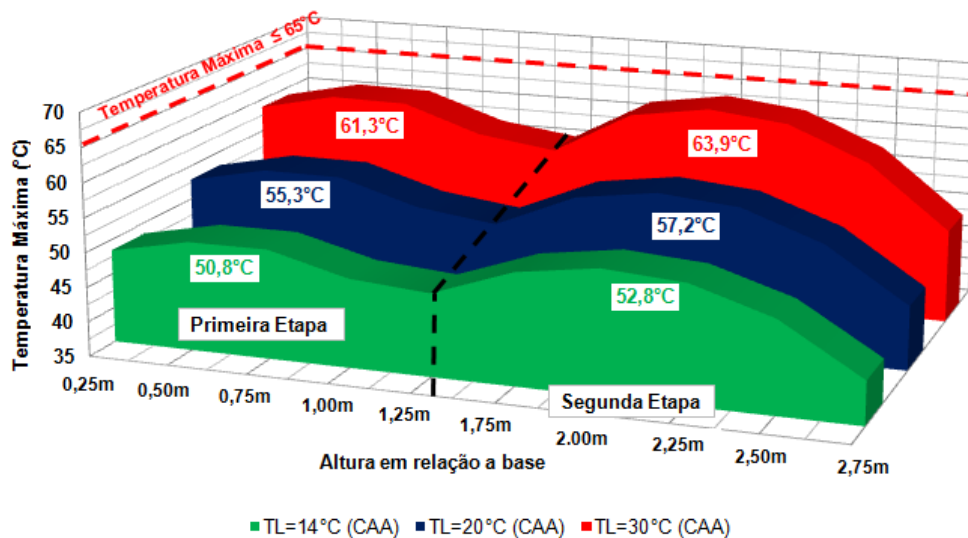




(b)

Figura 6 - Bloco de fundação – localização dos pontos de estudo (a) seção em planta; (b) seção longitudinal.

Resumo das máximas temperaturas - CAA



Resumo das máximas temperaturas - CAA8%

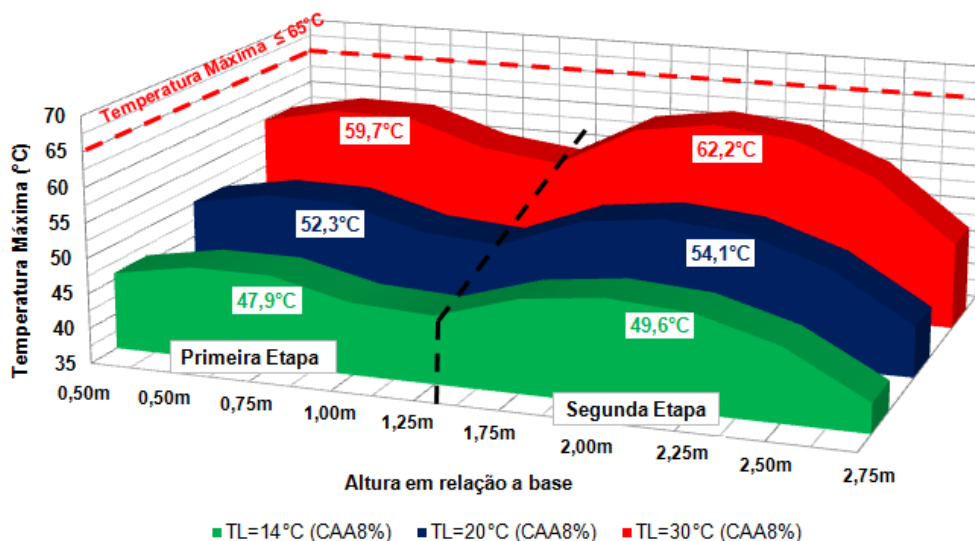


Figura 7 - Resumo das máximas temperaturas calculadas – Primeira e segunda etapa de concretagem – CAA e CAA8%

De acordo com os resultados das simulações, verificou-se que as máximas temperaturas atingidas pelo CAA8% são, aproximadamente, 2°C inferiores às máximas temperaturas do CAA. A partir das simulações térmicas, nota-se que quanto maior a temperatura de lançamento, maior é a temperatura máxima atingida pelo concreto e maior é a probabilidade de fissuração por origem térmica. Além disso, para que as temperaturas máximas no interior do bloco sejam inferiores a 65°C, ou seja, para reduzir o risco de formação de etringita tardia, a temperatura máxima de lançamento do CAA e CAA8% deve ser inferior a 30°C. As tensões de origem térmica atuantes são elevadas considerando o lançamento do bloco em duas camadas de concretagem com alturas iguais a 1,5m, cada. Os estudos mostraram a necessidade de refrigeração do concreto independentemente da adição de sílica ativa. Para definir os níveis de refrigeração, adotou-se o fator de segurança (FS) igual a 1,2. Os níveis de refrigeração do CAA8% são mais liberais comparados ao CAA e por esta razão foi utilizado na concretagem do bloco.

A Tabela 3 apresenta o resumo das temperaturas de lançamento do concreto e a estimativa do consumo de gelo de cada traço.

Tabela 3 – Resumo dos níveis de refrigeração do concreto obtidos através do estudo térmico

Etapa ⁽¹⁾	Altura (h) em relação ao lastro de concreto (m)	Altura em relação ao lastro de concreto	Volume teórico (m ³)	TL ⁽⁴⁾ (°C) CAA ⁽²⁾	TL ⁽⁴⁾ (°C) CAA8% ⁽³⁾	Consumo de gelo ⁽⁵⁾ CAA (kg)	Consumo de gelo ⁽⁵⁾ CAA8% (kg)
1	Até 1,5	≤ 0,75m	296	16	18	143	126
		0,75 ≤ h ≤ 1,50	296	20	23	114	91
2	1,5 ≤ h ≤ 3,0	1,50 ≤ h ≤ 2,25	296	16	18	143	126
		2,25 ≤ h ≤ 3,00	296	20	23	114	91

(1) Etapa de concretagem considerando intervalo de lançamento entre as camadas de 5 dias;

(2) Concreto autoadensável com consumo de cimento de 382 kg/m³;

(3) Concreto autoadensável com consumo de cimento de 340 kg/m³ e 30 kg/m³ de sílica ativa;

(4) Temperatura de lançamento do concreto considerando fator de segurança (FS) de 1,2;

(5) Consumo de gelo estimado a partir do balanço térmico considerando a dosagem de concreto utilizada e temperatura dos materiais quando da sua mistura.

A Figura 8 apresenta a estimativa da refrigeração dos concretos utilizados no estudo.

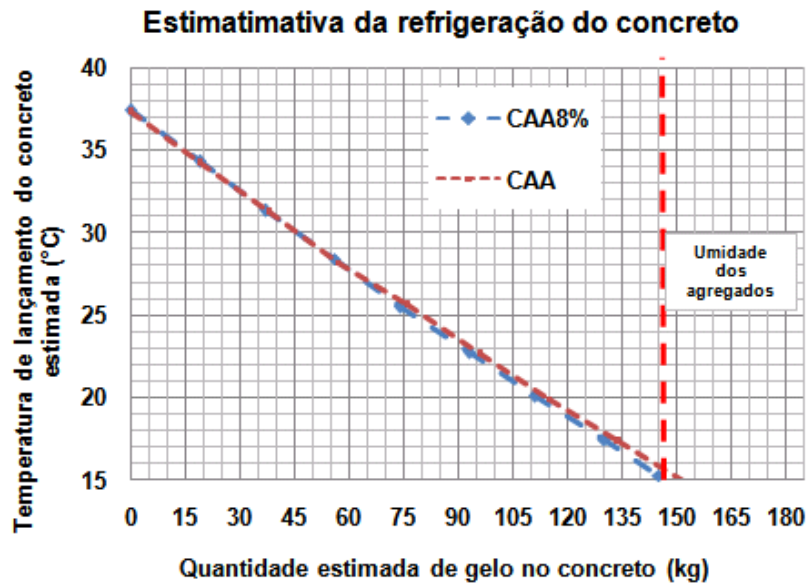


Figura 8 - Quantidade de gelo estimada para os concretos em função da sua temperatura de lançamento

Considerando os estudos realizados optou-se pela utilização do concreto autoadensável com adição de sílica ativa (CAA8%), que reduziu o consumo de cimento em 42kg/m³, se comparado ao concreto sem adição, além de permitir o lançamento do concreto refrigerado fresco com temperatura de 2°C até 3°C maior que o concreto sem adição. Desta forma, houve uma redução de 47,4 toneladas de gelo. Considerando que o custo do gelo seja R\$ 0,50/kg, houve uma redução de R\$ 23.700,00 no custo final do concreto.

4.2 Execução do bloco

Como concretagem foi realizada no mês de fevereiro, com alta incidência de chuvas de verão na região de São Paulo, foi montada uma tenda para que a concretagem fosse realizada de forma contínua e sem o risco de criar juntas frias ou prejudicar a qualidade do concreto. A Figura 9 mostra a estrutura montada para proteger o bloco da chuva.



Figura 9 – (a) Estrutura para proteção do bloco contra a incidência de chuva; (b) plataforma de acesso e utilização de manta de plástico para proteção do concreto fresco durante a chuva

A Figura 10 e a Figura 11 apresentam detalhes da logística de lançamento do concreto e do canteiro de obras. A velocidade média de lançamento do concreto foi de 50m³/hora.



Figura 10 - Utilização de bomba para lançamento do concreto – Notar bomba reserva posicionada



(a)

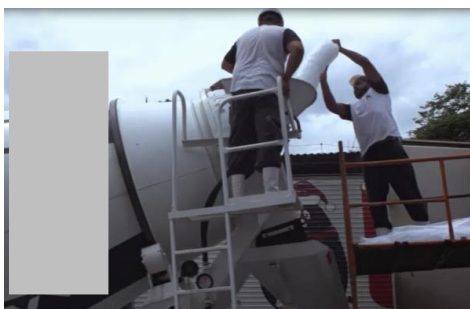


(b)

Figura 11 - (a) Orientação do tráfego de caminhões betoneira; (b) pouco espaço disponível no canteiro

4.3 Controle tecnológico

Como não havia espaço suficiente no canteiro de obras, o ajuste do traço com gelo (Figura 12) e aditivo, previamente ao lançamento do concreto, e os ensaios de controle tecnológico do foram feitos em um ponto de apoio, em um estacionamento a cerca de 200m da obra (Figura 13). Neste local eram realizados os devidos ajustes e os caminhões seguiam para os dois pontos de descarga, apenas para lançamento do concreto.



(a)



(b)

Figura 12 - (a) Adição do gelo para ajuste do espalhamento e temperatura do concreto; (b) armazenamento do gelo no caminhão frigorífico na obra



(a)



(b)

Figura 13 - (a) Estacionamento utilizado para controle tecnológico do concreto; (b) adição do aditivo superplastificante para ajuste do concreto antes do seu lançamento

A Figura 14 mostra algumas fotos do controle tecnológico realizado.



(a)



(b)



(c)

Figura 14 - (a) Determinação do abatimento inicial do concreto; (b) identificação da amostra de concreto de cada caminhão betoneira previamente a realização do ensaio; (c) determinação do slump flow.

4.4 Monitoramento das temperaturas

Para controlar a temperatura de lançamento do concreto, antes do seu lançamento era feita a medição da sua temperatura, no instante em que eram retiradas amostras de concreto para determinação do teste de espalhamento. Caso fosse verificada a necessidade de correção do slump flow do concreto ou da temperatura, eram adicionados mais sacos de gelo, até o limite do corte de água do traço, de modo a atender às exigências da obra. Também foi realizado o monitoramento das temperaturas durante e após a concretagem através da instalação de termopares no interior do bloco. A Figura 15 apresenta a medição da temperatura do concreto antes e após o seu lançamento.



(a)



(b)

Figura 15 - (a) Medição da temperatura de lançamento do concreto; (b) medição da temperatura do concreto no interior do bloco através de termopares instalados no interior da estrutura.

Com base nos resultados de temperaturas medidas através de alguns termopares, instalados no interior do bloco, foi feita a comparação com os resultados obtidos através da simulação, como mostra a Figura 16.

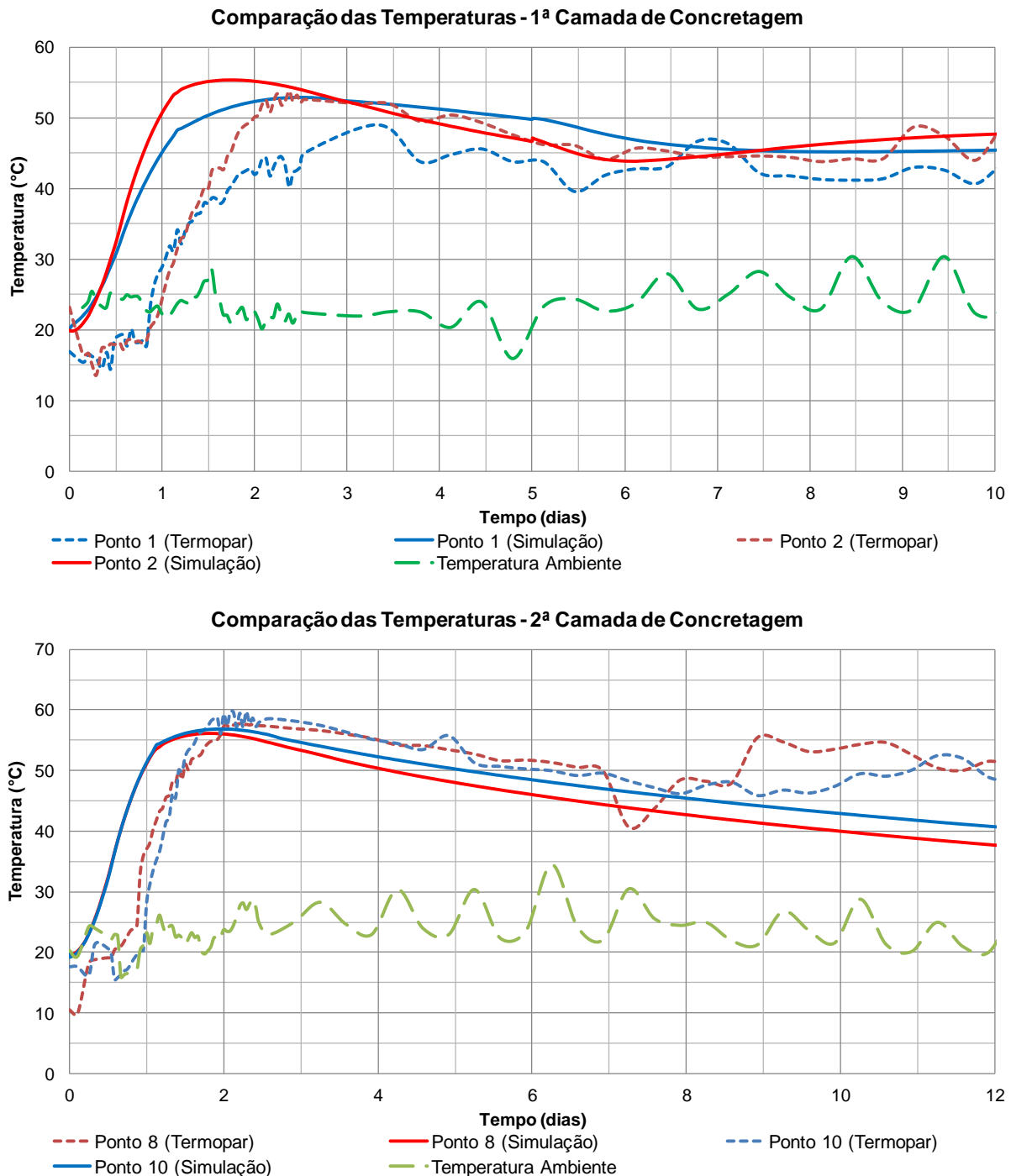


Figura 16 – Comparação entre as temperaturas do concreto, em alguns pontos, medidas através dos termopares e calculadas através do software b4cast.

Com base nesta comparação é possível perceber que os resultados obtidos através das simulações computacionais se aproximaram dos valores reais obtidos em campo e isto mostra a eficiência dos estudos térmicos.

4.5 Tratamento da junta de construção e cura

Como o bloco foi dividido em duas etapas de concretagem foi necessário fazer o tratamento da junta de construção para garantir a perfeita aderência entre o concreto endurecido e o concreto fresco. Devido à sua grande área foi necessário evitar que este tratamento fosse realizado através de apicoamento, outra opção seria a realização de corte verde, porém esta operação seria realizada durante a madrugada e por este motivo também foi descartada. Uma solução para realizar este tratamento foi a utilização do retardador de pega superficial. A aplicação deste produto foi realizada através de pulverizador sobre o concreto recém-lançado (Figura 17). Após um período de 24 horas, aproximadamente, a região da junta foi lavada com água para a remoção da camada superficial e exposição dos agregados. Antes da concretagem da camada posterior foi necessário lavar e fazer uma limpeza rigorosa da superfície que recebeu o concreto novo.



Figura 17 – Tratamento da junta utilizando o retardador de pega superficial do concreto

A cura da primeira camada de concretagem foi realizada até o lançamento da próxima camada e a cura da segunda camada foi realizada por um período de 7 dias. Na primeira etapa de concretagem foi realizada a cura do concreto através de piscina d'água e para a segunda etapa de concretagem foi utilizado geotêxtil e água.

5 Conclusões e Comentários

A escolha do concreto autoadensável para o bloco foi feita devido à alta densidade das armaduras e com o uso desta solução foi possível aumentar a velocidade de lançamento do concreto, que também foi importante pelo fato da obra estar localizada em uma região de São Paulo com intenso tráfego de veículos e com pouco espaço disponível no canteiro. Além disso, em função da localização da obra, logística e volume de concreto do bloco (cerca de 1185m³) o lançamento foi feito em duas etapas de concretagem.

O uso do concreto autoadensável também contribuiu para a redução da poluição sonora da obra, pelo fato de não serem utilizados vibradores de imersão durante toda a etapa de lançamento e também foi possível reduzir significativamente o número de funcionários, contribuindo desta forma para o aumento da segurança nesta etapa da obra.



Pelo fato de ser uma estrutura de concreto massa foi necessário fazer estudos térmicos a fim de definir reduzir a possibilidade de fissuração de origem térmica e eventual formação de etringita tardia, que poderiam comprometer a sua durabilidade.

Foram feitos estudos comparativos entre o concreto autoadensável com adição de sílica ativa (CAA8%) e sem adição (CAA) e com base nos resultados obtidos optou-se pela utilização do CAA8%, pois houve uma redução de 42kg/m³ do consumo de cimento em relação ao concreto sem adição. Este fato permitiu que o concreto refrigerado fosse lançado com temperatura de 2°C até 3°C maior que o concreto sem adição, portanto, houve uma redução de aproximadamente 47,4 toneladas de gelo. Considerando que o custo do gelo seja R\$ 0,50/kg, houve uma redução de R\$ 23.700,00 no custo final do concreto do bloco devido à redução do nível de refrigeração.

Foi feita uma comparação entre as temperaturas medidas através dos termopares instalados no interior do bloco e as temperaturas calculadas através das simulações computacionais e os valores se aproximaram consideravelmente, o que comprovou a importância da realização de estudos térmicos para estruturas de concreto massa.

6 Referências

ABNT, NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. 2014.

ABNT, NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. 2015.

ABNT, NBR 13116: **Cimento Portland de baixo calor de hidratação - Especificação**. 1994.

ACI Committee 207. **Mass Concrete**. American Concrete Institute.

EN 197-1. **Cement – Part 3: Composition, specifications and conformity criteria for low heat common cements**. 2000.

FURNAS - Editor Walton Pacelli de Andrade. **Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo - Ensaios e Propriedades**. Ed. Pini, São Paulo-SP, 1997.

Gambale, E. A.; Castro, A.; Andrade, M. A. S.; Traboulsi, M. A. **Análise estatística dos parâmetros que intervêm no fenômeno térmico do concreto massa**. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON. Fortaleza, 2010.

Kuperman, S. C.: **Concreto Massa Convencional e Compactado com Rolo para Barragens**. Concreto-Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, vol. 2, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3rd Edition. McGraw-Hill, New York. 2006.