

## SIMULAÇÃO DE TENSÕES TÉRMICAS DO BLOCO DE FUNDAÇÃO DO EDIFÍCIO PAULISTA CORPORATE

### THERMAL STRESSES SIMULATION OF PAULISTA CORPORATE BUILDING BLOCK FOUNDATION

Eduardo I. Funahashi Jr. (1); Selmo Chapira Kuperman (2); Diego Rossini (3)

(1) Engenheiro Civil/DESEK Ltda., [eduardo.desek@gmail.com](mailto:eduardo.desek@gmail.com)

(2) Doutor em Engenharia Civil /DESEK Ltda., [selmo@desek.com.br](mailto:selmo@desek.com.br)

(3) Engenheiro Civil, Universidade Estadual Paulista/GAFISA S/A, [drossini@gafisa.com.br](mailto:drossini@gafisa.com.br)

### Resumo

Estruturas maciças de concreto são mais suscetíveis às chamadas fissuras de origem térmica. Por isso, torna-se necessário o controle da elevação de temperatura em seu interior através da utilização de materiais com características e metodologias executivas adequadas.

Este trabalho apresenta estudo de um plano de concretagem a partir da análise das temperaturas e tensões de origem térmica do bloco de fundação do edifício *Paulista Corporate* localizado na cidade de São Paulo, previamente a sua concretagem.

O estudo empregou um modelo tridimensional de elementos finitos utilizando-se o software B4cast. Para comparação com os valores de temperaturas obtidos nas simulações, durante e após a concretagem as temperaturas do concreto foram registradas através de termômetros instalados no interior da estrutura.

A partir das dimensões do bloco de, aproximadamente, 17,5m x 9,0m x 2,8m com volume teórico de 441m<sup>3</sup> lançados em uma única etapa, traço a ser utilizado, condições de lançamento do concreto (fabricado com adição de gelo) e resistência característica de 45 MPa aos 28 dias, foi realizado o estudo de tensões térmicas para minimizar a possibilidade de fissuração.

Os resultados demonstraram a importância do emprego da refrigeração do concreto neste tipo de estrutura e a adequação do cálculo de tensões térmicas através do modelo empregado. Chama-se a atenção para a importância de simulação computacional para orientar metodologias construtivas a serem utilizadas para diminuição dos riscos de fissuração térmica.

*Palavra-Chave: concreto massa, fissuras de origem térmica, simulação computacional, software B4cast, concreto refrigerado*

### Abstract

Massive concrete structures are more susceptible to the development of thermal cracks. Therefore, it is necessary to control the temperature rise inside through the use of appropriate materials and suitable construction methodologies.

This work presents the constructive methodology developed previously to the construction and based in a thermal stress analysis of the concrete block foundation of *Paulista Corporate* building located in São Paulo-SP.

Thermal stresses were calculated with a three dimensional model using the finite element method calculated through the B4cast software. For comparison with the values of temperatures obtained in the computer simulations the real concrete temperatures were recorded by thermometers embedded in the block foundation.

Dimensions of the block of are approximately 17.5 meters in length, 9.0 meters wide and 2.8 meters high comprising a theoretical volume of 441m<sup>3</sup>. Thermal stresses studies simulated the casting in a single phase, the concrete mixture used, concrete placement conditions (cooling with ice) and a characteristic strength of 45MPa at 28 days. The aim was to minimize the possibility of thermal cracking in the structure.

The results showed the importance of using cooling concrete in that structures and the adequacy of the thermal stresses calculation through the model employed. Attention is drawn to the importance of computer simulation to guide appropriate constructive methodology to be used for reducing the risk of thermal cracking of the concrete.

*Keywords: mass concrete, thermal cracks, computer simulation, b4cast software, cooling concrete*

## 1 Objetivo

Este trabalho apresenta uma avaliação das tensões de origem térmica passíveis de ocorrerem quando da concretagem do bloco de fundação do edifício Paulista Corporate, localizado na Av. Paulista em São Paulo, além dos procedimentos básicos de controle de qualidade e metodologias utilizadas neste projeto que visam reduzir as probabilidades de ocorrência de fissuras de origem térmica.

## 2 Introdução

Concreto massa é definido como aquele onde o volume é de tal magnitude que requer meios especiais para combater a geração de calor e a decorrente mudança de volume. Um dos mais importantes fatores associados às fissuras de origem térmica, em estrutura de concreto massa é a evolução e distribuição do aumento da temperatura em toda a seção, a qualquer instante, após o seu lançamento. O aumento da temperatura é uma consequência direta da evolução do calor de hidratação do cimento.

Em estruturas com grandes dimensões e volumes de concreto e susceptíveis a variações térmicas conseqüentes das condições ambientais da região da obra, criam-se possibilidades das temperaturas a serem desenvolvidas no interior da estrutura, 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 de construção 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 baseado no método dos elementos finitos. Para o estudo foi utilizado o programa b4cast versão 3.31, baseado no MEF, e que considera diversos fatores para sua modelagem matemática como, por exemplo, a temperatura de lançamento do concreto fresco, velocidade de lançamento do concreto, condições ambientais (variação da temperatura ambiente e velocidade do vento), consumo de cimento, propriedades térmicas dos materiais, traços dos concretos utilizados e a geometria da estrutura, entre outros.

## 3 Estudos Preliminares - Definição dos parâmetros de entrada

Para que a modelagem matemática represente fidedignamente as condições reais da estrutura quando de sua concretagem, é necessário o conhecimento prévio das propriedades térmicas e mecânicas dos materiais a serem empregados, além do plano de concretagem e das condições ambientais em que a estrutura estará submetida. O projeto

deste bloco de fundação, de dimensões 17,5m x 9,0m x 2,8m com um volume teórico de 441m<sup>3</sup>, previa sua concretagem de uma só vez com  $f_{ck}$  de 45MPa aos 28 dias.

Para evitar a ocorrência de fissuras térmicas seria necessário reduzir a temperatura máxima a ser atingida pelo concreto. O controle da temperatura de lançamento é de grande influência para evitar a fissuração térmica do concreto massa. Em geral, quanto mais baixa a temperatura do concreto, quando este passa do estado plástico para o estado elástico, menor será a tendência de fissuração.

Antes da definição do nível de refrigeração do concreto, através da simulação computacional pelo método dos elementos finitos, foram tomadas algumas medidas preventivas, tecnicamente disponíveis, para que o efeito de geração de calor fosse minimizado.

Primeiramente optou-se pelo uso de cimento com baixo calor de hidratação e disponível no mercado. A NBR 13116 (1994) classifica cimento com baixo calor de hidratação àquele que possui um calor menor que 260J/g e 300J/g, para tempo de ensaio de 72 e 168 horas, através da determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant.

Definido o tipo de cimento que seria utilizado, procurou-se reduzir seu consumo na dosagem, desde que não comprometesse a resistência mínima e os requisitos de trabalhabilidade previamente especificados pelo projetista. Uma alternativa para a redução do consumo do cimento seria optar pelo aumento da idade de controle maior que 28 dias. Porém, em virtude do cronograma da obra e solicitação do calculista estrutural, não seria possível estender o controle a esta idade. Sendo assim, a redução do consumo de cimento pode ser realizada mediante a adição de material pozolânico de alta reatividade (Metacaulim) que produz uma redução na elevação adiabática da temperatura em virtude da substituição parcial do cimento Portland na mistura.

Outro aspecto relevante para a minimização dos efeitos de variação de temperatura em estruturas massivas de concreto é seu isolamento superficial. Esta é uma medida que não visa restringir a elevação de temperatura, mas regular a taxa de queda de temperatura de forma que as diferenças de tensão, devidas a altos gradientes de temperaturas entre a superfície do concreto e seu interior, sejam reduzidas. Depois de o concreto endurecer e adquirir elasticidade, quedas de temperaturas ambiente e aumentos da temperatura interna agem ao mesmo tempo para aumentar o gradiente de temperatura e o diferencial de tensão. A proteção através de manta geotextil saturada, por exemplo, contribui para moderar a taxa de perda de calor de superfície e reduzir um quadro de fissuração superficial.

### 3.1 Concretagem Teste – Lastro do bloco de fundação

Como alternativa para subsidiar informações sobre parâmetros de entrada para simulação computacional do bloco de fundação e, principalmente para a definição da dosagem e trabalhabilidade do concreto, desempenho dos materiais empregados, nível de ANAIS DO 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - 53CBC0413

refrigeração máximo, velocidade de concretagem com utilização de bomba e caracterização das propriedades térmicas e mecânicas, realizou-se uma concretagem teste de aproximadamente 20 m<sup>3</sup> de concreto no lastro. Para esta operação foi lançado um concreto com as mesmas características daquele do bloco de fundação. A partir desta “concretagem teste” pode-se definir:

- Nível máximo de refrigeração do concreto com adição parcial de gelo em substituição de 80% da água de amassamento na própria usina;
- Definição da velocidade de lançamento do concreto por m<sup>3</sup> considerando a utilização de uma única bomba;
- Características mecânicas dos corpos de prova moldados a 3 e 7 dias, possibilitando a estimativa da evolução da resistência ao longo do tempo;

A Figura 1 e Figura 2 mostram detalhes da concretagem do lastro do bloco de fundação.



Figura 1. Concretagem da regularização do bloco de fundação



Figura 2. Medição da temperatura de lançamento do concreto através de termômetro digital previamente ao seu lançamento

A partir destas informações pode-se refinar o modelo matemático com dados provenientes das condições de campo e mais próximas da situação real da obra impostas pelo projeto. Definidos os parâmetros de entrada do modelo realizou-se a simulação computacional para verificar o nível de refrigeração adequado para minimizar um quadro fissuratório.

## 4 Parâmetros de cálculo

### 4.1 Dosagem do Concreto

A Tabela 1 indica a dosagem do concreto utilizada no bloco de fundação do edifício Paulista Corporate.

Tabela 1. Dosagem do concreto – Paulista Corporate

Material	Fornecedor	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento CPIII 40RS	Caue Jacareí	386
Metacaulim	Metacaulim	34
Areia Fina	Concresand	493

Pedrisco Misto	Khoury	410
Brita 0	Basalto 9	100
Brita 1	Basalto 9	772
Água	Sabesp	48
Gelo	Gelo	130
Aditivo 1 = 440LF	Rheotec	2,100
Aditivo 2 =Glenium 51	Basf	1,302

## 4.2 Características Mecânicas do Concreto

A partir dos ensaios de compressão para as idades de 3 e 7 dias realizados pela concreteira e laboratório de controle tecnológico, foram estimados com maior precisão os valores da resistência a compressão do concreto utilizado. A resistência a tração foi considerada como 10% da resistência a compressão como mostra a Figura 3.

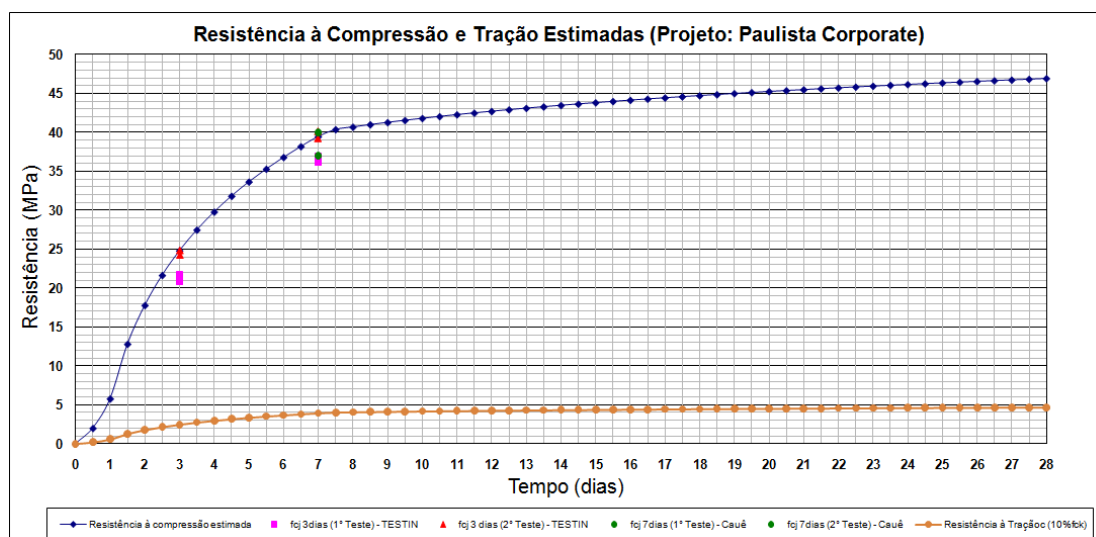


Figura 3. Evolução da resistência a compressão e tração do concreto estimada

Os valores de módulo de elasticidade foram estimados a partir das premissas constantes da NBR 6118, onde:

$$E_{ci} = 5600(f_{cj})^{1/2}, \text{ à idade de 28 dias} = \text{módulo de elasticidade inicial} \quad (\text{Equação 1})$$

$$E_{cs} = 0,85E_{ci} = \text{módulo de elasticidade secante} \quad (\text{Equação 2})$$

Foi adotado coeficiente de Poisson de 0,21.

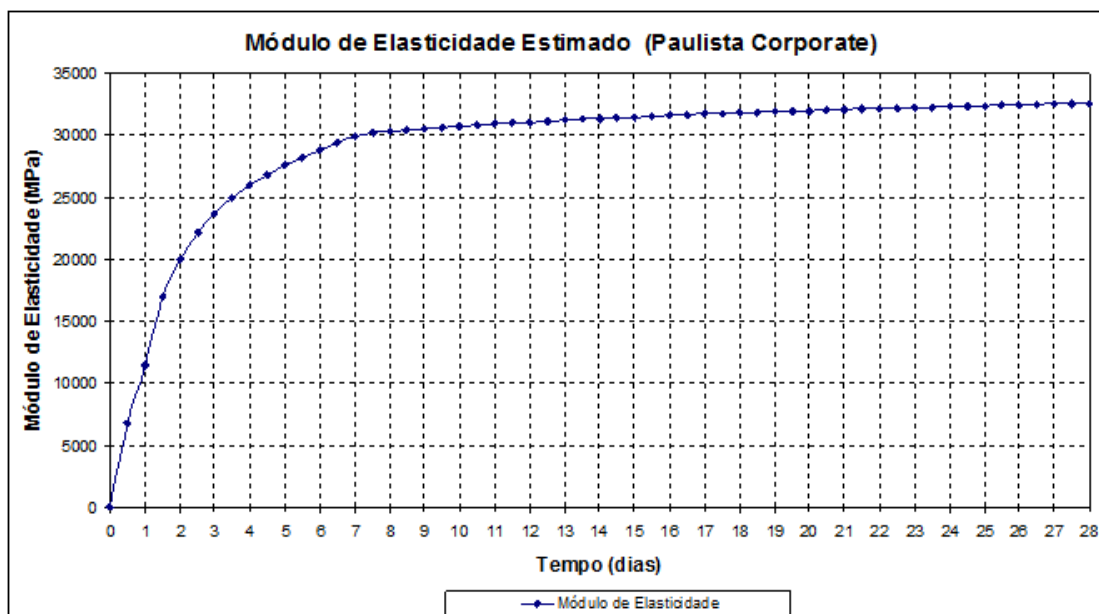


Figura 4. Evolução do módulo de elasticidade

### 4.3 Características Térmicas dos Concretos

A partir do tipo de cimento e do ensaio de calor de hidratação (Figura 5) pode-se estimar a elevação adiabática do concreto.

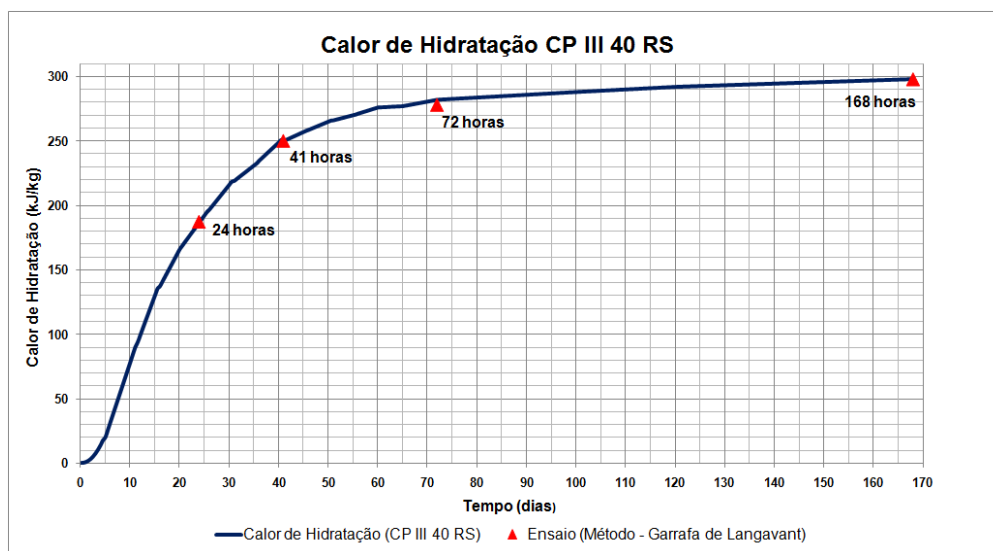


Figura 5. Evolução do calor de hidratação CP III 40 RS

A curva de elevação adiabática do concreto, como mostra a Figura 6, foi calculada através da fórmula de Rastrup a partir dos valores de calor de hidratação do cimento, consumo de cimento, massa específica e calor específico do concreto como mostra a Equação 3.

$$\Delta T = \frac{(\text{Calor de Hidratação}) \cdot C}{\lambda \cdot c} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$\Delta T$  = Elevação adiabática (°C);  $\lambda$  = Massa específica do concreto (kg/m<sup>3</sup>);  $c$  = Calor específico do concreto (kJ/kg °C)  $C$  = Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)

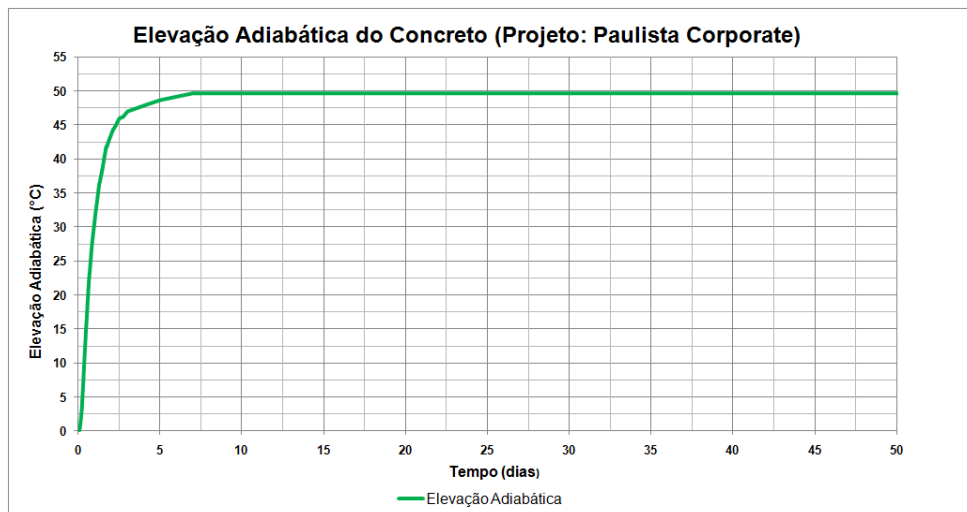


Figura 6. Curva de elevação adiabática

Na Tabela 2 são apresentados os valores de calor específico, condutividade térmica e coeficiente de dilatação térmica estimados para o concreto de acordo com as características e litologia do agregado empregado.

Os valores do calor específico ( $c$ ) e condutividade térmica ( $k$ ) do concreto foram estimados considerando os valores individuais de cada material nas expressões a seguir:

$$c = \frac{\sum m_i c_i}{\sum m_i} \quad (\text{Equação 4}) \quad \text{e} \quad k = \frac{\sum m_i k_i}{\sum m_i} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:  $c_i$  = calor específico de cada constituinte da dosagem;  $k_i$  = condutividade térmica de cada constituinte do concreto;  $m_i$  = massa de cada constituinte da dosagem.

Tabela 2. Características térmicas dos concretos

Propriedade térmica	Concreto
Calor específico (kJ/kg.°C)	0,99
Condutividade térmica (kJ/m.h.°C)	8,77
Coefficiente de dilatação térmica ((10 <sup>-6</sup> /°C)	9,4

#### 4.4 Condições de Contorno

Como a concretagem seria ininterrupta, optou-se pela utilização de duas bombas de concretagem simultaneamente suprindo o concreto a uma velocidade de aproximadamente 35m<sup>3</sup>/h. A modelagem matemática considerou o bloco assentado sobre solo de fundação seguido do lastro de concreto com as mesmas características do concreto do bloco de fundação. A partir das características do solo de fundação podem-se estimar as características termo-mecânicas para modelagem de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades do solo de fundação

Propriedades da fundação	
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	1800
Calor específico (kJ/kg/°C)	0,74
Condutividade térmica (kJ/m/h/°C)	10,4
Módulo de elasticidade (MPa)	1500
Coefficiente de dilatação térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	6,3
Coefficiente de Poisson	0,21

Para a simulação, foi adotada a temperatura média ambiente baseada nas condições locais da obra baseando-se nas temperaturas registradas desde fevereiro a março de 2010 e dados de previsão de tempo como mostra a Figura 7.

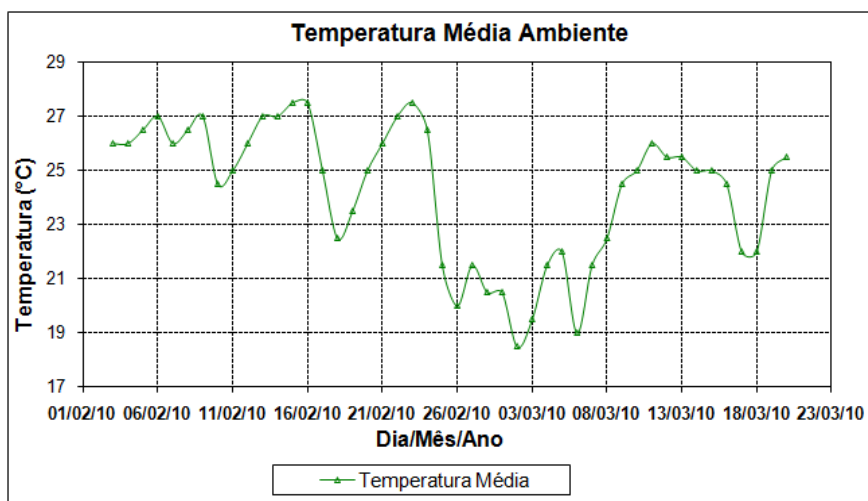


Figura 7. Temperatura média ambiente – fevereiro a março de 2010

##### 4.4.1 Coeficientes de Transmissão Superficial de Calor

Os coeficientes de transmissão superficial de calor considerados constam da Tabela 4.

Tabela 4– Transmissão superficial de calor

Tipo de troca	Transmissão superficial de calor (kJ/m <sup>2</sup> .h.°C)
Concreto - ar	48,57
Concreto - água de cura	1256,04
Concreto – fôrma <sup>(1)</sup> +vento <sup>(2)</sup>	138,6

Nota: (1) Fôrma metálica; (2) Velocidade do vento=7m/s.



As fôrmas foram simuladas como colocadas no início da concretagem e retiradas 48 horas após o término da concretagem.

## 5 Modelo Analisado e Malha de Elementos Finitos

Foram simuladas as evoluções de temperaturas e tensões que ocorreriam num modelo tridimensional de elementos finitos, nas seções mais críticas do bloco de fundação. A malha de elementos finitos utilizada nos cálculos da estrutura é apresentada na Figura 9. O cálculo tridimensional de temperaturas, no elemento de concreto, pressupõe que a propagação de calor ocorre na seção transversal e longitudinal simultaneamente aproximando-se de uma situação real.

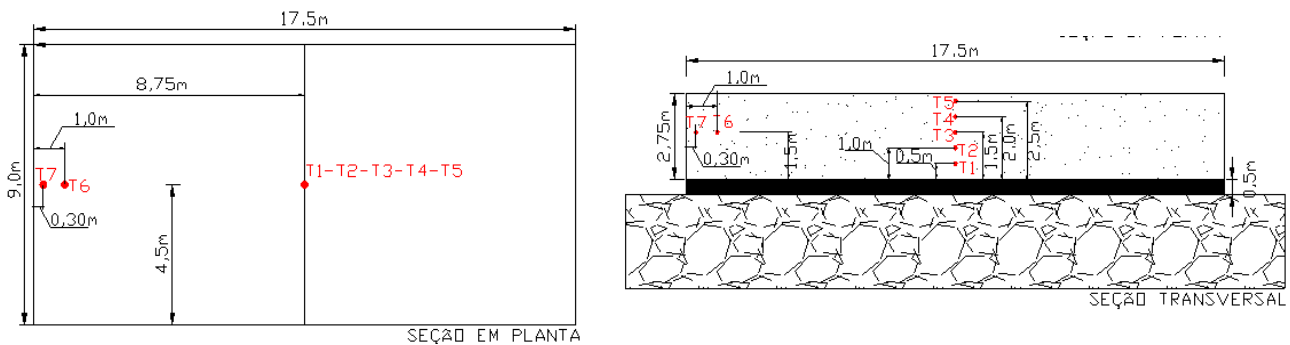


Figura 8. Seção em Planta e Transversal do bloco – Notar localização dos pontos de estudo

A malha de elementos finitos é automaticamente formada por elementos tetraédricos. Os elementos tetraédricos são formados com 10 nós para análise térmica e 20 nós (cada um com 3 graus de liberdade) para análise das tensões.

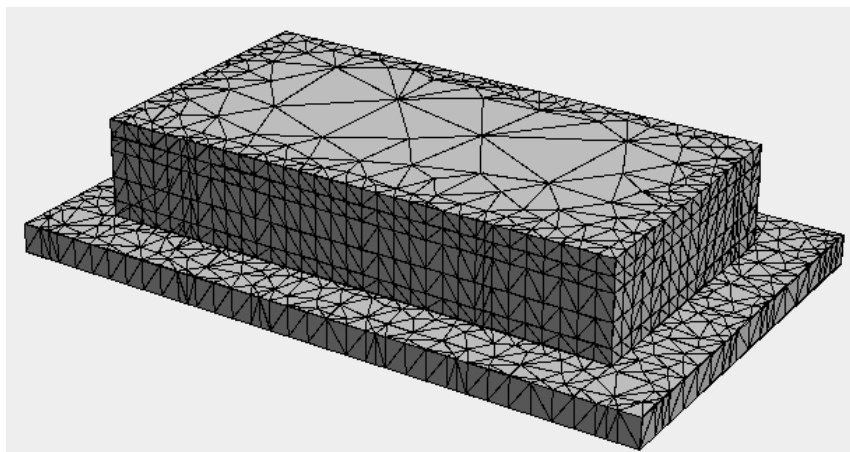
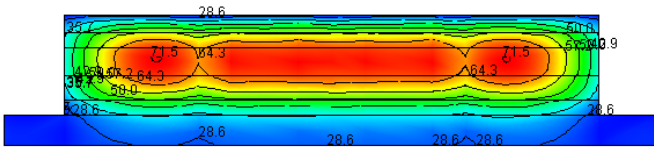


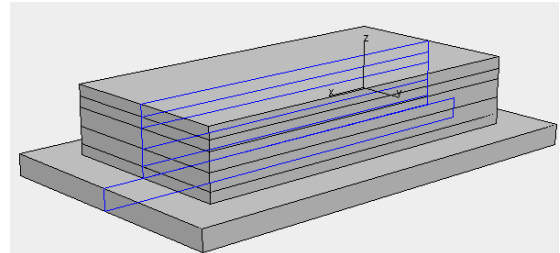
Figura 9. Malha de elementos finitos

### 5.1 Resultados da Análise Térmica

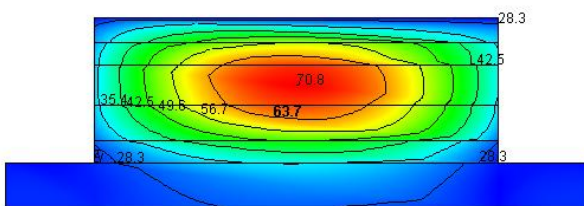
A Figura 10 apresenta as isotermas e seções estudadas para o bloco de fundação nas três direções do modelo analisado.



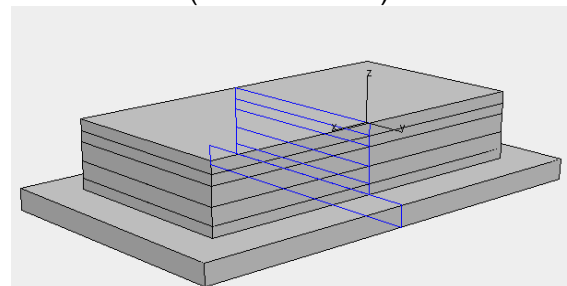
Isotermas na Seção "X"-Transversal - 152 horas após o início da concretagem



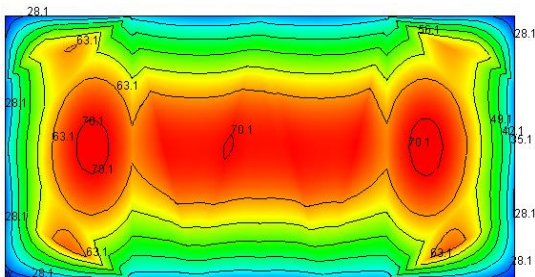
Localização da seção de análise -  $d=8,75m^{(1)}$  (Contorno azul)



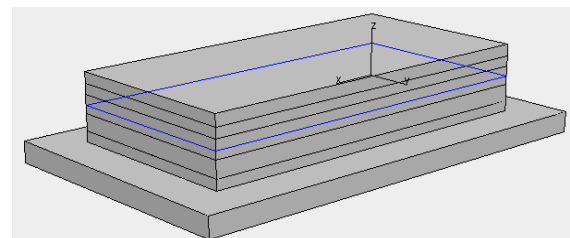
Isotermas na Seção "Y"-Longitudinal-152 horas após o início da concretagem



Localização da seção de análise -  $d=4,5m^{(2)}$  (Contorno azul)



Isotermas na Seção "Z"-152 horas após o início da concretagem



Localização da seção de análise -  $h=1,5m^{(2)}$  (Contorno azul)

Nota: (1) distância da seção em relação à face de 17,5m; (2) Distância da seção em relação a face de 9m; h=Altura da seção em relação à base da estrutura

Figura 10. Isotermas para as seções "X", "Y" e "Z"

A Figura 11 e Figura 12 apresentam a evolução das temperaturas nos pontos estudados e, teoricamente, considerados mais críticos.

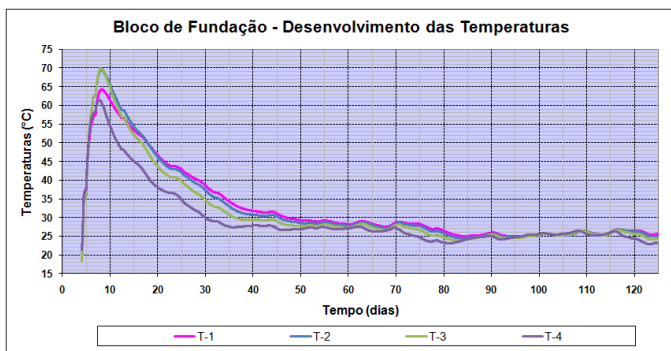


Figura 11. Desenvolvimento das temperaturas (Pontos T-1, T-2, T-3 e T-4)

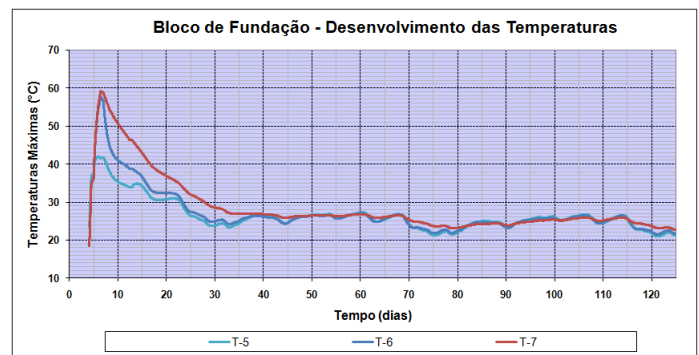


Figura 12. Desenvolvimento das temperaturas (Pontos T-5, T-6 e T-7)

## 5.2 Resultados de Tensões de Origem Térmica

A partir dos cálculos de temperaturas é calculado o desenvolvimento das tensões de origem térmica prováveis de ocorrerem em cada ponto estudado, como mostram a Figura 13 e Figura 14. As tensões obtidas na estrutura são originárias da queda de temperatura e função das restrições atuantes ao longo do tempo, a partir do lançamento do concreto e comparado ao desenvolvimento da resistência média à tração do concreto.

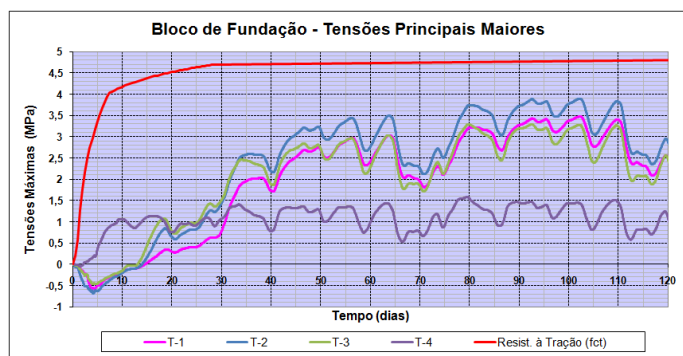


Figura 13. Desenvolvimento das tensões principais máximas (Pontos T-1, T-2, T-3 e T-4)

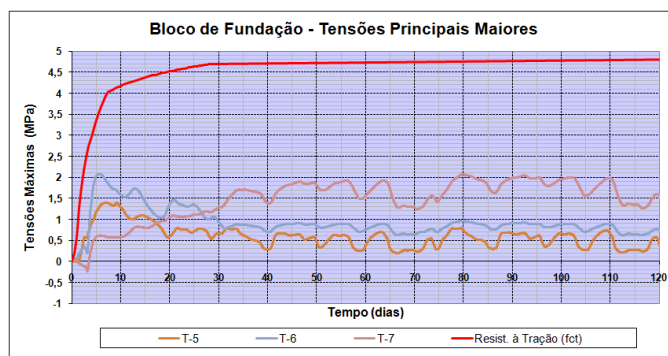


Figura 14. Desenvolvimento das tensões principais máximas (Pontos T-5, T-6 e T-7)

## 5.3 Zoneamento das Temperaturas de Lançamento

A partir dos resultados obtidos foi configurado um zoneamento de temperaturas de lançamento para todo o bloco, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Plano de Concretagem a partir do zoneamento das temperaturas de lançamento

Altura do início da camada em relação ao lastro (m)	Altura da camada (m)	Volume de concreto teórico (m <sup>3</sup> )	Temperatura de lançamento máxima ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )
0	0,8	126	21,5
0,8	0,9	142	18,0
1,7-	0,5	79	21,5
2,2	0,6	94	23,5

## 5.4 Temperaturas de Lançamento Previamente a Concretagem

A partir dos cálculos realizados, definiram-se as temperaturas de lançamento dos concretos de acordo com o zoneamento proposto na Figura 15.

0,55m	<b>TL <math>\leq 23,5^\circ\text{C}</math> (<math>\pm 2^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>V<sub>c</sub>=86m<sup>3</sup></b>	2,75m
0,5m	<b>TL <math>\leq 21,5^\circ\text{C}</math> (<math>\pm 2^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>V<sub>c</sub>=79m<sup>3</sup></b>	2,2m
0,9m	<b>TL <math>\leq 18,0^\circ\text{C}</math> (<math>\pm 2^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>V<sub>c</sub>=142m<sup>3</sup></b>	1,7m
0,8m	<b>TL <math>\leq 21,5^\circ\text{C}</math> (<math>\pm 2^\circ\text{C}</math>)</b>	<b>V<sub>c</sub>=126m<sup>3</sup></b>	0,8m
0,5m	<b>Lastro TL = 25°C</b>		0m

Nota: TL=Temperatura de lançamento do concreto; V<sub>c</sub>=Volume de concreto teórico em cada zona de temperatura de lançamento

Figura 15. Zoneamento de temperatura de lançamento – Bloco de Fundação - Paulista Corporate

Foi desenvolvida logística adequada para que a concretagem fosse realizada de acordo com a simulação computacional.



Figura 16. Caminhão frigorífico com gelo



Figura 17. Posicionamento dos caminhões betoneira para fornecimento contínuo do concreto



Figura 18. Termômetro de haste utilizado para medição da temperatura do concreto fresco previamente a concretagem



Figura 19. Equipamento utilizado para medição da temperatura ambiente e umidade relativa do ar

Todas as temperaturas de lançamento do concreto fresco foram registradas previamente a sua concretagem como mostra a Figura 20. A partir das simulações, foram especificadas três faixas de temperaturas de lançamento em função altura do bloco de fundação, onde a faixa verde representa a temperatura favorável ao lançamento, a faixa amarela (faixa de  $\pm 2^\circ\text{C}$  em relação a faixa verde) representando uma faixa de atenção e a faixa vermelha representando um estado de alerta e menos indicada ao lançamento.

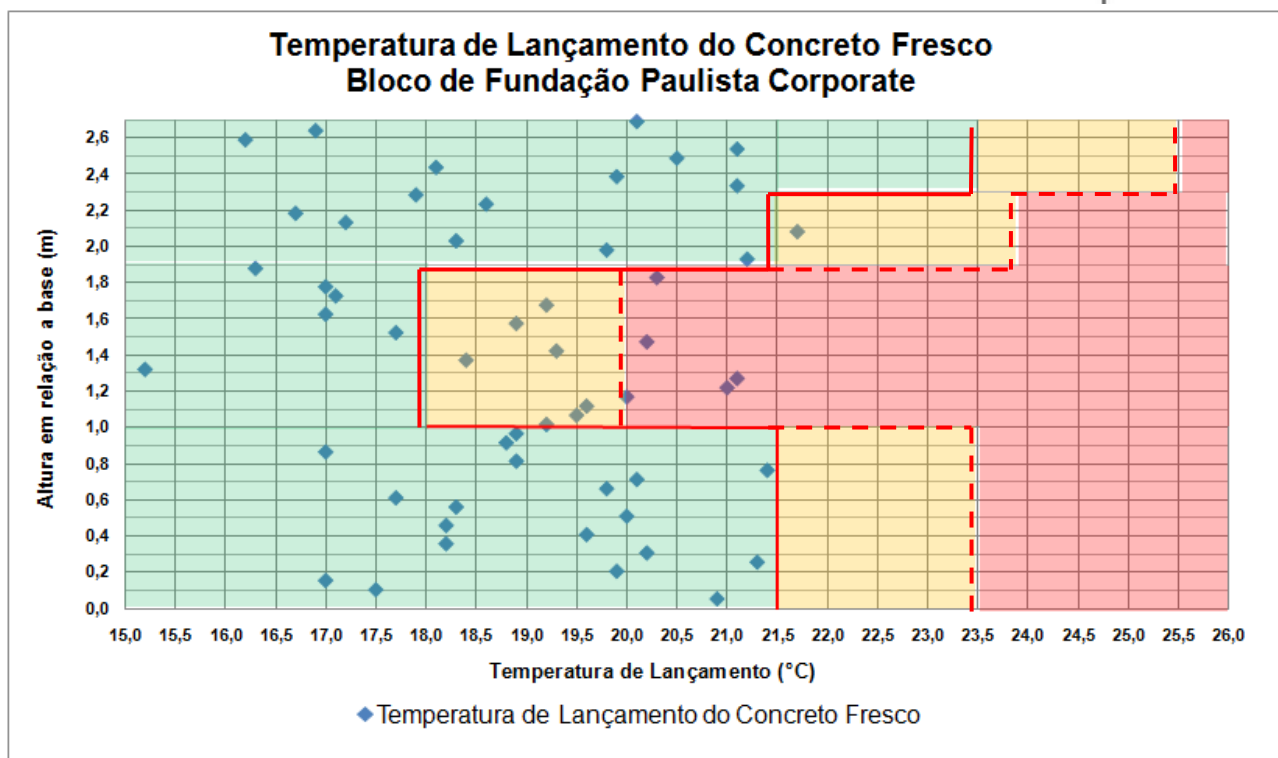


Figura 20. Temperatura de lançamento do concreto fresco previamente a concretagem

Através da Figura 20 verificou-se que 75,9% encontram-se na região da faixa verde 14,8% enquadram-se na faixa amarela e 9,3% na faixa vermelha. A partir deste gráfico nota-se que a grande maioria das temperaturas de lançamento obedeceram as temperaturas de lançamento especificadas.

## 5.5 Instalação dos Termopares e Monitoramento das Temperaturas

Para avaliar a elevação de temperatura no interior da estrutura de concreto e temperatura de lançamento, foram instalados sete termopares (nomeados de T-1 a T-7) nos quais eram realizadas leituras a cada hora após o lançamento do concreto, até que o pico máximo de temperatura no interior da estrutura fosse atingido (aproximadamente 80 horas). Após este período foram realizadas leituras a cada 1, 5, 6 e 7 dias, respectivamente. A Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24 mostram uma comparação entre as leituras realizadas nos termopares e a simulação realizada previamente a concretagem.

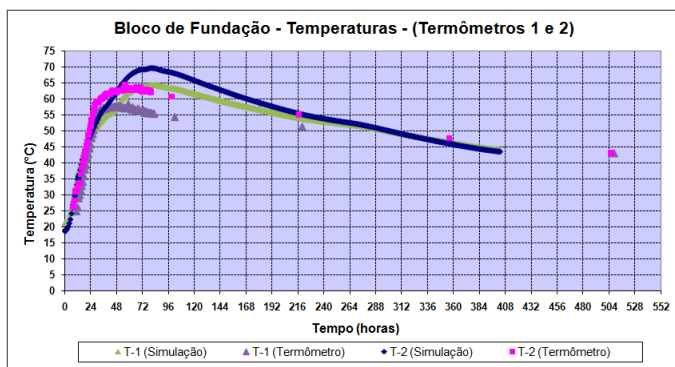


Figura 21. Pontos T-1 e T2

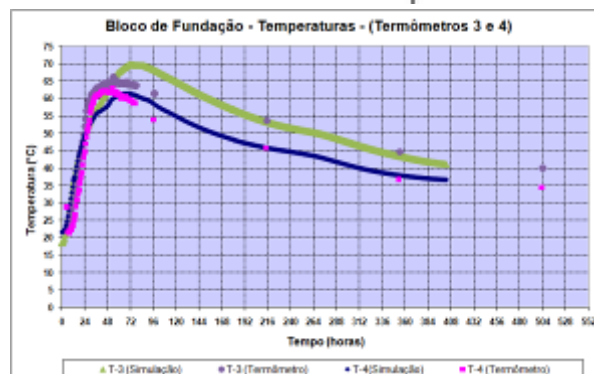


Figura 22. Pontos T-3 e T4

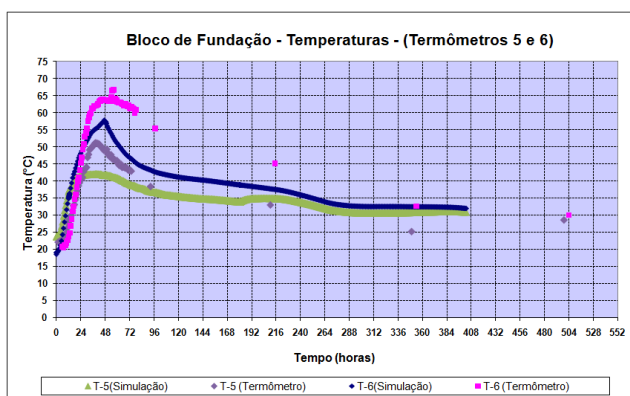


Figura 23. Pontos T-5 e T6

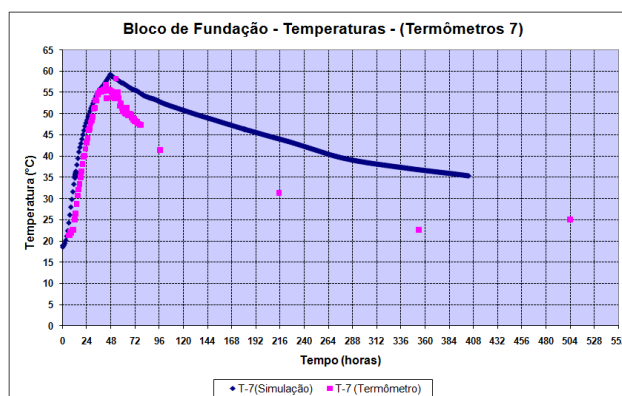


Figura 24. Ponto T-7

A partir da leitura dos gráficos, nota-se que a evolução das temperaturas medidas e simuladas indicadas pelos pontos T-1, T2, T-3 e T-4, apresentam similaridade. Os picos de temperatura da simulação apresentam maior valor em aproximadamente 5°C entre o período de 2 a 3 dias. O termômetro instalado no ponto T-6 mostra um acréscimo de temperatura de aproximadamente 4°C quando comparada a simulação. Esta diferença pode estar relacionada ao local de instalação do termopar a mais de 30 cm da superfície lateral do bloco. O termômetro instalado na posição T-5 apresentou diferença de aproximadamente 8°C em relação a simulação. Esta diferença pode estar relacionada principalmente as condições de contorno adotadas para cura já que o modelo considerou a cura realizada com “piscina de água” ao invés de manta geotextil como adotada pela obra e que possibilita uma menor perda de calor para o ambiente. Também pode ser considerada a instalação do termômetro T-7 a mais de 25 cm da superfície lateral do bloco e que possibilitaria uma maior perda de calor para o ambiente, podendo também estar relacionadas as condições de contorno naquela região.

## 6 Conclusões e Recomendações

É importante citar que os estudos térmicos fornecem uma avaliação da segurança contra a ocorrência de fissuras apenas de origem térmica. Outros fatores, não considerados nos estudos, podem aumentar o risco de aparecimento de fissuras, se somados ao efeito das variações de temperatura. Entre estes fatores, podem ser citadas as ocorrências de fissuras de retração plástica ou por secagem do concreto devido, por exemplo, a

deficiências na cura do concreto, problemas decorrentes da falta de estabilidade das fôrmas durante os trabalhos de concretagem e deficiências de adensamento.

A redução da temperatura máxima a ser atingida pelo concreto pode ser obtida mediante refrigeração do concreto. Outras medidas importantes que poderiam auxiliar seriam a redução do consumo de cimento, substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos, aumento da idade de controle das resistências (desde que haja real aumento das mesmas ao longo do tempo) e redução do valor exigido das resistências de modo a se reduzir o consumo de cimento;

A determinação dos parâmetros através de concretagem teste como utilizado no estudo do bloco de fundação do edifício Paulista Corporate, contribuiu significativamente para a modelagem matemática possibilitando uma maior aproximação das condições reais impostas pela obra. Ensaios para caracterização das propriedades térmicas e mecânicas do concreto subsidiam informações essenciais para este tipo de estudo.

É essencial, para este tipo de concretagem, que o controle tecnológico inclua o acompanhamento do carregamento dos caminhões na central de concreto, a monitoração das temperaturas de lançamento do concreto fresco e acompanhamento da evolução das temperaturas, a partir dos sensores instalados nos pontos mais críticos do bloco, após sua concretagem.

Através da instalação dos termopares, pode-se acompanhar a temperatura de lançamento do concreto quando nas formas, além de verificar se a evolução das temperaturas simuladas previamente a concretagem estão de acordo com as medidas "in loco".

A partir da comparação entre os termômetros e os resultados dos estudos térmicos pode se concluir que os resultados apresentaram boa representatividade, comprovando a utilidade de sua aplicação para realização deste tipo de estudo estudos térmicos.

## 7 Agradecimentos

Os autores agradecem a construtora Gafisa por autorizar a publicação dos dados deste projeto além das empresas Cauê Cimentos e Testin pela disponibilização dos dados referentes ao projeto.

## 8 Referências

ACI COMMITTEE 116. **Cement and Concrete Technology**, ACI 116R-00, ACI Committee 116 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 73 p., 2000.

ACI COMMITTEE 207, Mass Concrete, ACI 207.1R-96, ACI Committee 207 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 42 p., 1996.

ABNT NBR 13116. **Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação – Especificação**, 1994.

FREIESLEBEN-HANSEN, P., et. al.. **Maturity Computer for Controlled Curing and Hardening of Concrete**, Nordisk Betong, vol. 1, pp. 21-25, 1977.

FURNAS. **Concretos – Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo, laboratório de concreto**, editor Walton Pacelli de Andrade, PINI, São Paulo, 1997.

HETEK. **Control of Early Age Cracking in Concrete**, Main Report, Report No. 118. Road directorate, Ministry of Transport, Denmark, 1997.

KUPERMAN, S. C.. **Concreto Massa Convencional e Compactado com Rolo para Barragens**, Concreto-Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, São Paulo, Vol. 2, 2005.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. - **“Concrete - Structure, Properties and Materials”**, Editora Pini Ltda., São Paulo, Chapter. 13, 652p., 2006.

RASTRUP, E. - **“Heat of Hydration in Concrete”**, Magazine of Concrete Research, Copenhagen, Vol. 6, nº 17, p. 79-92, 1954.