



Fissuração de Origem Térmica em Blocos de Fundação: Quando Refrigerar o Concreto?

Thermal Cracks in Foundation Blocks: When Concrete Should be Cooled?

Grazielle Ribeiro Vicente (1); Selmo Chapira Kuperman (2); Eduardo Issamu Funahashi Jr. (3)

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

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

(3) Engenheiro Civil, Desek Ltda., eduardo.desek@gmail.com
Av. Nove de Julho, 3229, cj. 1511 – Jardim Paulista, São Paulo, SP

Resumo

Alguns blocos de fundação podem ser considerados como estruturas de concreto massa e requerem meios especiais para reduzir a possibilidade de fissuração. O presente trabalho apresenta estudo paramétrico, por meio de simulações computacionais em modelo tridimensional, da concretagem de 30 blocos de fundação com bases quadradas, variando as larguras de 1x1 m até 10x10 m e as alturas de 1 a 3 m, com concretos de f_{ck} 30 MPa e 40 MPa, com cimento CII E 40, para as condições ambientais e materiais usualmente utilizados na cidade de São Paulo. O cálculo tridimensional das temperaturas e tensões geradas no interior das estruturas possibilitou determinar as condições necessárias para minimizar a fissuração de origem térmica do concreto. Neste trabalho verificou-se que blocos que usualmente não seriam considerados como estrutura de concreto massa e que em geral não são considerados "grandes", mostraram-se propensos a esse tipo de manifestação patológica. De acordo com os casos estudados isto pode ocorrer para blocos com volumes de concreto iguais ou superiores a 22,5 m³. Conclui-se que para verificar a possibilidade de ocorrência de fissuração de origem térmica não basta apenas conhecer a geometria do bloco, é necessário o conhecimento das propriedades do concreto, materiais constituintes, condições ambientais, propriedades da fundação, propriedades das formas, condições de cura e das metodologias construtivas.

Palavra-Chave: concreto massa, fissura, software b4cast, estudo térmico, refrigeração do concreto.

Abstract

Some foundation blocks may be considered mass concrete structures and require special procedures to reduce the possibility of cracking. This paper presents a parametric study, through computational simulations, of 30 concrete foundation blocks with square bases and varying widths from 1x1m to 10x10m and heights of 1 to 3 m, with f_{ck} 30 MPa and 40 MPa, with cement CII E 40, considering environmental conditions and materials commonly used in São Paulo city. The three-dimensional calculation of temperatures and stresses generated within structures allows the determination of the necessary conditions to minimize thermal cracking of the concrete. In this study it was found that blocks that usually would not be considered as mass concrete structure and are generally not considered "large", were subjected to this type of pathological manifestation. According to the studied cases this may occur for concrete blocks with volumes greater or equal to 22,5 m³. The conclusion is that to check the possibility of thermal cracking occurrence is not enough only to know the geometry of the block; it is necessary to know the properties of the concrete components, environmental conditions, foundation properties, formwork properties, curing conditions and constructive methodologies.

Keywords: mass concrete, crack, b4cast software, thermal study, concrete cooling.



1 Introdução

Este trabalho procura responder duas perguntas que frequentemente aparecem quando da concretagem de blocos de fundação: será que ocorrerão fissuras de origem térmica? Será que é necessário efetuar alguma medida de precaução?

Neste trabalho são analisadas as temperaturas e tensões de tração máximas que podem originar fissuras de origem térmica em blocos de fundação.

Alguns blocos de fundação podem ser considerados como estruturas de concreto massa, que por definição é qualquer volume de concreto com dimensões grandes o suficiente que requeiram meios especiais para controlar o calor gerado pela hidratação do cimento e a consequente mudança de volume, a fim de minimizar o risco de fissuração (ACI COMMITTEE 116, 2000).

A análise térmica das estruturas massivas pode ser feita por meio de estudos térmicos realizados com a utilização de *softwares*. Estes estudos simulam as condições reais de lançamento do concreto, de forma incremental e possibilitam verificar o comportamento térmico no interior da estrutura estudada, calculando as tensões e temperaturas atingidas. A análise dos resultados obtidos possibilita verificar a necessidade de mudanças nos métodos construtivos com o objetivo de minimizar o aparecimento de fissuras.

2 Componentes do Concreto

O cimento é o material responsável por provocar reações exotérmicas que se adicionado em grande quantidade ao concreto gera muito calor. A quantidade de calor produzida num volume unitário de concreto depende do tipo de cimento e do seu consumo no traço.

A dinâmica ou velocidade de reação depende basicamente da finura do cimento, relação água-cimento, temperatura e pressão do sistema. Apesar dos agregados serem inertes, sua presença pode modificar a estrutura de aglomeração dos grãos de cimento e alterar a cinética das reações de hidratação. Segundo Neville (2013), o mesmo valor total de calor produzido em um período de tempo maior pode ser dissipado de forma gradual e, por consequência, com menor elevação de temperatura consequente das reações exotérmicas de hidratação.

Cada tipo de cimento tem influência diferente no resultado da argamassa ou do concreto, afetando suas propriedades. Caso seja possível, para minimizar os efeitos térmicos no concreto, utiliza-se cimento de baixo calor de hidratação. A NBR 13116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) estabelece que os cimentos normalizados (CPI, CPII, CPIII, CPIV e CPV ARI) podem ser considerados como baixo calor de hidratação, desde que os valores máximos de calor de hidratação liberado aos 3 e 7 dias, sejam, respectivamente 260J/g e 300J/g. A utilização de agregados com propriedades térmicas convenientes (condutividade térmica, calor específico e coeficiente de dilatação térmica), baixo consumo de cimento e a adoção de procedimentos que permitam a

redução das temperaturas no interior das estruturas também contribuem para minimizar a possibilidade de fissuração de origem térmica.

É necessário entender a contribuição de cada material na temperatura do concreto fresco. A quantidade e temperatura de cada material na mistura e seu calor específico são variáveis que determinam a temperatura inicial do concreto fresco.

3 Fissuração de Origem Térmica

O concreto quando submetido a elevadas temperaturas tende a se expandir proporcionalmente ao seu coeficiente de dilatação térmica. Nas idades iniciais o concreto se apresenta no estado plástico, portanto, não apresenta restrições consideráveis, porém à medida que as reações de endurecimento vão ocorrendo e o concreto passa para o estado viscoelástico, as restrições à expansão do concreto aumentam, submetendo-o a tensões de compressão, as quais são de pequena magnitude devido aos efeitos de fluência nas idades iniciais.

A expansão do concreto ocorre até o instante em que a temperatura máxima é atingida e a partir deste instante começa a ocorrer o seu resfriamento e consequente contração. O concreto tende a voltar à sua forma inicial e caso haja restrição à sua movimentação podem ocorrer tensões de tração. O resfriamento do concreto ocorre até a estabilização da temperatura, ou seja, até o instante em que o concreto atinge o equilíbrio com a temperatura ambiente, conforme apresentado esquematicamente na Figura 1.

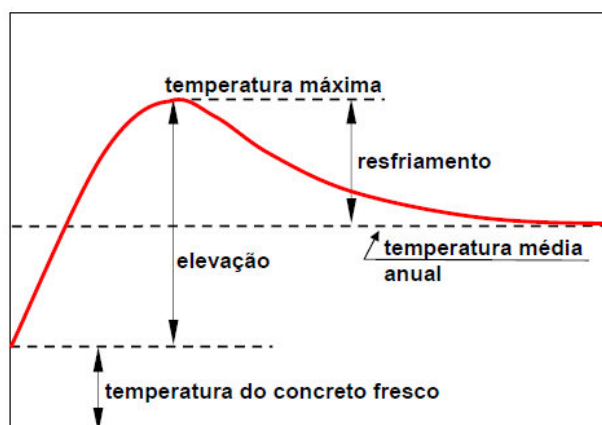


Figura 1. Variação de temperatura no concreto

Fonte: Marques Filho (2005, *apud* WENDLER; TURRA E SERIGHELI JUNIOR, 2007, p. 19)

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a tensão de tração resultante do resfriamento do concreto pode causar fissuração dependendo do módulo de elasticidade, do grau de restrição e da relaxação da tensão decorrente da fluência do concreto e é determinada pela Equação 1.

$$\sigma_t = Kr.[E/(1 + \phi)].\alpha.\Delta T \quad (1)$$

onde:

σ - tensão de tração;
 K_r - grau de restrição;
 E - módulo de elasticidade;
 φ - coeficiente de fluência;
 α - coeficiente de expansão térmica;
 ΔT - variação de temperatura.

O concreto massa fica restringido, externamente, pela fundação de rocha ou, internamente, pelas deformações diferenciais em diferentes áreas do concreto devido à presença de gradientes de temperatura. No caso de fundação rígida, há restrição total na interface concreto rocha ($K_r = 1,0$) e à medida que aumenta a distância em relação à base, a restrição diminui, como apresentado na Figura 2.

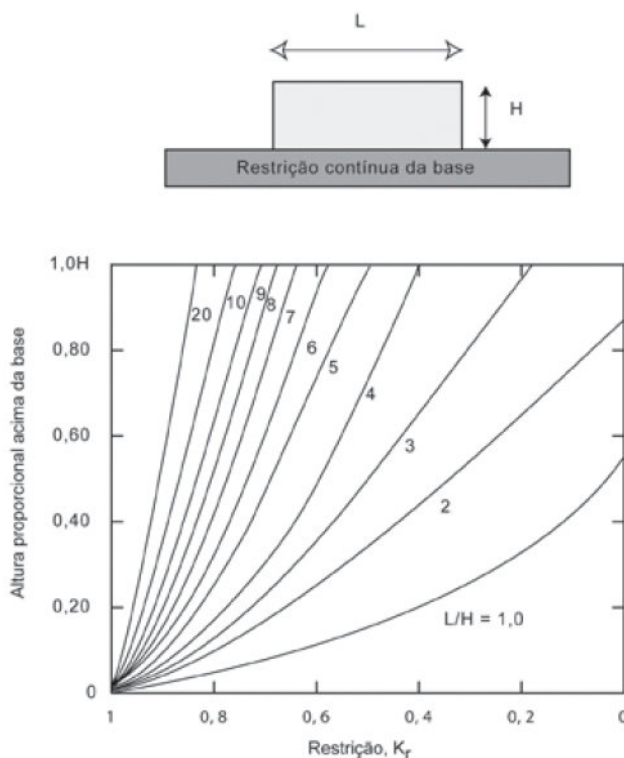


Figura 2. Grau de restrição de tração na seção central.

Fonte: ACI COMMITTEE 207 (1998, *apud* MEHTA e MÔNTEIRO, 2008, p. 111)

4 Controle da Temperatura do Concreto Massa

As principais técnicas construtivas para minimizar os efeitos térmicos são: subdivisão de camadas com espessuras menores, construção de recessos ou buracos verticais para facilitar o resfriamento, aumento de intervalos de tempo de lançamentos consecutivos, pré-refrigeração do concreto fresco, pós-refrigeração através de rede de tubos com circulação de água refrigerada e, em alguns casos, recobrimento das superfícies das camadas com material isolante.

A pré-refrigeração pode ser obtida de várias maneiras, sendo as mais comuns: emprego de gelo em substituição de parte da água de amassamento, uso de água gelada, refrigeração dos agregados graúdos, e em alguns casos refrigeração dos agregados miúdos na fabricação do concreto. De modo geral, quanto mais baixa a temperatura do concreto ao passar da fase plástica para a fase elástica, menor a tendência de fissuração. A pós-refrigeração é efetuada pela passagem de água gelada ou ar frio em tubulações embutidas no concreto. Outra prática às vezes empregada é a de se efetuar a refrigeração do concreto, após sua mistura, por meio de nitrogênio líquido.

5 Simulações Computacionais

Para determinar as condições necessárias para o aparecimento de fissuras em blocos de fundação decidiu-se simulá-los computacionalmente empregando geometria variável, concretos com propriedades distintas e usando o *software* de elementos finitos B4CAST.

Com base em verificações de projetos de blocos de fundação recentemente construídos foram considerados concretos com f_{ck} de 30 e 40 MPa aos 28 dias. As geometrias dos blocos foram variadas considerando seções quadradas e alturas variáveis.

Na região de São Paulo verifica-se a disponibilidade de escória de siderúrgica, portanto, normalmente se utiliza o cimento Portland composto com adição de escória granulada de alto forno (CPII E) e o cimento Portland de alto forno (CPIII). Neste trabalho utilizou-se o cimento CPII E 40 nas simulações.

5.1 Traço

Para a obtenção dos traços utilizados nas simulações dos blocos de fundação de concreto foi utilizado o método ABCP.

O Quadro 1 apresenta os consumos dos materiais constituintes dos concretos, que foram obtidos através do método da ABCP e utilizados nas simulações.

Traço	f_{ck} (MPa)	Cimento (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m ³)	Brita 1 (kg/m ³)	Areia natural (kg/m ³)	Areia artificial (kg/m ³)	Água (kg/m ³)
01	30	358	322	751	384	384	190
02	40	422	322	751	357	357	190

Quadro 1 Consumos dos materiais constituintes dos concretos.

Definido o traço, torna-se necessário conhecer as propriedades dos materiais, tais como calor específico, condutividade térmica, coeficiente de dilatação térmica, entre outros.

5.2 Propriedades Térmicas do Concreto

As propriedades térmicas dos materiais constituintes do concreto foram estimadas com base em bibliografias e considerando as características dos materiais disponíveis na região de São Paulo. Os valores de calor específico e condutividade térmica dos materiais constituintes do concreto considerados nas simulações estão apresentados no Quadro 2.

Materiais	Calor Específico (cal/g.°C)	Condutividade Térmica (W/m.K)
Cimento CII E 40	0,159	1,27
Areia natural (quartzo)	0,191	3,06
Areia artificial (granito)	0,176	2,89
Brita 0 (granito)	0,176	2,89
Brita 1 (granito)	0,176	2,89
Água	1,00	0,63

Quadro 2. Calor específico e condutividade térmica dos materiais.

Fonte: adaptado de Furnas (1997)

A partir dos valores constantes do Quadro 2 é possível calcular o calor específico e a condutividade térmica do concreto. A partir da média ponderada foram obtidos os valores de calor específico e condutividade térmica do concreto, que resultaram em 0,94 kJ/kg.°C e 9,0 kJ/m.h.°C, respectivamente para o traço 1 e 0,94 kJ/kg.°C e 8,8 kJ/m.h.°C, respectivamente para o traço 2.

Outra propriedade essencial para o cálculo térmico é o coeficiente de dilatação térmica do concreto (α). O valor do coeficiente de dilatação térmica da pasta foi obtido do livro de Furnas (1997) através da relação água-cimento. A partir da média ponderada entre os coeficientes de dilatação térmica da pasta e dos agregados, foram obtidos os coeficientes de dilatação térmica dos concretos que resultaram em $11,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ e $11,4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, para os traços 1 e 2, respectivamente.

Os valores do calor de hidratação do cimento Portland composto com adição de escória granulada de alto forno empregados foram os obtidos em ensaios realizados em 2012. Os valores obtidos através dos ensaios são apresentados no Quadro 3.

Resultados (J/g)					
12h	24h	41h	72h	120h	168h
148	260	282	288	294	301

Quadro 3. Calor de hidratação do cimento CII E 40.

Fonte: acervo pessoal

A partir dos valores obtidos foi ajustada uma curva de modo que os valores intermediários pudessem ser determinados. O Gráfico 1 apresenta a evolução do calor de hidratação do cimento CII E 40.

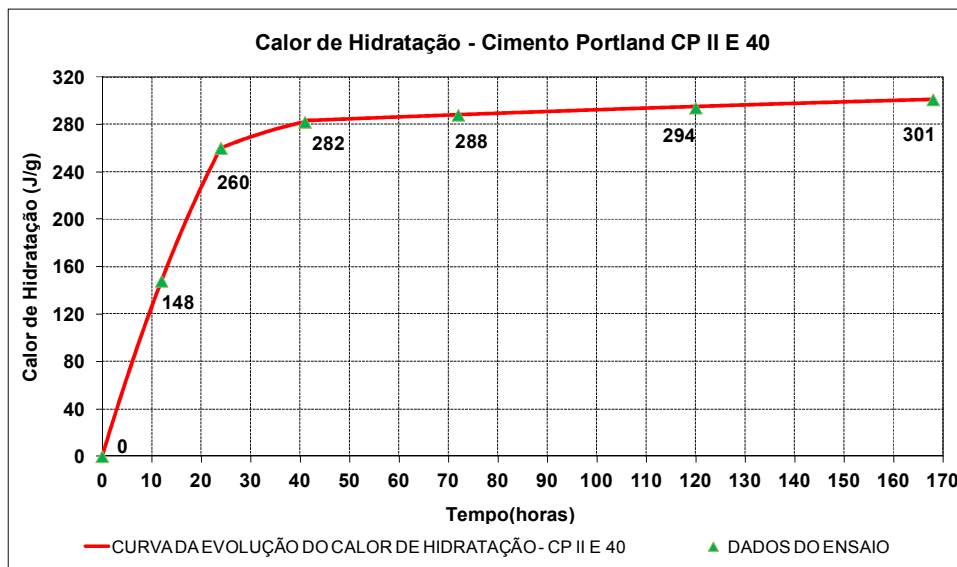


Gráfico 1. Evolução do calor de hidratação do cimento CII E 40.
Fonte: acervo pessoal

A partir da evolução do calor de hidratação, do consumo do cimento, da massa específica e do calor específico do concreto foram calculados os valores de elevação adiabática do concreto a partir da fórmula de Rastrup. A evolução da elevação adiabática dos concretos é apresentada no Gráfico 2.

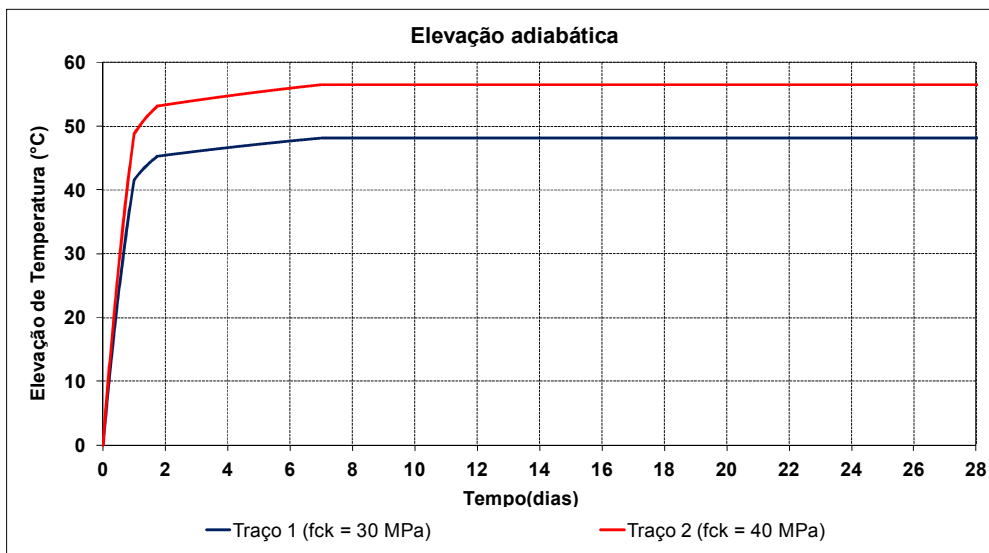


Gráfico 2. Evolução da elevação adiabática do concreto.
Fonte: acervo pessoal

De acordo com Silva e Battagin (2012), as proporções em massa de cada material constituinte do concreto, seus respectivos valores de calor específico e temperatura influenciam na temperatura do concreto. A temperatura de lançamento adotada para os concretos utilizados nas simulações computacionais foi considerada igual a 30°C, conforme resultados dos balanços térmicos.

5.3 Condições de Contorno

As condições de contorno abrangem a temperatura ambiente, a velocidade do vento, as fôrmas, entre outros.

O valor da temperatura média ambiente de São Paulo em 2012 considerado no cálculo é igual a 28°C, com base nos estudos realizados pela Prefeitura de São Paulo em 2012. A velocidade do vento foi adotada como 10 km/h, baseado nas informações disponível no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

As propriedades do solo de fundação consideradas na simulação são:

- Massa específica = 2600 kg/m³;
- Calor específico = 1 kJ/kg.°C;
- Condutividade térmica = 2,2 kJ/m.h.°C;
- Módulo de elasticidade = 26 GPa;
- Coeficiente de Poisson = 0,21.

5.4 Propriedades Mecânicas do Concreto

O coeficiente de Poisson foi estimado a partir da dosagem do concreto. O valor do coeficiente de Poisson adotado para os cálculos foi de 0,21.

A partir das resistências características à compressão do concreto adotadas foi estimada uma curva aproximada das resistências à compressão. Os resultados são apresentados no Gráfico 3.

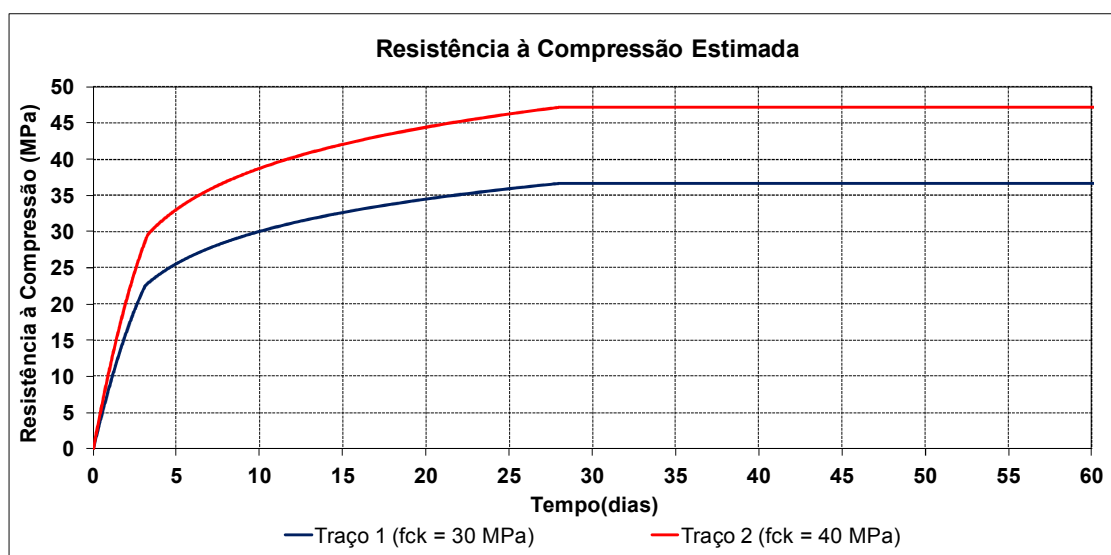


Gráfico 3. Evolução da resistência à compressão do concreto

Fonte: acervo pessoal

Os valores de resistência à tração do concreto foram considerados iguais a 10% dos valores de resistência à compressão. O Gráfico 4 apresenta os valores considerados nos cálculos térmicos.

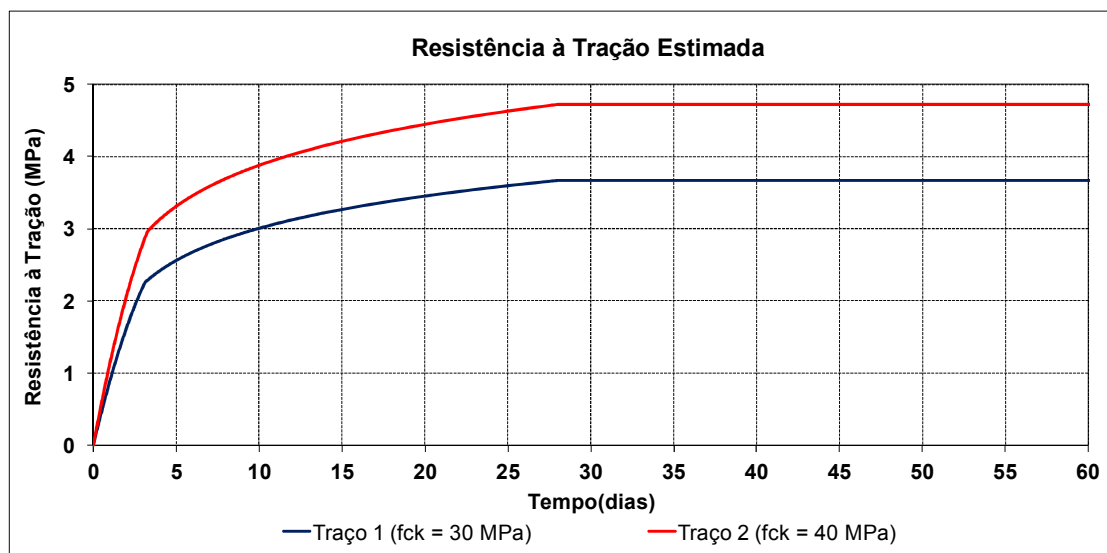


Gráfico 4. Evolução da resistência à tração do concreto.
Fonte: acervo pessoal

O módulo de elasticidade do concreto foi calculado através da fórmula da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) que leva em conta os resultados de resistência à compressão. O Gráfico 5 apresenta a evolução do módulo de elasticidade utilizado no estudo térmico.

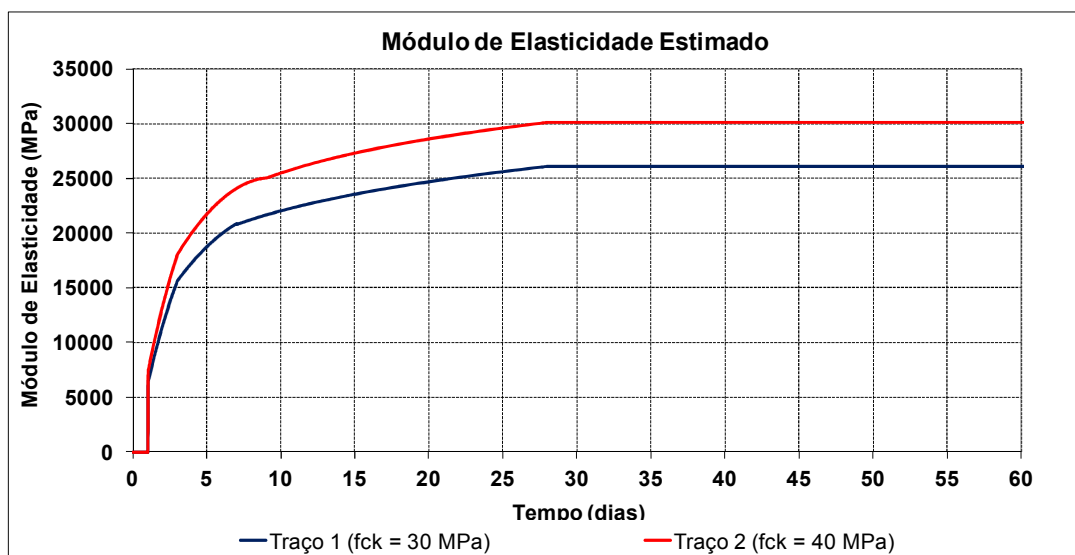


Gráfico 5. Evolução do módulo de elasticidade do concreto.
Fonte: acervo pessoal

6 Análise dos Resultados

Para analisar os resultados obtidos através dos cálculos e comparar os blocos simulados foi necessário estabelecer um padrão de análise, ou seja, foram escolhidos alguns pontos de estudo. Os pontos foram localizados no centro dos blocos variando de 10% a 90% a altura acima da base, como mostra a Figura 3.

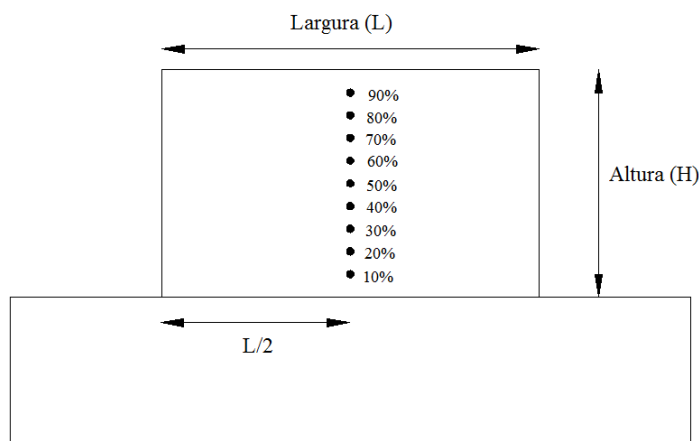


Figura 3. Localização dos pontos de estudo
Fonte: acervo pessoal

A Figura 4 apresenta as isotermas obtidas da simulação do bloco com dimensões 10mx10mx3m e concreto de $f_{ck} = 40$ MPa.

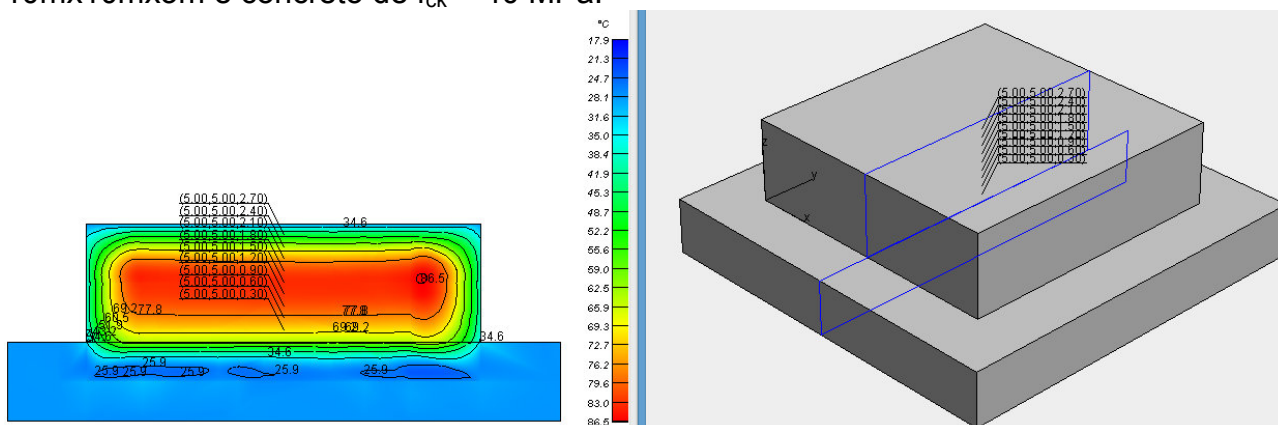


Figura 4. Isotermas fornecidas pelo *software* B4CAST - Localização dos pontos no bloco com dimensões 10mx10mx3m.

As temperaturas máximas nos pontos de estudo dos blocos de concreto são apresentadas no Gráfico 6, Gráfico 7 e no Gráfico 8, respectivamente.

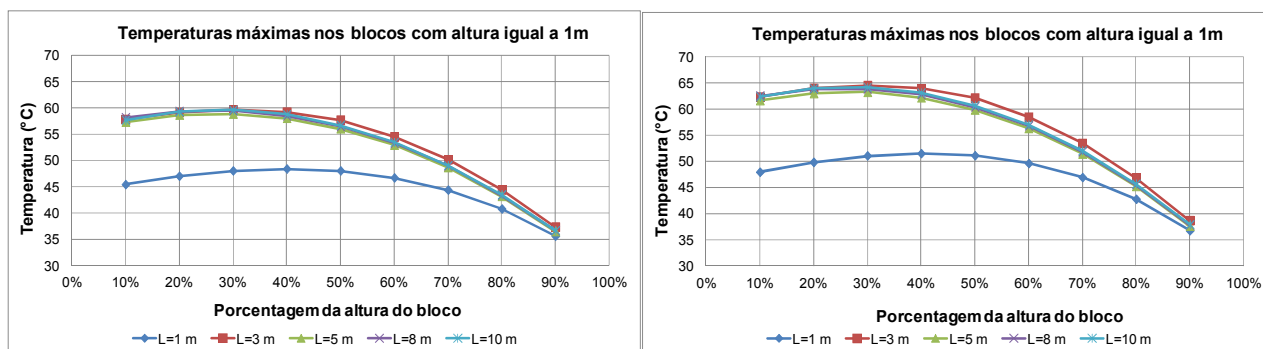


Gráfico 6. Temperaturas máximas nos pontos de estudo dos blocos com altura igual a 1 metro (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

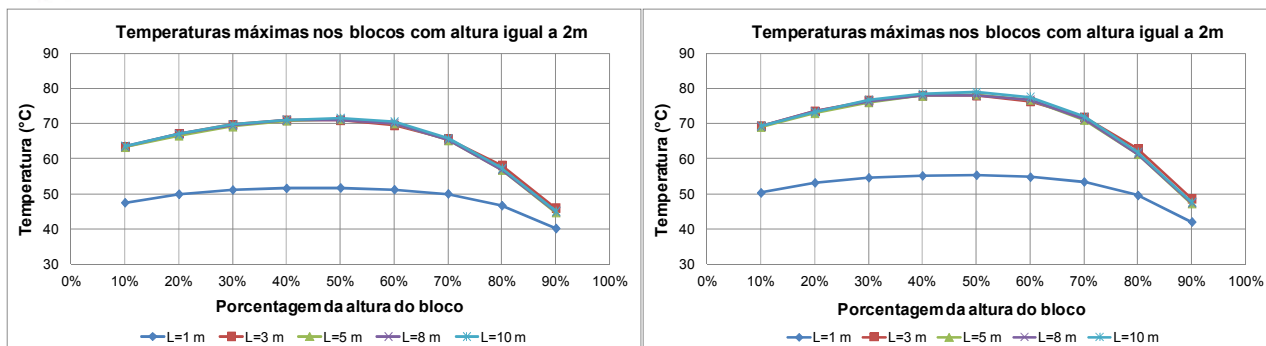


Gráfico 7. Temperaturas máximas nos pontos de estudo dos blocos com altura igual a 2 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

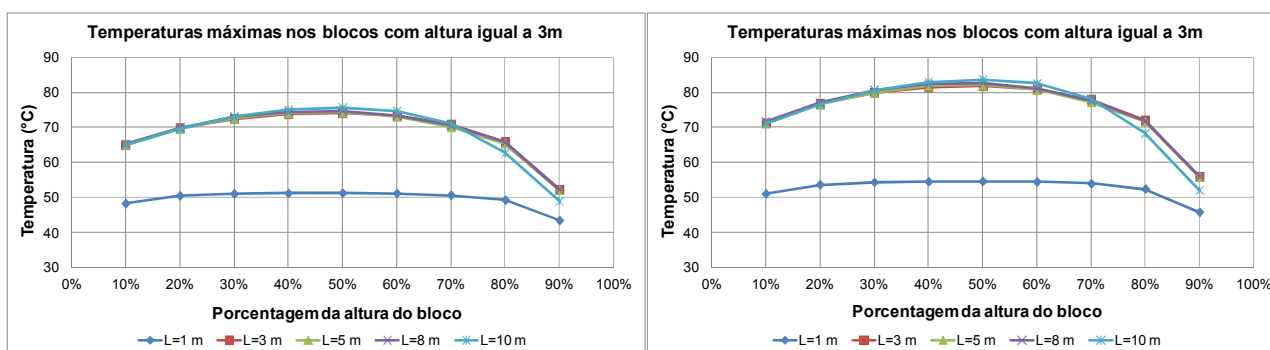


Gráfico 8. Temperaturas máximas nos pontos de estudo dos blocos com altura igual a 3 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

Através da análise do Gráfico 6, Gráfico 7 e do Gráfico 8 é possível verificar que as maiores temperaturas se encontram entre 30% e 50% da altura dos blocos simulados, ou seja, onde a dissipação de calor é menor. Nos pontos localizados abaixo de 30% da altura verifica-se que as temperaturas máximas são menores devido à troca de calor entre o concreto e o solo e acima de 50 % da altura ocorre a dissipação de calor para o meio externo e quanto mais próximo da superfície superior dos blocos, menor é a temperatura máxima.

Verificou-se, como era de se esperar, que as temperaturas máximas dos blocos com larguras da base iguais a 1 metro são consideravelmente inferiores às temperaturas máximas dos blocos com larguras da base iguais a 3, 5, 8 e 10 metros e que as temperaturas máximas obtidas nestes últimos blocos são próximas. Observou-se também que quanto maior a altura do bloco, maiores são as temperaturas máximas obtidas.

Para verificar a possibilidade de fissuração do concreto foram determinadas as tensões máximas de tração nos pontos de estudo e comparadas com a resistência à tração do concreto. Nos pontos em que as tensões de tração máximas superaram a resistência do concreto à tração podem ocorrer fissuras.

As tensões de tração máximas nos pontos de estudo dos blocos de fundação com alturas iguais a 1, 2 e 3 metros e larguras da base (L) variáveis são apresentadas no Gráfico 9, Gráfico 10 e no Gráfico 11, respectivamente.

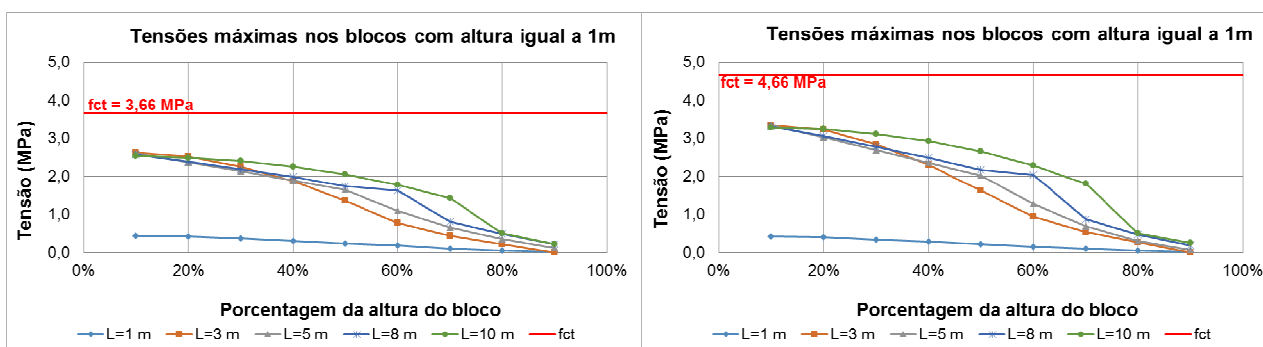


Gráfico 9. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo dos blocos com alturas iguais a 1 metro (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

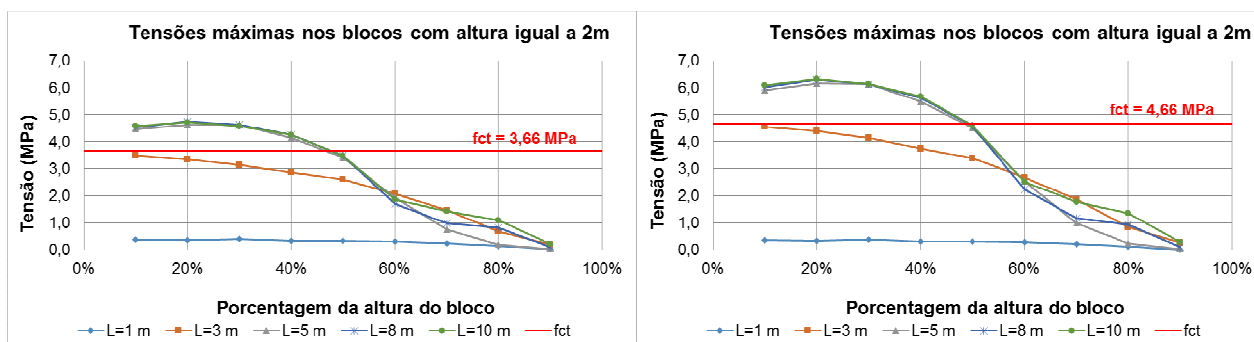


Gráfico 10. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo dos blocos com alturas iguais a 2 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

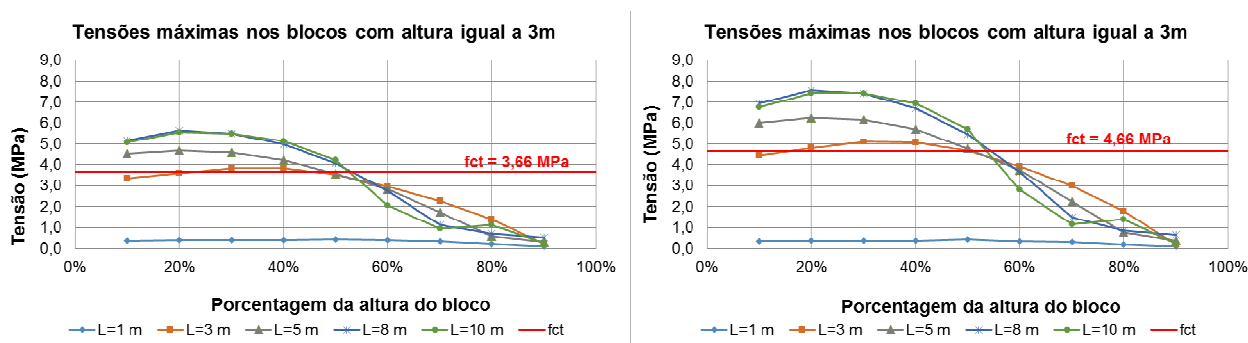


Gráfico 11. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo dos blocos com alturas iguais a 3 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

No Gráfico 9, Gráfico 10 e no Gráfico 11 observa-se que as tensões máximas de tração ocorrem nos pontos localizados entre 10% e 40% da altura e que as tensões de tração máximas aumentam à medida que as dimensões dos blocos também aumentam. As tensões de tração são maiores para os blocos de concreto com f_{ck} igual a 40 MPa aos 28 dias do que para os blocos de concreto com f_{ck} igual a 30 MPa aos 28 dias. Além disso,

os blocos com altura igual a 1 m não apresentaram fissuração, considerando fator de segurança igual a 1,0.

As tensões de tração máximas nos pontos de estudo localizados a 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da altura dos blocos (representados por 0,1H; 0,2H; 0,3H; 0,4H e 0,5H, respectivamente) com dimensões da base iguais a 1m, 3 m, 5 m, 8 m e 10 m, respectivamente são apresentados no Gráfico 12, Gráfico 13, Gráfico 14, Gráfico 15 e Gráfico 16.

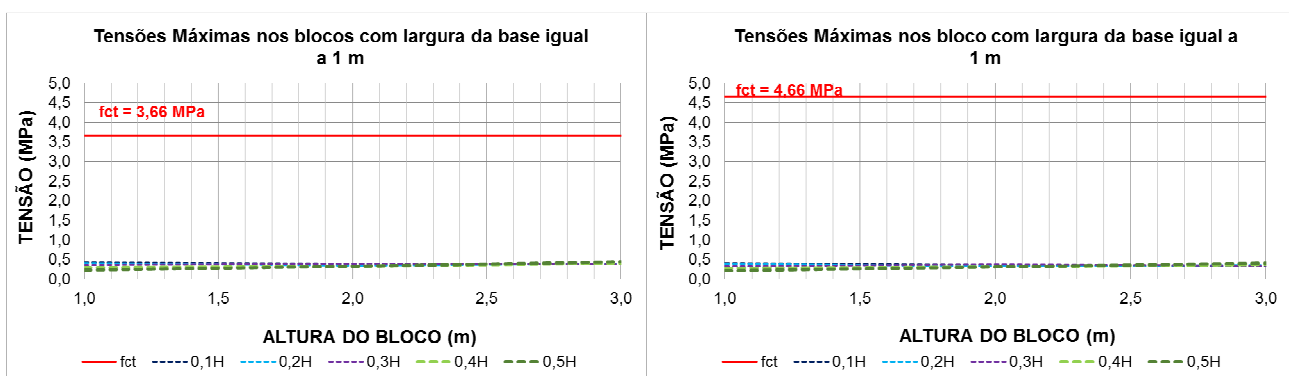


Gráfico 12. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo até 50% da altura dos blocos com largura da base igual a 1 metro (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

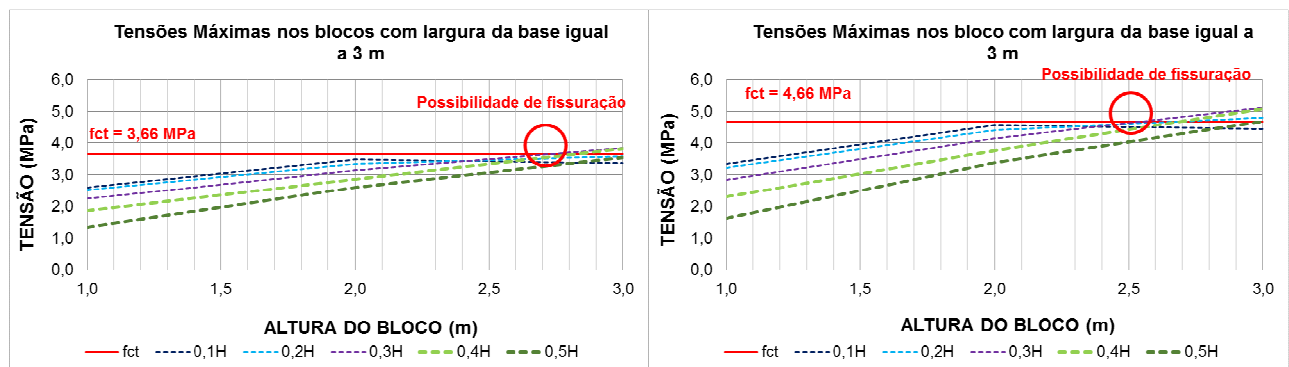


Gráfico 13. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo até 50% da altura dos blocos com largura da base igual a 3 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

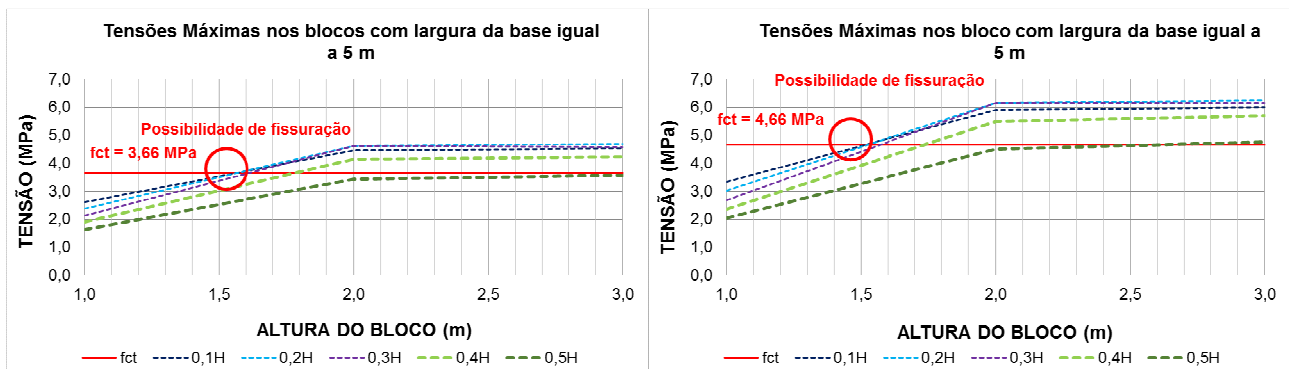


Gráfico 14. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo até 50% da altura dos blocos com largura da base igual a 5 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

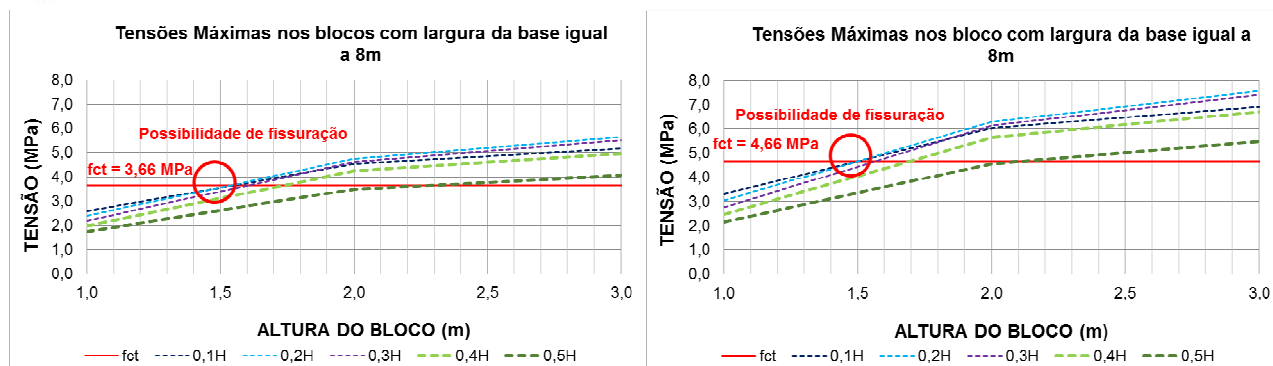


Gráfico 15. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo até 50% da altura dos blocos com largura da base igual a 8 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

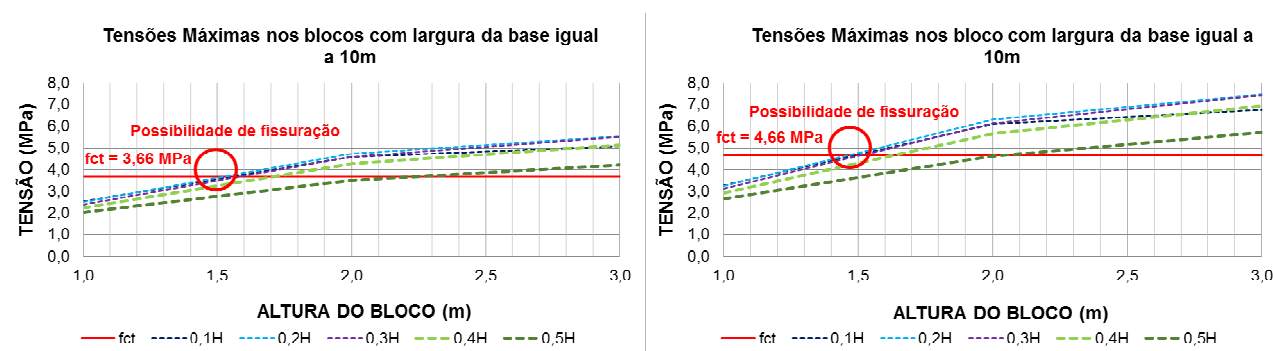


Gráfico 16. Tensões de tração máximas nos pontos de estudo até 50% da altura dos blocos com largura da base igual a 10 metros (concreto com $f_{ck} = 30$ MPa, à esquerda, e $f_{ck} = 40$ MPa, à direita).

Com base na análise do Gráfico 12, Gráfico 13, Gráfico 14, Gráfico 15 e Gráfico 16 é possível observar que, considerando fator de segurança igual a 1,0, os blocos com largura da base igual a 1 m não apresentaram fissuração, entretanto, os blocos com largura da base igual a 3 m apresentam fissuração quando a altura é superior a 2,7 m, para concreto com $f_{ck} = 30$ MPa e 2,5 m, para concreto com $f_{ck} = 40$ MPa e os blocos com larguras da base iguais a 5 m, 8 m e 10 m apresentaram fissuração quando a altura é superior a 1,5 m.

Verifica-se que quanto maior o volume de concreto dos blocos, maiores são as tensões de tração máximas e que a evolução das temperaturas e tensões de tração máximas dos blocos de concreto com f_{ck} igual a 30 MPa e 40 MPa aos 28 dias apresentam comportamentos similares, porém com valores distintos.

Os blocos com larguras da base iguais a 5 m, 8 m e 10 m apresentam valores de tensões máximas de tração próximos. Como as tensões de tração estão relacionadas ao grau de restrição, módulo de elasticidade do concreto, ao gradiente de temperatura, entre outros fatores, estes resultados podem ser justificados pela proximidade destes valores nestes blocos.



7 Conclusões

As temperaturas máximas nos concretos aumentam proporcionalmente às dimensões dos blocos sendo que para uma mesma altura, os blocos com áreas da base superiores a 3x3 metros apresentam temperaturas máximas praticamente iguais. Portanto, as temperaturas máximas do concreto, para blocos com mesma altura, propriedades, condições de contorno e de lançamento não são significativamente influenciadas para blocos com área da base superiores a 3x3m.

As temperaturas máximas são maiores nos pontos localizados entre 30% e 50% da altura dos blocos e as tensões máximas de tração são maiores nos pontos localizados entre 10% e 40% da altura dos blocos a partir das fundações.

Os resultados obtidos nos blocos de concreto com f_{ck} igual a 30 MPa aos 28 dias apresentaram comportamentos similares aos resultados dos blocos de concreto com f_{ck} igual a 40 MPa aos 28 dias, porém, as temperaturas e tensões de tração máximas são maiores nos blocos com f_{ck} igual a 40 MPa aos 28 dias. Isto se deve principalmente pelo fato de que o consumo de cimento é maior no concreto com maior f_{ck} , portanto, as temperaturas são maiores e conseqüentemente as tensões.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo verifica-se que os blocos com volumes de concreto superiores a 22,5 m³ (3mx3mx2,5m) para f_{ck} = 30 MPa e 24,3 m³ para f_{ck} = 40 MPa podem ser considerados como estruturas de concreto massa, devido à possibilidade de fissuração por origem térmica.

Conclui-se que para verificar a possibilidade de ocorrência de manifestações patológicas de origem térmica não basta conhecer apenas a geometria do bloco, mas também é necessário ter conhecimento das propriedades do concreto, de seus materiais constituintes, das condições ambientais, das propriedades da fundação, propriedades das fôrmas, condições de cura e das metodologias construtivas. Para reduzir a possibilidade de fissuração de origem térmica, recomenda-se a realização de estudos térmicos para determinar os procedimentos necessários para a minimização deste problema potencial.

Os procedimentos utilizados para minimizar as fissuras de origem térmica são: redução do consumo de cimento, utilização de cimento com baixo calor de hidratação, utilização de materiais pozolânicos, utilizar gelo em substituição à água, resfriar os agregados, aumentar o intervalo de lançamento entre as camadas de concretagem, reduzir a altura das camadas de concreto, lançar o concreto quando as temperaturas ambientes são baixas, pós-resfriamento do concreto através da colocação de tubulações embutidas, remoção precoce das formas ou utilização de formas de aço para contribuir para a dissipação de calor.



8 Referências

ACI Committee 116. **Cement and Concrete Technology (ACI 116R-00)**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13116: Cimento Portland de baixo calor de hidratação**. Rio de Janeiro, 1994.

FURNAS. **Concretos: Ensaios e Propriedades**. São Paulo: Ed. PINI, 1997.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ed. IBRACON, 2008.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013. 448p.

SILVA, C. O.; BATTAGIN, A. F. **Impacto da temperatura do cimento na temperatura do concreto**. Revista Concreto e Construções, São Paulo, n. 65, p. 19-24, jan./mar. 2012.

WENDLER, A. P.; TURRA, C.; SERIGHELI JUNIOR, I. **Estudo de fissuração térmica do concreto em barragens**. 2007. 78 f. Monografia (Especialização em Patologia em Construção Civil)-Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2007.