INSTITUTO DE ENGENHARIA

CONCRETAGENS ESPECIAIS

COM ENFOQUE NO PROBLEMA TÉRMICO

Eng. Sergio Botassi dos Santos, *M.Sc., D.Sc.*

SBS CONSULTORIA EM ENGENHARIA

ENGETI Consultoria e Engenharia

IPOG

TQS Informática Ltda.

IBRACON

RESUMO PROFISSIONAL

✓Engenheiro civil formado pela UFES em 2000;

✓Doutor em Construção Civil pela UFRGS e Mestre em Estruturas pela UFES desde 2004;

✓ Desenvolve trabalhos em tecnologia do concreto, análise estrutural e problema térmico há mais de 20 anos pela SBS Consultoria;

✓Engenheiro de Furnas Centrais Elétricas por 9 anos;

✓Possui mais de 38 artigos nacionais e internacionais publicados na área de construção civil;

✓ Revisor técnico do *ACI Materials and Structural Journal* (*Qualis A1*);

✓Autor, coautor e colaborador de 4 livros relacionados com estruturas de concreto pelo Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON;

✓Autor do primeiro livro sobre Fenômeno Térmico do Concreto publicado pela *Ed. Interciência*;

✓Professor da PUC Goiás e do IPOG (professor e coordenador);

✓Vencedor em 2º lugar do *Excellence in Concrete Construction Awards* do ACI na categoria *High-Rise Building*.

sbotassis@gmail.com

Afinal, O que são *Concretagens Especiais*?

São aquelas que demandam de cuidados especiais na usinagem, transporte, lançamento, adensamento e/ou pós-concretagem.

Normalmente trabalha-se nos requisitos <u>não detalhados</u> ou <u>contemplados de forma explícita</u> nas normas de concreto moldado *in loco* NBR 7.212, NBR 12.655 e NBR 14.953.

Ex.: *Item 9.3.3 da NBR 7.212:*

Quando a concretagem for efetuada em temperatura ambiente muito quente (≥35ºC) e, em especial, quando a umidade relativa do ar for baixa (≤50%) e a velocidade do vento alta (≥30m/s), <u>devem ser adotadas as medidas necessárias para evitar a perda de consistência e reduzir a temperatura da massa de concreto</u>.

As *Concretagens Especiais* estão associadas:

✓ *Concretos Especiais:*

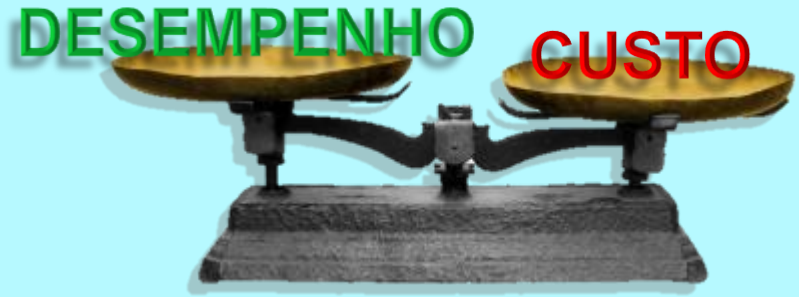
✓ *Materiais Especiais:*

As *Concretagens Especiais* estão associadas:

✓ *Estruturas Diferenciadas:*

✓ *Processos Executivos:*

É preciso equilibrar a Viabilidade Econômica e Técnica nas Concretagens Especiais!



- **<u>Soluções *Super*dimensionadas:</u>**

<u>Elevados coeficientes de segurança</u>, que normalmente encarecem as soluções (motivo: desconhecimento, empirismo, prazo).

- **<u>Soluções *Sub*dimensionadas:</u>**

Postura muito arrojada sem o devido conhecimento dos riscos assumidos (motivo: custo, desconhecimento).

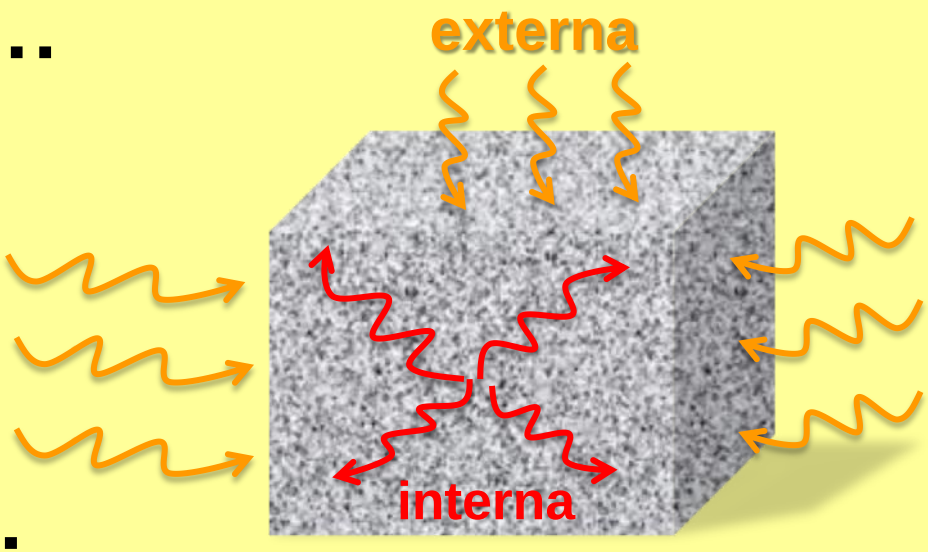
AÇÕES VOLTADAS PARA O PROBLEMA TÉRMICO

ONDE TUDO COMEÇA…

Fonte de Calor:

✓**Interna:** Hidratação do cimento (*ΔT até 70° C*).

✓ **Externa:** Efeito Solar e entorno.



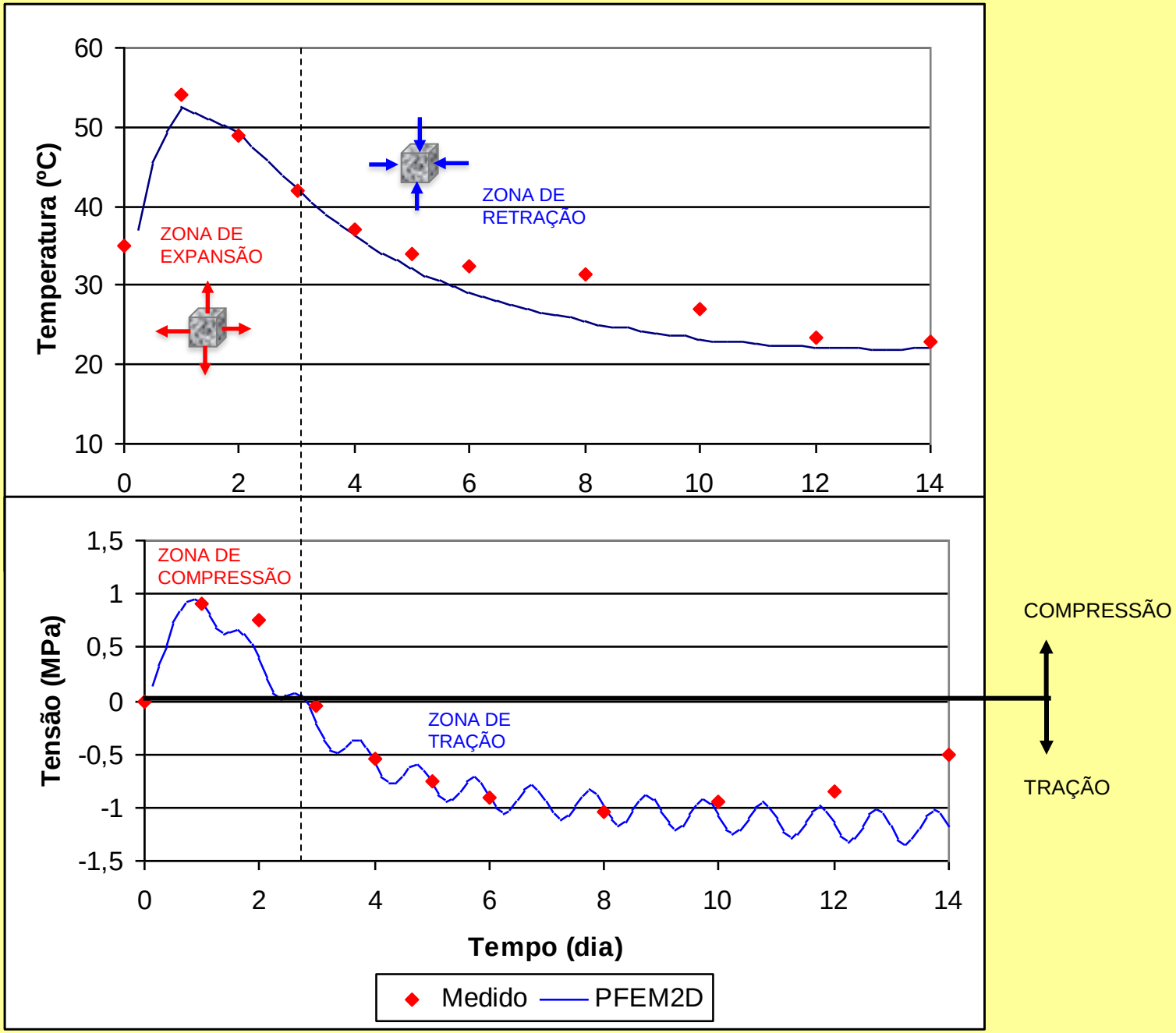
EFEITOS DELETÉRIOS:

- Susceptível à entrada de agentes agressivos (ELU).
- Perda de rigidez e “monoliticidade” (ELU)
- Perda de funcionalidade (ELS)
- Instabilidade estrutural (ELU)

Desconforto visual em elementos aparentes (ELS)

O QUE DEVE SER AVALIADO?

COMPORTAMENTO TÉRMICO:

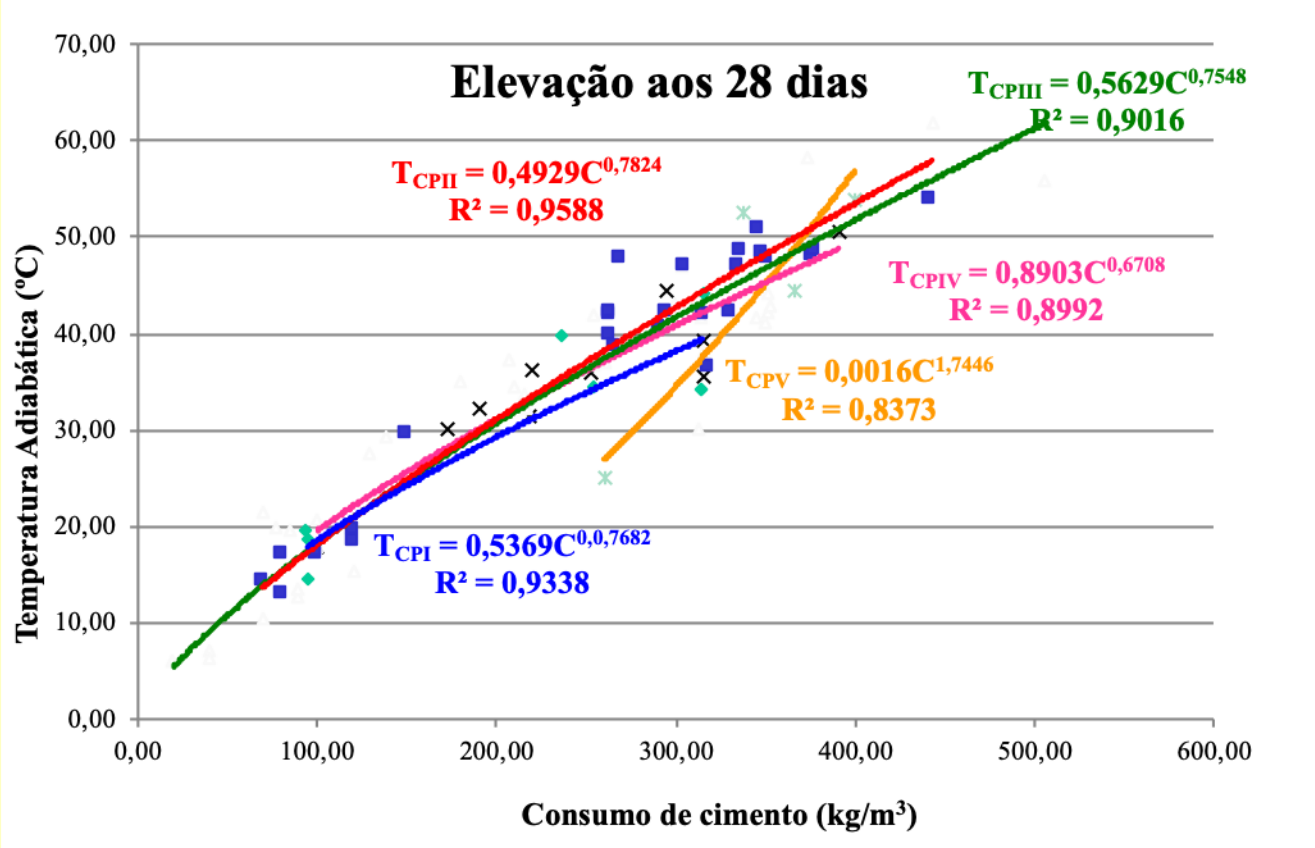


CONTROLE DO RISCO DE FISSURAÇÃO

Fator	Tipo	Descrição
Intrínseco	Dosagem do Concreto	Principalmente relacionado ao consumo de aglomerante (cimento a adição) e relação a/c. A principal fonte de calor interna deve ser cuidadosamente dimensionada.
	Tipo do aglomerante	Cimento utilizado e o tipo de adição.
	Temperatura de Lançamento	Considera a temperatura em que o concreto foi misturado. Temperaturas elevadas aumentam severamente o risco de fissuração.
	Taxa de armadura	Baixa taxa de armadura ou mal detalhada pode não impedir a fissuração, ou até mesmo induzir seu aparecimento.
Extrínseco	Volume, Geometria e Tipo de Concreto	Quando a menor dimensão da peça for significativa, associado a um volume relativamente expressivo, os riscos de fissuração aumentam. Inclui-se neste fator as formas de execução da concretagem: em camadas, ininterruptamente, etc., assim como o tipo de concreto normalmente associado as dimensões.
	Condições climáticas	Destaca-se a temperatura ambiente, velocidade do vento e formas de cura. Na região próxima à superfície do concreto deve-se considerar a oscilação diária da temperatura ambiente; e para regiões mais internas da estrutura recomenda-se avaliar em função da temperatura média diária.
	Interferências no entorno	A principal interferência refere-se à restrição a deformação pelo entorno: quanto maior a restrição mecânica maiores as tensões. O isolamento térmico é incluído dentro deste fator.

CONTROLE DO RISCO DE FISSURAÇÃO

✓ *Dosagem do concreto e Tipo do aglomerante:*

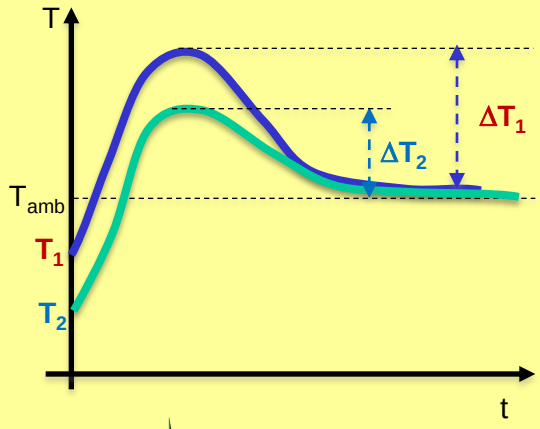


Estimativa de Risco:

Supondo: $Tmáx_{Lim}=70ºC$ → $T_{Lanç.}=33ºC$ → $C_{CPII}<250kg/m^3$

CONTROLE DO RISCO DE FISSURAÇÃO

✓ *Temperatura de Lançamento & Condições Ambientais:*

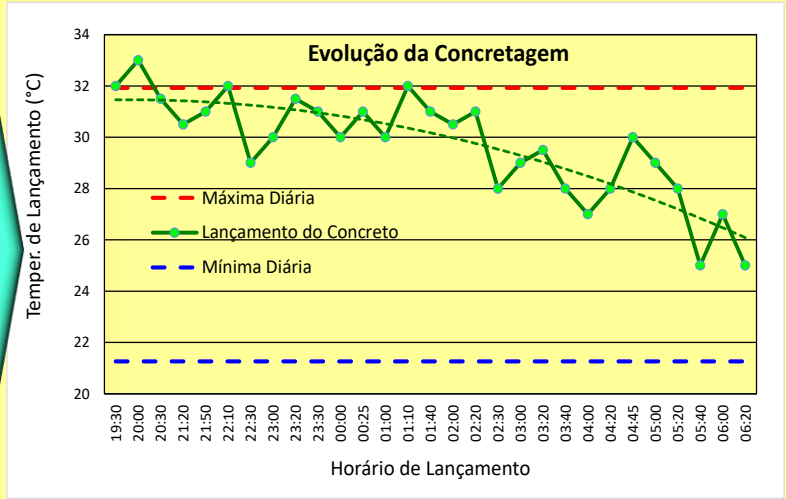


Temperatura de Lançamento

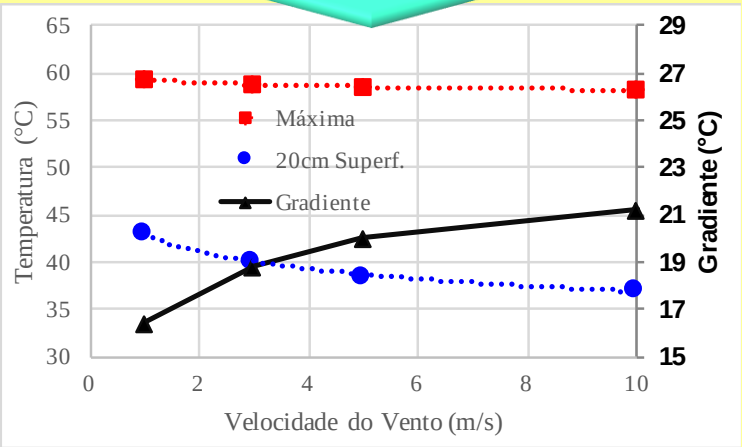
≠

Temperatura Ambiente

Retardo Térmico



Efeito Vento



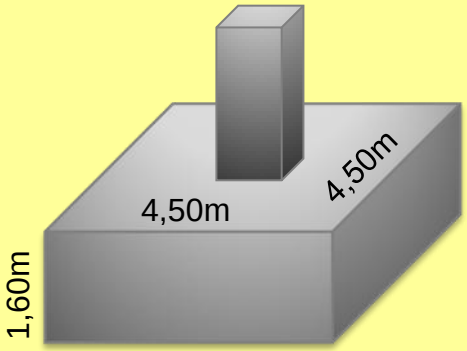
CONTROLE DO RISCO DE FISSURAÇÃO

✓ *Volumetria:*

Concreto Convencional
(Grupo I: C20 a C40)

✓ Menor dimensão > 1,00m ~ 1,50m
✓ Volume > 10m³ ~ 20m³
✓ Consumo de cimento: 230kg/m³ ~ 400kg/m³

✓ *Exemplo:*
- Sapata com *fck*=35MPa
- Cimento CPII-E-40



Maior Resistência
(Grupo I e II: C45 a C90)

✓ Menor dimensão > 0,40m ~ 0,80m;
✓ Volume > 3m³ ~ 6m³;
✓ Consumo de aglomerante: 400 ~ 650kg/m³.

✓ *Exemplo:*
- Elemento linear (pilar, viga, etc.)
- 440kg/m³ (CPII) - *fck*=45MPa.

CONTROLE DO RISCO DE FISSURAÇÃO

✓ *Volumetria:*

Concreto Massa
(fck= 10MPa a 25MPa)

- ✓ Estruturas de grandes dimensões;
- ✓ Ordem de grandeza de volume: $10^2 \sim 10^5$ m^3;
- ✓ Consumo típico: 100 ~ 250kg/m^3 , com alta quantidade de adição mineral.

✓ *Exemplo:*

- Barragem com núcleo de concreto massa.
- *fck*=15MPa e C=200kg/m^3 e CPIII.

✓ *Expressividade do Efeito Térmico*

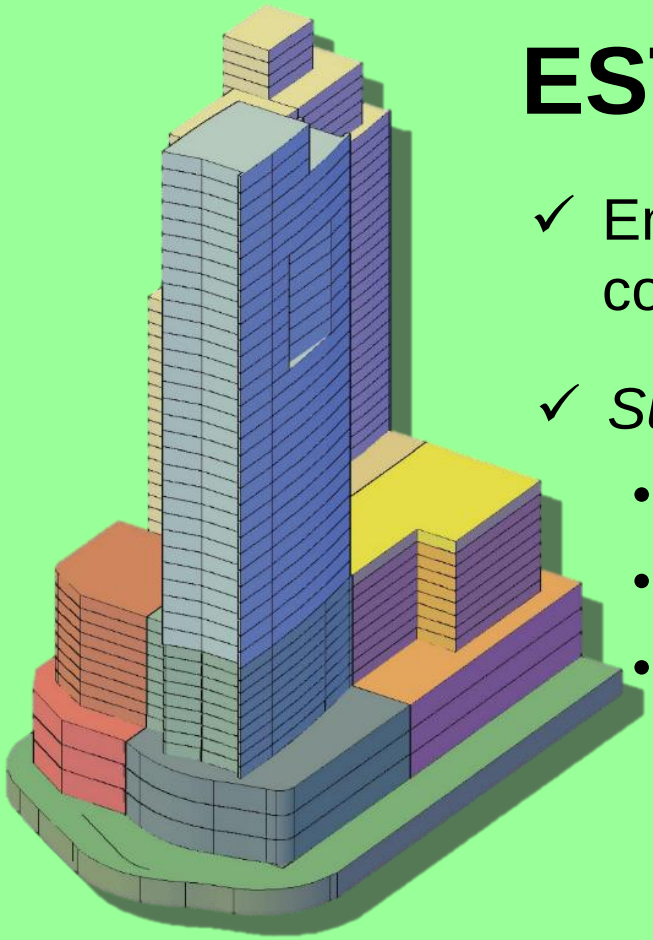
$$Risco\ Térmico = \frac{Vol.\ x\ Menor\ Dim.}{Área\ Exposta} \geq 1{,}4$$

(Válido até C40)

AÇÕES MITIGATÓRIAS

Ações Mitigadoras do Risco Térmico

- **Projeto:**
  - ✓ Melhorias nas especificações técnicas (*ex.: idade de controle*);
  - ✓ Detalhamento de armadura (*ex.: ferragem complementar*).
- **Dosagem:**
  - ✓ Alterações dos aglomerantes *(alteração, redução ou substituição);*
  - ✓ Uso de materiais especiais *(fibras, aditivos, etc.);* etc.
- **Processo de Execução:**
  - ✓ Concretagem em camadas *(espessura e intervalo);*
  - ✓ Controle da temperatura de lançamento;
  - ✓ Pré ou Pós-refrigeração do concreto;
  - ✓ Processo de cura e desforma; etc.



ESTUDO DE CASO

- ✓ Empreendimento com 158m de altura e consumo aproximado de ***50mil m³ de concreto***.
- ✓ *Superestrutura:*
  - *fck* 45MPa e *Eci* 34GPa a 38GPa (28 dias);
  - Lajes protendidas com *fckj* 21MPa (2 dias);
  - Concreto bombeável *slump* 14+/-2cm, com elevada consistência (S>24cm), ou auto-adensável (SF1);
- ✓ *Fundação*:
  - Direta em sapatas com altos volumes de concreto (Torre *1* ≅ 2.200 m³);
  - *fck* 35MPa aos 28 dias;
  - Concreto bombeável *slump* 10+/-2cm;

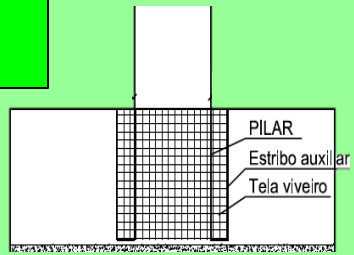
ESTUDO DE CASO

➢ CONTROLE TÉRMICO DA FUNDAÇÃO

✓ ***Otimização das Especificações de Projeto:***

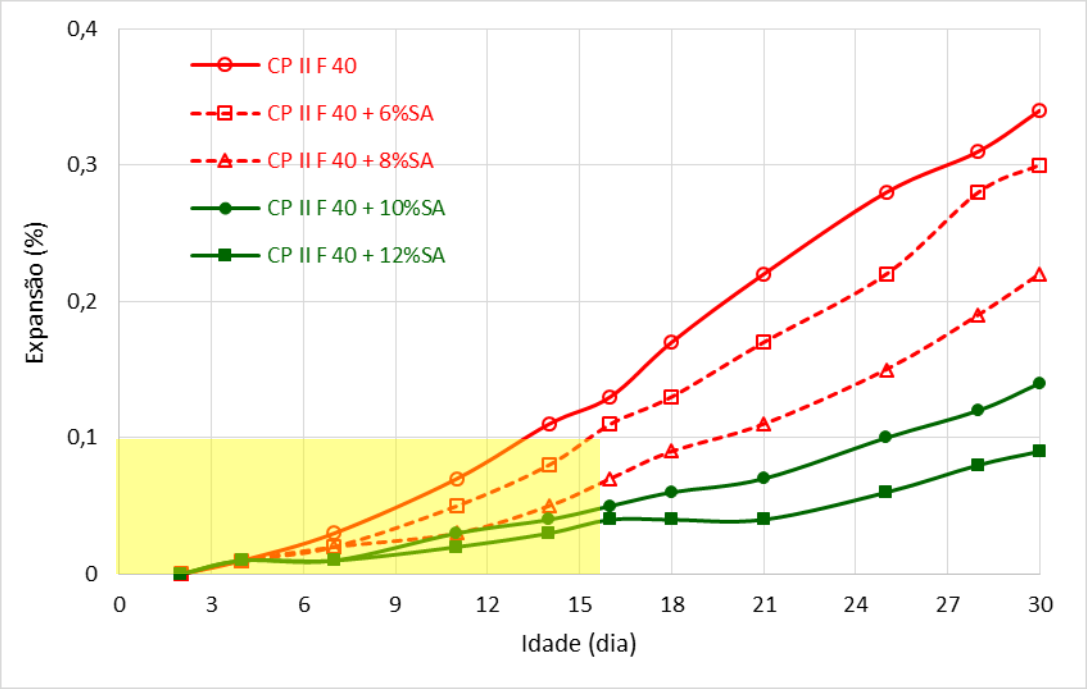
fck 35MPa (28dias) → **fck 30MPa (90dias)**

- *Arranque embutido dos pilares c/ fck estrutural*



✓ ***Melhorias na Dosagem:***

- *Otimização do Consumo de Sílica Ativa*



(Avaliação do Risco de RAA – NBR 15.577)

ESTUDO DE CASO

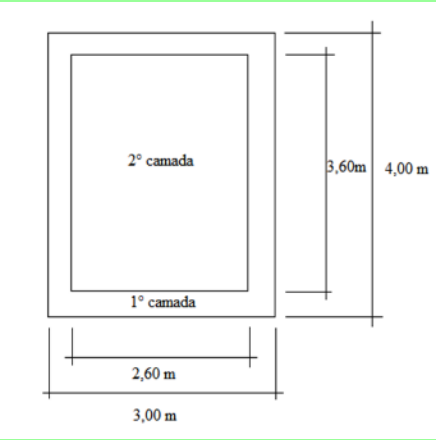
➢ CONTROLE TÉRMICO DA FUNDAÇÃO

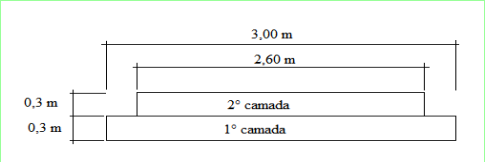
✓ ***Melhorias na Dosagem:***

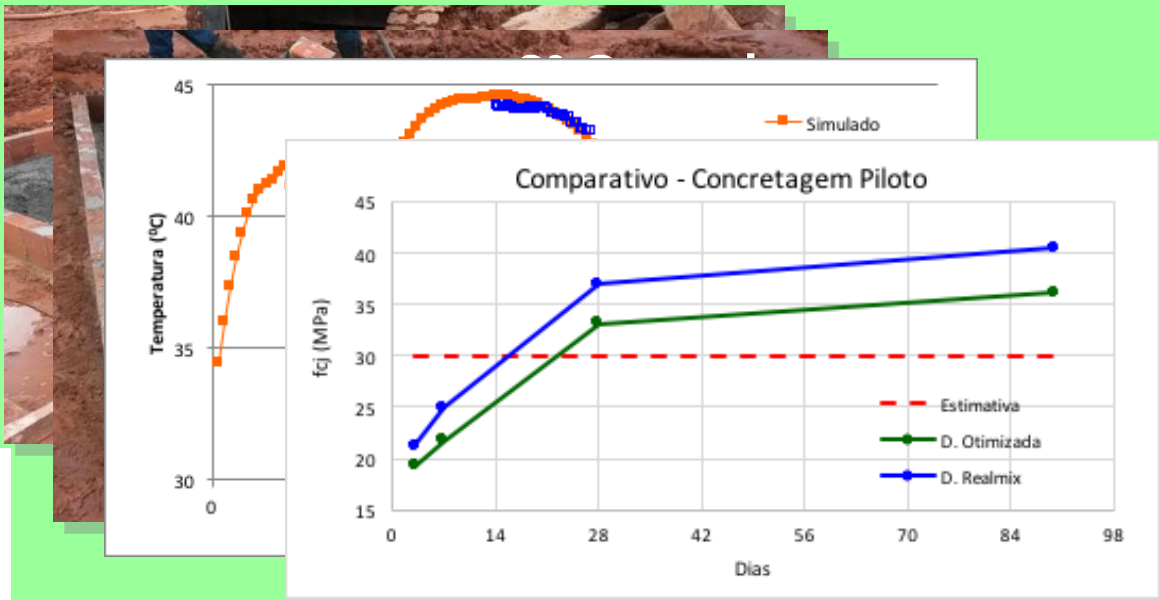
- *Redução Consumo de Aglomerante*

320kg/m³ CPII-F-40 (30MPa - 28dias) ➡ **290kg/m³** CPII-F-40 (30MPa - **90 dias)** ➡ **262kg/m³** CPII-F-40 **26kg/m³** Sílica (30MPa - 90 dias) ➡ **247kg/m³** CPII-F-40 **25kg/m³** Sílica (30MPa - 90 dias)

✓ ***Concretagem Piloto*** *(Avaliar a eficiência das dosagens):*



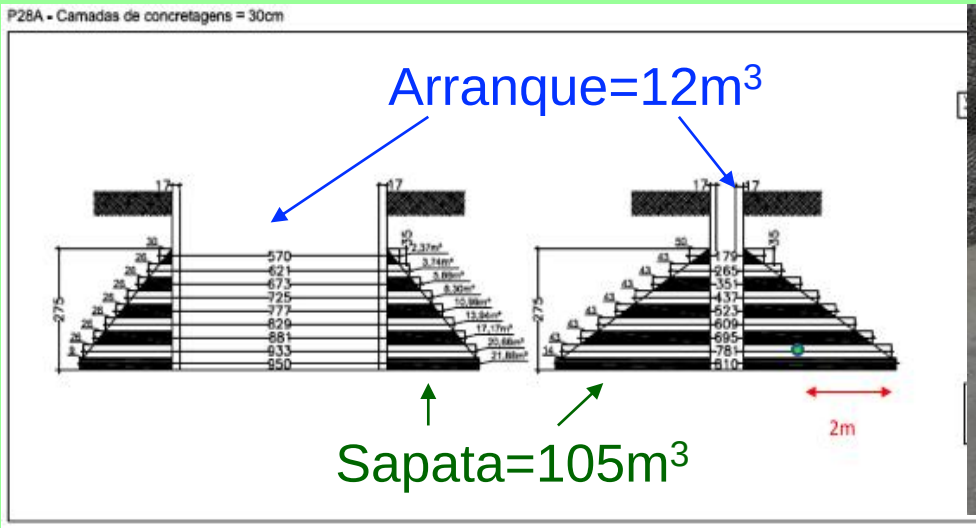


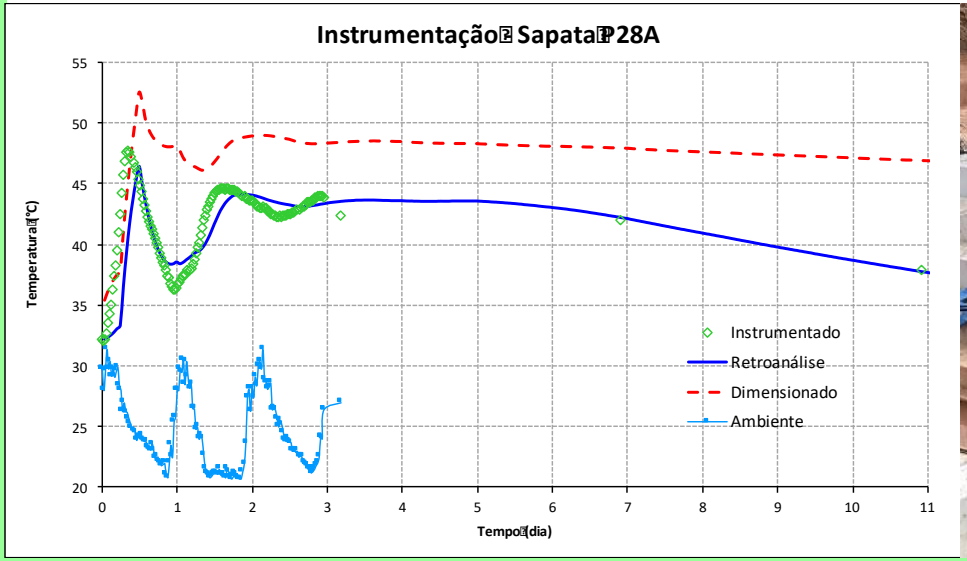


ESTUDO DE CASO

➢ CONTROLE TÉRMICO DA FUNDAÇÃO

✓ *Otimização da Execução (Sapatas Isoladas):*

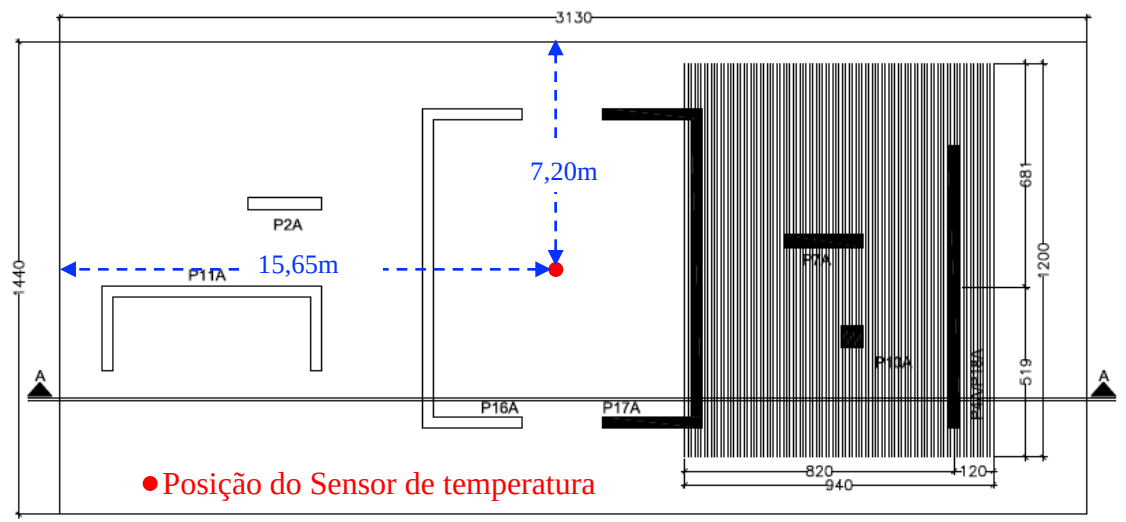


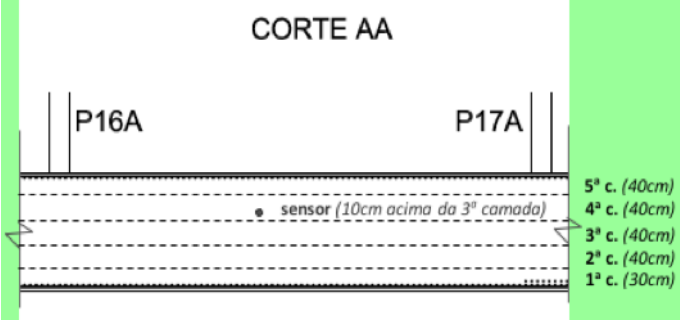


ESTUDO DE CASO

➢ CONTROLE TÉRMICO DA FUNDAÇÃO

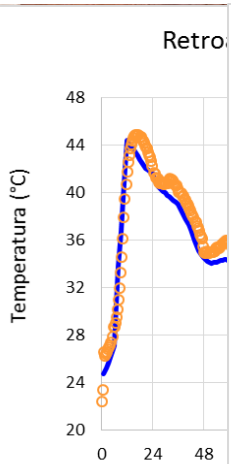
✓ *Otimização da Execução (Sapata Associada c/ 800m³):*

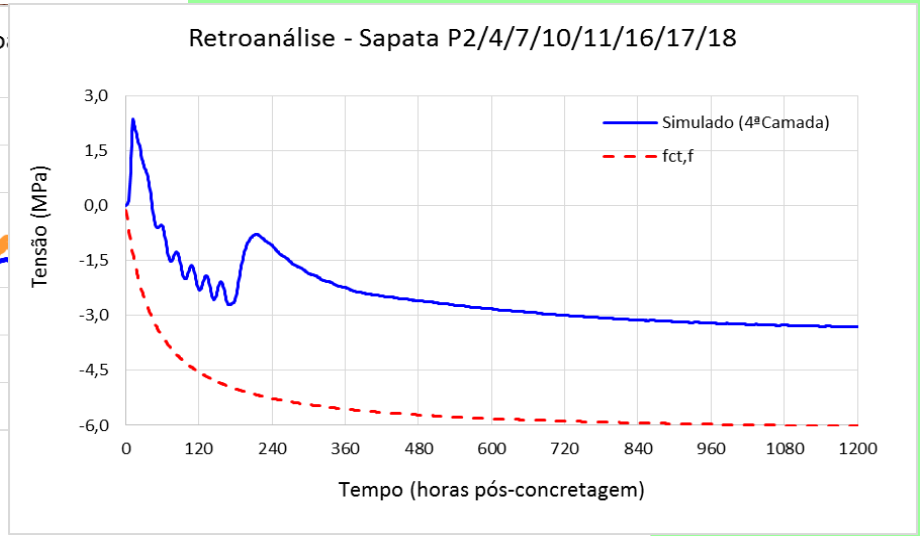




✓ **2 dias / Camada**

✓ **$T_{Lanç.} \leq 32ºC$**





ESTUDO DE CASO

➢ CONCRETO DA SUPERESTRUTURA:

✓ ***Exigências de Projeto:***

- *fck* 45MPa / *Eci* 34GPa a 38GPa (28 dias);
- *fckj* 21MPa (2 dias) p/ protendidos;
- a/c<=0,55 (CP) e Cimento>=280kg/m³.

✓ ***Viabilidade do Concreto Auto-Adensável - CAA:***

- *Principais Desafios:*

Reologia Adequada X **Alto *Eci* e *fckj*** X **Estabilidade Volumétrica** X **Grandes Elementos Estruturais**

- *Redução Consumo:*

450kg/m³ CPII-F-40

420kg/m³ CPII-F-40

360kg/m³ CPII-F-40
37kg/m³ Sílica Ativa

Parâmetros de Dosagem - CAA	Recomendação
Teor de Argamassa seca	Entre 55% e 65%
Relação Volume Água/ Volume Finos	Entre 0,8 e 1,1
Volume Pasta/ Volume de Concreto	Entre 30% e 40%
Vol. Agr. Miúdo/ Volume Argamassa	Entre 40% e 50%
Vol. Agr. Graúdo/ Volume de Concreto	Entre 30% e 35%
Relação a/c	CP ≤ 0,55

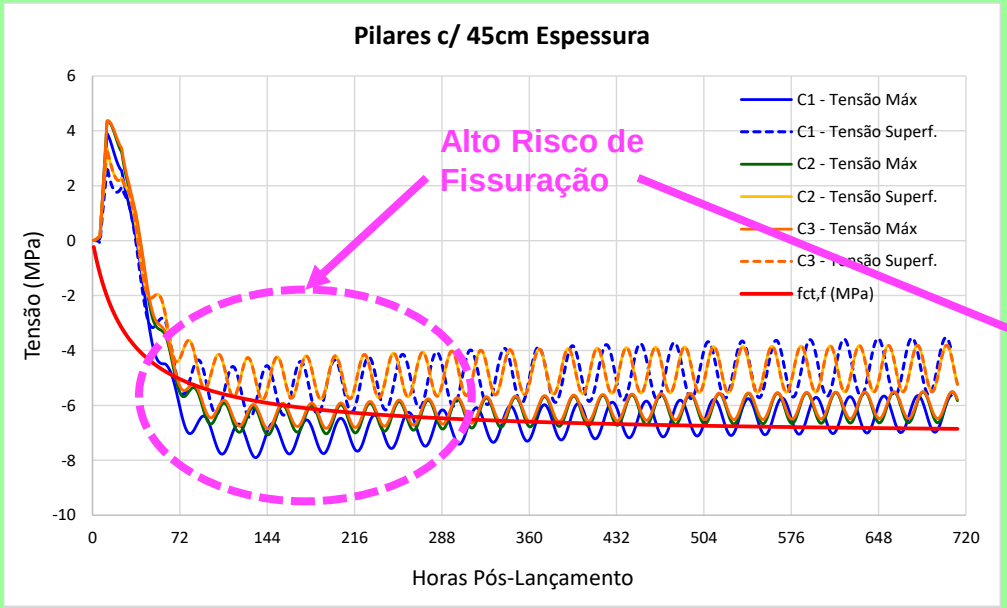
- *Concretagem Piloto:*

Ensaio	Resultados	NBR 15823:1
Slump Flow (espalhamento)	690mm	SF2
Tempo de escoamento (viscosidade plástica)	< 2s	VS1
Anel J (habilidade passante)	200mm	PJ1
Caixa L** (habilidade passante e autonivelante)	0,88	PL2

ESTUDO DE CASO

- **CONCRETO DA SUPERESTRUTURA:**

✓ ***Pilar-Parede*** *(seção: 34~45cm x 4,35~9,07m)*



Soluções Avaliadas:

Concreto Bombeável de alto abatimento (foco reduzir consumo de argamassa).

Ajuste da tx de estribo para controle da potencial fissuração.

Uso de Macrofibra para controle fissuração.

Uso de Adição mineral compensadora de retração (protensão química), conforme ACI 224 e 360.

RESULTADOS

Projeto submetido pelo IBRACON conquista premiação do ACI

Sérgio Botassi dos Santos com o prêmio, ao lado do presidente do ACI, David Lange (esq.), e do presidente do IBRACON, Julio Timerman

A obra Nexus Shopping and Business, localizada em Goiânia, conquistou a segunda colocação no 2018 *ACI Excellence in Concrete Construction Awards*, na categoria de edifícios altos. O prêmio foi recebido no último dia 15 de outubro, pelo engenheiro consultor técnico da obra, Sergio Botassi dos Santos, na Convenção do *American Concrete Institute*, em Las Vegas.

Composto por três torres multifuncionais, que totalizam 136 mil metros quadrados de área construída, o Nexus terá 158 metros de altura e consumirá 55 mil metros cúbicos de concreto armado e protendido, além de mais de 5 mil toneladas de barras de aço.

Afinal, porque eu tenho que preocupar com o problema térmico?

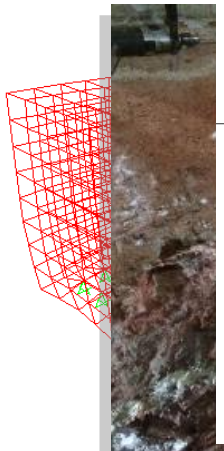
Estudo de caso:

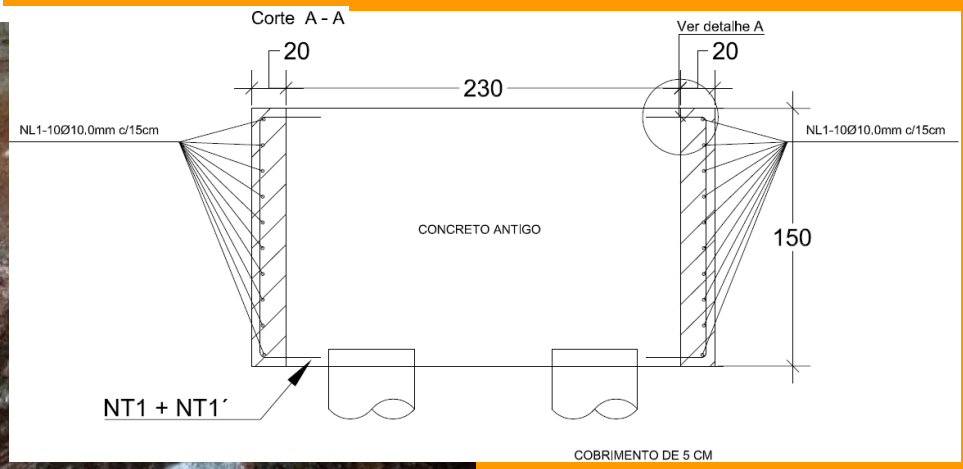
- ✓ Bloco de encabeçamento de estacas (3x3x1,5m= 9m³);
- ✓ *fck*=45MPa aos 28 dias.

Fatores Explicativos:

- ✓ Risco Térmico=1,5 > 1,4
- ✓ Estrutura engastada nas estacas
- ✓ *fcj*(7d)=47,2MPa
- ✓ Cimento Estimado>450kg/m³
- ✓ Execução: Camada única
- ✓ Volume real = 12,4m³.

Conse_ quência





Conclusão:

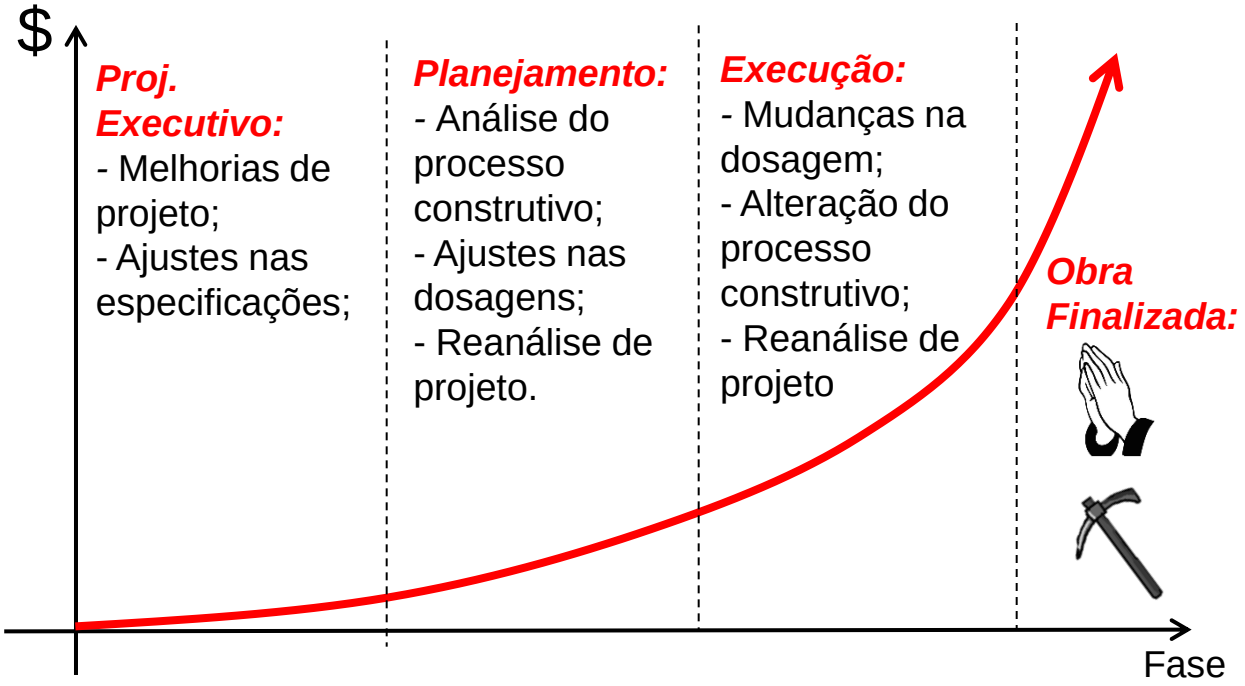
Para dimensionar o Combate do Problema Térmico é preciso avaliar...

Nível de Planejamento da Obra	Momento que o estudo térmico ocorre	Real envolvimento das partes	Cultura de Qualidade da Empresa

Mitigação Preventiva

=

Menor Custo Consequente

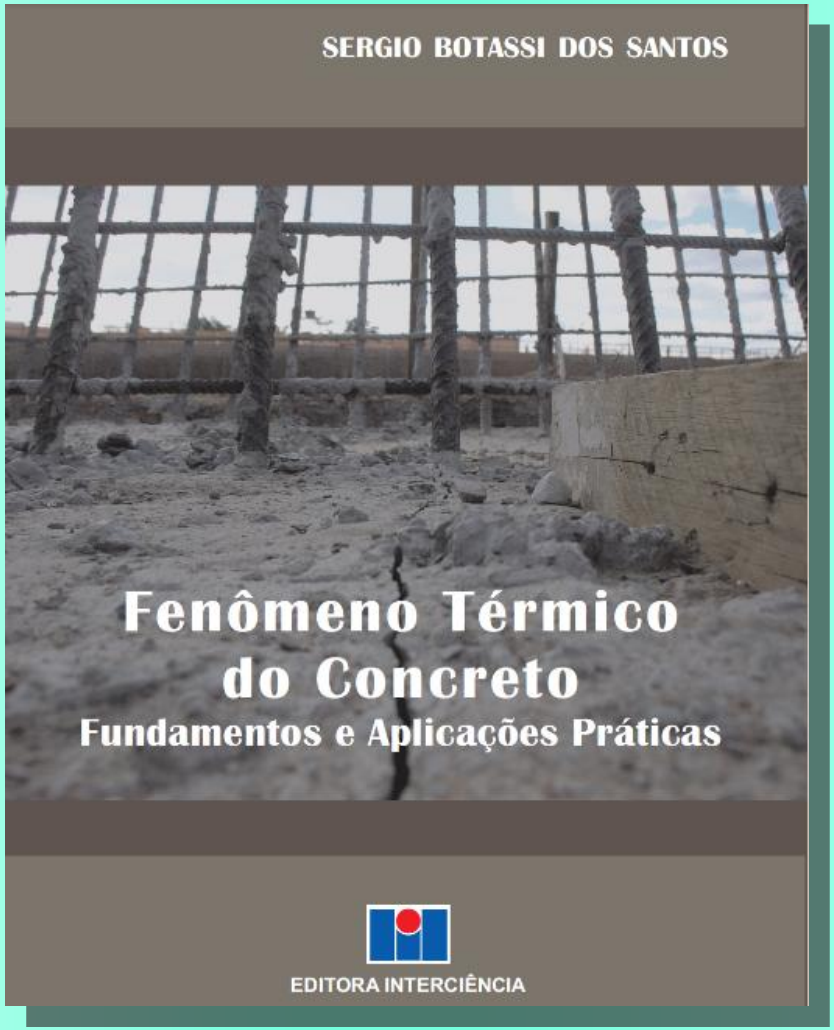


Obrigado

SBS
CONSULTORIA
EM ENGENHARIA

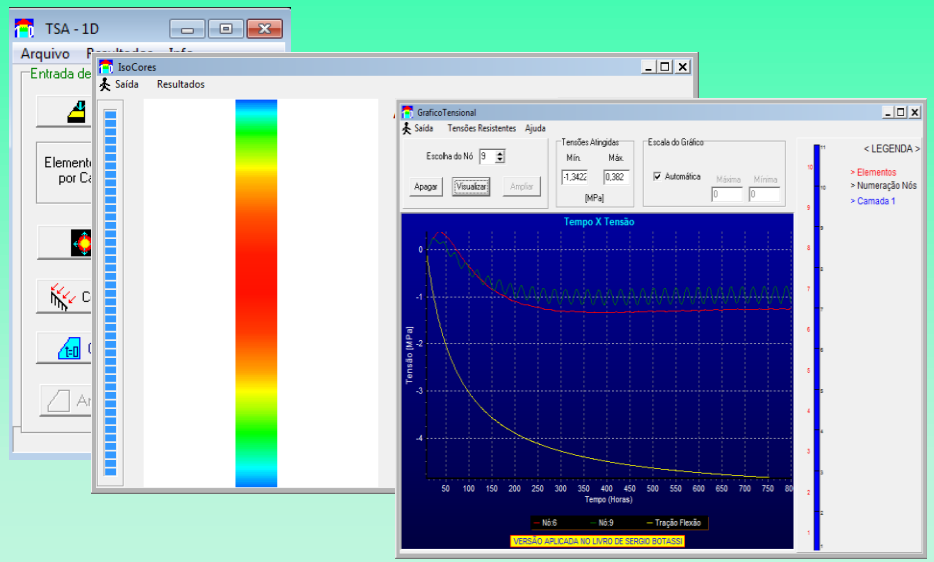
sbotassis@gmail.com

LIVROS PUBLICADOS



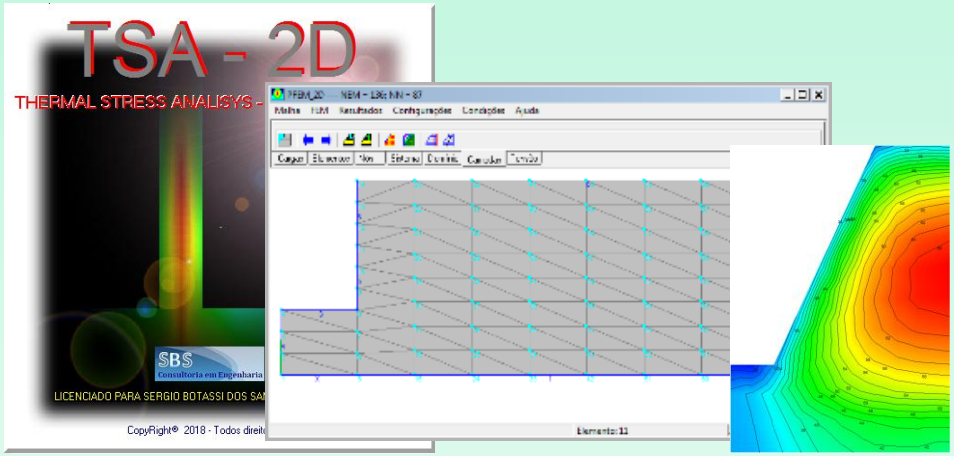
SOFTWARES DE ANÁLISE TÉRMICA

TSA-1D: *Thermal Stress Analisys* 1D



Simula concretagens de estruturas com foco na prevenção do risco térmico.

TSA-2D: *Thermal Stress Analisys* 2D



Simula concretagens de estruturas com geometrias mais elaboradas (túneis, barragens, etc.) para análise do risco térmico.

CURSOS E TREINAMENTOS