

Nº 179933

## **Análise de colapsos de escoramentos metálicos durante a construção de estruturas de concreto**

**Daniel Mariani Guirardi**

*Palestra apresentada no Congresso  
Brasileiro do Concreto, 66., 2025,  
Curitiba. 38 slides.*

*A série "Comunicação Técnica" compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.*

**PROIBIDO REPRODUÇÃO**

# Análise de Colapsos de Escoramentos Metálicos Durante a Construção de Estruturas de Concreto



Daniel M. Guirardi  
IBRACON & IPT



## Sumário



- O que é o IPT?
- Estudo de caso 1: Desabamento da laje de cobertura da uma edificação durante a construção
- Estudo de caso 2: Queda da viga-guia do monotrilha de São Paulo durante a construção



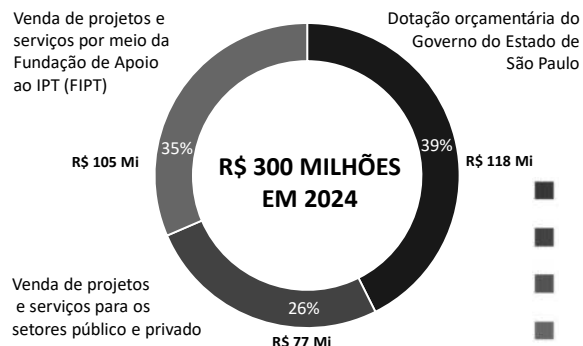
Out25  
Curitiba - Paraná

## O QUE É O IPT?

EXISTIMOS PARA PROVER SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA A INDÚSTRIA, OS GOVERNOS E A SOCIEDADE, HABILITANDO-OS A SUPERAR SEUS DESAFIOS E PROMOVENDO QUALIDADE DE VIDA



### RECEITAS



### IPT EM NÚMEROS\*

  
126 ANOS DE  
CONTRIBUIÇÕES PARA  
A SOCIEDADE

  
> 1000  
FUNCIONÁRIOS E  
COLABORADORES

  
50% DE RECEITA  
COM INOVAÇÃO

  
> 3.170  
CLIENTES  
ATENDIDOS

  
> 16.200  
DOCUMENTOS  
TÉCNICOS EMITIDOS

  
> 2000 PROCEDIMENTOS  
DE ENSAIOS E ANÁLISES  
NO PORTFÓLIO

  
35% DOS PROJETOS  
IPT COM IMPACTO  
DIRETO EM ESG

\* 2024

## Unidades do IPT no Brasil



- 1 **São Paulo, SP**  
Sede do IPT e Parque Laboratorial
- 2 **Bertioga, SP**  
Planta de Biodigestão de Resíduos Sólidos
- 3 **Franca, SP**  
Lab. de Tecnologia Têxtil e Produtos de Proteção
- 4 **São José dos Campos, SP**  
Laboratório de Estruturas Leves
- 5 **São Sebastião, SP**  
Laboratório Flutuante
- 6 **Piracicaba, SP**  
Laboratório de Infraestrutura em Energia
- 7 **Manaus, AM**  
Núcleo IPT Amazônia



## O QUE FAZEMOS?

PESQUISA,  
DESENVOLVIMENTO  
E INOVAÇÃO

PRODUTOS E PROCESSOS  
SOFTWARES  
DA BANCADA AO PILOTO  
APOIO DE FOMENTO  
EMBRAPII

TESTES, ENSAIOS  
E ANÁLISES

PARECERES TÉCNICOS  
AVALIAÇÃO  
DE PRODUTOS  
CERTIFICAÇÃO  
DE PRODUTOS

INSPEÇÕES E  
MONITORAMENTOS

OBRAS E ESTRUTURAS  
MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS  
ORGANISMO DE  
INSPEÇÃO ACREREDITADO

DESENVOLVIMENTO  
METROLÓGICO,  
MEDIÇÕES  
E CALIBRAÇÕES

PROGRAMAS  
DE PROFICIÊNCIA  
DESENVOLVIMENTO  
DE PADRÕES  
METROLOGIA AVANÇADA

MATERIAIS DE  
REFERÊNCIA  
CERTIFICADOS

METAIS  
CERÂMICAS  
MINERAIS  
VISCOSIDADE  
AREIA NORMAL

TREINAMENTO E  
CAPACITAÇÃO

MESTRADO  
PROFISSIONAL  
CURTA DURAÇÃO  
EDUCAÇÃO  
CORPORATIVA



## UNIDADES DE NEGÓCIOS

### BIONANOMANUFATURA

Biotechnology, Nanotechnology, Microfabrication, Chemistry and EPIs

### CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Planejamento Territorial, Obras Cíveis, Riscos, Recursos Hídricos, Florestas

### ENERGIA

Geração, Infraestrutura, Eficiência, Energias Limpas

### ENSINO TECNOLÓGICO

Mestrado, MBA Internacional, Especialização

### HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Conforto, Desempenho, Segurança, Materiais, Sustentabilidade

### MATERIAIS AVANÇADOS

Metal, Polímero, Compósito, Celulose, Corrosão

### TECNOLOGIAS DIGITAIS

IoT, Sistemas Embarcados, Sistemas de Transportes, IA, Analytics

### TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Mecânica, Elétrica, Vazão, Aerodinâmica, Química



# DIFERENCIAIS

**#inovação**



+ 120 mil m<sup>2</sup> de laboratórios  
+ 1000 profissionais qualificados  
Inúmeros caminhos para inovar

**#qualidade**

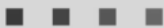


+ 2 mil ensaios e calibrações  
+ 20 mil documentos técnicos por ano  
Referência em qualidade dos serviços

**#satisfação**



Nível de excelência no NPS  
NPS 84  
(Net Promoter Score)



## Desabamento da laje de cobertura da uma edificação durante a construção



13/01/2012 13h12 - Atualizado em 13/01/2012 13h15

### IPT vai analisar desabamento de laje em obra da Zona Norte de SP

Um operário morreu e outros 11 ficaram feridos na Vila Nova Cachoeirinha. Secretário da Cultura mandou interditar obras após acidente.



Edição do dia 13/01/2012  
13/01/2012 13h32 - Atualizado em 13/01/2012 18h05

### Instituto de Pesquisas fará laudo sobre desabamento de laje em SP

A Secretaria de Cultura de São Paulo vai contratar o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, o IPT, para realizar com os agentes da secretaria um laudo sobre o desabamento da laje de um prédio em construção.



Out25  
Curitiba - Paraná

## Desabamento da laje de cobertura da uma edificação durante a construção



Out25  
Curitiba - Paraná

## Linhas de investigação

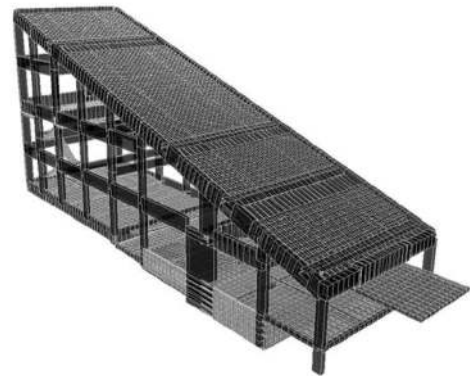
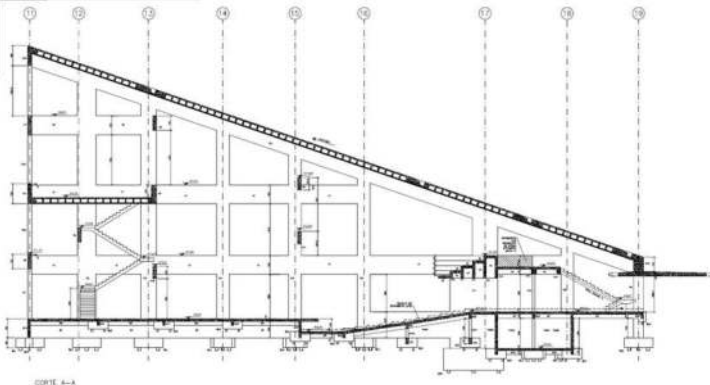


- Projeto de escoramento.
- Verificação dos componentes do escoramento (vigas, escoras, torres).
- Ensaios de componentes
- Procedimento e execução do escoramento.

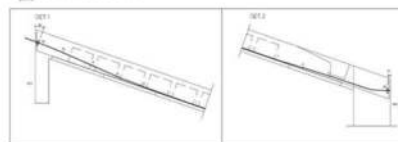


Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto estrutural



DET. P/ SAÍDA DOS CABOS

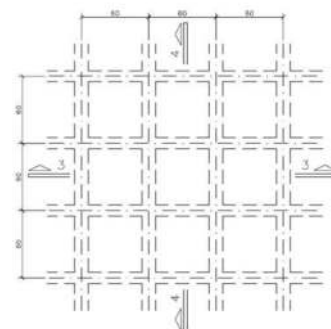
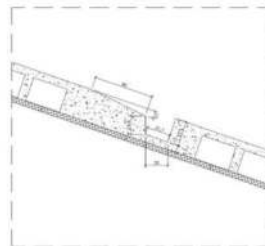
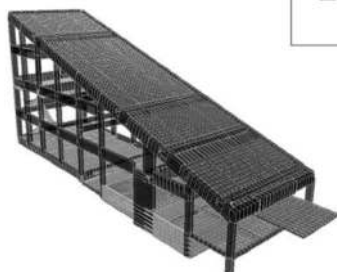
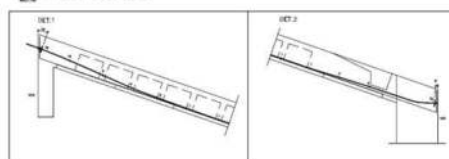


Out25  
Curitiba - Paraná

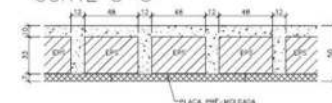
## Projeto estrutural



DET. P/ SAÍDA DOS CABOS

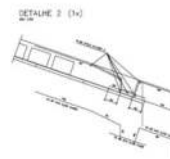
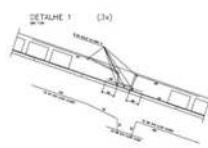
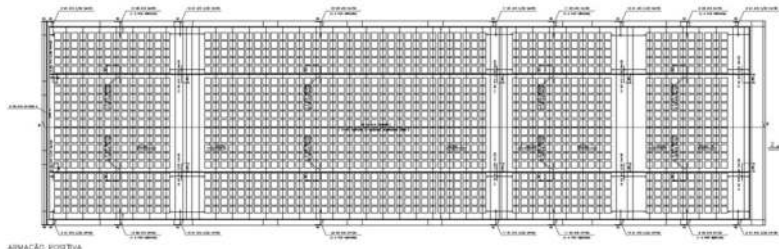


CORTE 3-3



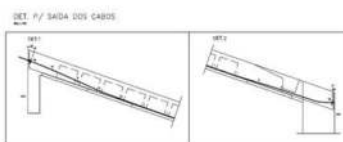
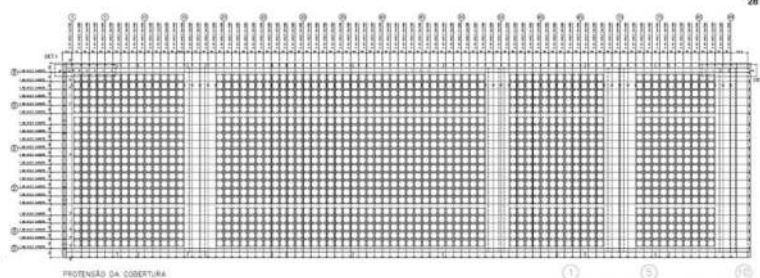
Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto estrutural



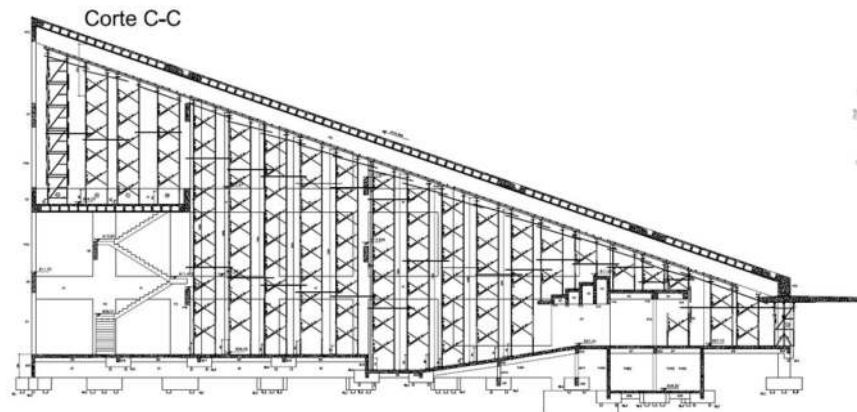
Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto estrutural



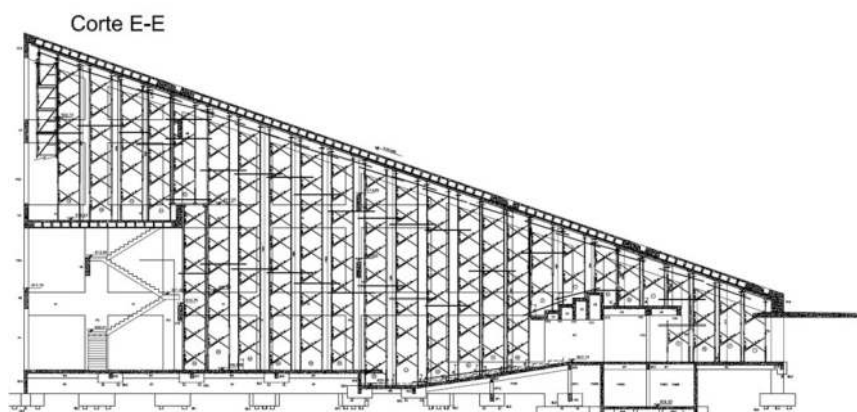
Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto de escoramento



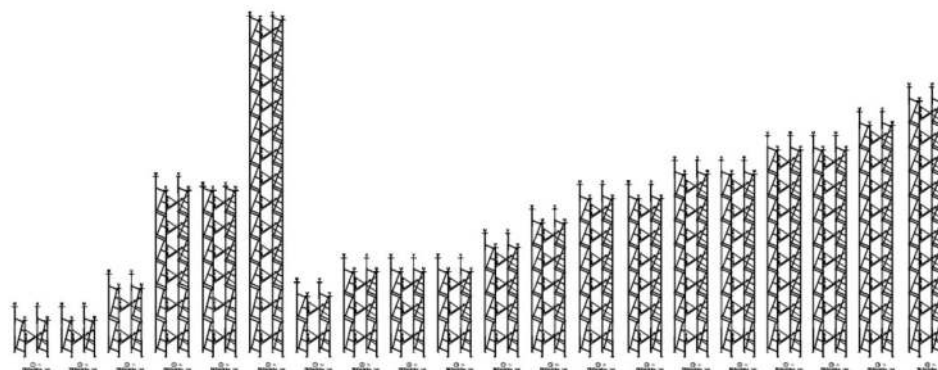
Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto de escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto de escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Norma ABNT NBR 15696:2009



- Para **estruturas de madeira**, o cálculo deve ser feito conforme **ABNT NBR 7190**.
- Para **estruturas de aço**, o cálculo deve ser feito conforme **ABNT NBR 8800**.
- **Sobrecarga de trabalho** na execução dos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto de **2,0 kN/m<sup>2</sup>**, sendo carga estática total, não pode ser inferior a **4,0 kN/m<sup>2</sup>** (sobrecarga + peso próprio).



Out25  
Curitiba - Paraná

## Norma ABNT NBR 15696:2009



- **Pressões de vento** conforme determinações da ABNT NBR 6123, sendo que não deve ser inferiores a **0,6 kN/m<sup>2</sup>**;
- Quando utilizadas **plataformas de trabalho**, deve ser considerada a sobrecarga mínima de **1,5 kN/m<sup>2</sup>**;
- **Esforços horizontais** aplicados nas laterais das fôrmas da laje, para efeito de cálculo de contraventamento e/ou ancoragem em pontos fixos externos, devem ser adotados iguais a **5 % da carga vertical**;



Out25  
Curitiba - Paraná

## Norma ABNT NBR 15696:2009



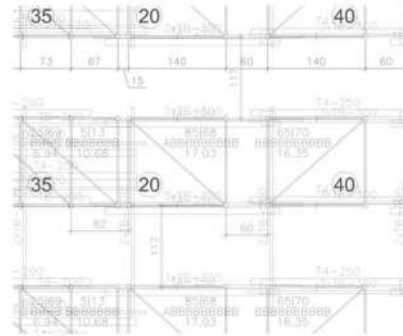
- **Máxima flecha** no elemento com carga de peso próprio do concreto e sobrecarga de 1,0 kN/m<sup>2</sup>, sem aplicação de coeficiente de segurança inferior a **1 + L/500 (mm)**.
- **Vigas de madeira** industrializada a carga admissível de utilização deve ser calculada utilizando um **coeficiente de segurança** igual ou superior a **2,25** sobre a resistência última característica ou qualquer outro efeito.
- **Escoras, vigas e torres metálicas** a carga admissível de utilização deve ser a carga de ruptura ensaiada, utilizando um **coeficiente de segurança** igual ou superior a **2,0** sobre o limite de flambagem ou qualquer outro efeito.



Out25  
Curitiba - Paraná



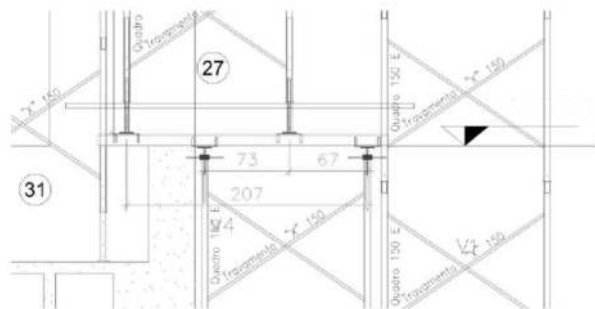
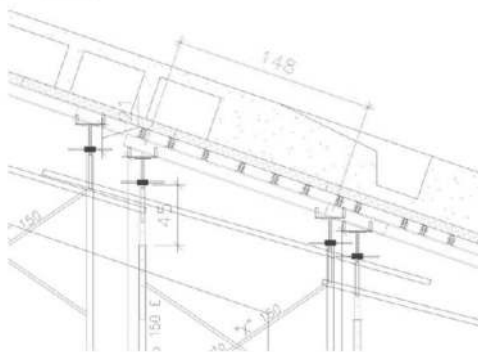
This technical drawing is a cross-section of a building, showing a staircase and a large hall. The staircase is located on the left side, with a landing and a set of stairs leading down. The hall is on the right, featuring a complex roof structure with a series of vertical supports and a sloped roofline. The drawing includes various dimensions and annotations, such as '1000', '1500', and '2000', indicating measurements in millimeters. The roof structure is detailed with cross-bracing and vertical supports, suggesting a heavy-duty design. The overall layout shows a transition from a smaller, enclosed staircase area to a larger, open hall space.



Ok pela NBR 8800!



Out25  
Curitiba - Paraná



Ok pela NBR 8800!

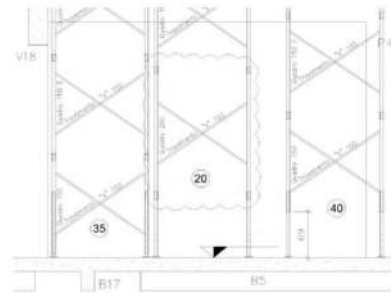
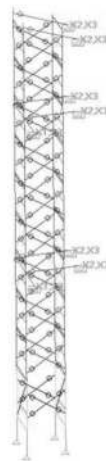


Out25  
Curitiba - Paraná

## Verificação do projeto de escoramento



- Torre com 17 m de altura

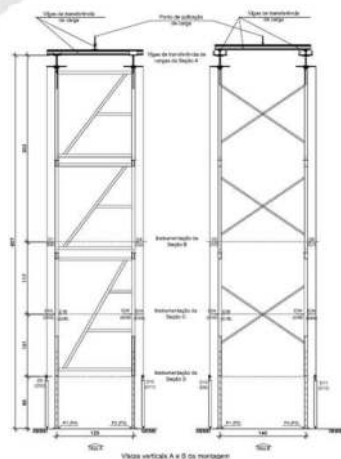


Ok pela NBR 8800!



Out25  
Curitiba - Paraná

## Ensaio de compressão na torre



Carga de ruptura de acordo com o projeto!



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



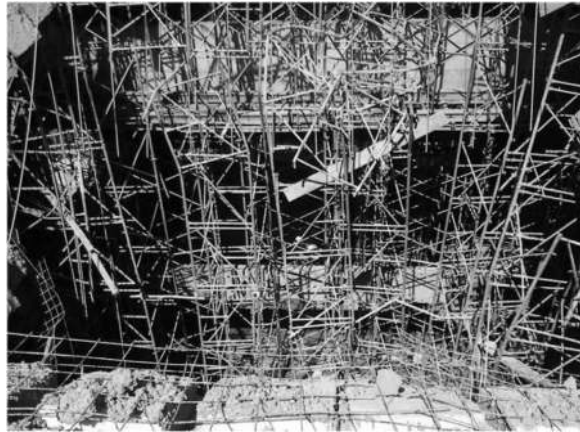
Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



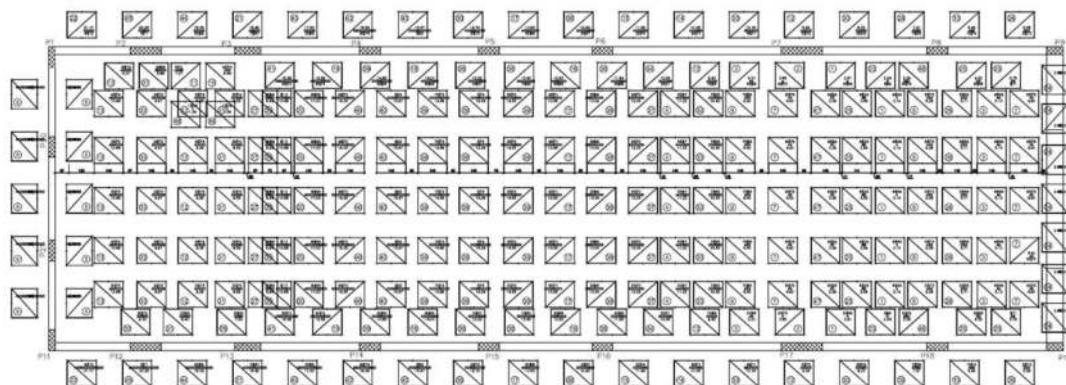
Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução do escoramento

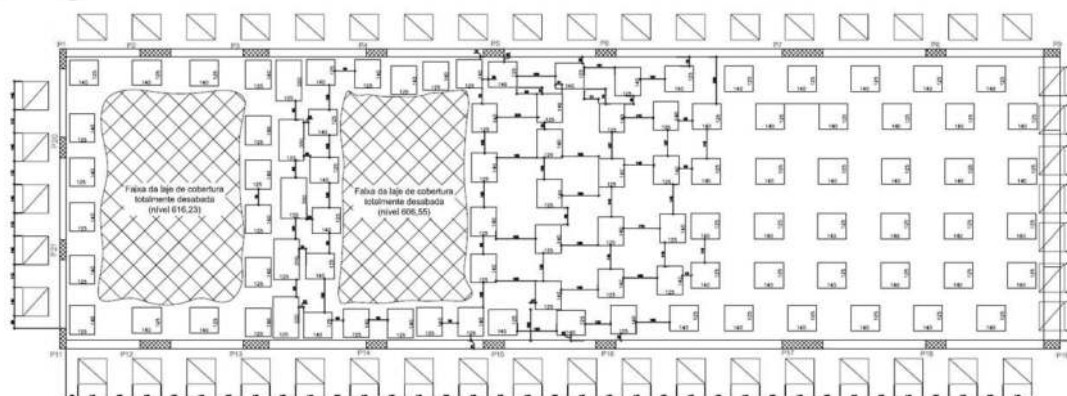


Projeto de escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

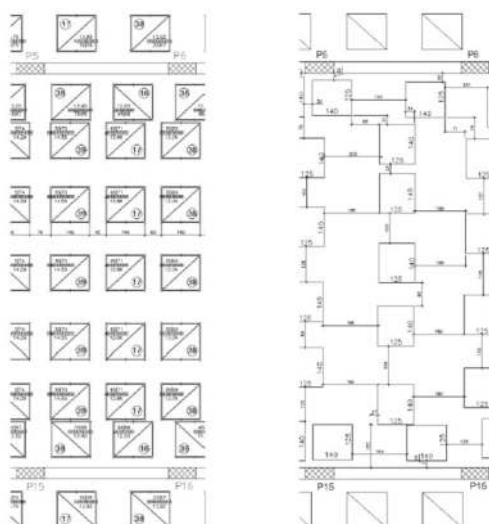
## Execução do escoramento



Execução do projeto de  
escoramento

## Execução do escoramento

- Execução do escoramento em desacordo com o projeto.
- Ruptura frágil das torres por flambagem.



## Conclusões



- Diversos elementos executados de forma improvisada e sem respaldo técnico.
- Execução do escoramento em desacordo com o projeto.
- O colapso foi causado pela execução inadequada do escoramento.



Out25  
Curitiba - Paraná

## Lições aprendidas



- Executar o escoramento conforme o projeto aprovado.
- Evitar qualquer tipo de improviso ou solução sem respaldo técnico.
- Capacitar a equipe de obra sobre montagem, uso e desmontagem do escoramento.
- Realizar inspeções frequentes durante todas as fases da execução.
- Registrar e corrigir não conformidades imediatamente.
- Assegurar comunicação clara entre projetistas, executores e fiscalização.



Out25  
Curitiba - Paraná

## Monotrilho de São Paulo



Out25  
Curitiba - Paraná

## Monotrilho de São Paulo



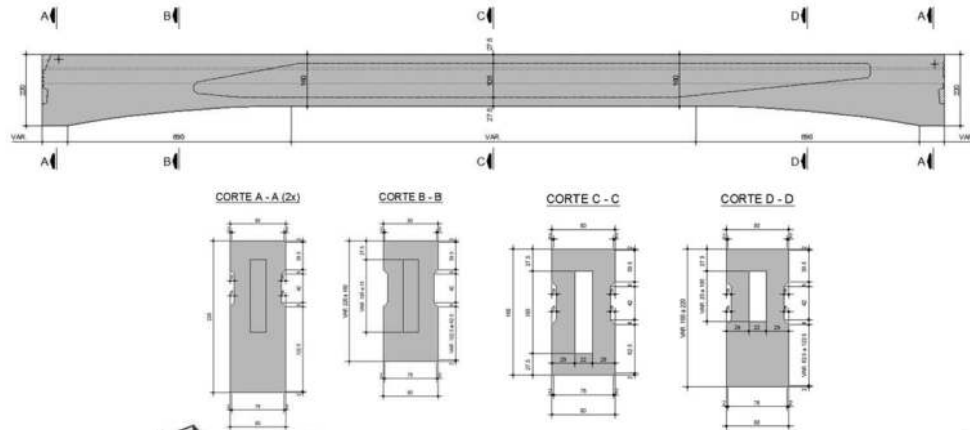
Peritos da polícia técnico-científica vão apontar as causas do acidente do monotrilho  
SP2



Out25  
Curitiba - Paraná

## Viga Guia

- Vigas protendidas (comprimento de 30 m, raio de curvatura de 90 m, peso de 90 ton)



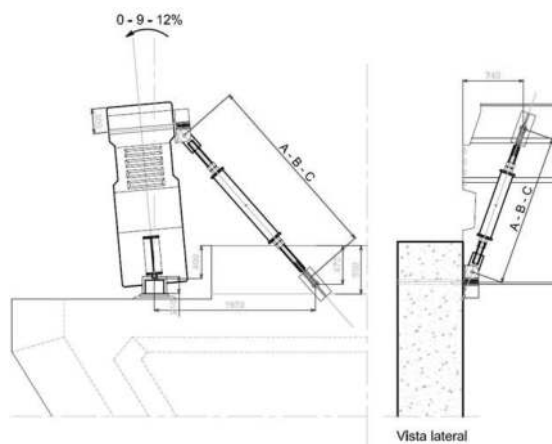
ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRACON

## Escora metálica

- Ajuste da superelevação



ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRACON



ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRACON

Out25  
Curitiba - Paraná



ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRACON

Out25  
Curitiba - Paraná



ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRAÇON

Out25  
Curitiba - Paraná



ALCONPAT  
BRASIL

ABECE

IBRAÇON

Out25  
Curitiba - Paraná

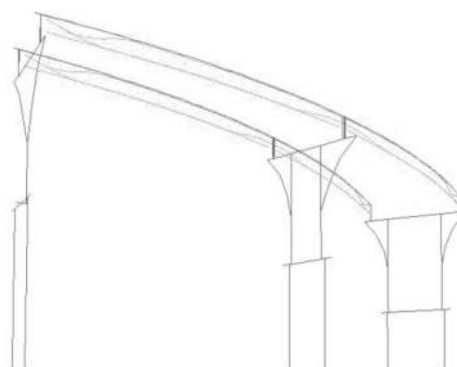
## Linhas de investigação

- Projeto da viga-guia
- Execução da viga-guia
- Projeto de escoramento
- Materiais da viga-guia
- Materiais do escoramento
- Procedimento e execução do escoramento



Out25  
Curitiba - Paraná

## Projeto viga-guia



Projeto de acordo  
com as normas! Ok!



Out25  
Curitiba - Paraná

## Execução da viga-guia



Execução da viga-guia de acordo com o projeto!  
Ok!



Out25  
Curitiba - Paraná

## Ensaaios no concreto

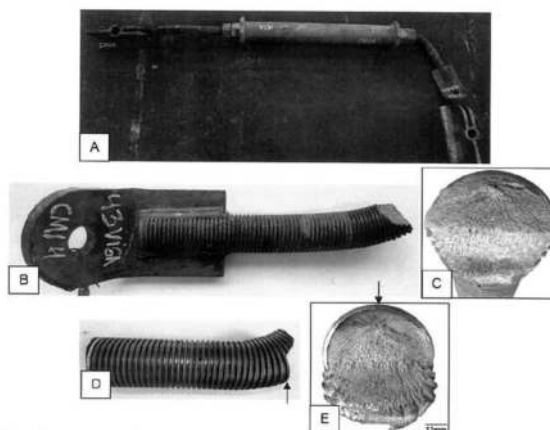
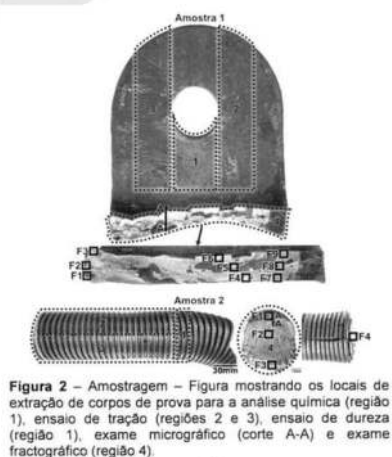


Resistência do concreto de acordo com o especificado em projeto! OK!



Out25  
Curitiba - Paraná

## Ensaaios no aço da escora



Resistência do aço de  
acordo com o projeto!  
OK!

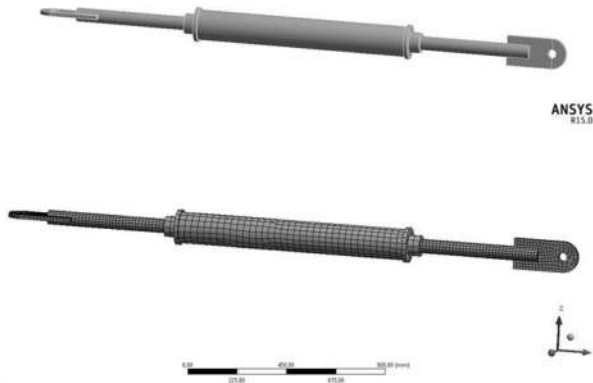
## Verificação do projeto da escora



## Modelagem numérica para obtenção da carga de flambagem

Geometry  
INQ123084 (1237)

ANSYS  
R15.0



ANSYS  
R15.0

Contact Region  
INQ123084 (1237)

Contact Region

| Details of Contact Region 1 |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| Keypoint                    | Keypoint Selection |
| Keypoint Method             | 1 Face             |
| Keypoint                    | 1 Face             |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Type                        | Keypoint           |

ANSYS  
R15.0



Contact Region 2  
INQ123084 (1237)

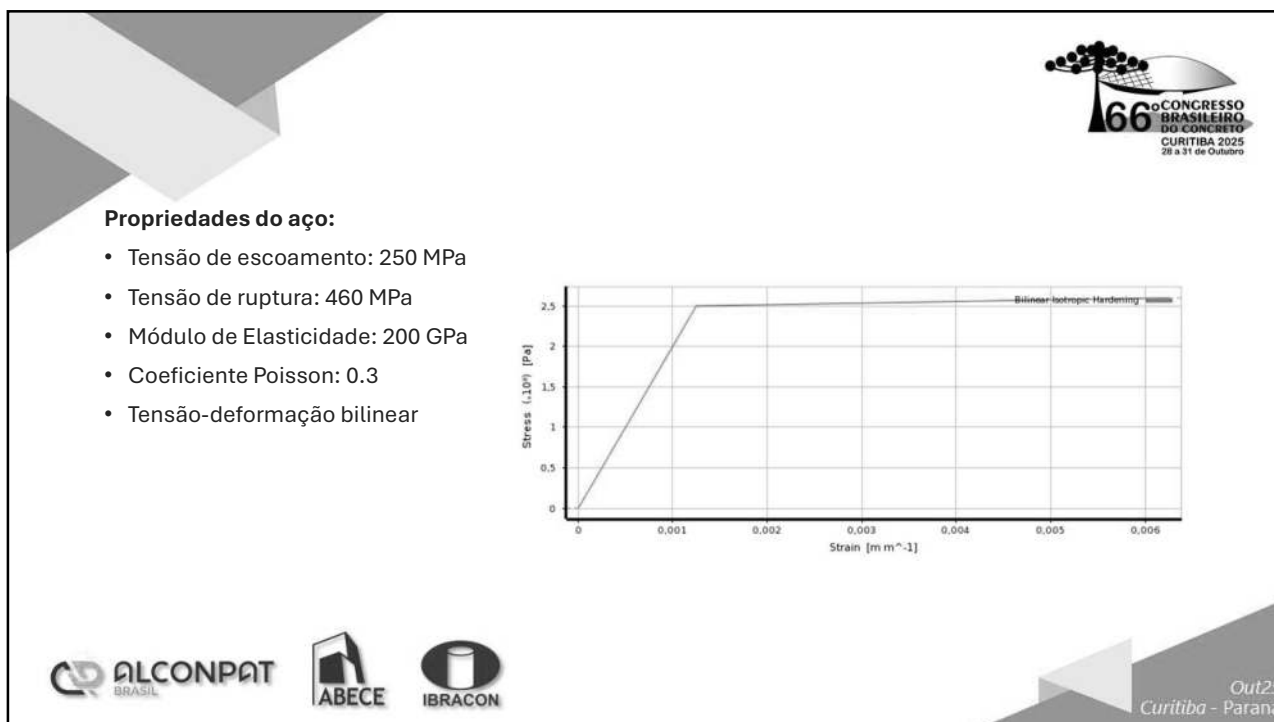
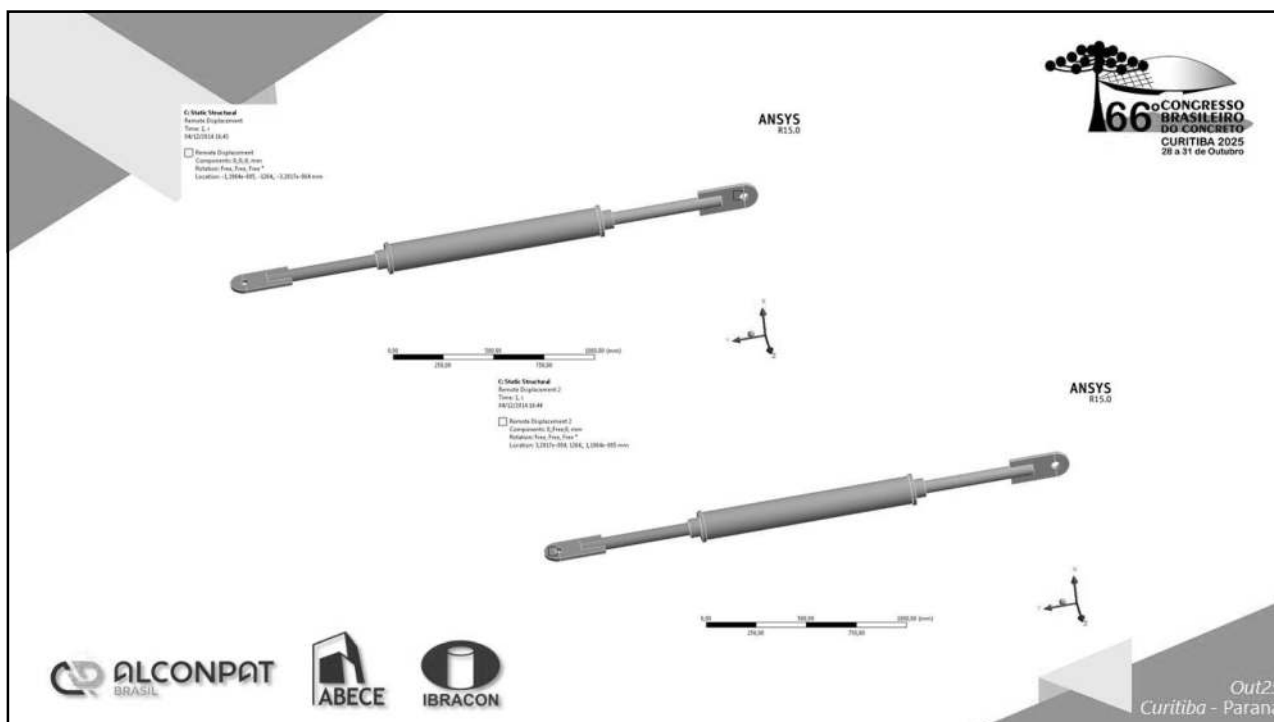
Contact Region 2

| Details of Contact Region 2 |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| Keypoint                    | Keypoint Selection |
| Keypoint Method             | 1 Face             |
| Keypoint                    | 1 Face             |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Keypoint Bodies             | Keypoint Bodies    |
| Type                        | Keypoint           |

ANSYS  
R15.0



0.00 100.00 200.00 (mm)



## Carga de flambagem elástica

- Força: 400 kN

A: Static Structural  
Static Structural  
Time: 1 s  
04/12/2014 17:18  
A: Remote Displacement  
U: Remote Displacement,2  
F: Force: 4e+05 N

ANSYS  
R15.0

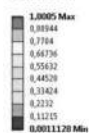


## Carga de flambagem elástica

- Fator de carga: 1,7092 (1º modo)
- Carga de flambagem: 683 kN (1,7092 x 400 kN)

B: Linear Buckling  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Load Multiplier: 1.7092  
Unit: mm  
04/12/2014 17:35

ANSYS  
R15.0



## Carga de flambagem elástica

- Fator de carga: 1,7131 (2º modo)
- Carga de flambagem: 685 kN (1,7131 x 400 kN)

B: Linear Buckling  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Load Multiplier: 1.7131  
Unit: mm  
04/12/2014 17:38

1.000% Max  
0.80944  
0.77842  
0.66739  
0.55635  
0.44531  
0.33428  
0.22324  
0.1122  
0.001105 Min



ANSYS  
R15.0

0.00 250.00 500.00 750.00 1000.00 (mm)

## Carga de flambagem elástica

- Fator de carga: 3,3604 (3º modo)
- Carga de flambagem: 1.344 kN (3,3604 x 400 kN)

B: Linear Buckling  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Load Multiplier: 3.3604  
Unit: mm  
04/12/2014 17:39

1.021% Max  
0.80804  
0.79502  
0.582  
0.54900  
0.45590  
0.34294  
0.22991  
0.11099  
0.0030738 Min



ANSYS  
R15.0

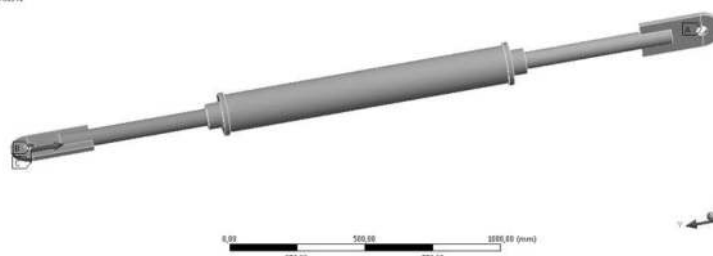
0.00 250.00 500.00 750.00 1000.00 (mm)

## Carga de flambagem não linear

- Força: 800 kN
- Imperfeição de 3 mm (curvatura no centro)
- Malha inicial deformada

C: Static Structural  
Static Structural 2  
Time: 1.1  
04/12/2014 16:45  
[A] Remote Displacement  
[B] Remote Displacement 2  
[C] Force: Fx=005 N

ANSYS  
R15.0

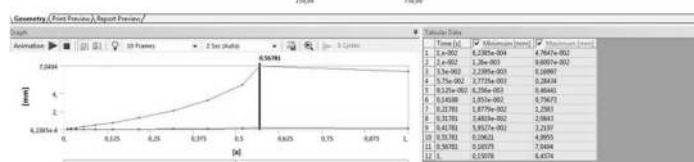


- Divergência no tempo: 0,56781

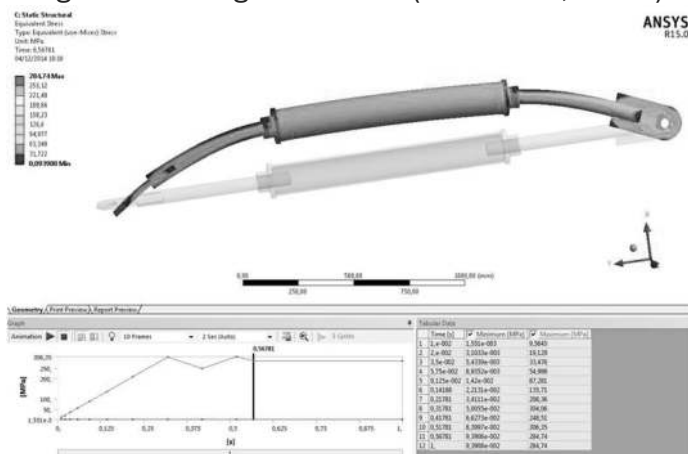
C: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Units: mm  
Time: 0.56781  
04/12/2014 16:17

ANSYS  
R15.0

7.000E+00 Max  
6.240E-01  
5.510E-01  
4.750E-01  
3.90  
3.270E-01  
2.400E-01  
1.400E-01  
6.200E-02  
0.000E+00 Min



- Carga de flambagem: 454 kN (800 kN x 0,56781)



## Ensaio de compressão



## Ensaio de compressão



- Comprimento 2,42 m



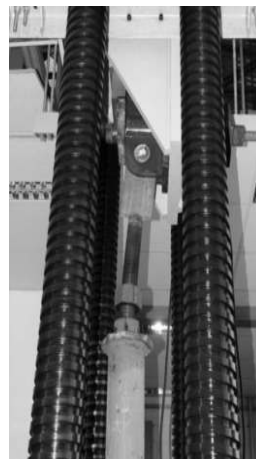
| Ensaio | Travamento da porca | Excentricidade inicial | Carga de Ruptura (kN) | Local da Ruptura      |
|--------|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1      | Apertada            | Não                    | 630                   | Chapa                 |
| 2      | Apertada            | Não                    | 630                   | Chapa                 |
| 3      | Afrouxada           | Não                    | 530                   | Barra Roscada         |
| 4      | Afrouxada           | Não                    | 618                   | Barra Roscada         |
| 5      | Afrouxada           | Sim                    | 530                   | Chapa                 |
| 6      | Afrouxada           | Sim                    | 423                   | Chapa e Barra Roscada |



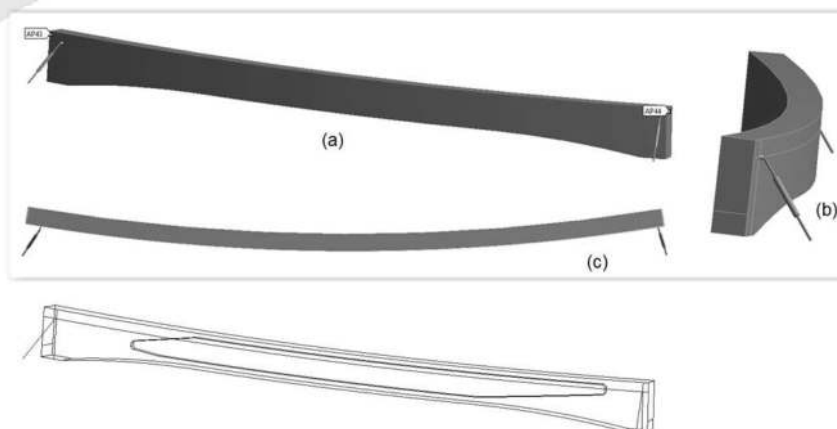
Out25  
Curitiba - Paraná



Out25  
Curitiba - Paraná



## Simulação numérica da carga nas escoras



## Simulação numérica da carga nas escoras



### Propriedades dos Materiais:

#### Concreto

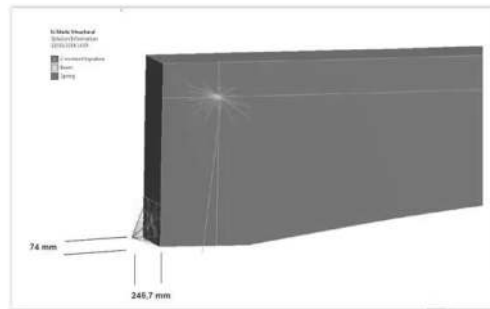
Peso específico: 2,500 kg/m<sup>3</sup>  
 Módulo de Elasticidade: 31.9 GPa  
 Coeficiente de Poisson: 0.2

#### Aço

Módulo de Elasticidade: 200 GPa  
 Coeficiente de Poisson: 0.3  
 Coeficiente de expansão térmica:  $1.2 \cdot 10^{-5}$

Aceleração da gravidade: 9.8066 m/s<sup>2</sup>

C-Model Structural  
 Thermal Condition AP43  
 Time 0.0  
 2015/10/14 10:37



Out25  
Curitiba - Paraná

## Simulação numérica da carga nas escoras



### Simulação do procedimento de ajuste das escoras

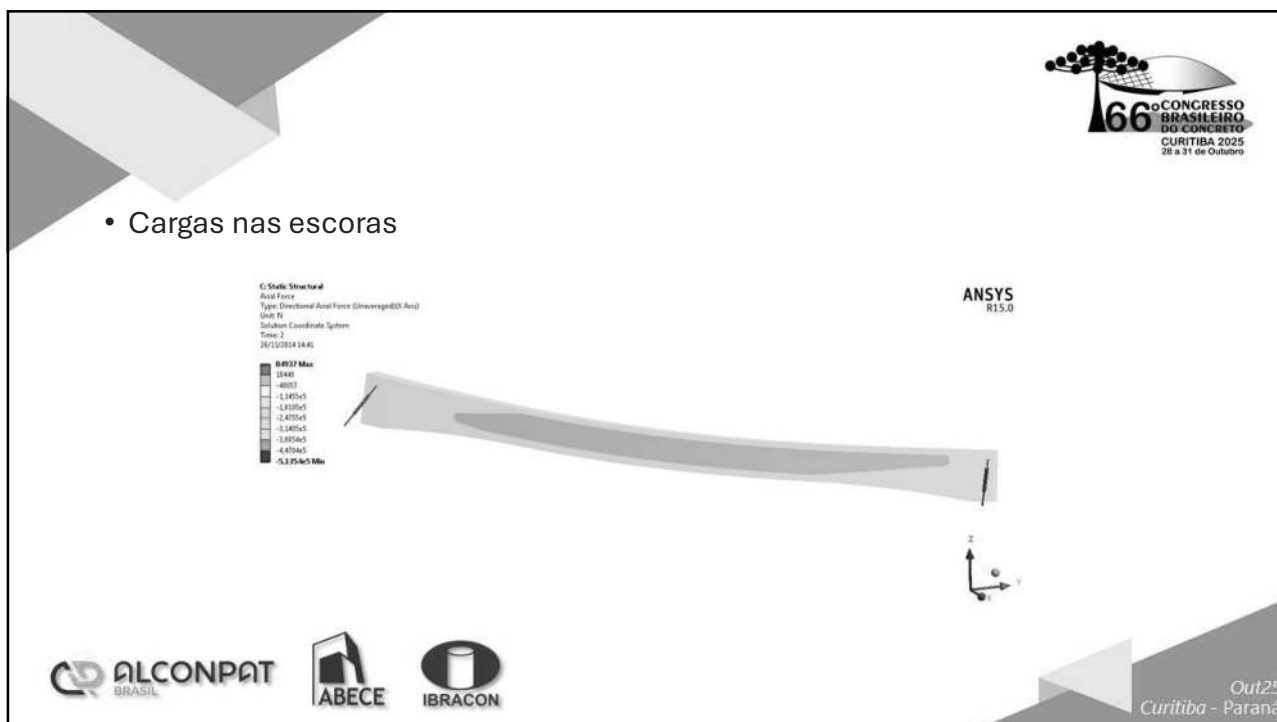
|   |                                                  |
|---|--------------------------------------------------|
| 1 | Sem ajuste                                       |
| 2 | +10 mm na escora do AP44                         |
| 3 | -10 mm na escora do AP44                         |
| 4 | +10 mm nas duas escoras                          |
| 5 | -10 mm nas duas escoras                          |
| 6 | +5 mm na escora do AP43 e -5mm na escora do AP44 |
| 7 | -5 mm na escora do AP43 e +5mm na escora do AP44 |

AP43

AP44



Out25  
Curitiba - Paraná



## Resultados da Simulação Numérica da Carga nas escoras



| Simulação |                                                  | Carga na escora do AP43 | Carga na escora do AP44 | 1ª Tensão Principal na Viga | 2ª Tensão Principal da Viga |
|-----------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|           |                                                  | ( kN )                  | ( kN )                  | ( MPa )                     | ( MPa )                     |
| 1         | Sem ajuste                                       | 239<br>(compressão)     | 184<br>(compressão)     | 9,4836                      | -11,122                     |
| 2         | +10 mm na escora do AP44                         | 85<br>(tração)          | 514<br>(compressão)     | 9,7817                      | -11,313                     |
| 3         | -10 mm na escora do AP44                         | 600<br>(compressão)     | 185<br>(tração)         | 9,3414                      | -11,062                     |
| 4         | +10 mm nas duas escoras                          | 232<br>(compressão)     | 191<br>(compressão)     | 9,4876                      | -11,124                     |
| 5         | -10 mm nas duas escoras                          | 244<br>(compressão)     | 178<br>(compressão)     | 9,4807                      | -11,120                     |
| 6         | +5 mm na escora do AP43 e -5mm na escora do AP44 | 577<br>(compressão)     | 161<br>(tração)         | 9,3474                      | -11,060                     |
| 7         | -5 mm na escora do AP43 e +5mm na escora do AP44 | 102<br>(tração)         | 531<br>(compressão)     | 9,8005                      | -11,327                     |



Out25  
Curitiba - Paraná

## Conclusão



- Pequenas imperfeições iniciais podem reduzir significativamente a carga de flambagem na escora.
- As simulações numéricas apresentaram resultados semelhantes aos testes experimentais:
  - Simulação Ansys (683 kN a 454 kN)
  - Testes Experimentais (630 kN a 423 kN)
- Pequenos ajustes no escoramento resultam em grandes variações nas cargas. No entanto, as tensões na viga não foram alteradas significativamente.
- Pequenos ajustes assimétricos no escoramento podem resultar na carga de ruptura da escora.



Out25  
Curitiba - Paraná

## Lições aprendidas



- Durante a instalação das vigas-guia, é fundamental que as escoras atuem de forma passiva. Os guindastes devem sustentar a viga até seu posicionamento final, conforme o projeto, evitando que as escoras sejam utilizadas para movimentação ou ajuste com cargas elevadas.
- O ajuste das escoras deve ser feito por duas equipes simultaneamente, uma em cada extremidade, para evitar torções na viga e sobrecarga nas escoras.
- Pequenas excentricidades reduzem significativamente a resistência das escoras. Por isso, elas só devem entrar em carga após o correto alinhamento da viga e com as porcas devidamente apertadas.



Out25  
Curitiba - Paraná

**OBRIGADO!**

**ipt** INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

Daniel M. Guirardi  
IBRACON & IPT  
[linkedin.com/in/danielguirardi/](https://www.linkedin.com/in/danielguirardi/)