

**V SBPE  
2025**

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS



# **Avaliação e calibração do coeficiente adicional $\gamma_{n1}$ utilizado no projeto de pilares esbeltos de concreto armado pela norma brasileira NBR 6118**

**Eng. Dr. Eduardo Pagnussat Titello**

**Prof. Dr. Américo Campos Filho – UFRGS**

**Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real – FURG**

**PPGEC-UFRGS**

**Porto Alegre, setembro de 2025**

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



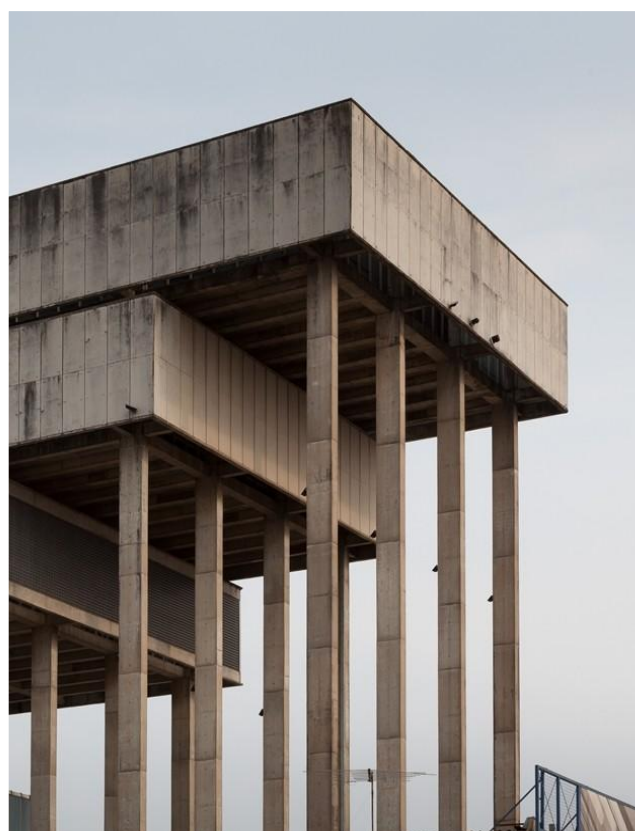
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Estrutura da apresentação:

1. Introdução e Motivação
2. Projeto de Pilares Esbeltos
3. Análise Numérica de Pilares Esbeltos
4. Confiabilidade de Pilares Esbeltos
5. Análise e Calibração
6. Considerações Finais



Centro de Mecanização do Banco  
do Brasil  
(Fonte: Arch Daily)

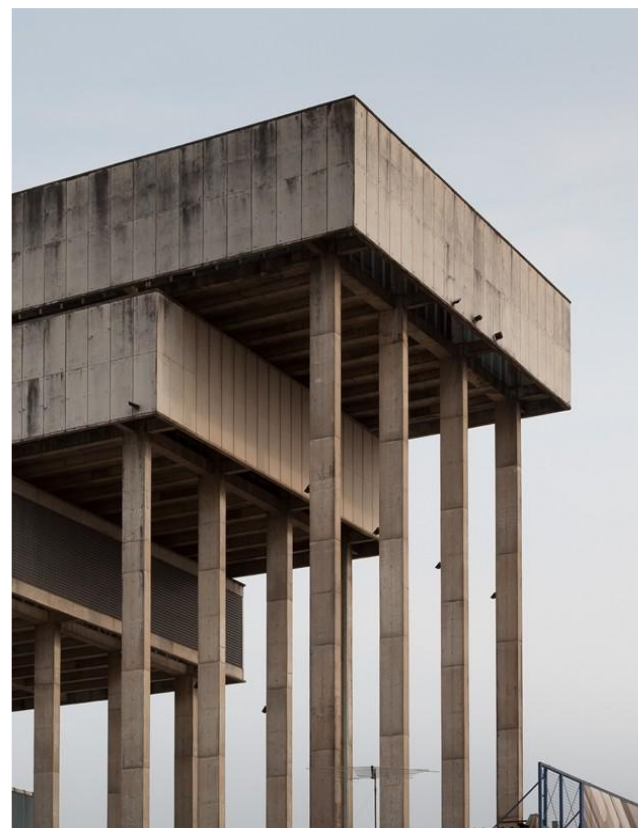
**V SBPE  
2025**

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



Centro de Mecanização do Banco  
do Brasil  
(Fonte: Arch Daily)

# 1.Introdução e Motivação

V SBPE  
2025

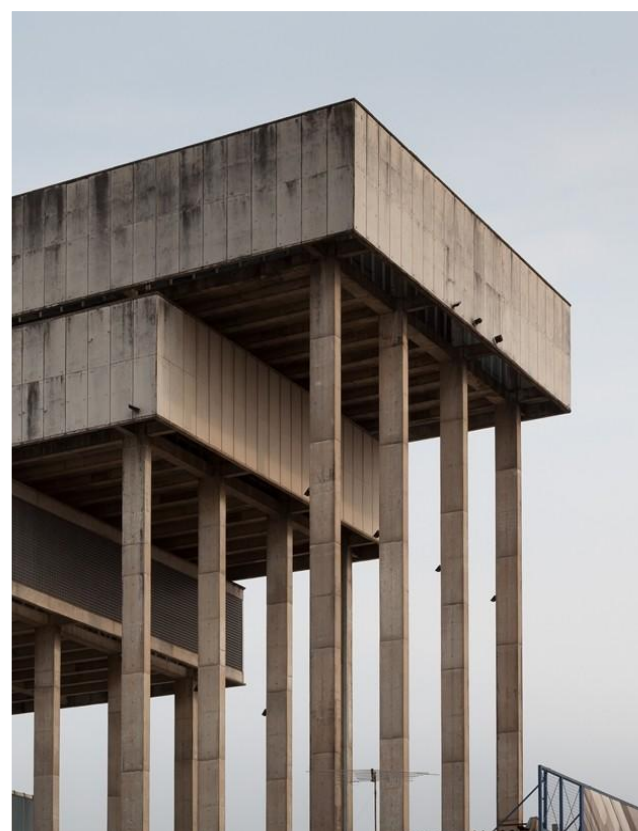
V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**



Centro de Mecanização do Banco  
do Brasil  
(Fonte: Arch Daily)

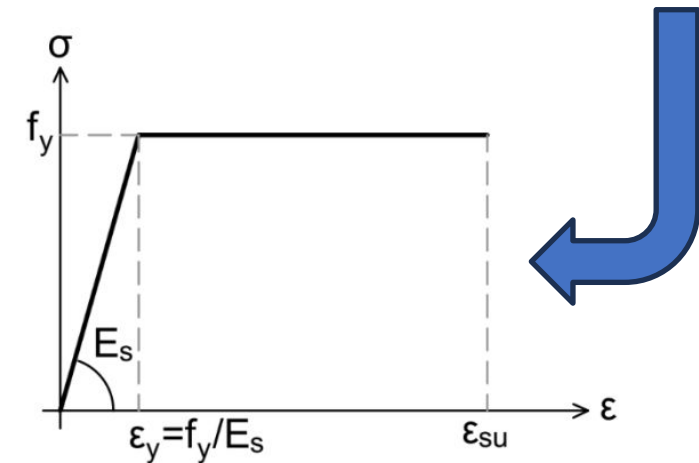
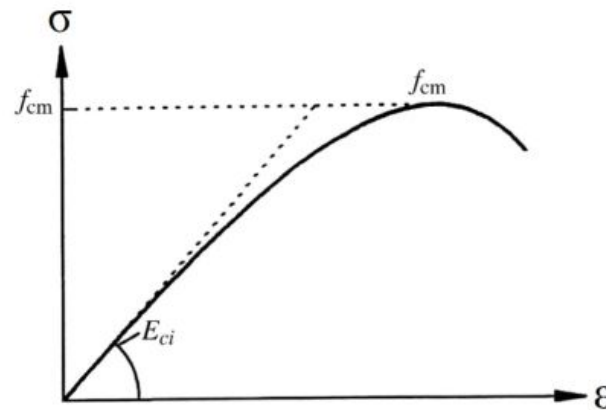
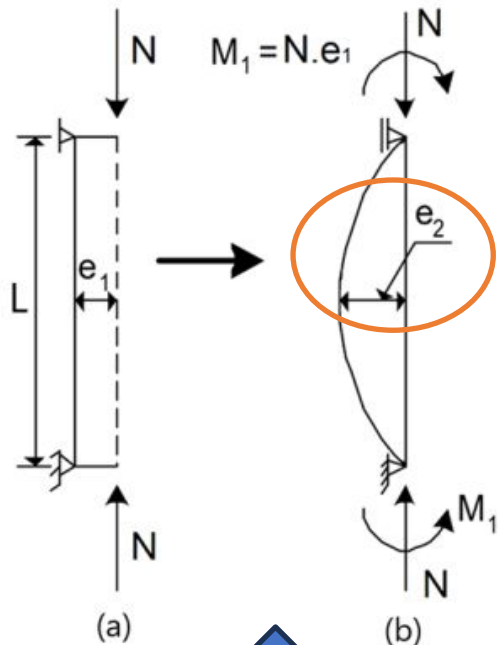
## A Evolução do Concreto e suas Vantagens

- O aumento da resistência dos concretos disponíveis no mercado torna possível o uso de seções reduzidas;
- Pilares esbeltos podem gerar economias de materiais e aumentar o espaço disponível, além do efeito arquitetônico.



## O Desafio Técnico: A Não-linearidade

- Pilares esbeltos tem comportamentos tipicamente não lineares:
  - Não-linearidades físicas = comportamento dos materiais;



- Não-linearidades geométricas = efeito de 2ª ordem.

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

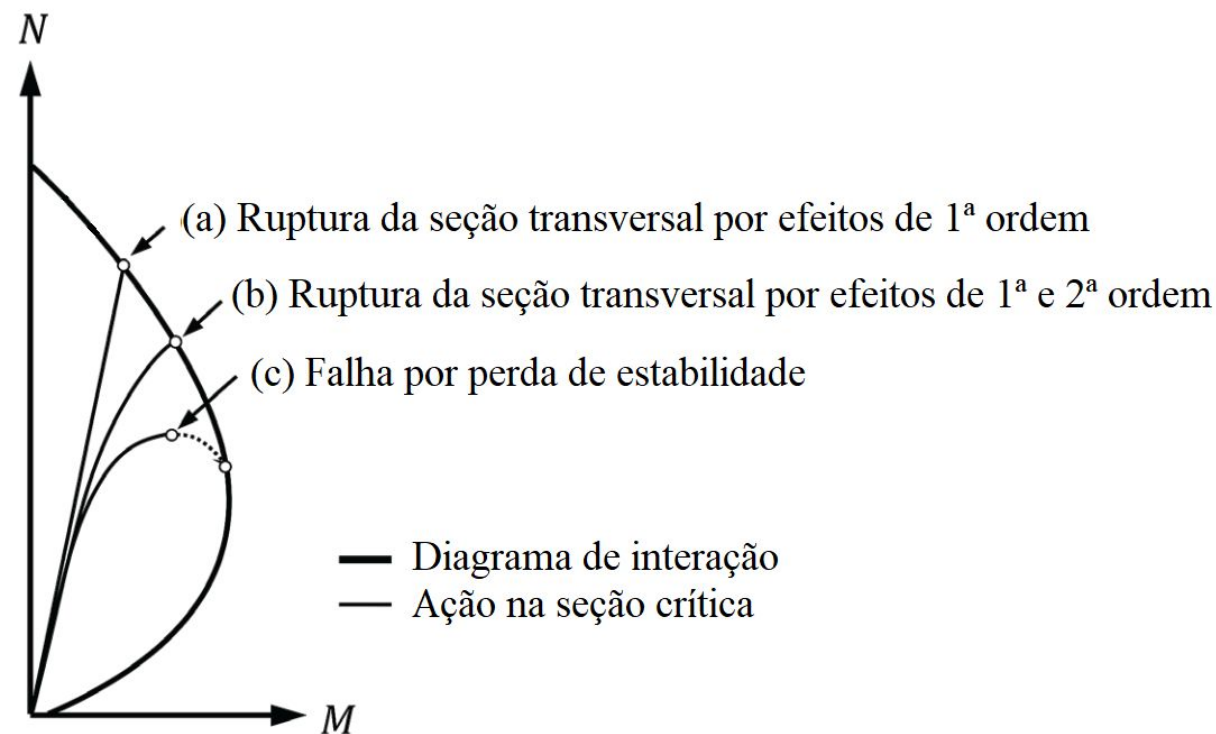
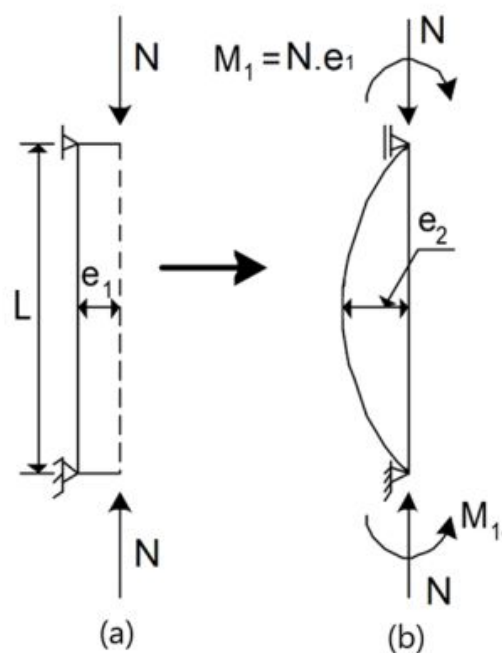


12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

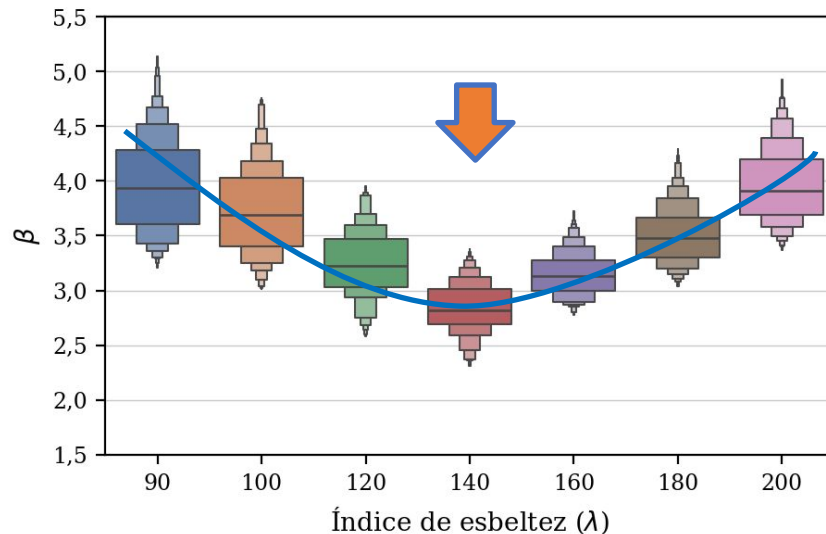
## O Problema do Pilar Esbelto: Seção x Instabilidade





## Distribuição dos índices de confiabilidade pelas prescrições atuais da NBR 6118

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



## O “Vale Perdido” na Norma Atual (NBR 6118):

- Análises baseadas na atual NBR 6118 demonstram que o nível de segurança dos pilares esbeltos não é uniforme.
- A segurança, que é alta para pilares com esbeltez  $\lambda = 90$ , **decrece continuamente** até atingir seu ponto mais baixo em  $\lambda = 140$ .
- Nesta faixa crítica ( $\lambda = 140$ ), os pilares atingem os **menores índices de confiabilidade**, com um valor mínimo de 2,31.
- Esta falta de uniformidade é o problema central que justifica a **reavaliação e calibração dos critérios da norma**.

**V SBPE  
2025**

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



## 2. Projeto de pilares esbeltos



Viaduto 13 –  $h = 143$  m Fonte: Wikipidea

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Coeficiente de segurança adicional $\gamma_{n1}$

**NBR 8681 (2024):** “Se o cálculo dos esforços atuantes for feito por processo não-linear, o coeficiente  $\gamma_f$  deve ser aplicado às ações características:  $S_d = S(\gamma_f \cdot \gamma_n \cdot I \cdot F_k)$ .”

$$F_d = \frac{\gamma_f}{\gamma_{f3}} \gamma_{n1} (F_{gk} + F_{qk}) \quad \Rightarrow \quad S_d = \gamma_{f3} \cdot S(F_d)$$

**NBR 6118 (2023):**

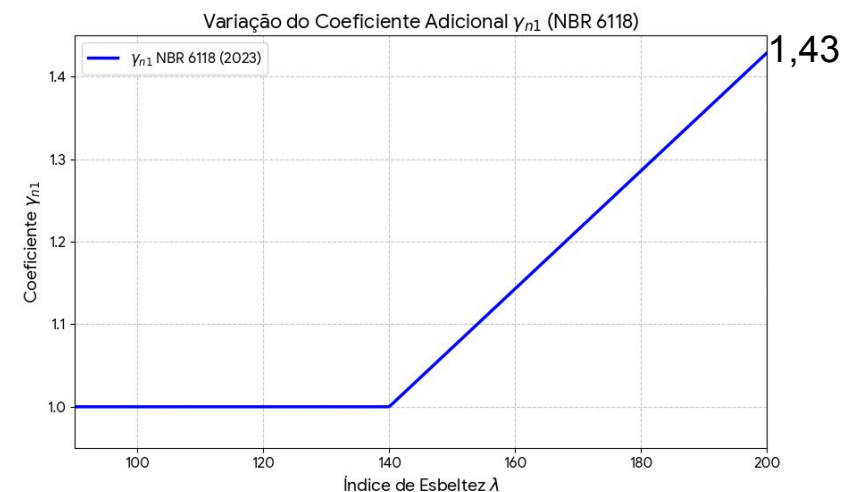
Edição do texto de aplicação para “deve-se **majorar os efeitos locais de 2ª ordem** por um coeficiente adicional [...]”

Isto está em contradição com  
a NBR-8681:2024...

$$F_d = \frac{\gamma_f}{\gamma_{f3}} (F_{gk} + F_{qk}) \quad \Downarrow \quad ?$$

$$S_d = \gamma_{f3} \cdot S_1(F_d) + \gamma_{f3} \cdot \gamma_{n1} S_2(F_d)$$

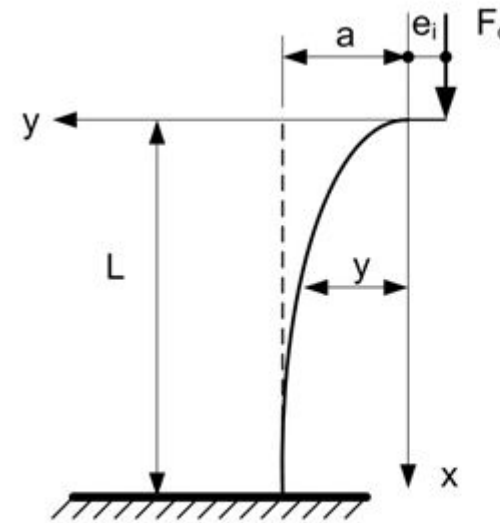
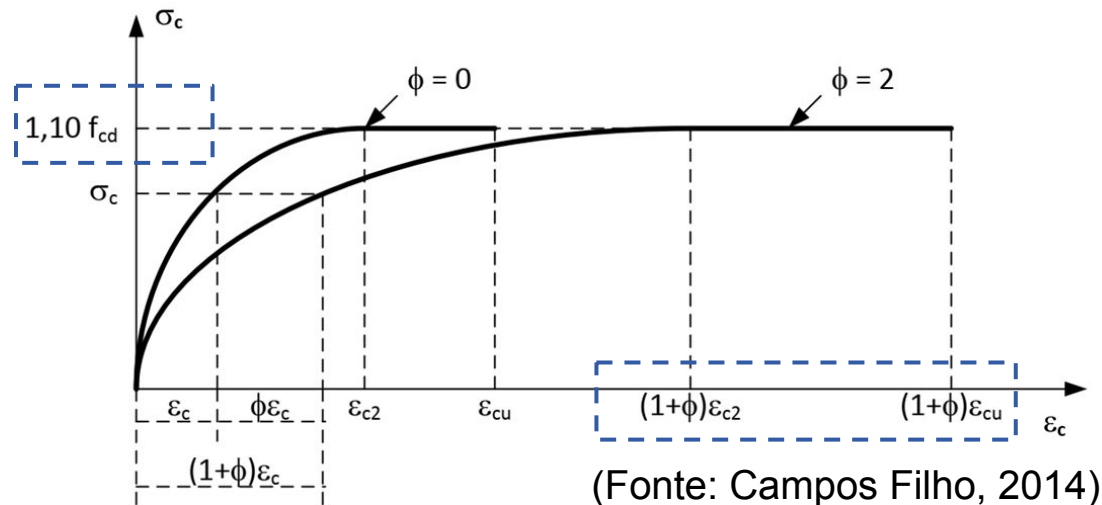
$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 140}{140}$$



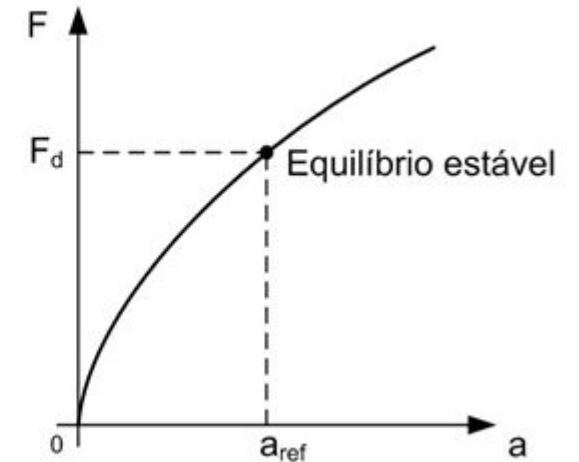


## Método Geral:

Análise não linear física e geométrica:  $F_d = \frac{\gamma_f}{\gamma_{f3}} \gamma_{n1} F_k$  com  $\gamma_f = 1,40$  e  $\gamma_{f3} = 1,10$



Pilar engastado-livre

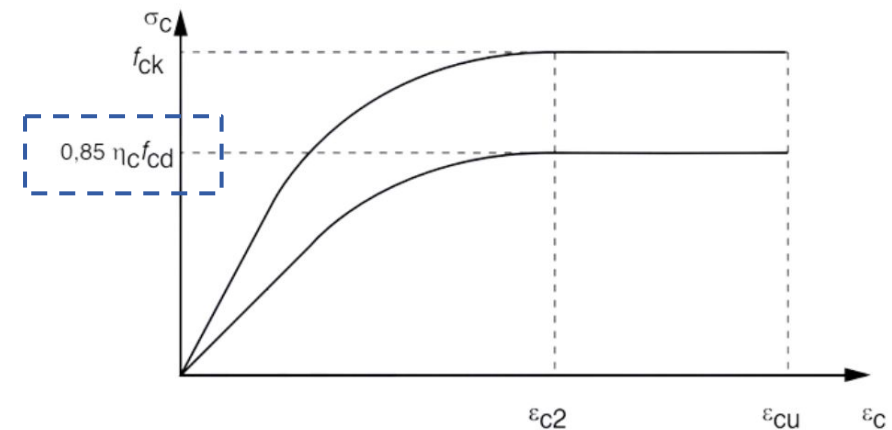
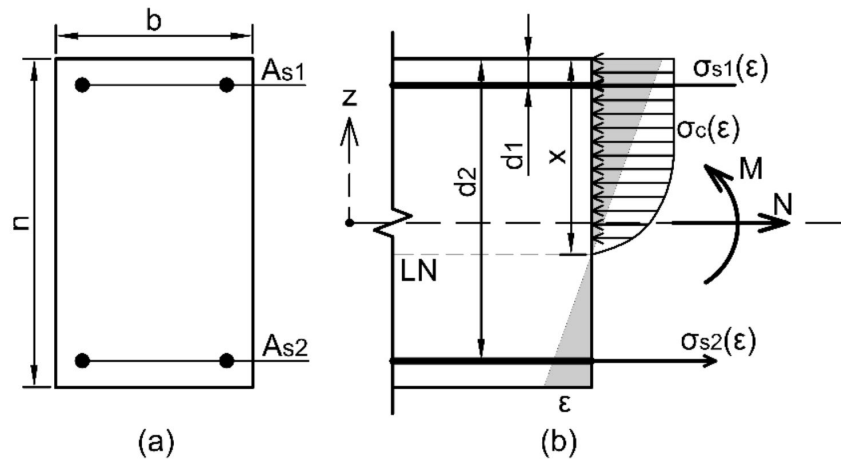


Curva carga-deslocamento



## Verificação da seção:

- As seções do pilar devem resistir aos esforços obtido na análise não linear pelo método geral majorados por  $\gamma_{f3}$ :  $S_d = \gamma_{f3} S(F_d)$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



Viaduto 13 –  $h = 143$  m Fonte: Wikipidea

### 3.Análise Numérica de Pilares Esbeltos

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



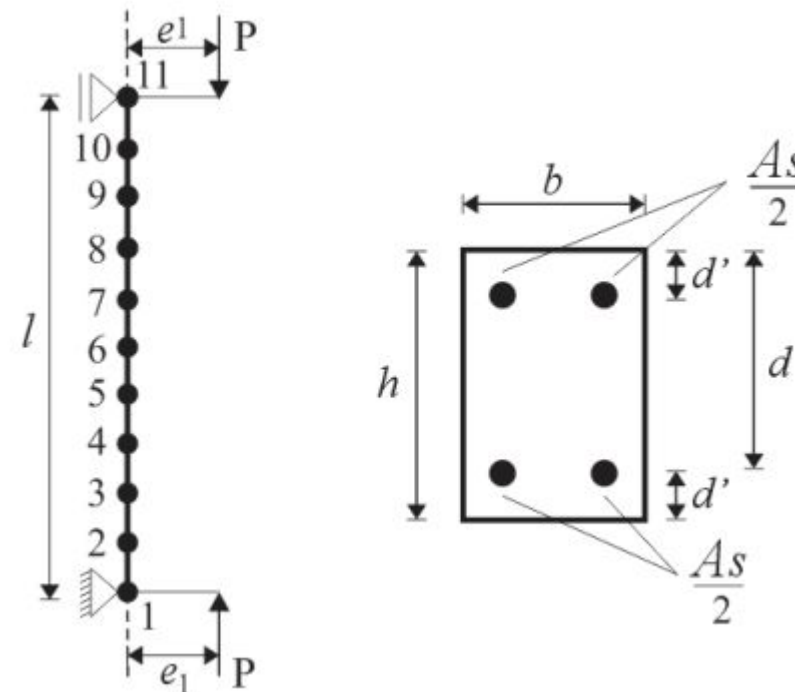
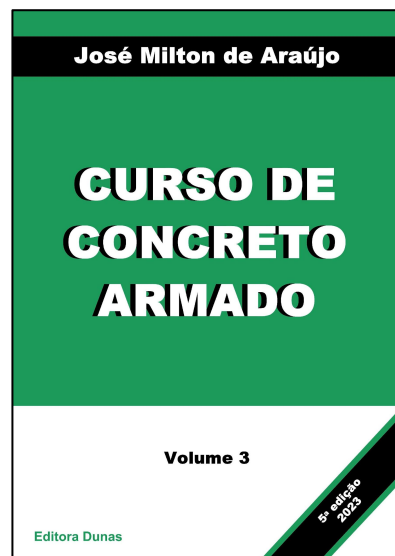
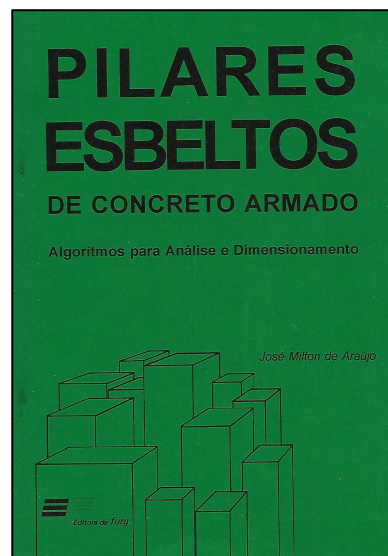
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre – RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Modelo de Elementos Finitos:

- Baseado no modelo de Araújo (1993, 2023);
- Elementos finitos de barra de pórtico;
- Não linearidades física e geométrica





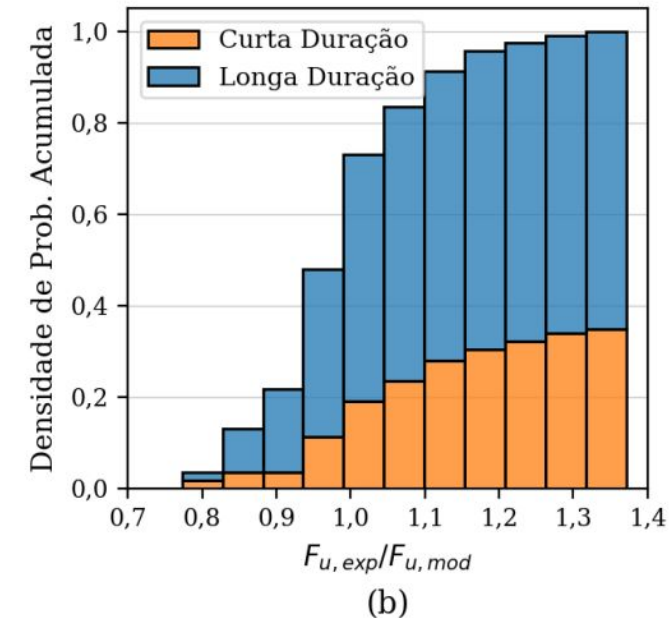
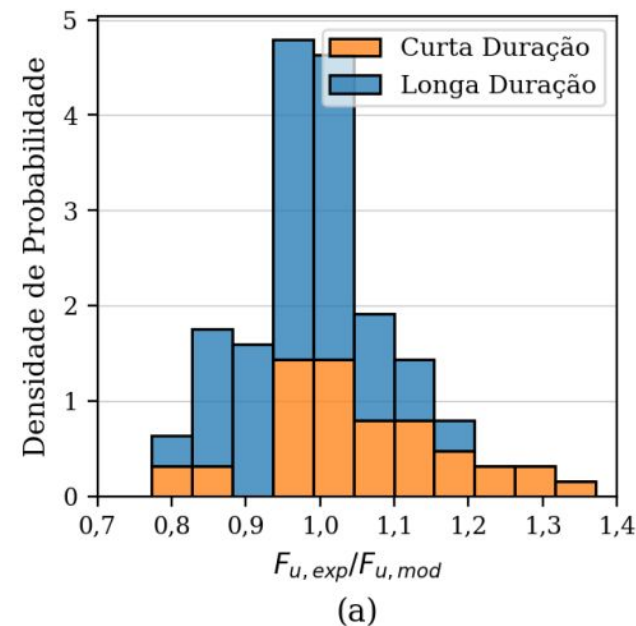
## Validação e Banco de Dados de Ensaios:

- Avaliado pela razão  $F_{u,exp}/F_{u,mod}$ :  
115 pilares ensaiados por 5 autores;

75 carga de curta duração:  $\mu = 0,97$   
 $\sigma = 0,085$ ;

40 carga de longa duração:  $\mu = 1,04$   
 $\sigma = 0,130$ ;

- Geral:  $\mu = 1,003$ .



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



Viaduto 13 –  $h = 143$  m Fonte: Wikipidea

## 4. Confiabilidade Estrutural

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

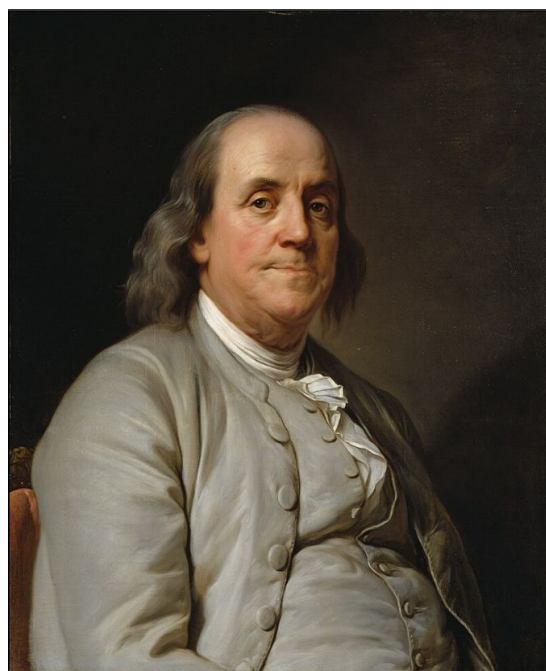


12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Incertezas e Probabilidade de Falha:



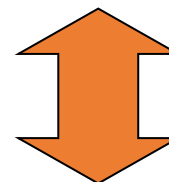
Benjamin Franklin  
(1706-1790)

- “... but in this world nothing can be said to be certain, except death and taxes.”
- (Trecho de uma carta de 1789)

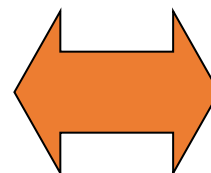
Em todo projeto estrutural existem **incertezas**:

- Propriedades dos materiais;
- Dimensões das peças estruturais;
- Carregamento atuante;
- Métodos de cálculo.

**Incertezas**



**Confiabilidade  
Estrutural**



**Probabilidade  
de falha**

$f_c = ?$   $f_y = ?$   $b = ?$   $h = ?$ ,  $g = ?$ ,  $q = ?$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Confiabilidade Estrutural:



“**Confiabilidade** (C) de um sistema é a probabilidade de que este sistema não falhe, **dentro de uma vida de projeto especificada**, respeitadas as **condições de operação e de projeto do mesmo**”.  
(BECK, 2024, p.6)

$$C = 1 - p_F$$

$$p_F = 0,0001 = \frac{1}{10000} = 0,01\%$$

$$C = 1 - 0,0001 = 0,9999 = 99,99\%$$

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Problema Fundamental da Confiabilidade:

Margem de Segurança:

$$g(X) = M = R - S$$

$M < 0 \Rightarrow$  Falha

$$P_f = P[M < 0]$$

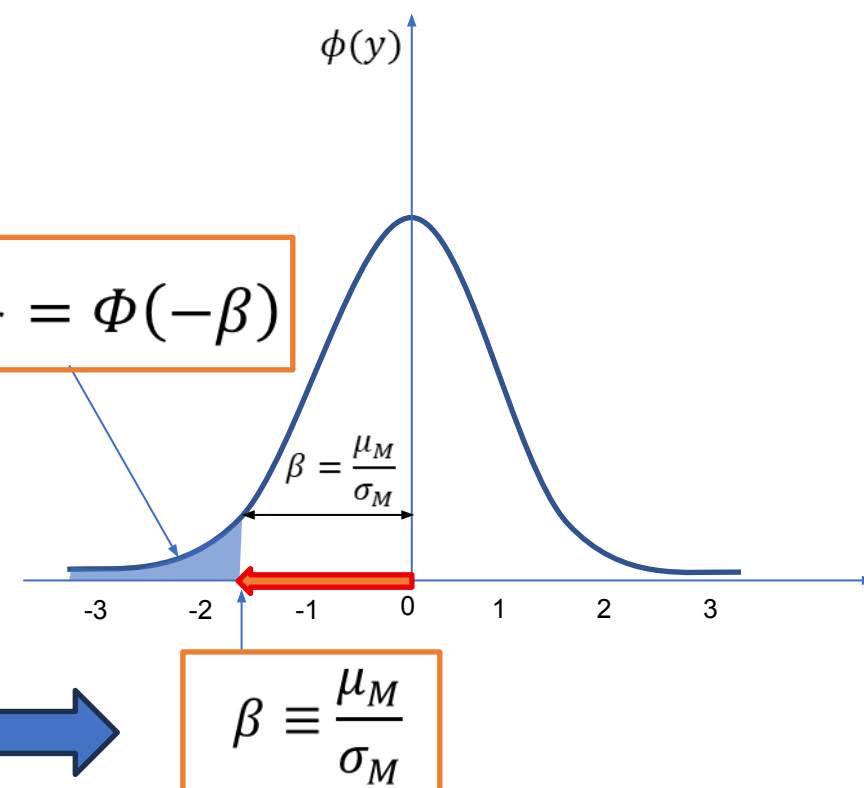
Índice de Confiabilidade:

$$\mu_M = \mu_R - \mu_S$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

$$Y = \frac{M - \mu_M}{\sigma_M}$$

$$P_f = P\left[Y < -\frac{\mu_M}{\sigma_M}\right]$$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

# Índice de Confiabilidade Alvo $\beta_{\text{alvo}}$ :

Índice de Confiabilidade Alvo para um Período de 50 anos:

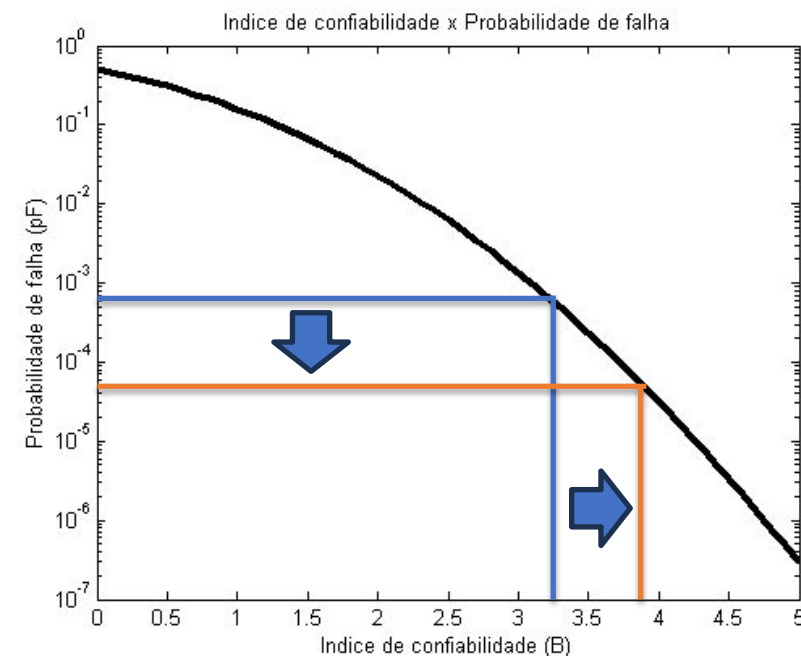
$$P_f = \Phi(-\beta)$$

| Custo relativo<br>da medida de | Consequência de falha |           |          |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|----------|
|                                | Mínimas               | Moderadas | Elevadas |
| Alto                           | 1,7                   | 2,0       | 2,6      |
| Normal                         | 2,6                   | 3,2       | 3,5      |
| Pequeno                        | 3,2                   | 3,5       | 3,8      |

Fonte: Adaptado de JCSS (2001)

| Consequência de falha |           |          |
|-----------------------|-----------|----------|
| Mínimas               | Moderadas | Elevadas |
| 3,1                   | 3,8       | 4,3      |

Fonte: Adaptado de fib (2012)



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

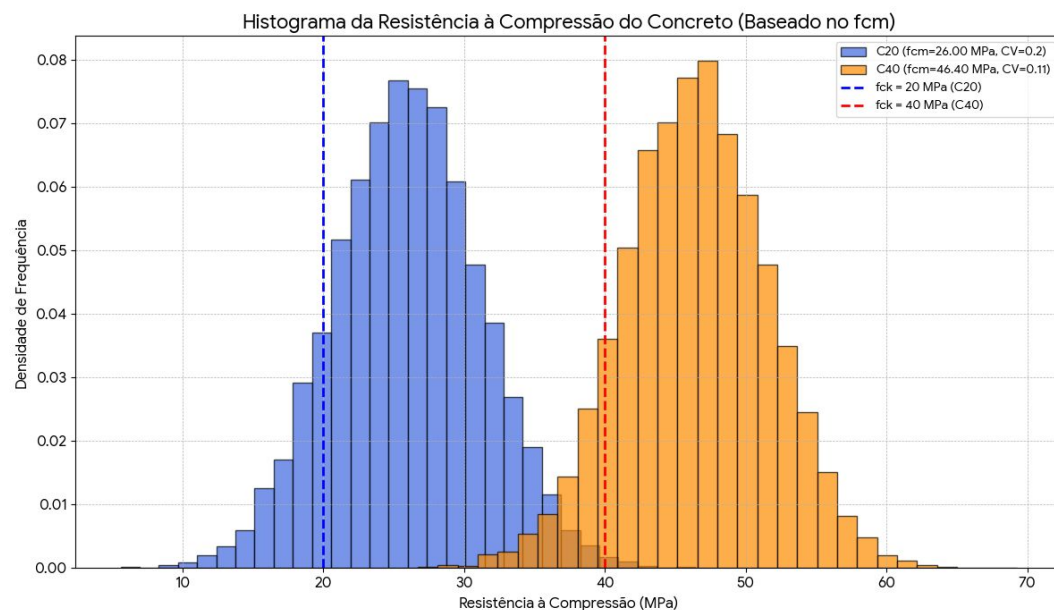
Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Fontes de incerteza:

### Concreto:

Resistência à compressão:  $f_c$



### Caracterização de $f_c$

| Classe | Distribuição | $\mu_{f_c}$         | $V_{f_c}$ |
|--------|--------------|---------------------|-----------|
| C20    | Normal       | $1,30 \cdot f_{ck}$ | 0,20      |
| C25    | Normal       | $1,25 \cdot f_{ck}$ | 0,17      |
| C30    | Normal       | $1,22 \cdot f_{ck}$ | 0,15      |
| C35    | Normal       | $1,19 \cdot f_{ck}$ | 0,13      |
| C40    | Normal       | $1,16 \cdot f_{ck}$ | 0,11      |
| C45    | Normal       | $1,13 \cdot f_{ck}$ | 0,10      |
| C50    | Normal       | $1,11 \cdot f_{ck}$ | 0,10      |
| C55    | Normal       | $1,10 \cdot f_{ck}$ | 0,09      |
| C60    | Normal       | $1,10 \cdot f_{ck}$ | 0,09      |

(Adaptado de Santiago, 2019)

### Resistência do aço:

$$f_y \sim Normal(\mu = 1,12f_{yk}, V = 0,05),$$

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Fontes de incerteza:

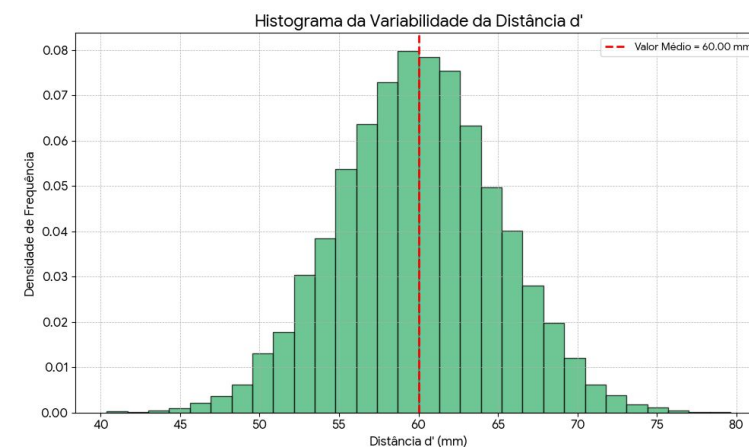
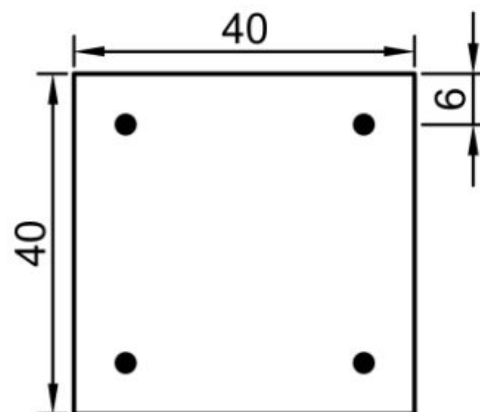
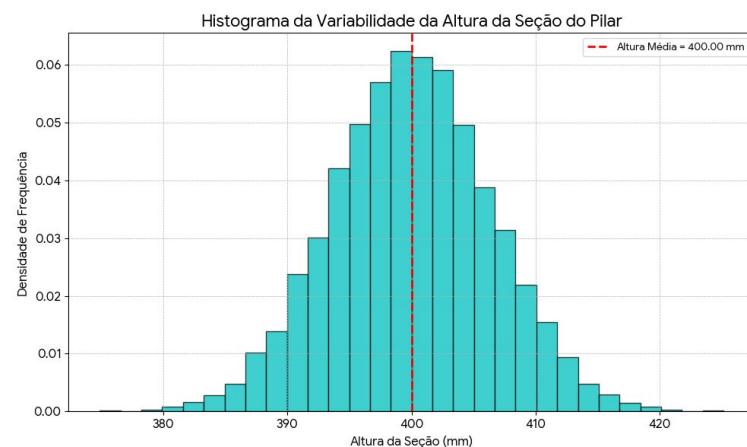
### Dimensões da seção transversal:

$$b \sim \text{Normal}(\mu = b, \sigma = 4 \text{ mm} + 0,006b),$$

$$h \sim \text{Normal}(\mu = h, \sigma = 4 \text{ mm} + 0,006h),$$

### Posições da armadura no interior da peça:

$$d' \sim \text{Normal}(\mu = d', \sigma = 5 \text{ mm}),$$

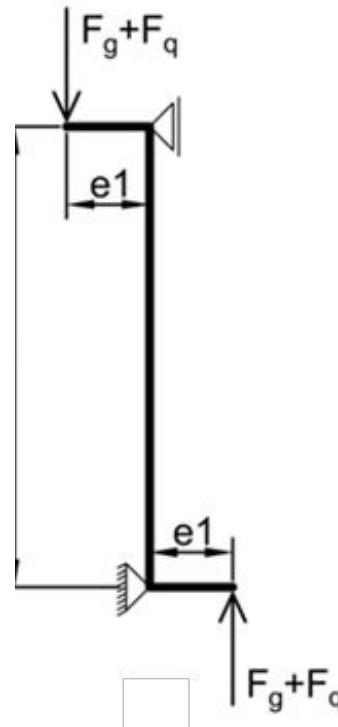
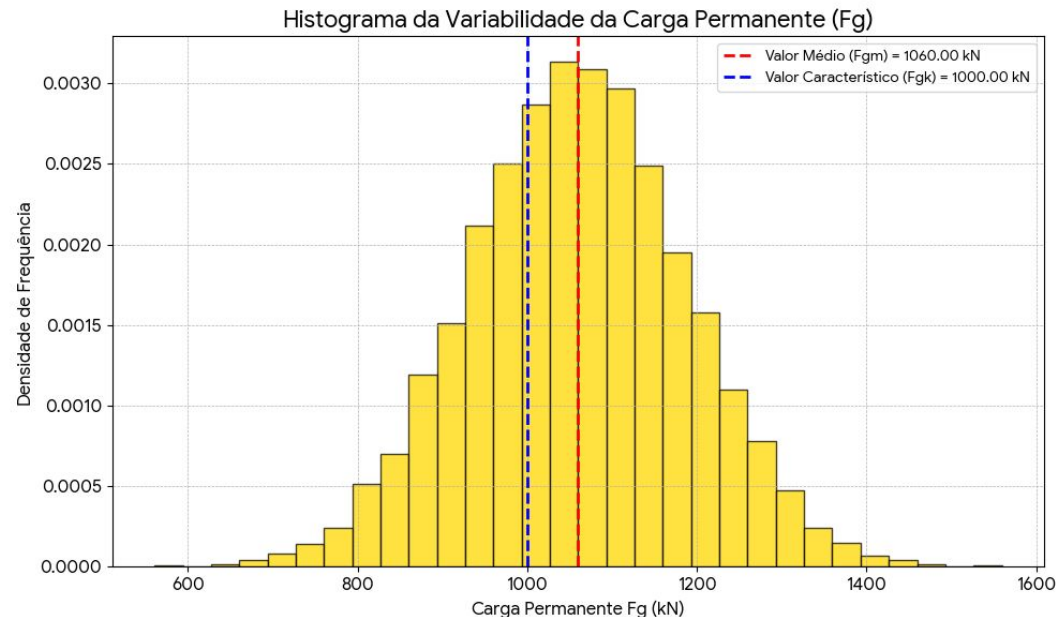




## Fontes de incerteza:

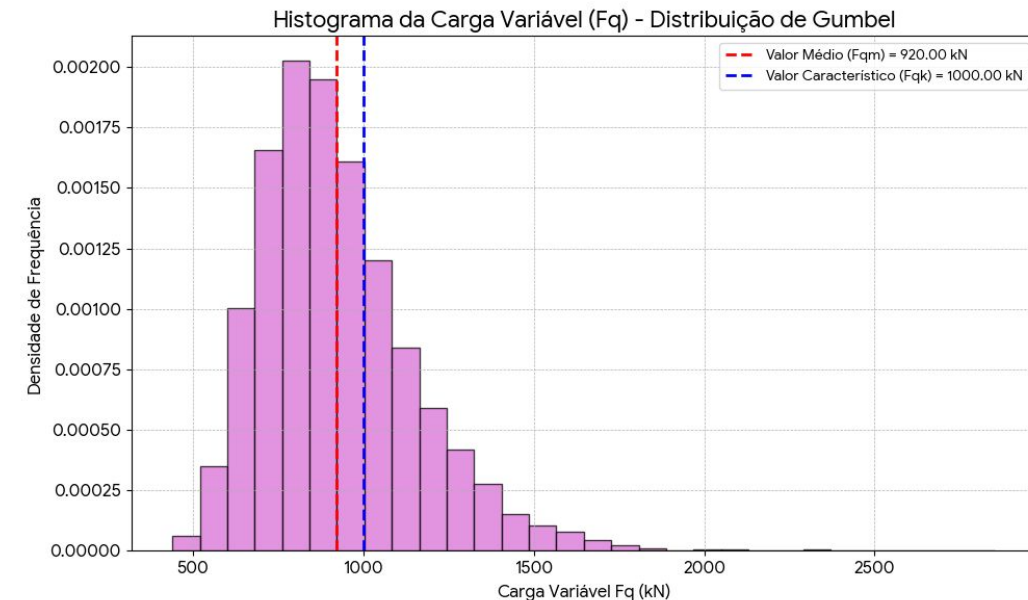
### Carregamento permanente:

$$F_g \sim Normal(\mu = 1,06F_{gk}, V = 0,12),$$



### • Carregamento variável – uso e ocupação:

$$F_q \sim Gumbel(\mu = 0,92F_{qk}, V = 0,25),$$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Fontes de incerteza:

- Erro de modelo de resistência:

$\theta_R \sim Normal(\mu = 1,003, V = 0,089)$ ,  
calibrado com base na validação do modelo.

- Erro de modelo de solicitação:

$\theta_S \sim LogNormal(\mu = 1,00, V = 0,10)$ ,  
conforme JCSS (2001).

## Função de estado limite:

Excentricidade de primeira ordem  $e_1$  fixa;  
Performance em função da resistência axial.

$$g(X) = \theta_R \cdot R(f_c, f_y, b, h, d') - \theta_S \cdot (F_g + F_q)$$

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

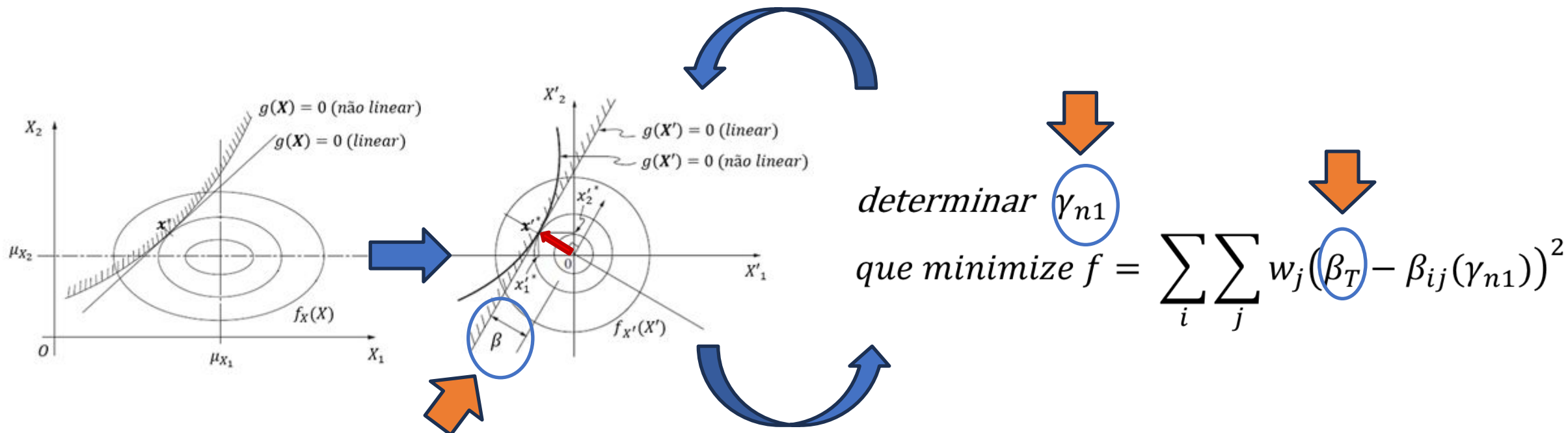
## Avaliação da Confiabilidade e Calibração:

### • Índice de Confiabilidade $\beta$ :

Método FORM com algoritmo iHRLF

### • Calibração de $\gamma_{n1}$ :

Resolução de um RBDO com otimização Bayesiana



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



Viaduto 13 –  $h = 143$  m Fonte: Wikipidea

## 5.Análise e Calibração

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

- **Estrutura da Análise: Grupos, Cenários e Condições:**

**Grupo 1:** Coeficientes de ações da NBR 6118:

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$

**Grupo 2:** Coeficientes de ações calibrados por Costa, Santiago e Beck (2022):

$$\gamma_g = 1,20 \text{ e } \gamma_q = 1,50$$

$$\gamma_g = 1,40 \text{ para } r = 0$$

**Cenário A:** Com fator de fragilidade  $\eta_c$

**Condição atual:** com  $\gamma_{n1}$  conforme NBR 6118;

**Nova condição:** com  $\gamma_{n1}$  calibrado;

V SBPE  
2025  
V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

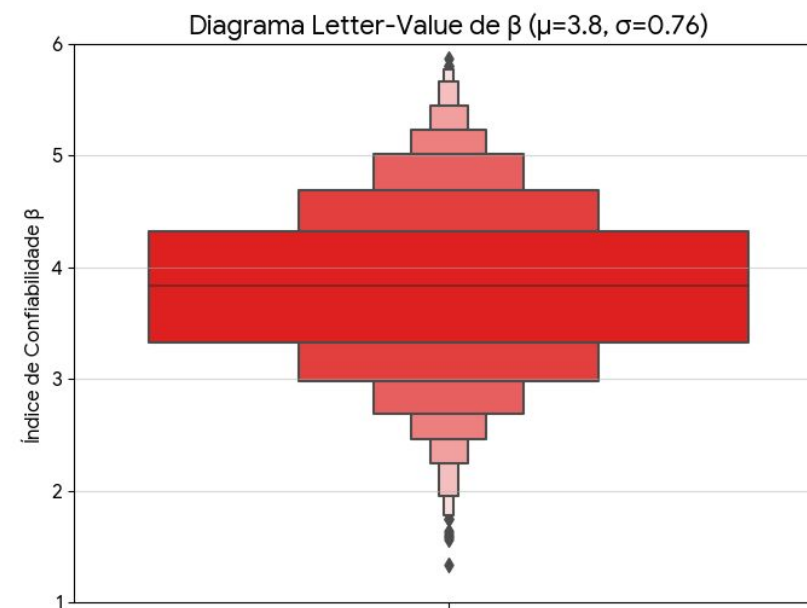
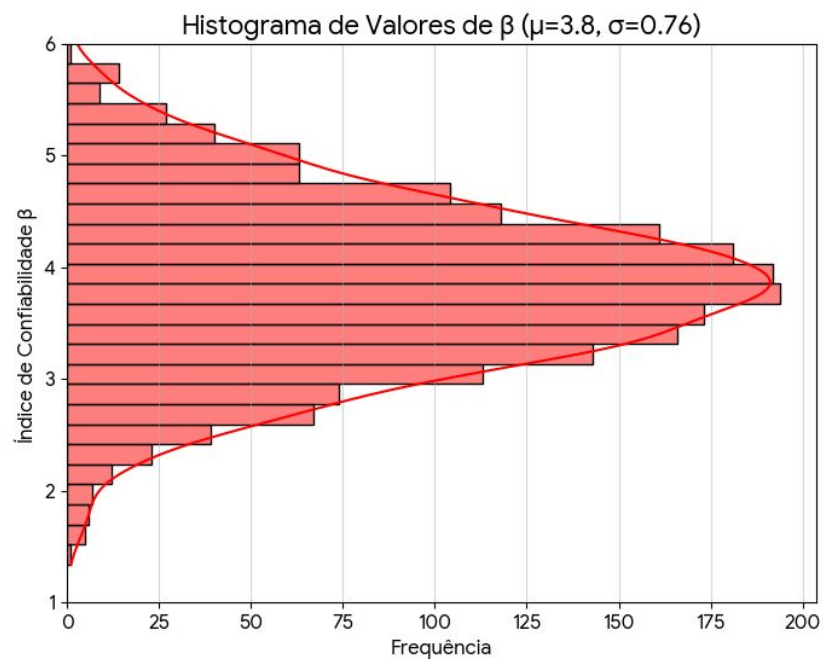


12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

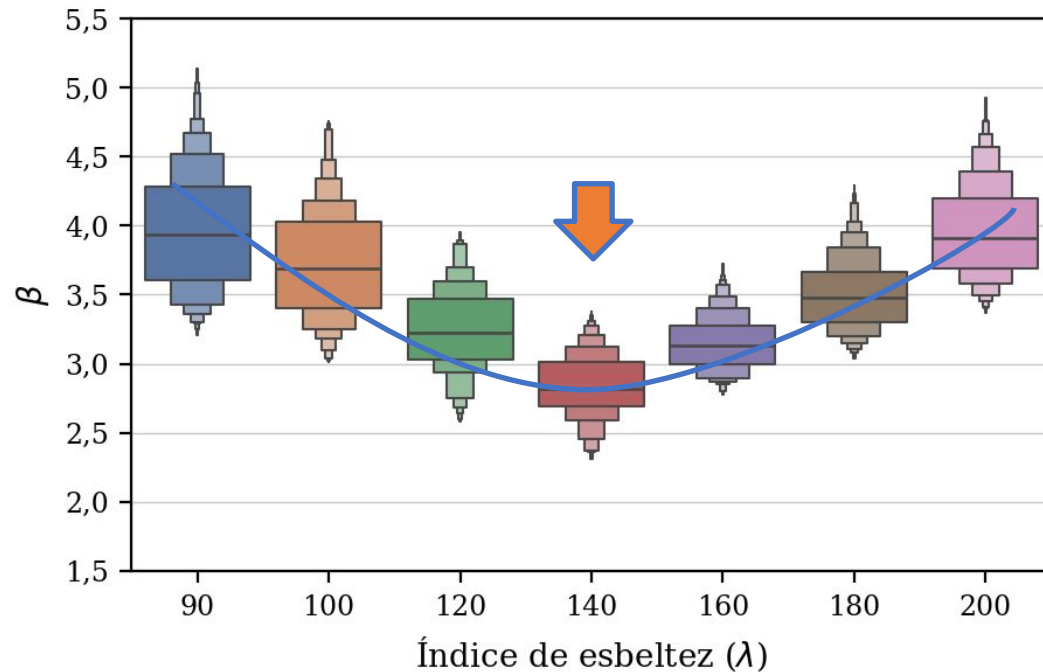
## Histograma x Diagrama Letter-Value ou Boxenplot:





- **Cenário 1A: Condição atual**

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



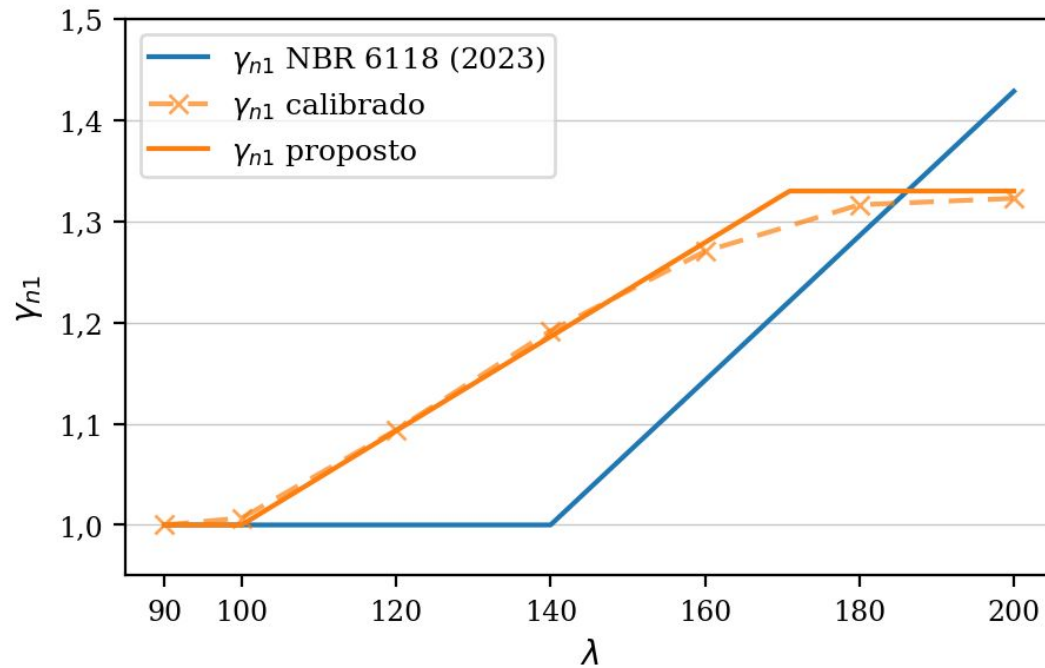
**Coeficientes de ações da NBR 6118 e  $\eta_c$ :**

- Confiabilidade decresce até  $\lambda = 140$ ;
- $\lambda = 200$  atinge mesmo patamar de  $\lambda = 90$ ;
- Menor variabilidade de  $\beta$  nos elementos de esbeltez média ( $\lambda \sim 140$ );





## • Cenário 1A: Calibração



$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$

Índice de confiabilidade alvo:  $\beta_T = 3,80$ ;

Próximo à media dos elementos mais robustos (90 e 100) antes da calibração;

Expressão ajustada:


$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 100}{215} \leq 1,33$$

Expressão válida para  $\lambda > 100$ ;

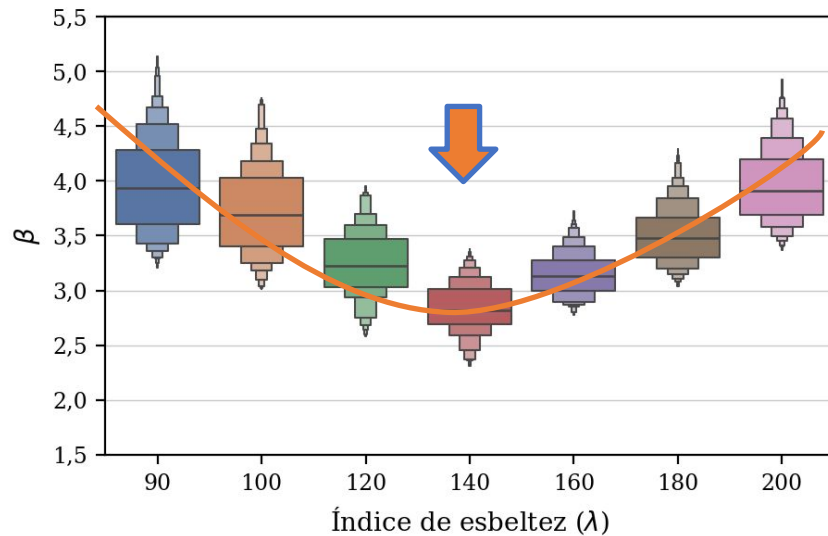
Patamar ocorre na região onde o ELU de dimensionamento mais frequente é a perda de estabilidade.



- Resultado da Calibração no Cenário 1A:

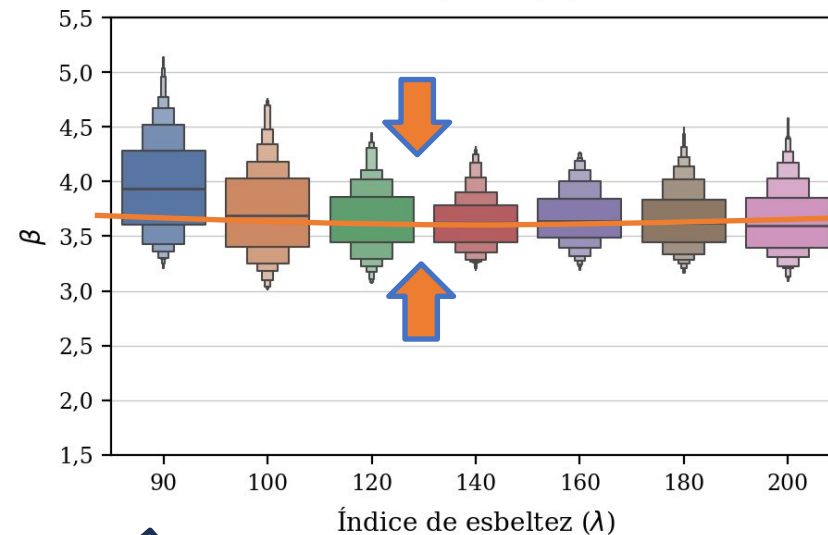
**Condição  
Atual:**

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



**Nova  
Condição:**

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



Calibração gera índices de confiabilidade uniformes a partir de  $\lambda = 120$ ;

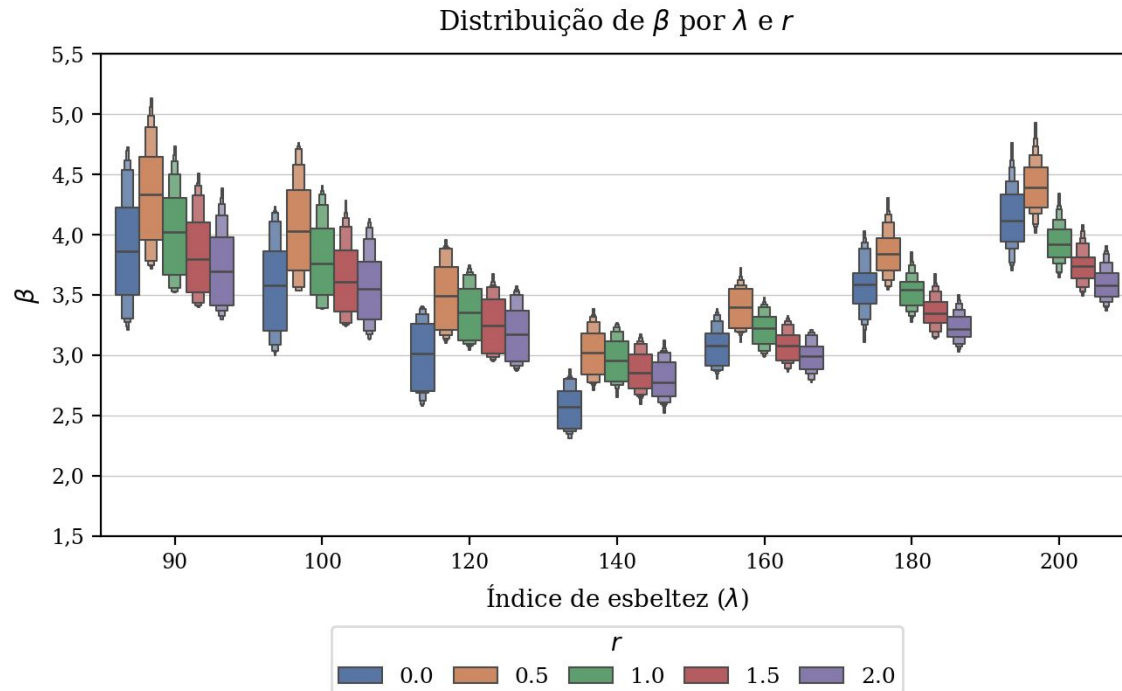
Média sobe de 3,49 para 3,71;

Maior uniformidade de mínimos (3,00) e máximos (5,14);

O “Vale Perdido” da segurança desapareceu!



## • Cenário 2A: Condição atual



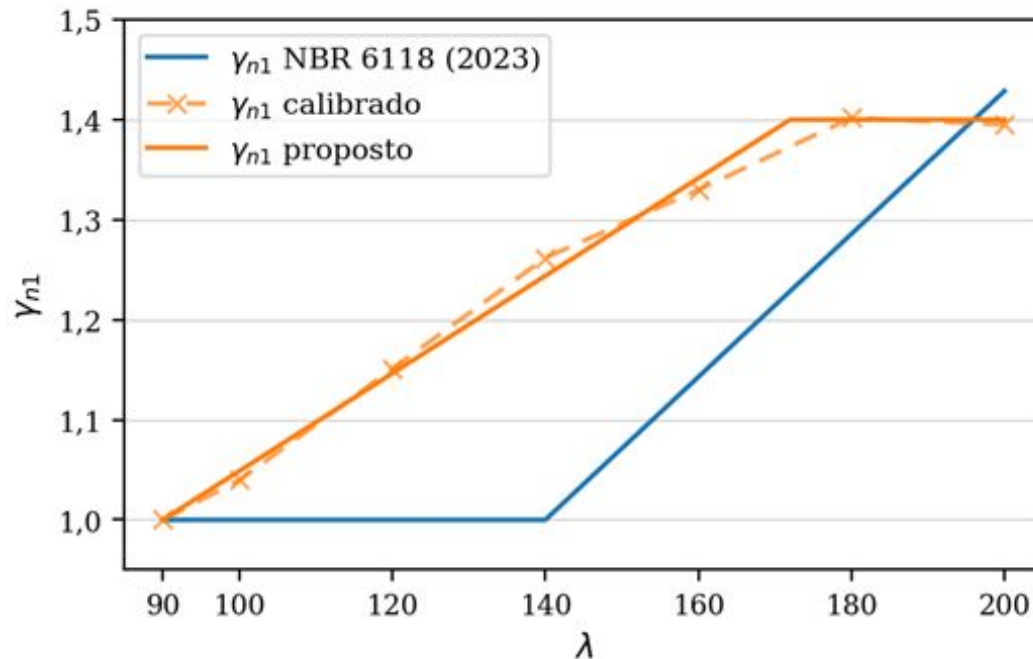

$$r = \frac{q_k}{g_k}$$

## Variabilidade além da esbeltez - $r$ :

- Confiabilidade decrescente com o aumento de  $r$ ;
- Redução da confiabilidade quando  $r$  reduz de 0,5 para 0,0;
- Os maiores índices de confiabilidade são observados quando  $r = 0,5$ , condição mais usual em edifícios, conforme Ellingwood *et al.* (1980);



- **Cenário 2A: Calibração**



$$\gamma_g = 1,20 \text{ e } \gamma_q = 1,50$$
$$\gamma_g = 1,40 \text{ para } r = 0$$

Índice de confiabilidade alvo:  $\beta_T = 3,80$ ;

Expressão ajustada:


$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 90}{205} \leq 1,40$$

Expressão válida para  $\lambda > 90$ ;

Limitado superiormente à 1,40;

**Índices de confiabilidade uniformes.**

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

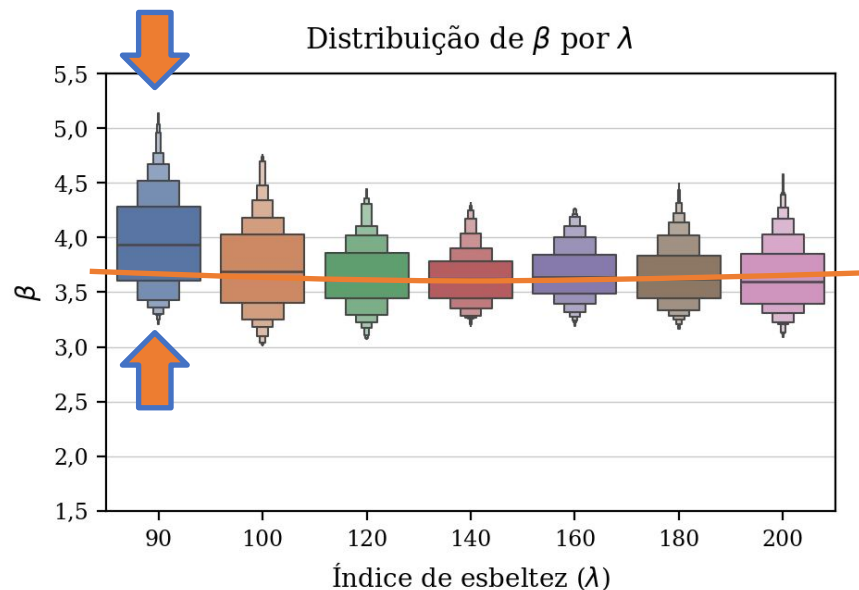
Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

- Resultado da Calibração no Cenário 2A:

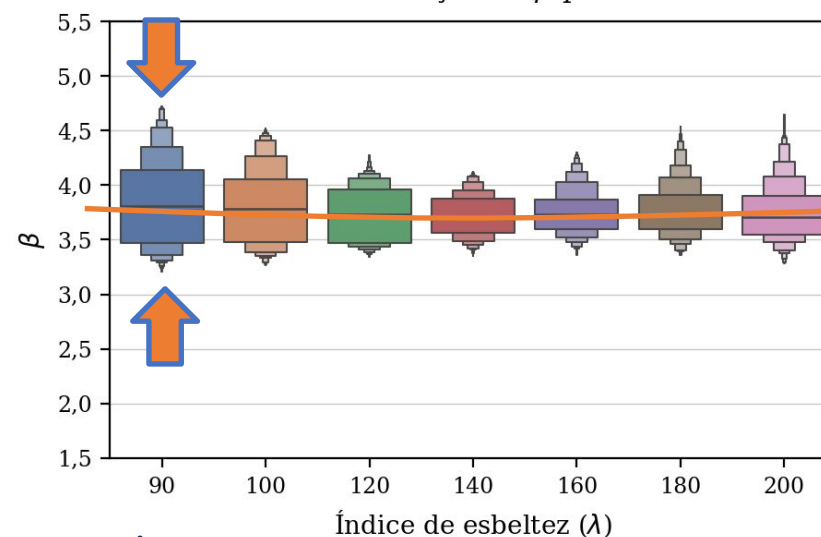
**Condição  
Cenário 1A:**

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



**Nova Condição  
Cenário 2A:**

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



Calibração gera índices de  
**confiabilidade uniformes** a  
partir de  $\lambda = 90$ ;

Média sobe de 3,71 para 3,76;

**Maior uniformidade de  
mínimos (3,25) e máximos  
(4,75);**

O “**Vale Perdido**” da  
segurança desapareceu!

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

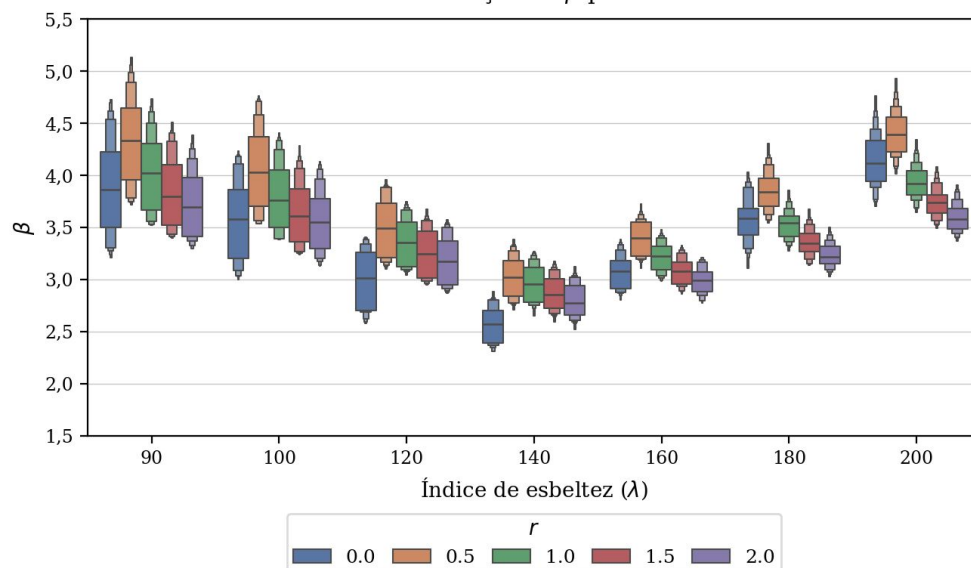
Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

- Resultado da Calibração no Cenário 2A:

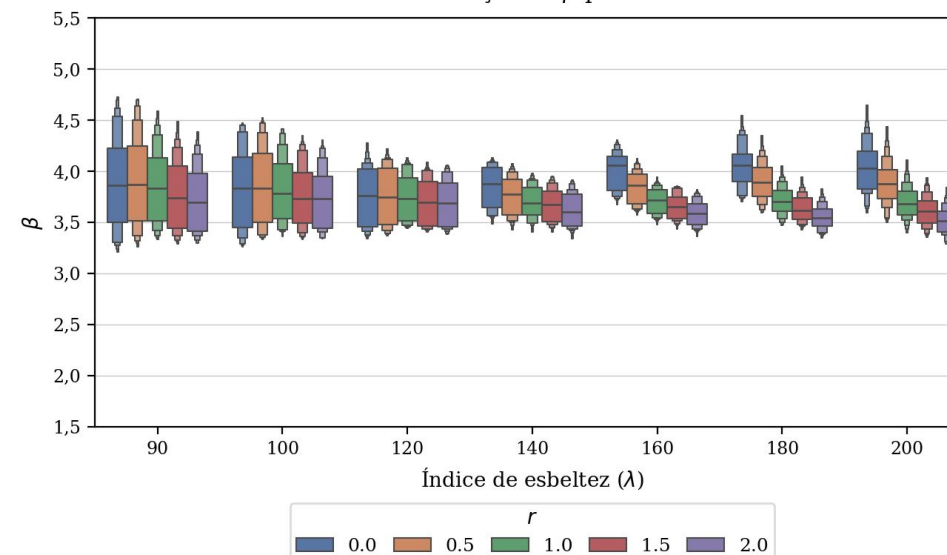
Condição  
Cenário Atual:

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$  e  $r$



Nova Condição  
Cenário 2A:

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$  e  $r$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



Viaduto 13 –  $h = 143$  m Fonte: Wikipidea

## 6.Considerações finais

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

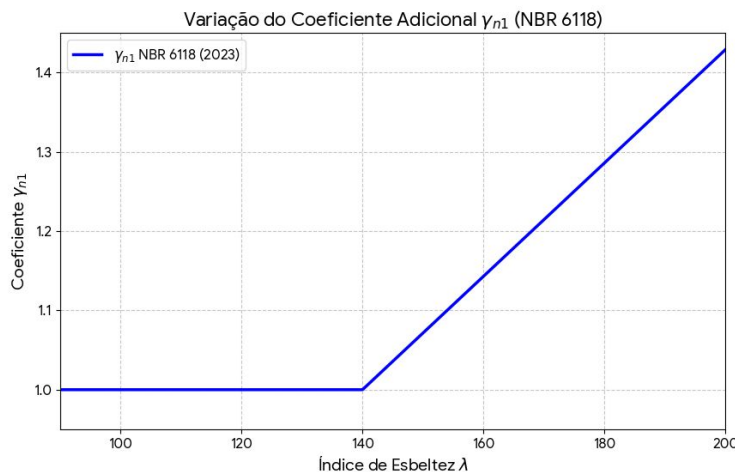
Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## • Comparação entre os Cenários Atual, 1A e 2A:

Condição Cenário Atual:

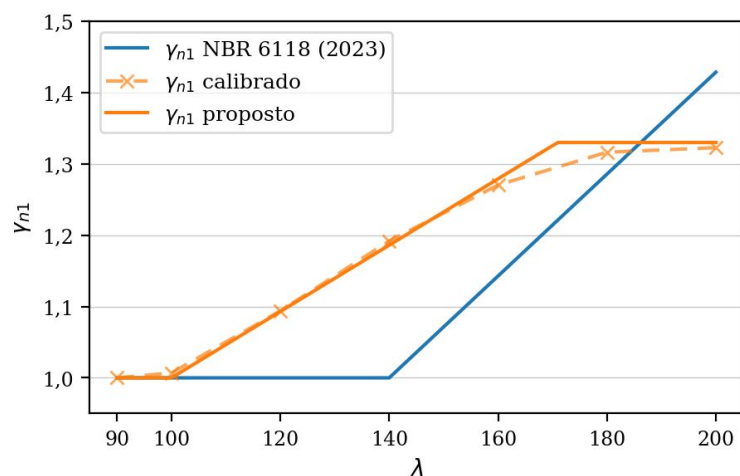
$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$



$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 140}{140}$$

Condição Cenário 1A:

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$

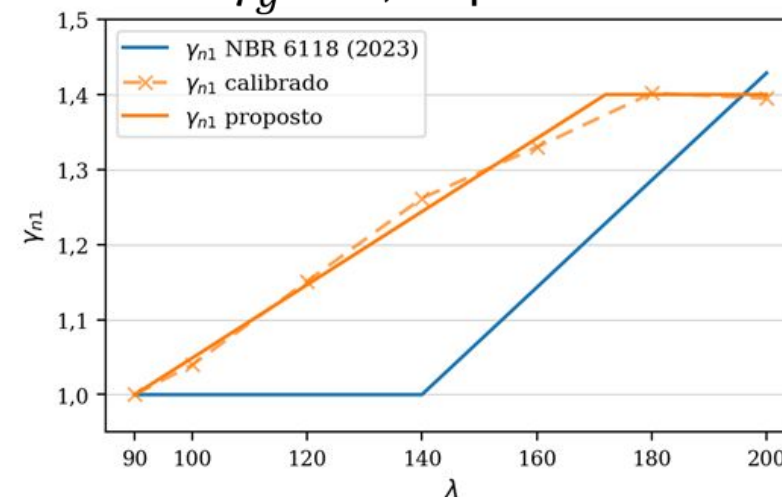


$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 100}{215} \leq 1,33$$

Condição Cenário 2A:

$$\gamma_g = 1,20 \text{ e } \gamma_q = 1,50$$

$$\gamma_g = 1,40 \text{ para } r = 0$$



$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 90}{205} \leq 1,40$$

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

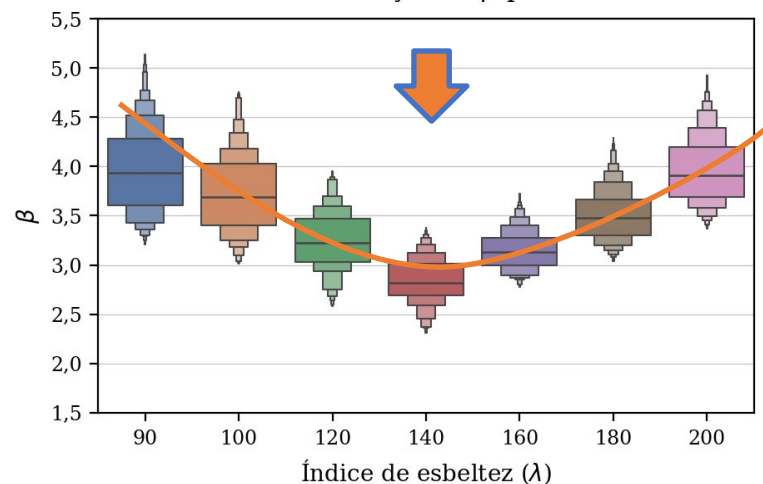
ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## • Comparação entre os Cenários Atual, 1A e 2A:

Condição Cenário Atual:

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$

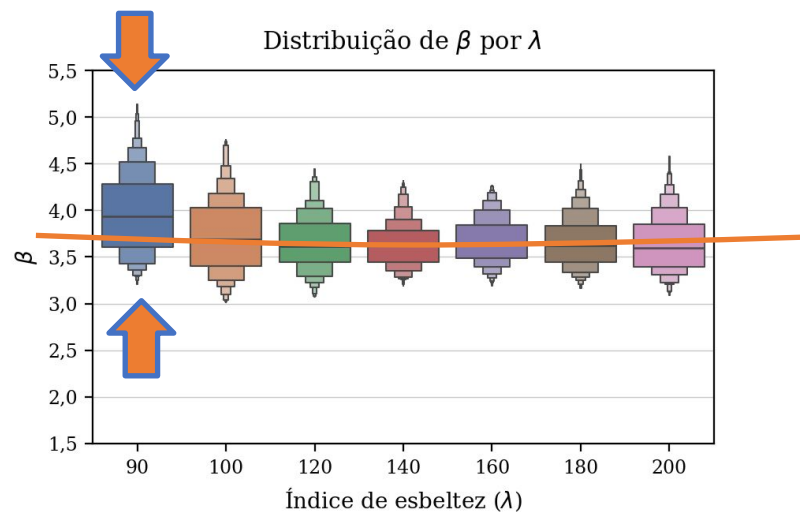


$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 140}{140}$$

Condição Cenário 1A:

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,40$$

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



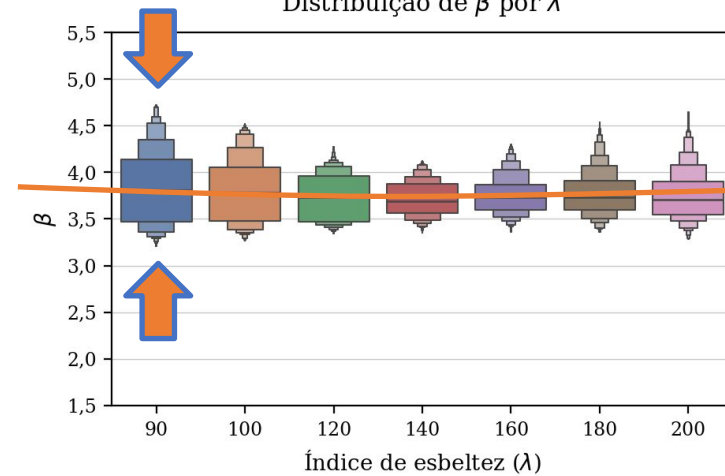
$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 100}{215} \leq 1,33$$

Condição Cenário 2A:

$$\gamma_g = 1,20 \text{ e } \gamma_q = 1,50$$

$$\gamma_g = 1,40 \text{ para } r = 0$$

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$

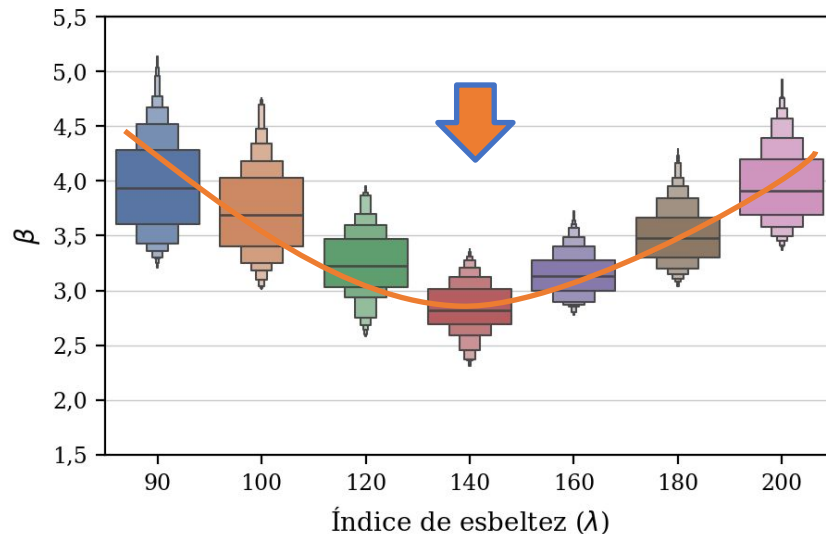


$$\gamma_{n1} = 1 + \frac{\lambda - 90}{205} \leq 1,40$$



## Distribuição dos índices de confiabilidade pelas prescrições atuais da NBR 6118

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



## Conclusões principais:

- A formulação atual do  $\gamma_{n1}$  na NBR 6118 não garante segurança uniforme.
- A calibração baseada em confiabilidade é uma ferramenta eficaz para corrigir essa deficiência.
- As expressões propostas neste trabalho fornecem um nível de segurança mais consistente para todas as faixas de esbeltez.

V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



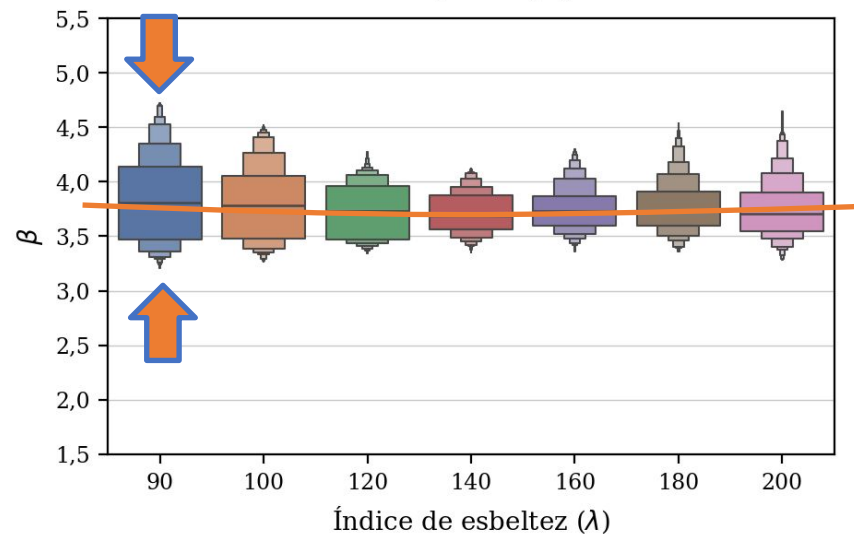
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Nova Condição Cenário 2A:

Distribuição de  $\beta$  por  $\lambda$



## Em termos práticos:

- A norma atual pode levar a projetos com segurança abaixo do esperado para pilares na faixa de esbeltez de 120-160.
- As formulações que propomos oferecem uma alternativa mais segura e confiável, especialmente se combinadas com os coeficientes de ações já calibrados na literatura.

**V SBPE  
2025**

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

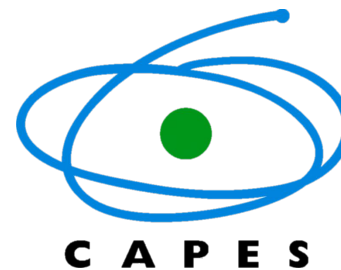


12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização



## Agradecimentos:



## Muito obrigado!

(contato: [mvrealgm@gmail.com](mailto:mvrealgm@gmail.com))

**V SBPE  
2025**  
V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



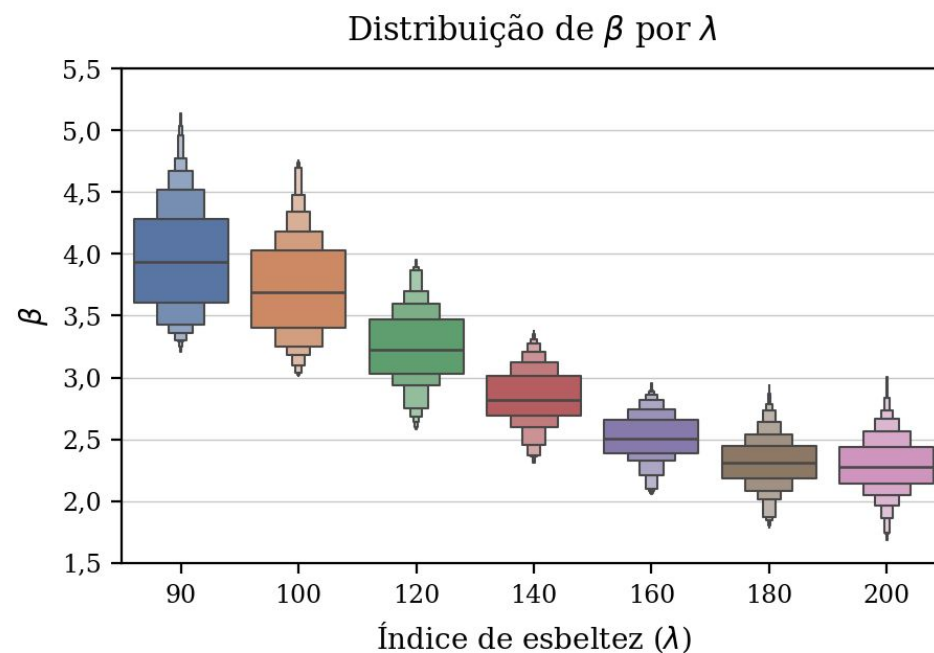
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## A “ladeira” da segurança:

Condição de referência – sem  $\gamma_{n1}$



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**SUL  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

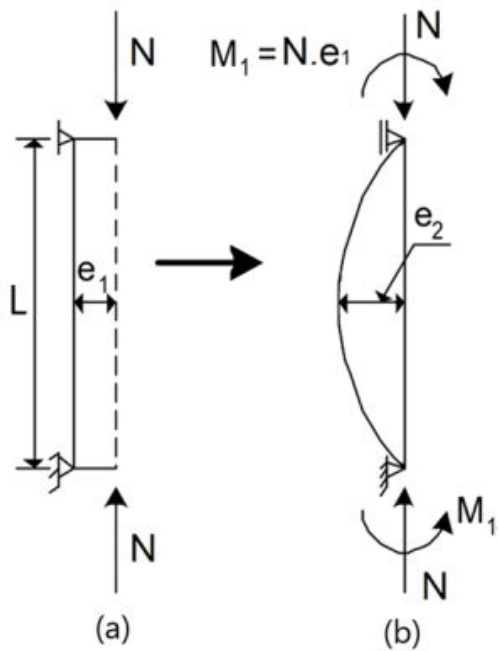
ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Definições gerais da NBR-6118:

- Quando empregado  $f_{ck} \geq 40MPa$  deve-se considerar o fator de fragilidade do concreto  $\eta_c$ .

## Projeto de pilares esbeltos:

- Considerar a fluência quando  $\lambda \geq 90$ ;
- Considerar a relação momento-curvatura quando  $\lambda \geq 90$ ;
- Empregar o método geral quando  $\lambda \geq 140$ ;



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



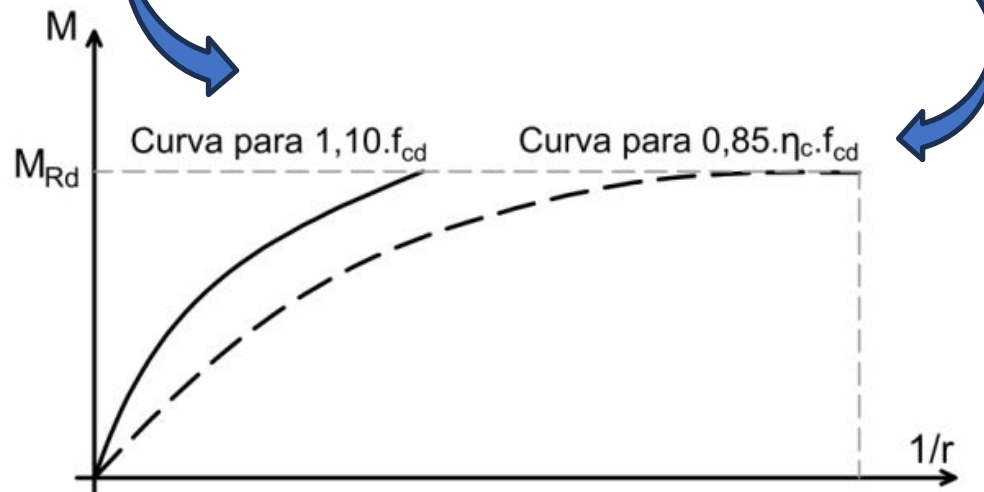
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sub>SUL</sub>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Projeto de pilares esbeltos:

- 2 Estados Limites Últimos de dimensionamento empregando modelos distintos:
  - 1) Verificação da estabilidade e determinação dos efeitos de segunda ordem;
  - 2) Verificação das seções.



V SBPE  
2025

V Seminário Brasileiro  
de Pontes e Estruturas



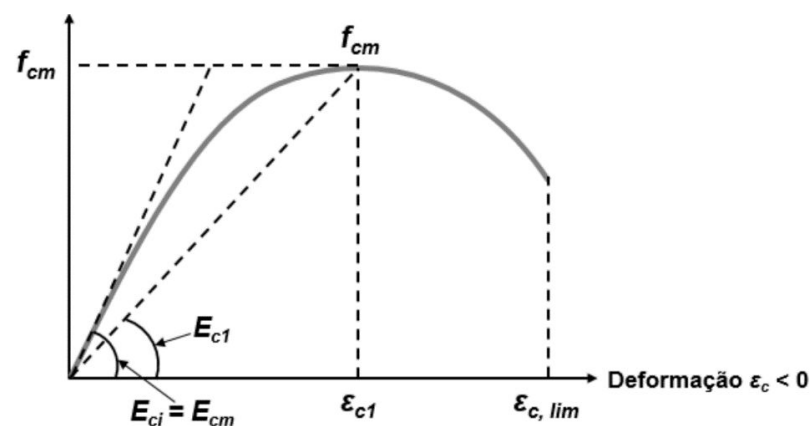
12 de Setembro  
PUCRS  
Porto Alegre - RS

Realização  
**ABPE**<sup>SUL</sup>  
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

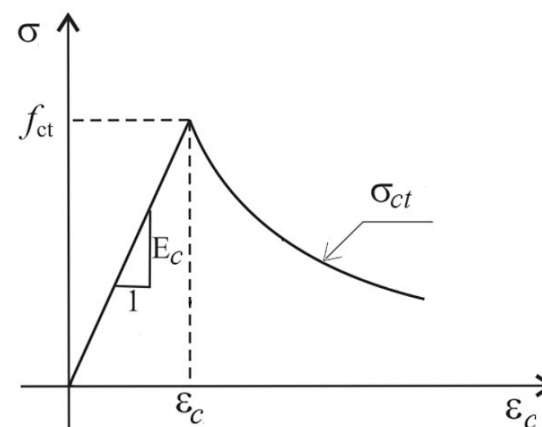
ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA E  
CONSULTORIA  
ESTRUTURAL  
**ABECE**

## Modelos Constitutivos para Análise Não Linear:

Concreto comprimido  
MC2010:



Concreto tracionado  
com *Tension-Stiffening*:



Aço das armaduras:

