



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.
Programa de Educação Continuada – PECE.
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações.
GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de Estruturas de Concreto.

Reforço estrutural de pilares & elementos de fundação.



Douglas Couto

Engenheiro Civil PhD Engenharia
Mestrando em Engenharia de Estruturas pela FEC-UNICAMP
Coordenador da ABECE Inovação
Professor auxiliar do PECE - EPUSP

EPUSP

11/04/2018

São Paulo/SP

Definição

Brasil → ABNT NBR 6118:2014

“14.4.1.2 Pilares

Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.”



Definição

USA → ACI 318 - 14

“2.3 Terminolgy

Column – member, usually vertical or predominantly vertical, used primarily to support axial compressive load, but that can also resist moment, shear, or torsion.”

POLI USP

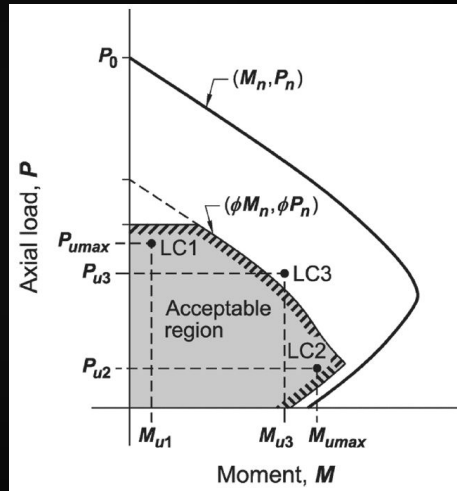
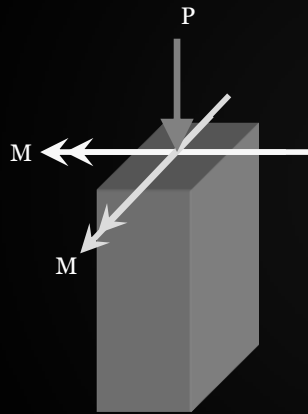


POLI USP

@Thiago Reis



Esforços



POLI USP

(ACI-318-14)



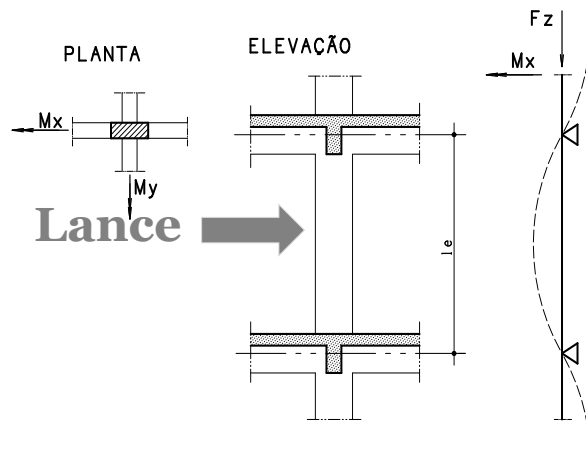
POL

(Créditos: TQS Informática)



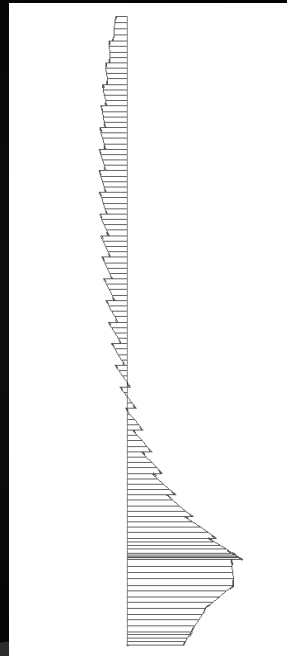
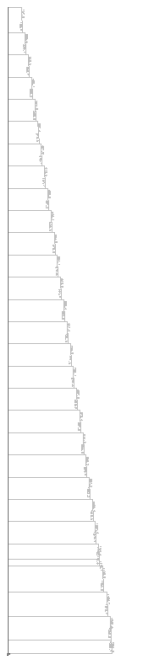


Pilares



Pilares

Diagramas de esforços







POLI USP







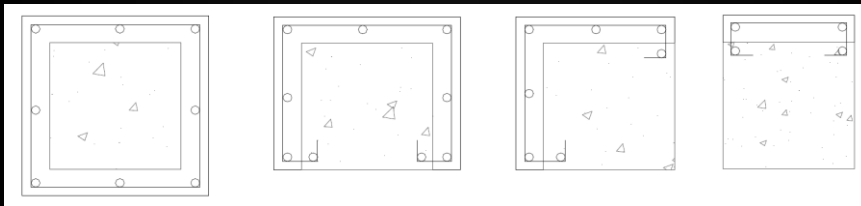
Reforço → Aumento de capacidade de carga.



Tipos mais comuns de Reforços de Pilares

1 – Reforço com uso de concreto

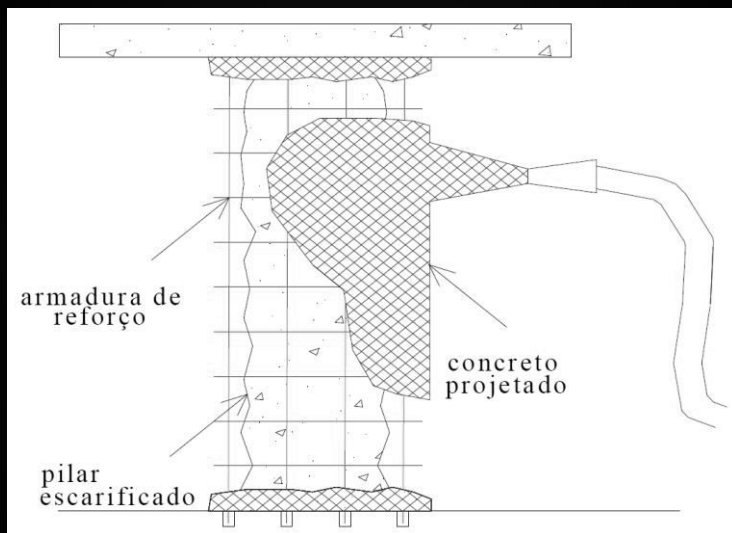
Encamisamento (Total ou Parcial)



(Takeuti, 1999)



Concreto Projetado

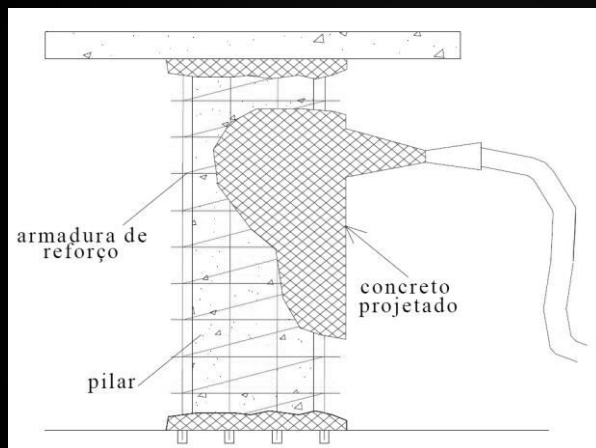


(Helene, 1992; Takeuti, 1999)

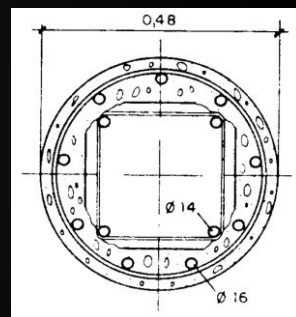
POLI USP



Cintamento (Espiral)



(Helene, 1992; Takeuti, 1999)



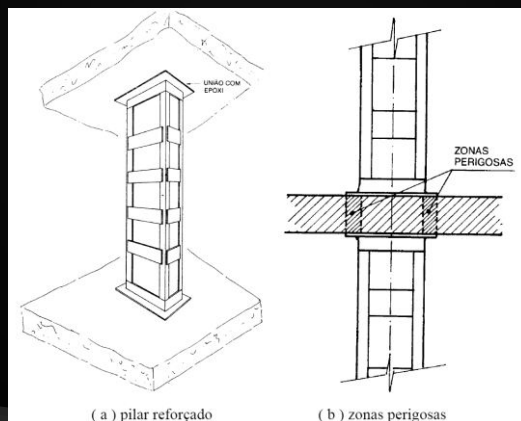
(Cánovas, 1988)

POLI USP



Tipos mais comuns de Reforços de Pilares

2 – Reforço com uso de chapas metálicas



POLI USP



Tipos mais comuns de Reforços de Pilares

3 – Reforço com uso de Fibras de Carbono

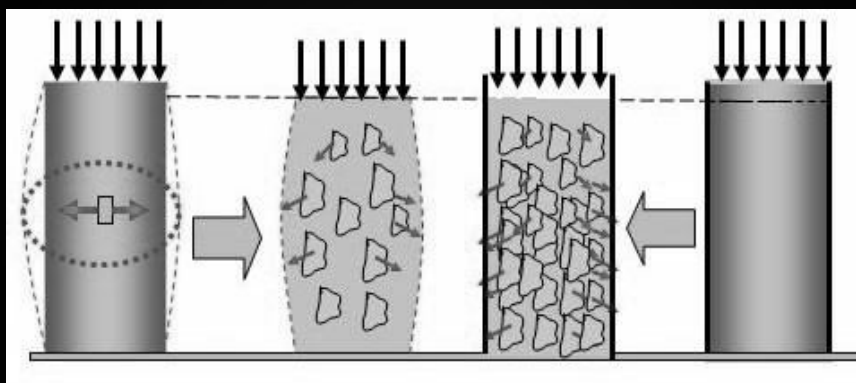


(Créditos das imagens: S&P Reinforcement)

POLI USP

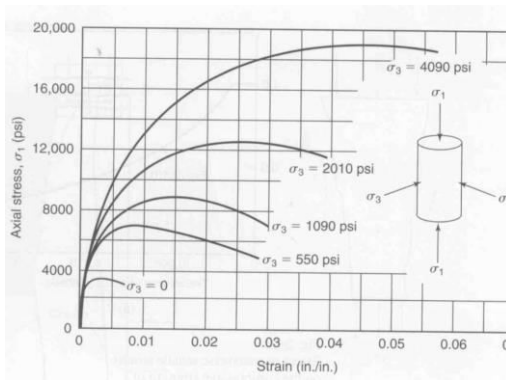


Confinamento

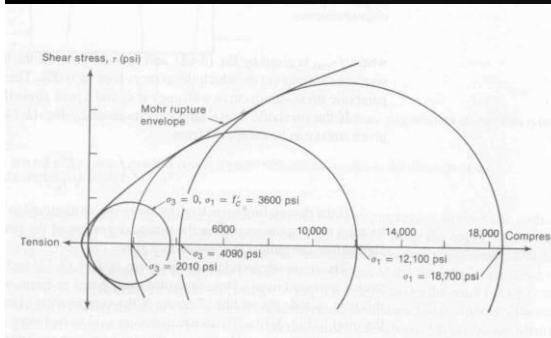


POLI USP

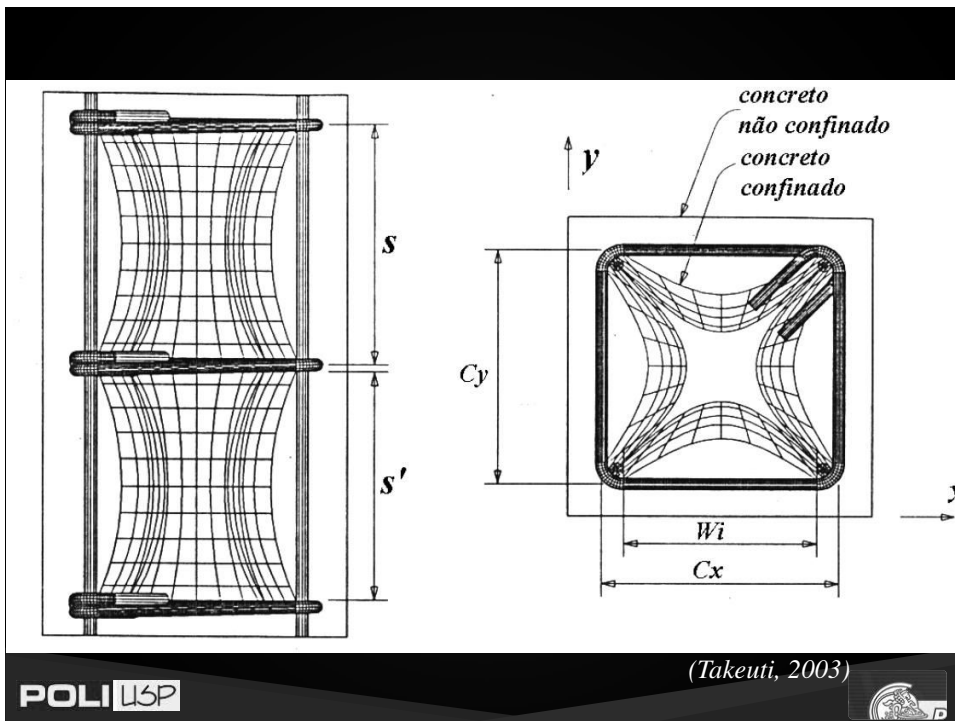




$$\sigma_1 = f'_c + 4.1\sigma_3$$

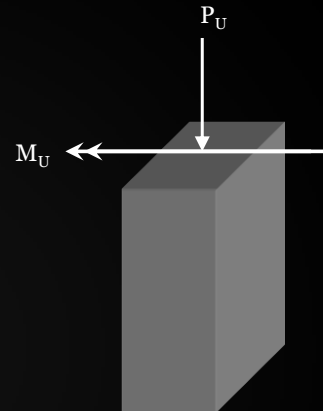
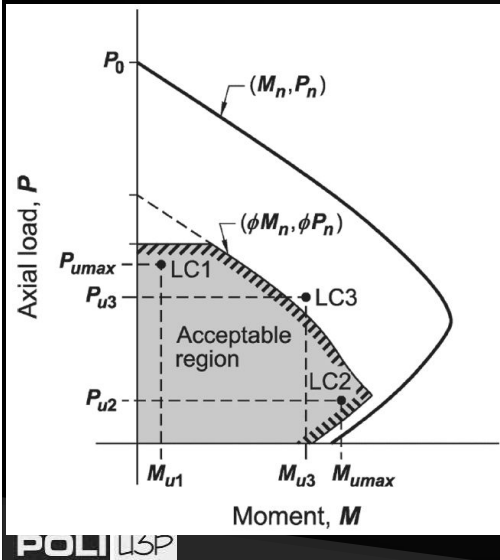


(Wight & MacGregor, 2012)



(Takeuti, 2003)

Refuerzo de pilares

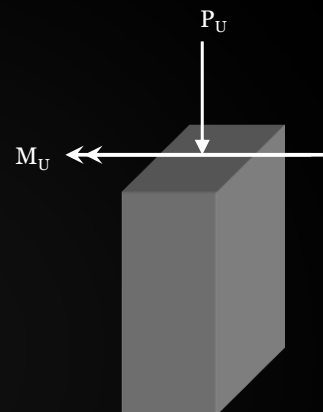
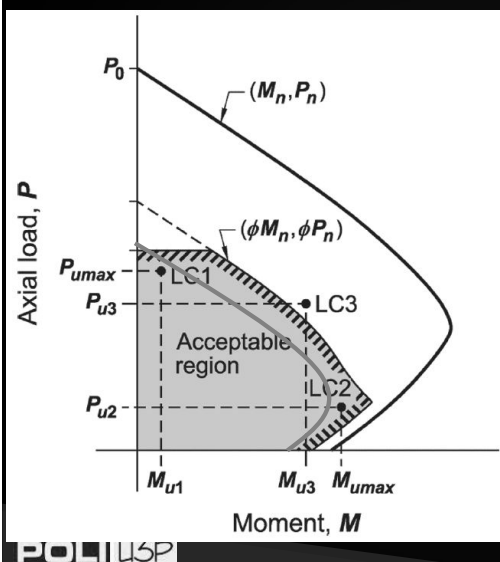


Fuerza normal equivalente para
calcular
por compresión centrada
(Sección plana y con deformación
uniforme
 $\epsilon_c = \epsilon_{c2}$)

(Hipótesis de Navier)



Refuerzo de pilares

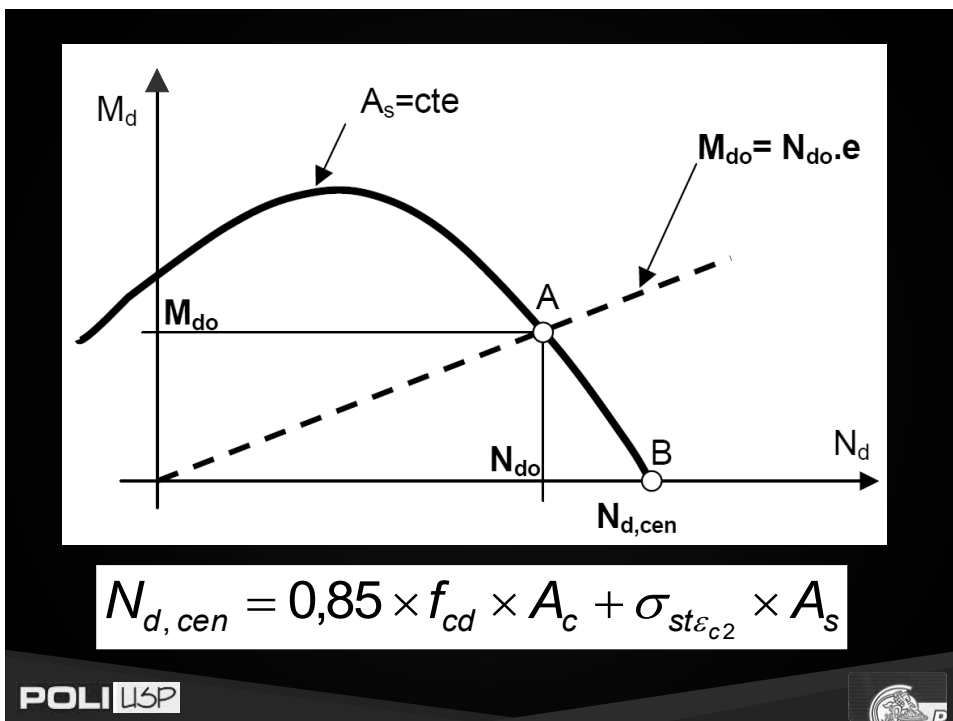
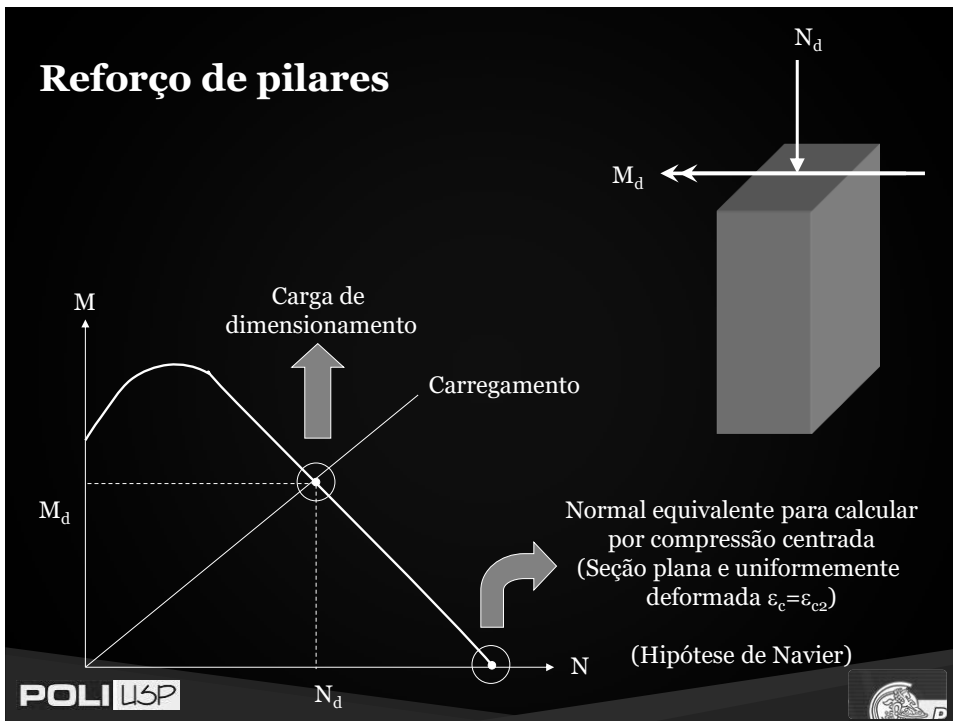


Fuerza normal equivalente para
calcular
por compresión centrada
(Sección plana y con deformación
uniforme
 $\epsilon_c = \epsilon_{c2}$)

(Hipótesis de Navier)



Reforço de pilares



$$N_{d,cen}$$

→ Força normal centrada máxima – valor de cálculo

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

→ Resistência do concreto à compressão – Valor de cálculo.

$$\sigma_{st\varepsilon_{c2}}$$

→ Resistência do aço em compressão centrada da seção de concreto com encurtamento de ε_{c2} (Domínio 5 – ABNT NBR 6118)

A_c → Área bruta da seção de concreto.

A_s → Área de aço total na seção do elemento.

— para concretos de classes até C50:

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰};$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

— para concretos de classes C55 até C90:

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} + 0,085 \text{ ‰} \cdot (f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\varepsilon_{cu} = 2,6 \text{ ‰} + 35 \text{ ‰} \cdot [(90 - f_{ck})/100]^4$$

Ex: Até C50 → $\varepsilon_{c2} = 2\text{‰} \rightarrow \sigma_{st} = 210.000\text{MPa} \times 0,002 = 420\text{MPa}$ ou 42kN/cm^2

POLI USP



Exemplo – Reforço por encamisamento:

Um pilar de 25x70cm foi dimensionado para um par de esforços N_{do} e M_{do} , onde conheço apenas $N_{do} = 2212\text{kN}$. Seu dimensionamento resultou em uma taxa geométrica de armadura de 3,00% de aço CA-50A. O f_{ck} de projeto foi de 25MPa, porém o controle tecnológico do concreto acusou $f_{ck,est} = 20\text{MPa}$, confirmado através da extração de testemunho deste pilar.

Determinar a perda de capacidade para a força normal, deste pilar.

POLI USP



$$N_{d, cen} = 0,85 \times \frac{2,5}{1,4} \times 25 \times 70 + 3\% \times 25 \times 70 \times 42$$

$$N_{d, cen} = 2656,25 + 2205$$

$$N_{d, cen} = 4861 kN$$

25MPa

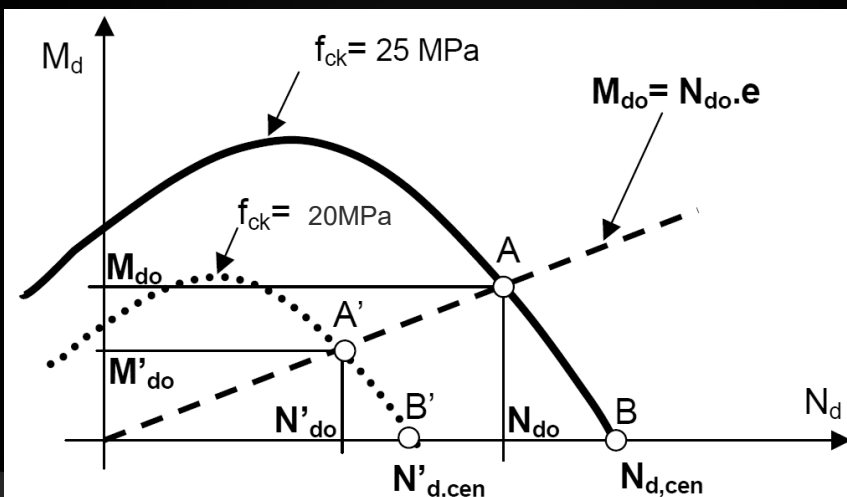
$$N_{d_0} = 2212 kN$$

Projeto

POLI USP



$$\frac{N_{d, cen}}{N_{d0}} = \frac{4861}{2212} = \sim 2,2$$



POLI USP



$$N'_{d, cen} = 0,85 \times \frac{2}{1,4} \times 25 \times 70 + 3\% \times 25 \times 70 \times 42$$

$$N_{d, cen} = 2125 + 2205$$

$$N'_{d, cen} = 4330 \text{ kN} \quad 20 \text{ MPa}$$

$$\frac{N'_{d, cen}}{2,2} = N'_{d, 0} = 1968,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{d, cen}}{N_{d0}} = \frac{4861}{2212} = 2,2$$

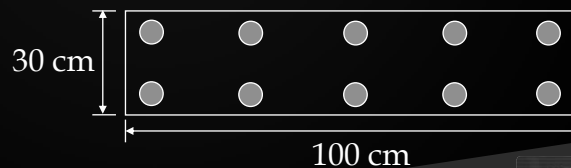
$$2212 - 1968,2 = 243,8 \text{ kN} (\sim -11\%)$$

POLI USP



Reforço de pilares

- Pilar 30x100cm;
- 10 barras de 16mm, aço CA-50 (armadura de projeto);
- Aumento de seção máximo de 5cm (vagas na garagem);
- Projetado com f_{ck} 25 MPa;
- $f_{ck, est}$ atual 13 MPa;
- Carga atuante de ~60% da carga máxima de projeto;
- f_{ck} do reforço = 50 MPa.
- A_s do reforço?



POLI USP



Reforço de pilares

1º Passo:
Cálculo de N_d de projeto

$$\sigma_{st2} \left[\frac{kN}{cm^2} \right]$$



$$N_{d, projeto} = 0,85 \times f_{cd} \times A_c + 42 \times A_s$$



$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$



Reforço de pilares

1º Passo:
Cálculo de N_d de projeto

$$N_{d, projeto} = 0,85 \times \frac{2,5}{1,4} \times 30 \times 100 + 42 \times 10 \times 2,011$$

$$N_{d, projeto} = 4553,57 + 844,62$$

$$N_{d, projeto} = 5398,19 kN$$



Reforço de pilares

2º Passo:

Cálculo de N_d atual (concreto deficiente)

$$\sigma_{st2} \text{ } \left[\frac{kN}{cm^2} \right]$$



$$N_{d, atual} = 0,85 \times f_{cd, atual} \times A_c + 42 \times A_s$$



$$f_{cd} = \frac{f_{ck, atual}}{1,4}$$



Reforço de pilares

2º Passo:

Cálculo de N_d atual (concreto deficiente)

$$N_{d, atual} = 0,85 \times \frac{1,3}{1,4} \times 30 \times 100 + 42 \times 10 \times 2,011$$

$$N_{d, atual} = 2367,86 + 844,62$$

$$N_{d, atual} = 3212,48 kN$$



Reforço de pilares

3º Passo:

Cálculo de N_d reforço

$$N_{d, \text{reforço}} = N_{d, \text{projeto}} - N_{d, \text{atual}}$$

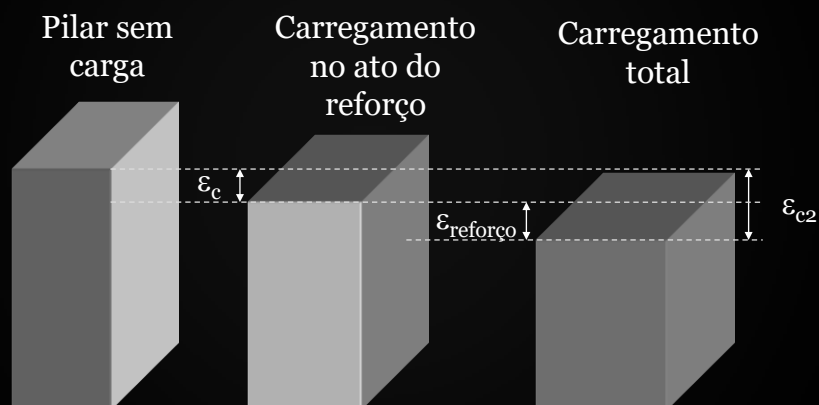
$$N_{d, \text{reforço}} = 5398,19 - 3212,48$$

$$N_{d, \text{reforço}} = 2185,71 \text{ kN}$$

POLI USP



Reforço de pilares



POLI USP



Reforço de pilares

$$\alpha = \frac{N_{d, atuante}}{N_{d, projeto}} < 1,0$$

*Senão não é possível reforçar dessa forma
(salvo utilização de macacos hidráulicos, etc.)*

No exemplo:

$$0,6 = \frac{N_{d, atuante}}{N_{d, projeto}} = \frac{N_{d, atuante}}{5398,19}$$
$$N_{d, atuante} = 3238,91$$



Reforço de pilares

4º Passo:

Estimar a deformação que o pilar já sofreu

$$\rho = \frac{A_s}{A_c}$$

$$\beta = \frac{\rho \times E_s \times 10^{-3}}{f_{cd, atual}}$$

$$\nu_{d, atual} = \frac{N_{d, atuante}}{0,85 \times f_{cd, atual} \times A_c}$$



Reforço de pilares

4º Passo:

Estimar a deformação que o pilar já sofreu

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{10 \times \pi \times 0,8^2}{30 \times 100} = 0,0067$$

$$\beta = \frac{\rho \times E_s \times 10^{-3}}{f_{cd,atual}} = \frac{0,0067 \times 21000 \times 10^{-3}}{\frac{1,3}{1,4}} = 0,1515$$

$$\nu_{d,atual} = \frac{N_{d,atuante}}{0,85 \times f_{cd,atual} \times A_c} = \frac{3238,82}{0,85 \times \frac{1,3}{1,4} \times 100 \times 30} = 1,3679$$

POLI USP



Reforço de pilares

4º Passo:

Estimar a deformação que o pilar já sofreu

$$\varepsilon_{c,atual} = 2 \times (1 + \beta) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{0,85 \times \nu_{d,atual}}{(1 + \beta)^2}} \right)$$

POLI USP



Reforço de pilares

4º Passo:

Estimar a deformação que o pilar já sofreu

$$\varepsilon_{c, atual} = 2 \times (1 + 0,1516) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{0,85 \times 1,3678}{(1 + 0,1516)^2}} \right) = 1,4945\text{‰}$$

$$\varepsilon_{reforço} = 2 - 1,4945 = 0,5055\text{‰}$$



Reforço de pilares

5º Passo:

Dimensionamento / Determinação de A_s .

$$\left[\frac{kN}{cm^2} \right]$$



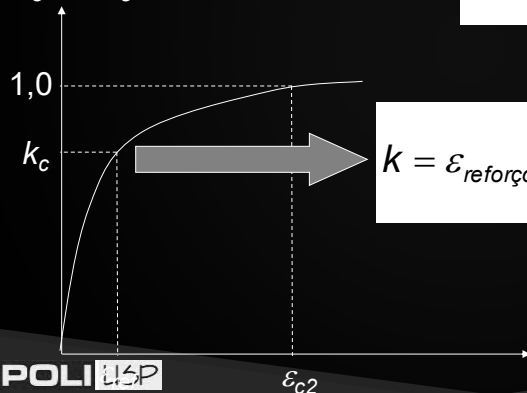
$$N_{d, reforço} = 0,85 \times k \times f_{cd, reforço} \times A_{c, reforço} + \sigma_{s, reforço} \times A_{s, reforço}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck, reforço}}{1,4}$$

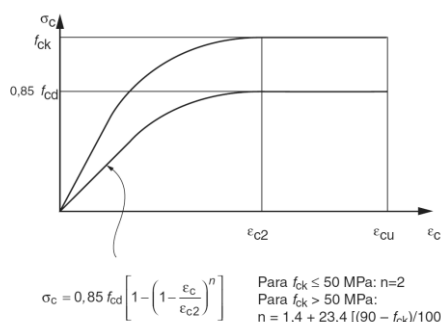


Reforço de pilares

$$k_c = \sigma / f_c$$

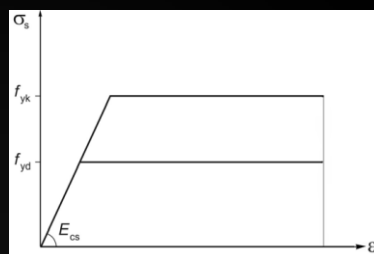
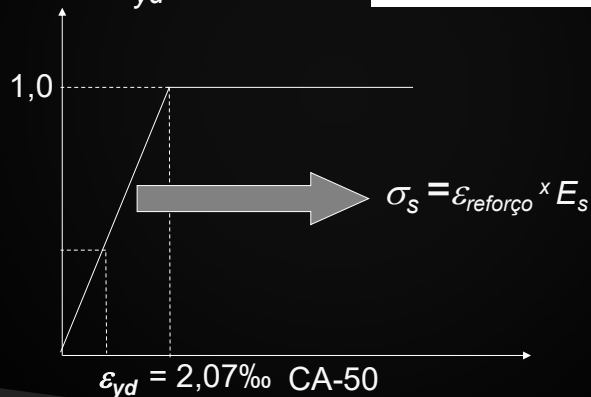


$$k = \varepsilon_{\text{reforço}} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{\text{reforço}}}{4} \right)$$



Reforço de pilares

$$k = \sigma / f_{yd}$$



Reforço de pilares

3º Passo:

Cálculo de N_d reforço

$$N_{d, \text{reforço}} = 0,85 \times \varepsilon_{\text{reforço}} \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{\text{reforço}}}{4}\right) \times f_{cd, \text{reforço}} \times A_{c, \text{reforço}} + \varepsilon_{\text{reforço}} \times E_s \times A_{s, \text{reforço}}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck, \text{reforço}}}{1,4}$$

POLI USP



Reforço de pilares

3º Passo:

Cálculo de N_d reforço

$$N_{d, \text{reforço}} = 0,85 \times \varepsilon_{\text{reforço}} \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{\text{reforço}}}{4}\right) \times f_{cd, \text{reforço}} \times A_{c, \text{reforço}} + \varepsilon_{\text{reforço}} \times E_s \times A_{s, \text{reforço}}$$

$$2185,71 = 0,85 \times 0,5055 \times \left(1 - \frac{0,5055}{4}\right) \times \frac{5,0}{1,4} \times (110 \times 40 - 100 \times 30) + 0,5055\% \times 21000 \times A_{s, \text{reforço}}$$

$$2185,71 = 1876,87 + 0,5055\% \times 21000 \times A_{s, \text{reforço}}$$

$$2185,71 = 1876,87 + 10,6155 \times A_{s, \text{reforço}}$$

$$10,6197 \times A_{s, \text{reforço}} = 2185,71 - 1876,87 = 308,84$$

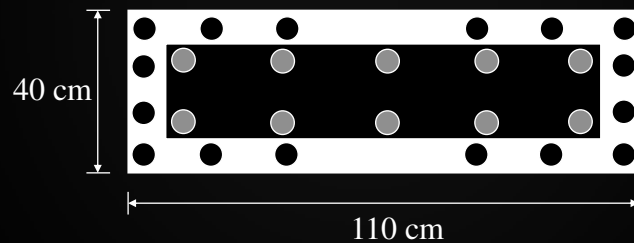
$$A_{s, \text{reforço}} = 29,08 \text{ cm}^2$$

POLI USP



Reforço de pilares

- Adotando barras com 16 mm de diâmetro;
- 14,5 barras → 16 barras.



POLI USP

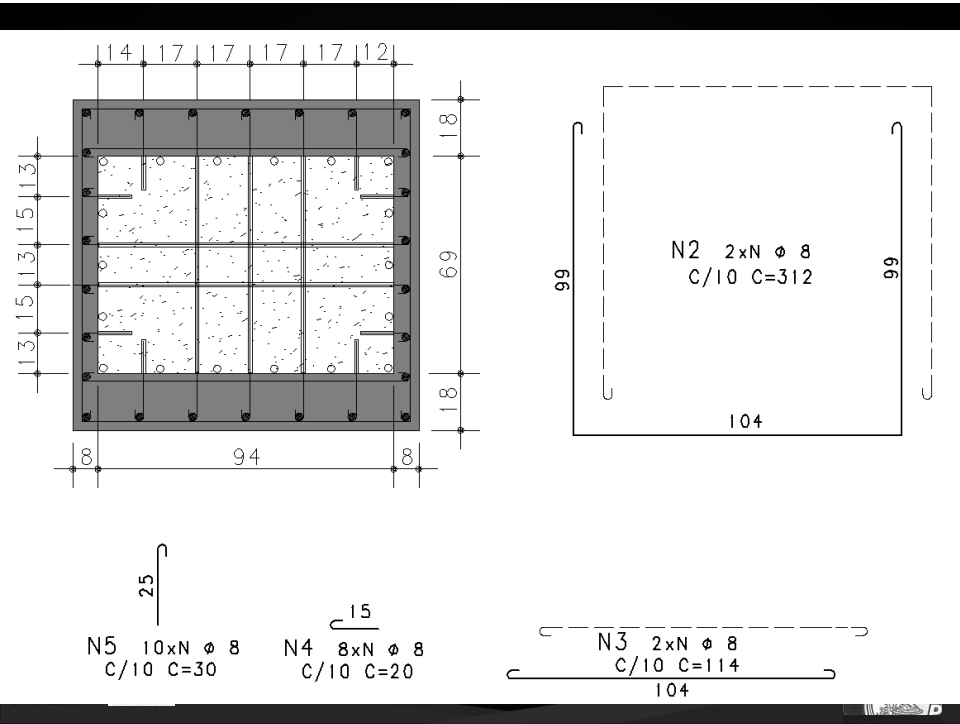


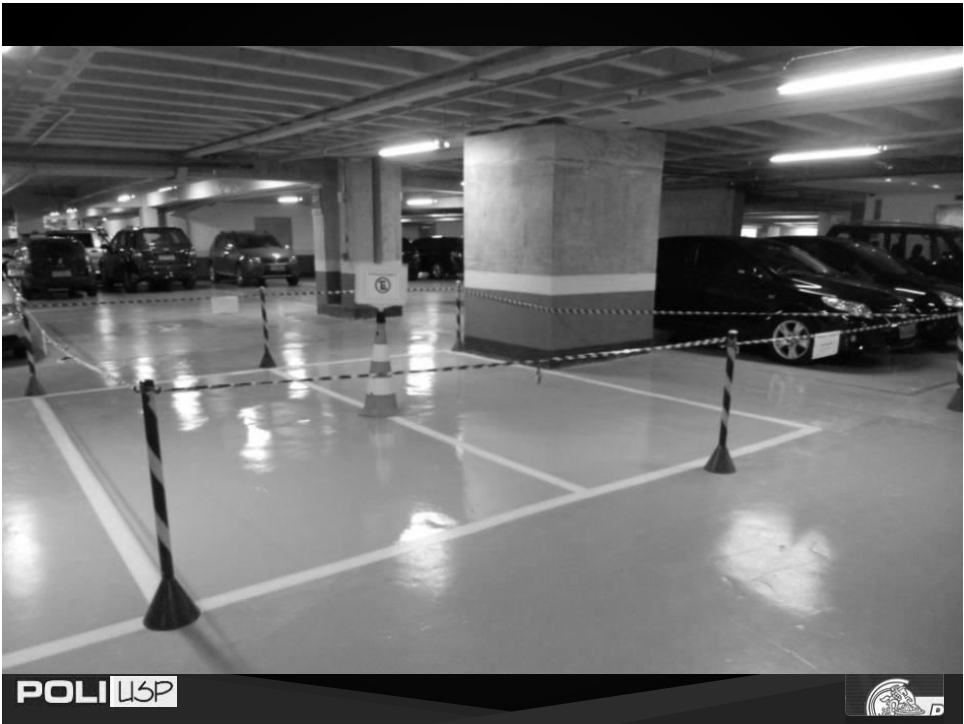
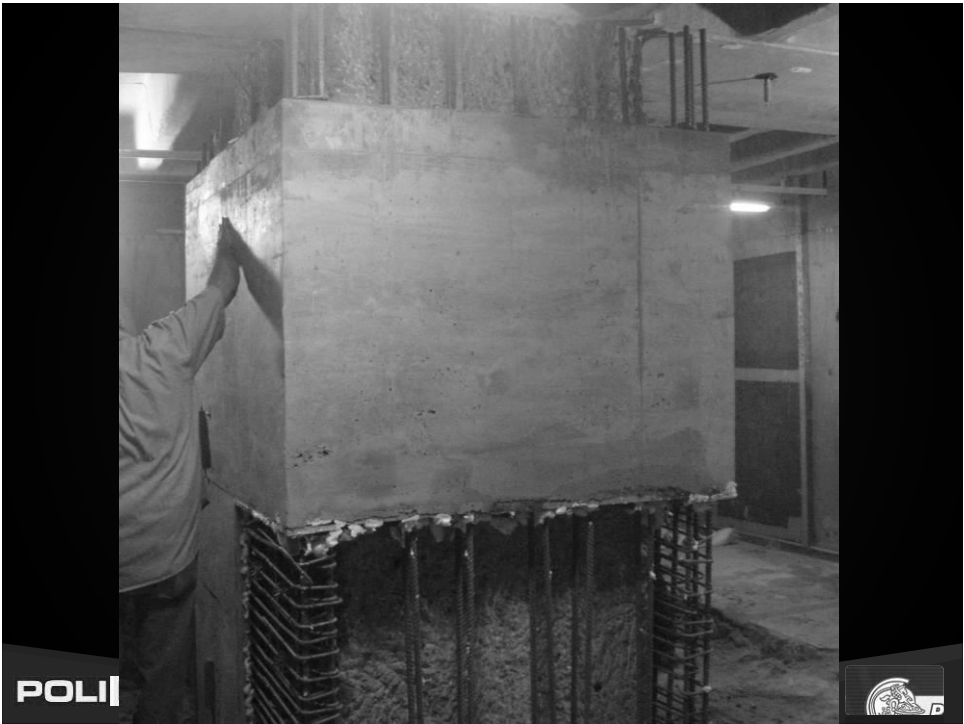
Principais Problemas

- *Interferências na arquitetura;*
- *Redução de espaço entre vagas de garagem;*
- *Alterações de fachada;*
- *Interferências nas instalações elétricas e hidráulicas;*

POLI USP







Procedimento de execução

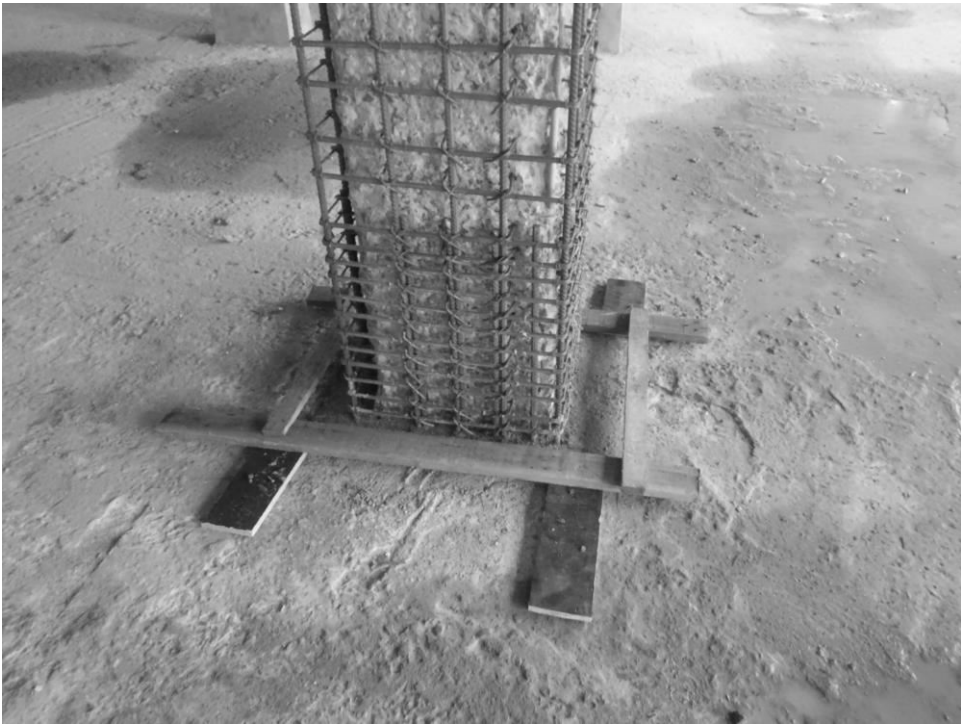
POLIUSP











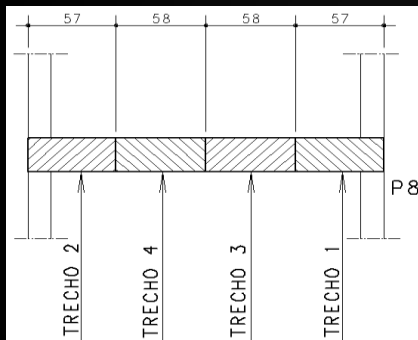




Alternativas

- *Reforço com chapas metálicas;*
- *Uso de fibras de carbono (quando possível);*
- *Substituição total do concreto;*

Substituição do concreto



Substituição do concreto



POLI USP



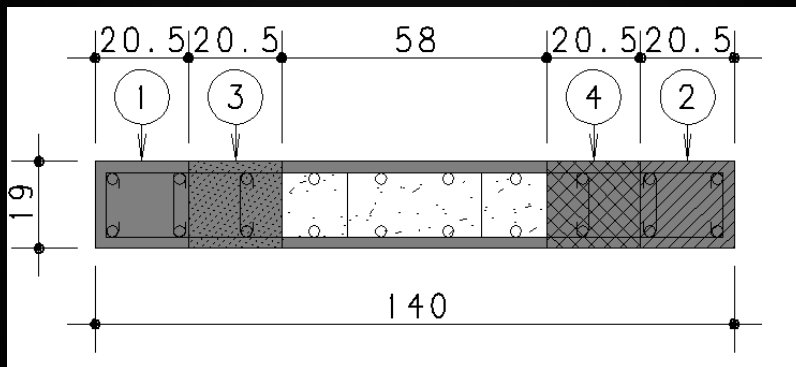
Substituição total do concreto

- *Número de etapas (prazo);*
- *Necessidade de sistemas de escoramento onerosos.*

POLI USP



Concretos de alta resistência – Área equivalente



POLI USP

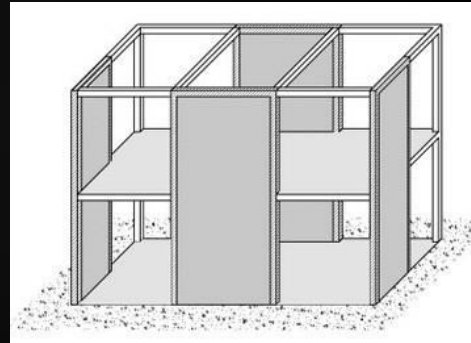
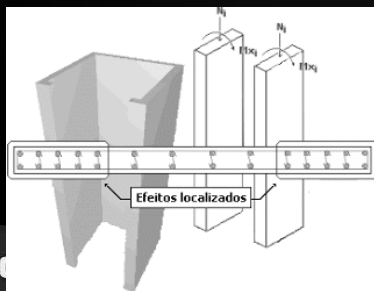
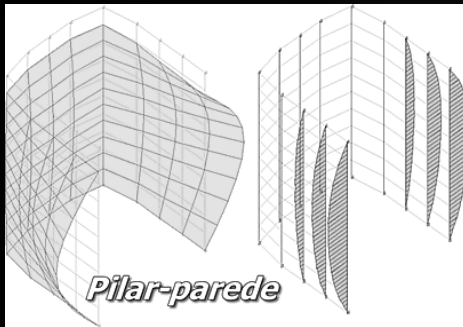


Particularidades no dimensionamento de pilares parede

POLI USP



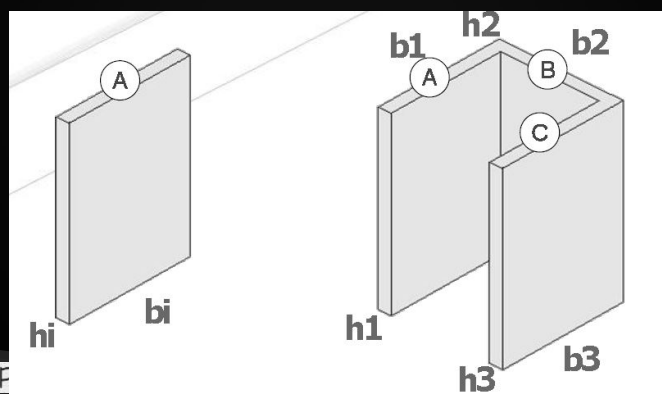
Shear wall



Pilar Parede

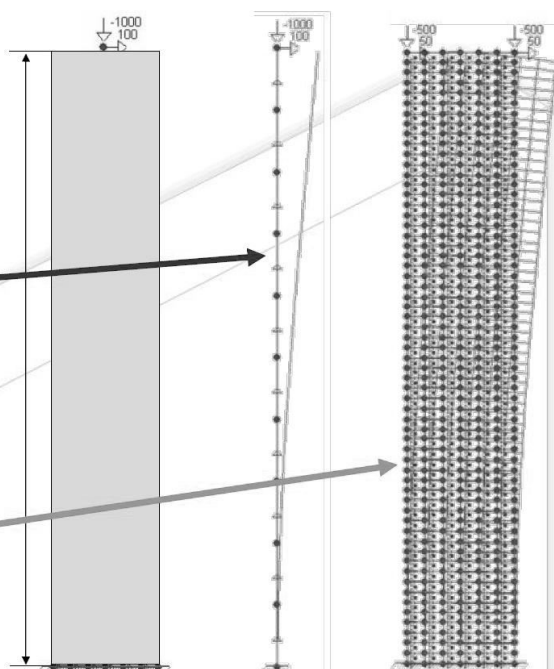
Elemento de superfície, disposto em la vertical sometido a esforços axiais y momentos fletores.

$$h_i < b_i/5$$



Como tratar um pilar-parede?

-Por Elementos Finitos (Chapa ou Casca), quando existem variações bruscas de força cortante.
A seção transversal NÃO permanece plana.



(França & Kimura, 2006)

ABNT NBR 6118:2014

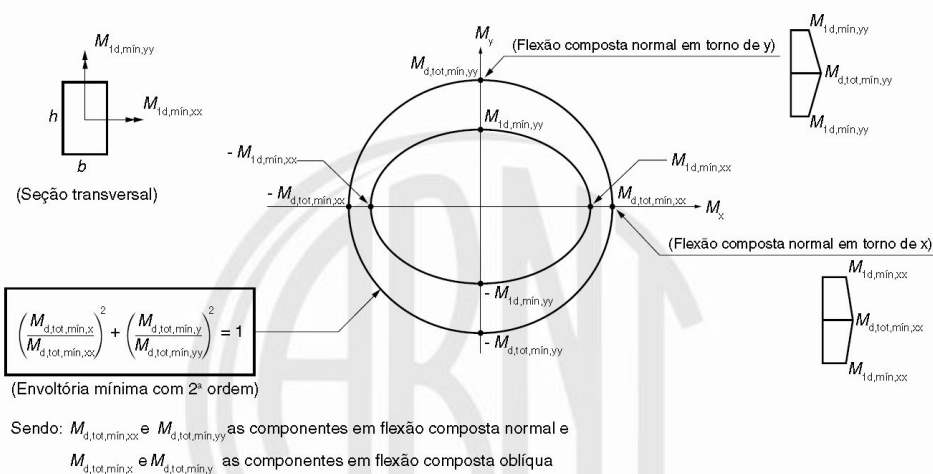


Figura 15.2 – Envoltória mínima com 2ª ordem

ABNT NBR 6118:2014

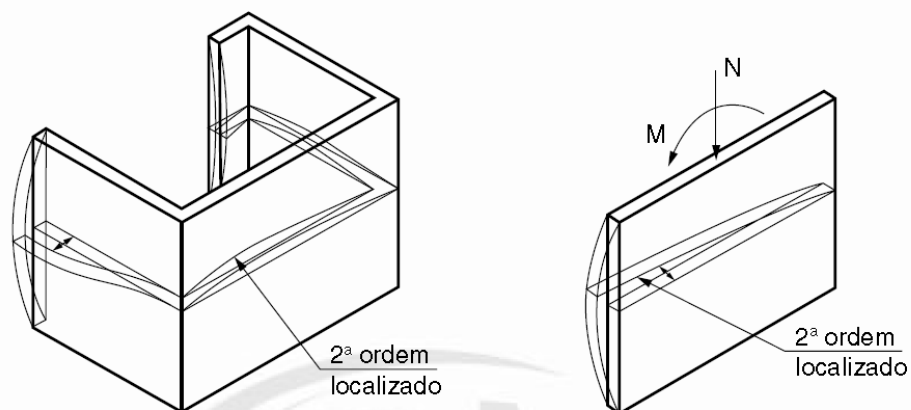
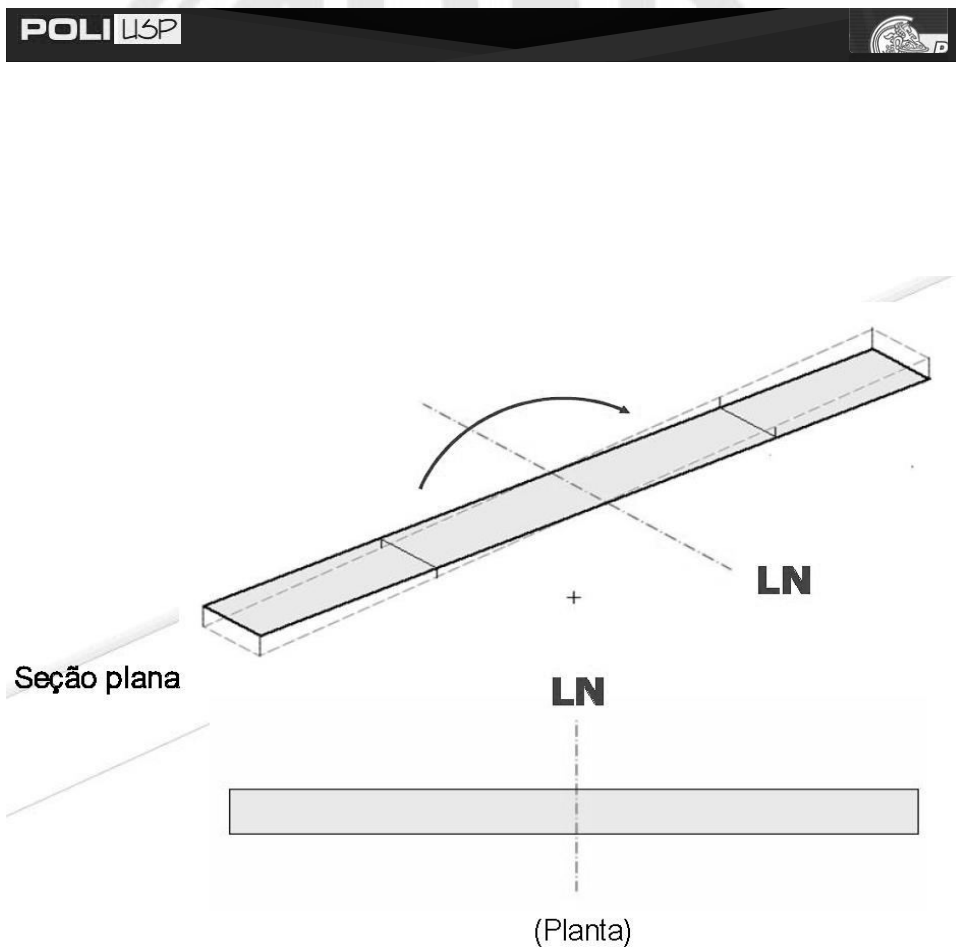
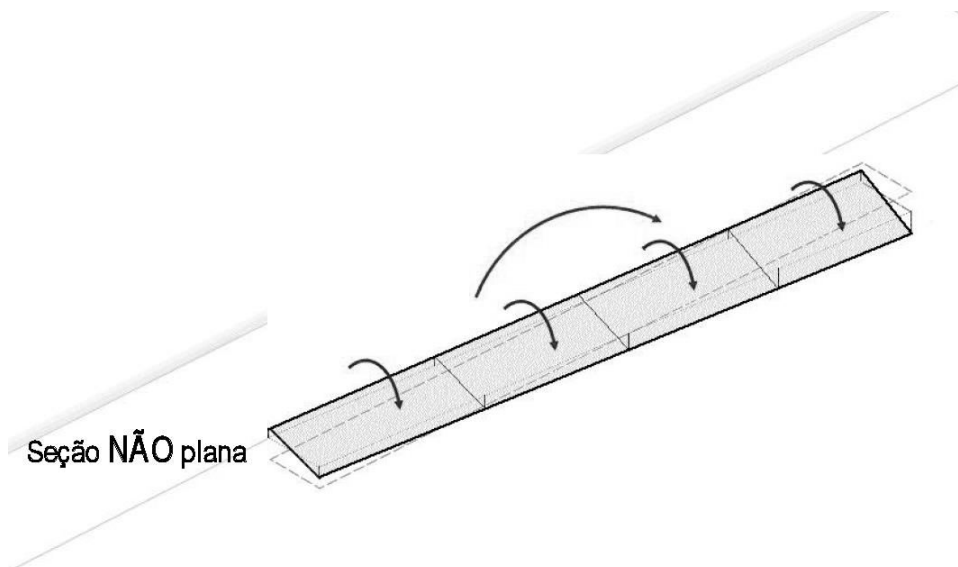
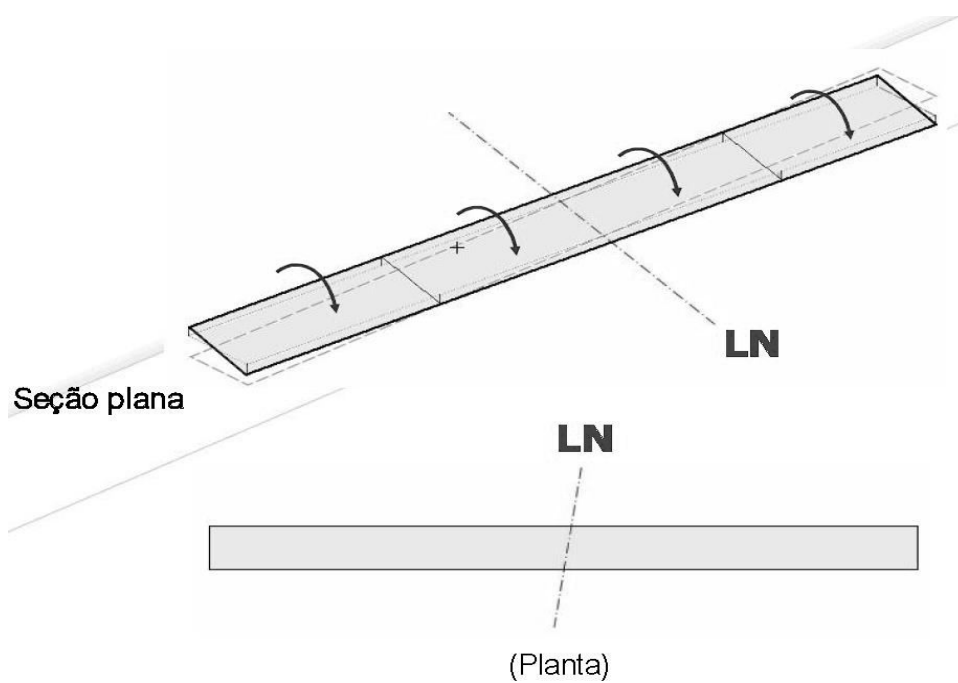
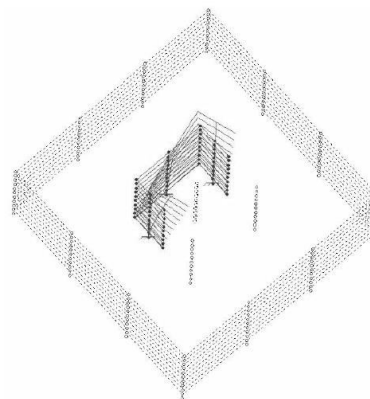
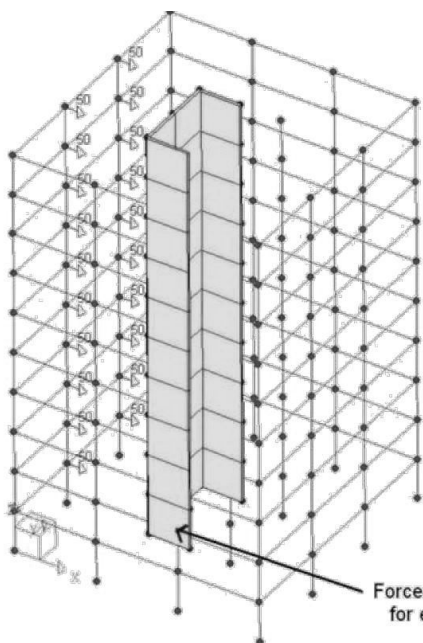


Figura 15.3 – Efeitos de 2ª ordem localizados



(França & Kimura, 2006)



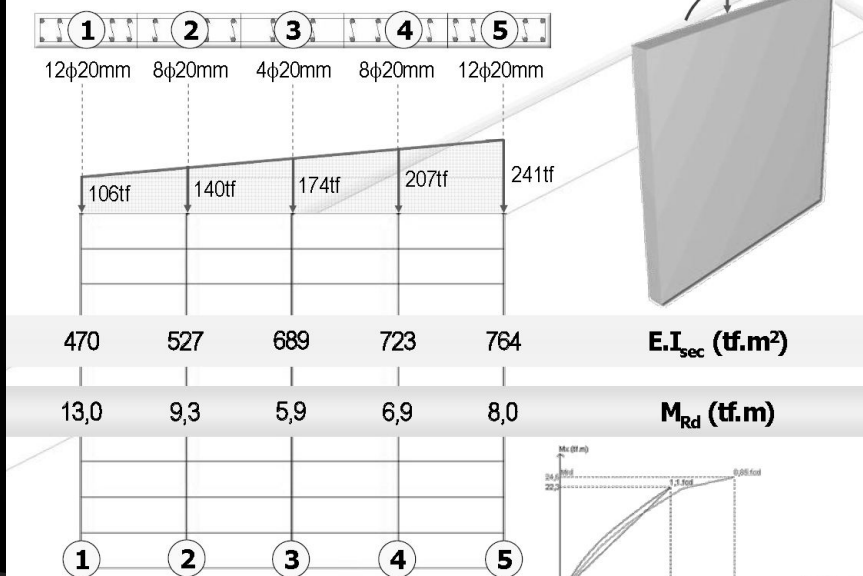


- Evitar soluções estruturais onde seja necessária resistência a torção de Pilares-Parede.

POLIUSP
(França & Kimura, 2006)



Exemplo 1 Modelo com malha de barras

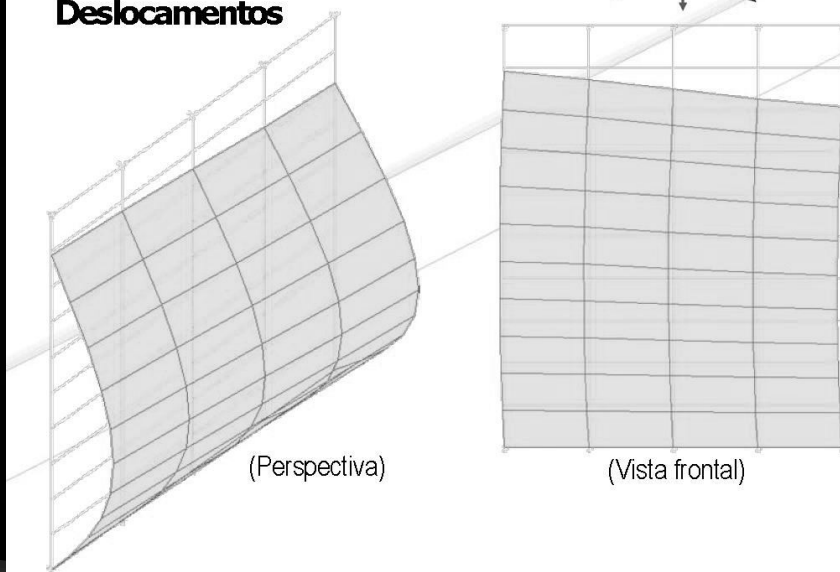


POLIUSP
(França & Kimura, 2006)



Exemplo 1

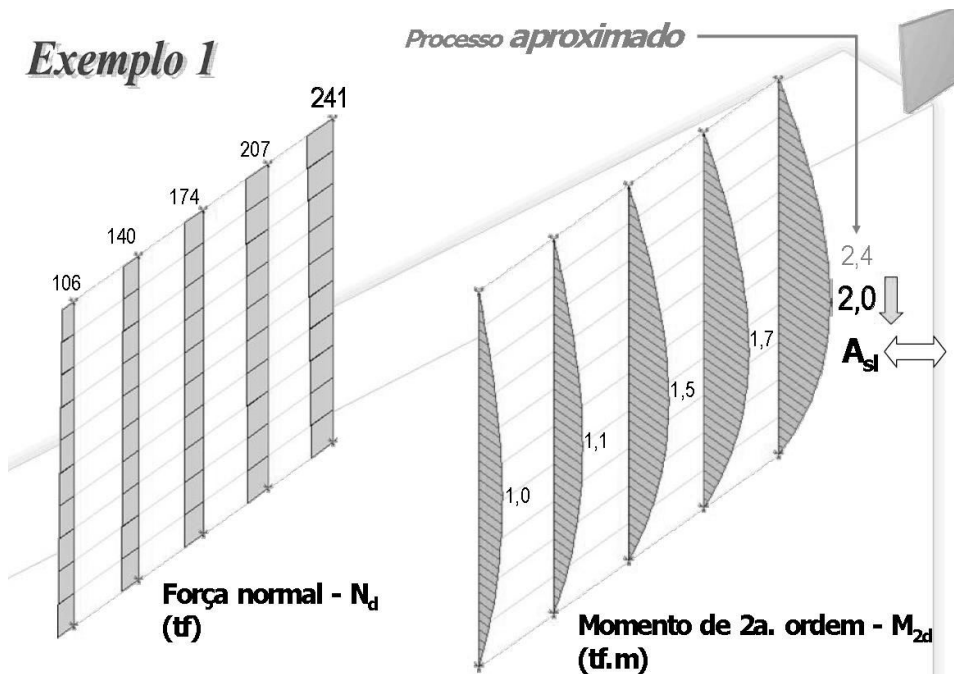
Deslocamentos



FEUC/USP
(França & Kimura, 2006)

Exemplo 1

Processo aproximado



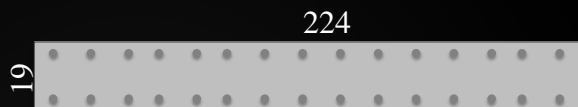
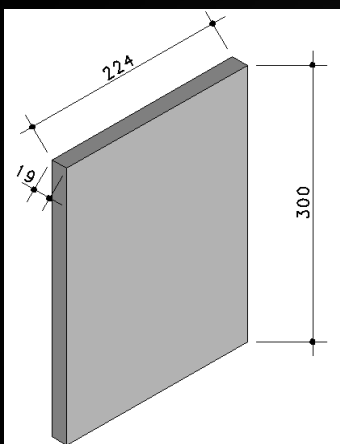
FEUC/USP
(França & Kimura, 2006)

Exemplo

POLI USP



Reforço de pilare parede



Dados do dimensionamento:

N_d : 7876kN;

$M_{d,x,topo}$: 95,0kN·m;

$M_{d,x,base}$: 2,0kN·m;

$M_{d,y,topo}$: 1159,6kN·m;

$M_{d,y,base}$: 1050,5kN·m;

f_{ck} = 35MPa;

$f_{ck,ext}$: 25MPa;

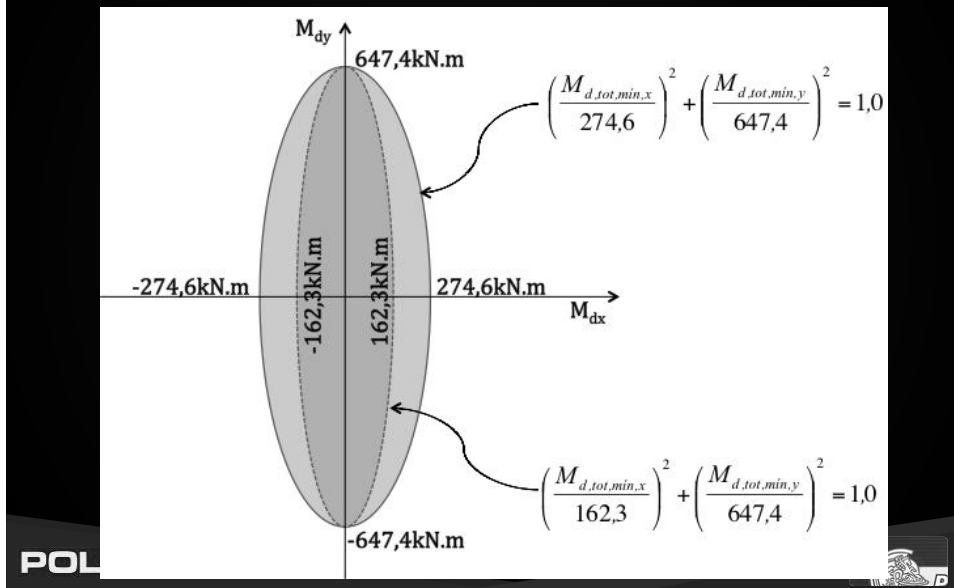
armadura longitudinal efetiva: 30 Φ
25mm;

cobrimento nominal: 2,5cm.

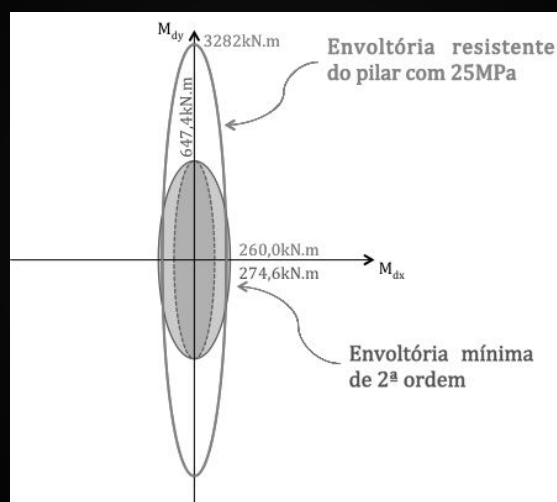
POLI USP



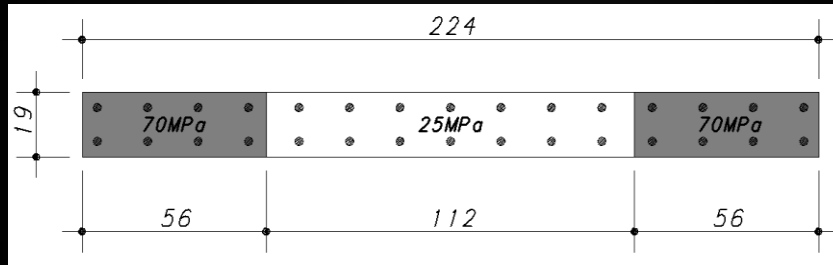
Envoltórias mínimas de 1ª e 2ª ordem



Envoltória mínima X Envoltória resistente



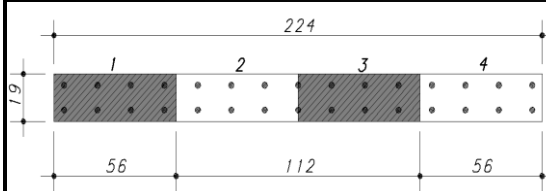
Primeira tentativa



POLI USP



Primeira tentativa



Esforços solicitantes por faixa:

Faixas 1 e 4

$$N_{d,faixa} = 2518\text{kN}$$

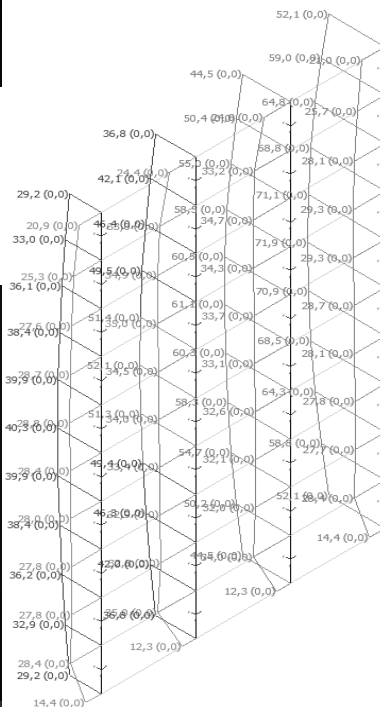
$$M_{dx,faixa} = 24\text{kN}\cdot\text{m}$$

Faixas 2 e 3

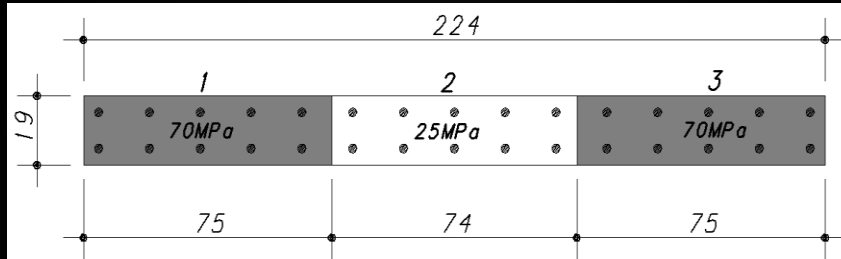
$$N_{d,faixa} = 2148\text{kN}$$

$$M_{dx,faixa} = 24\text{kN}\cdot\text{m}$$

POLI USP



Segunda tentativa



Esforços solicitantes por faixa:

Faixas 1 e 3

$$N_{d,faixa} = 3289 \text{ kN}$$

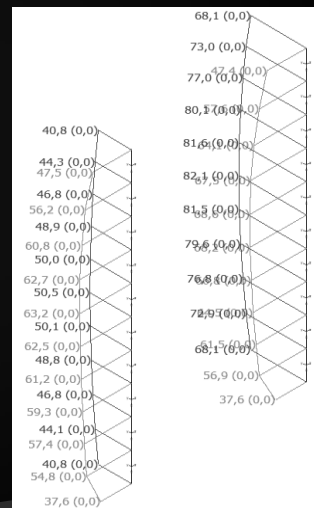
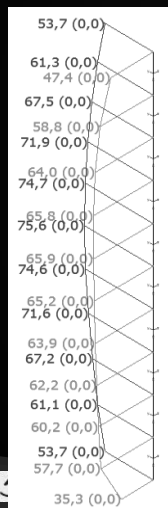
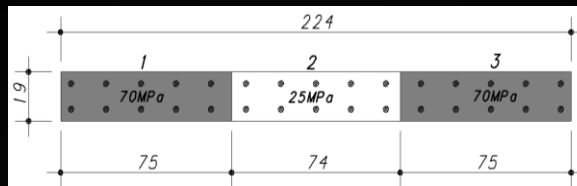
$$M_{dx,faixa} = 31,8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Faixas 2

$$N_{d,faixa} = 2595 \text{ kN}$$

$$M_{dx,faixa} = 31,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

POLI USP



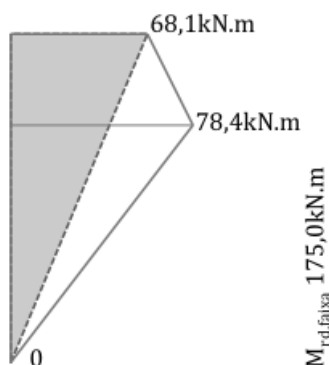
POLI USP



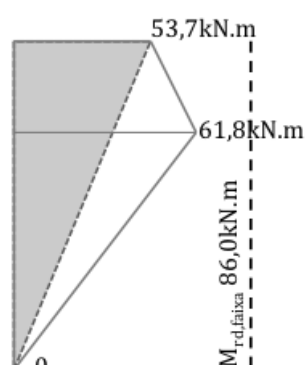
Segunda tentativa

Verificação de momentos mínimos

Momentos mínimos faixas 1 e 3
70MPa



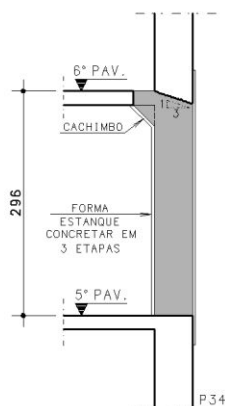
Momentos mínimos faixa 2
25MPa



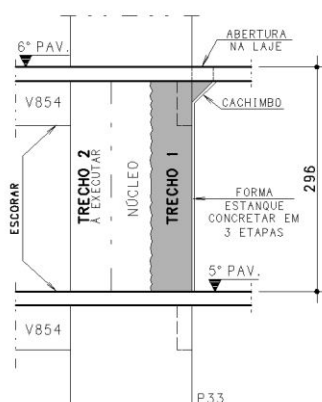
POLI USP



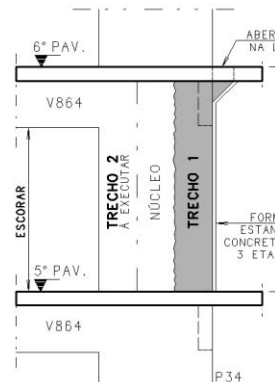
CORTE E-E
ESC. 1:50



VISTA 2
ESC. 1:50



VISTA 3
ESC. 1:50



POLI USP



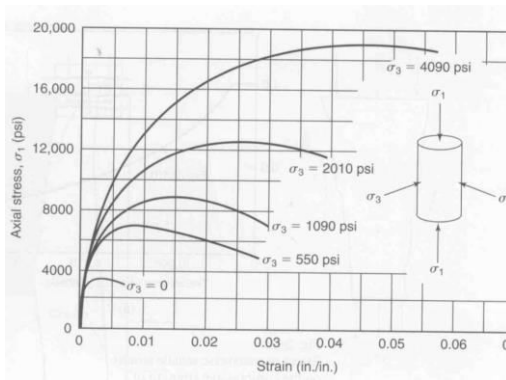
Processo executivo



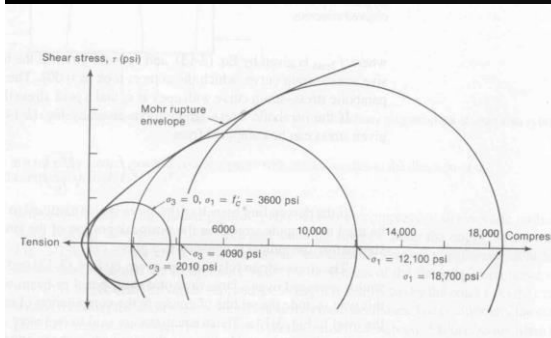
Procedimento para reforço de Pilares com Fibra de Carbono

Aplicações

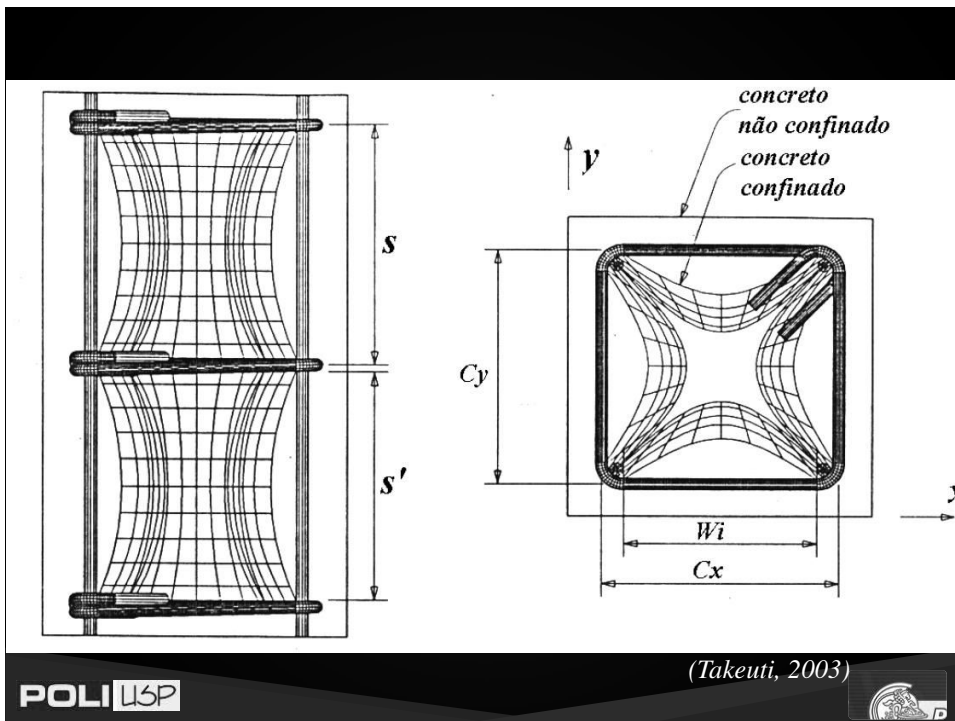
- *Ideal para confinamento de peças circulares (compressão radial);*
- *Pilares com seção quadrada ($h/l = 1$);*
- *Pilares retangulares com relação $h/l < 3$ (com ressalvas).*



$$\sigma_1 = f'_c + 4.1\sigma_3$$



(Wight & MacGregor, 2012)



(Takeuti, 2003)

ACI 440.2R-08 – Design & Construction of Externally Bonded FRP Systems

POLI USP



Exemplo de cálculo via ACI-440

Dados da seção:

$f_{ck,projeto} = 50 \text{ MPa}$

$f_{ck,obtido} = 38,5 \text{ MPa}$

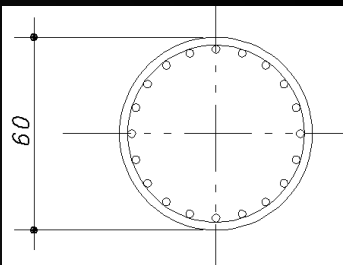
$\lambda < \lambda_{lim}$ (pilar curto)

$A_s = 98,18 \text{ cm}^2$ (20 ϕ 25 mm - CA-50)

ϕ 0,8

$\phi * P_n = 10565,3 \text{ kN}$ (projeto)

$\phi * P_n' = 8857,9 \text{ kN}$ (real)



Dados da fibra (manta):

$f_{fu}^* = 3800 \text{ MPa}$

$E_f = 240000 \text{ MPa}$

$C_E = 0,95$

$t_f = 0,176 \text{ mm}$

POLI USP mm/mm

Table 9.1—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exterior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garages)	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

1º passo: Determinar as propriedades de cálculo da fibra de carbono

Dados da fibra (manta):

$$f_{fu}^* = 3800 \text{ MPa}$$

$$E_f = 240000 \text{ MPa}$$

$$C_E = 0,95$$

$$t_f = 0,176 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{fu}^* = 0,017 \text{ mm/mm}$$

$$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \cdot \varepsilon_{fu}^*$$

$$f_{fu} = 0,95 \cdot 3800$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,95 \cdot 0,017$$

$$f_{fu} = 3610 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{fu} = 0,016 \text{ mm/mm}$$



2º passo: Determinar a força de compressão requerida ao concreto confinado

$$f'_{cc} = \frac{1}{0,85(A_g - A_s)} \cdot \left(\frac{\phi P_{n,req}}{0,80\phi} - f_y \cdot A_s \right)$$

$$f'_{cc} = 50 \text{ MPa}$$



3º passo: Determinar a máxima pressão de confinamento da camisa de FRP

$$f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\psi_f \cdot 3,3 k_a}$$

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

Para seção circular = 1,00

$$\psi_f = 0,95$$

Fator de redução de resistência para a FRP

$$f_l = \frac{50 - 38,5}{0,95 \cdot 3,3 \cdot 1,0}$$

$$f_l = 3,67 \text{ MPa}$$



4º passo: Determinar o número de camadas

$$n = \frac{f_l \cdot \sqrt{b^2 \cdot h^2}}{2E_f \cdot t_f \cdot \varepsilon_{fe}}$$

Seção retangular (b x h)

$$n = \frac{f_l \cdot D}{2E_f \cdot t_f \cdot \varepsilon_{fe}}$$

Seção circular (D)

$$\varepsilon_{fe} = k_e \cdot \varepsilon_{fu}$$

$$k_e = 0,55$$

$$n = \frac{3,67 \cdot 600}{2 \cdot 240000 \cdot 0,176 \cdot 0,55 \cdot 0,016}$$

$$n = 2,93 \text{ camadas} \approx 3 \text{ camadas}$$



5º passo: Verificar a deformação axial última do concreto confinado

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left(1,5 + 12k_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0,45} \right) \leq 0,01$$

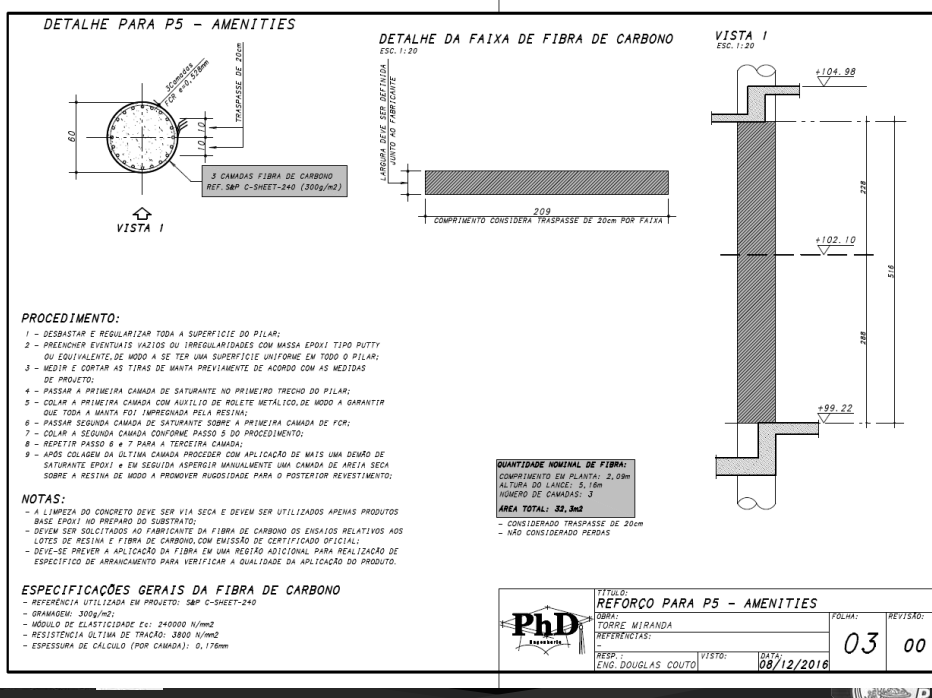
$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0,5} \quad \text{Seção retangular (b x h)}$$

$$k_b = 1,00 \quad \text{Seção circular}$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0,002 \left(1,5 + 12 \cdot 1,00 \cdot \frac{3,67}{38,5} \left(\frac{0,009}{0,002} \right)^{0,45} \right)$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0,00687 < 0,01$$

POLIUSP





Passo 1: Preparo da superfície

POLI USP



POLI USP





Passo 2: Corte das Mantas

POLI USP





Passo 3: Mistura do primer epóxi

POLI USP









Passo 4: Imprimação da superfície



*Passo 5:
Estucamento com epóxi tipo
Putty*

POLI USP



POLI USP

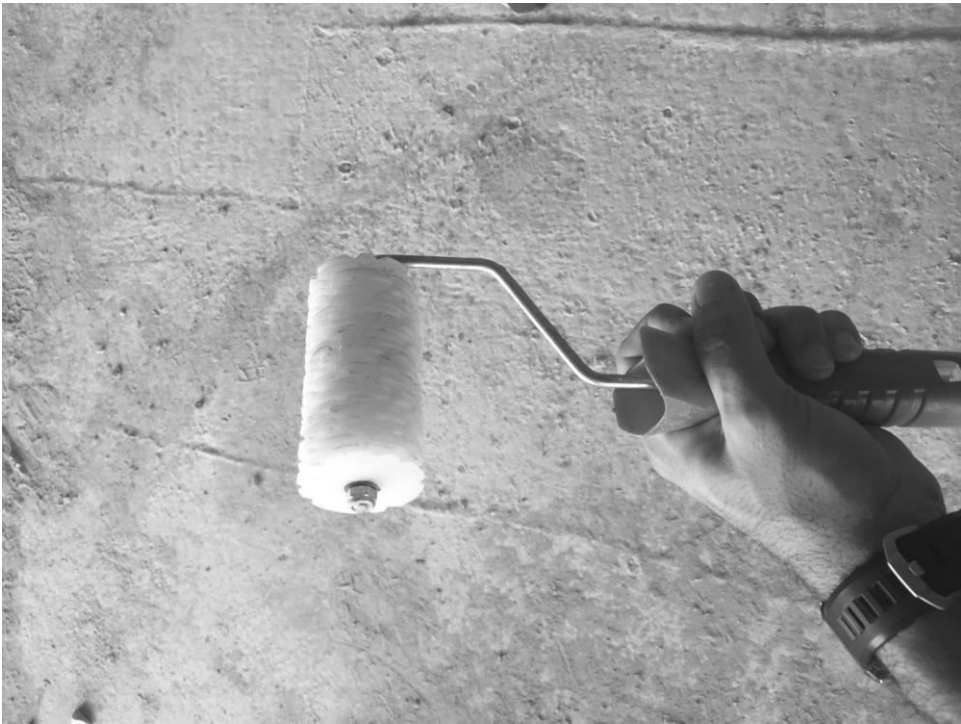


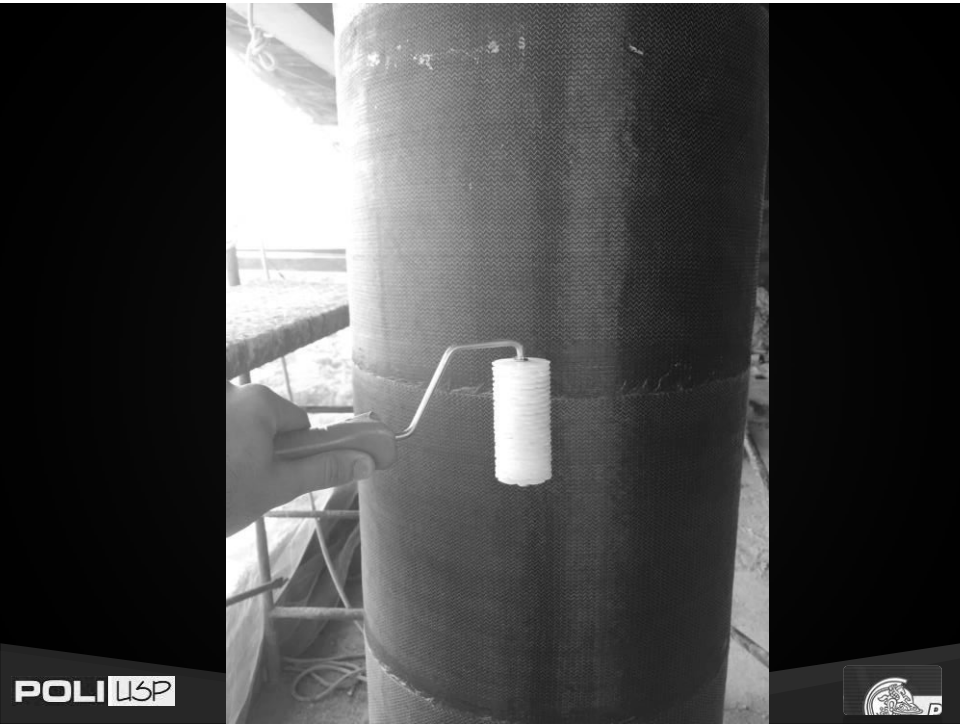


*Passo 6:
Colagem das mantas de fibra
de carbono*









*Passo 7:
Saturação final e proteção
superficial*

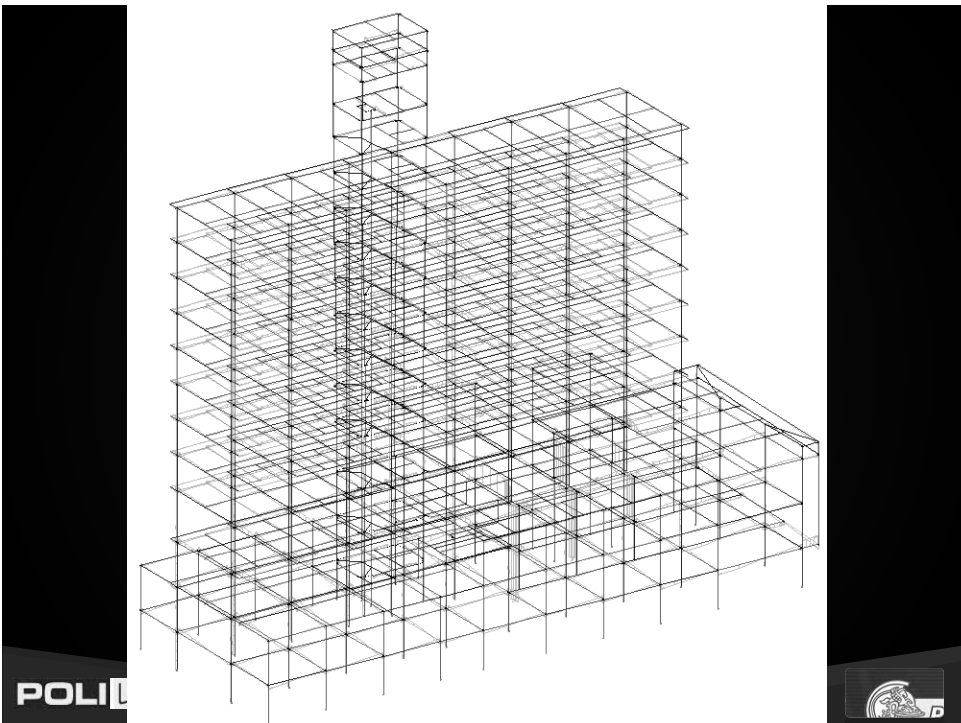
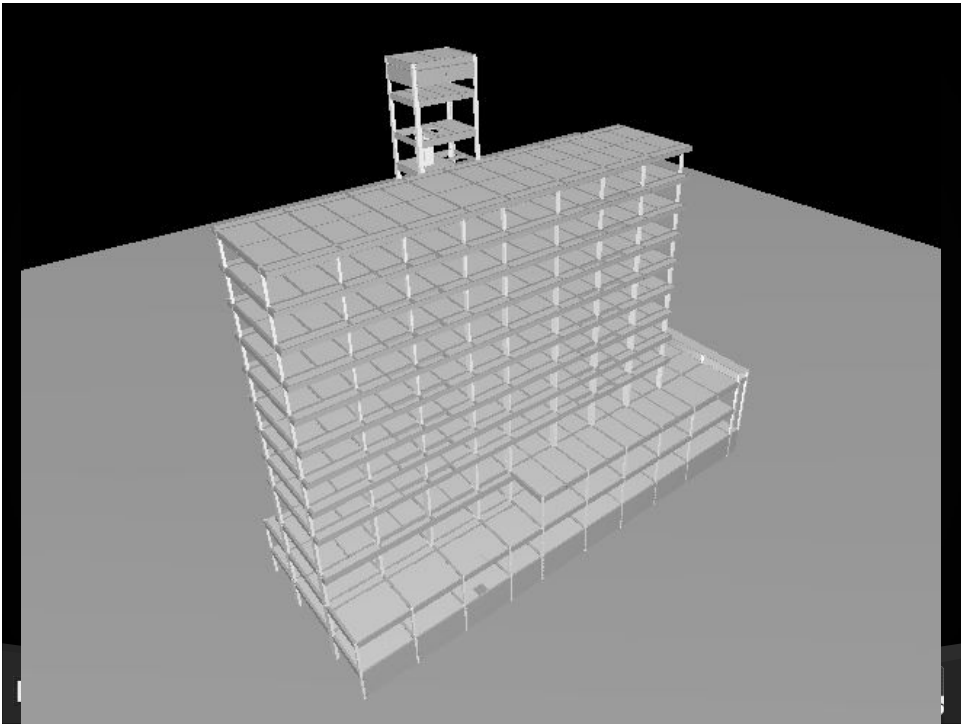
POLI USP





Estado Limite de Serviço

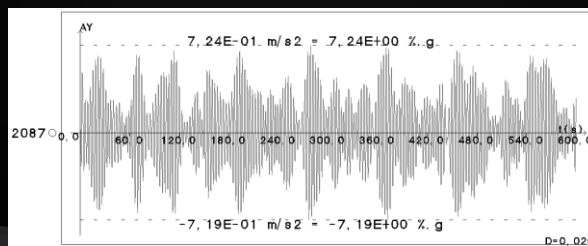
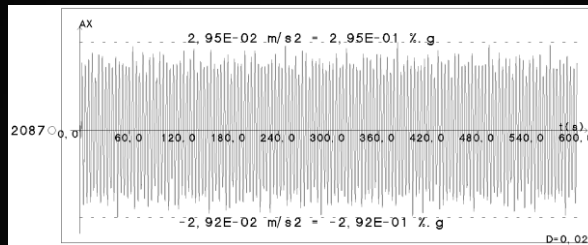
*Caso de verificação do
conforto dinâmico (vento)*



ESTADO LIMITE DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS (ELS)

Torre A (Comercial)

Aceleração máx. $y = 7,24\%g$



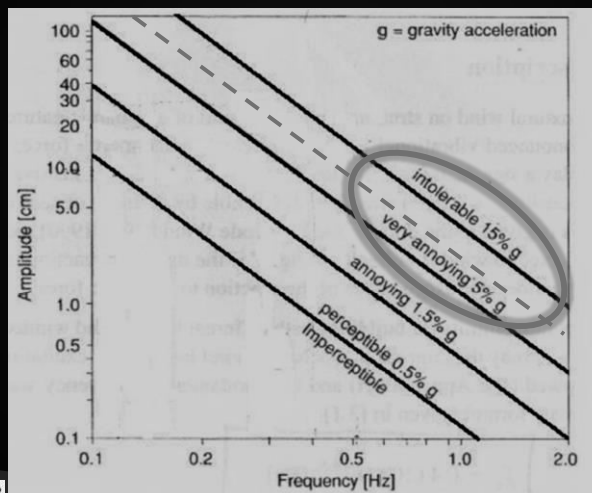
POLI USP



ESTADO LIMITE DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS (ELS)

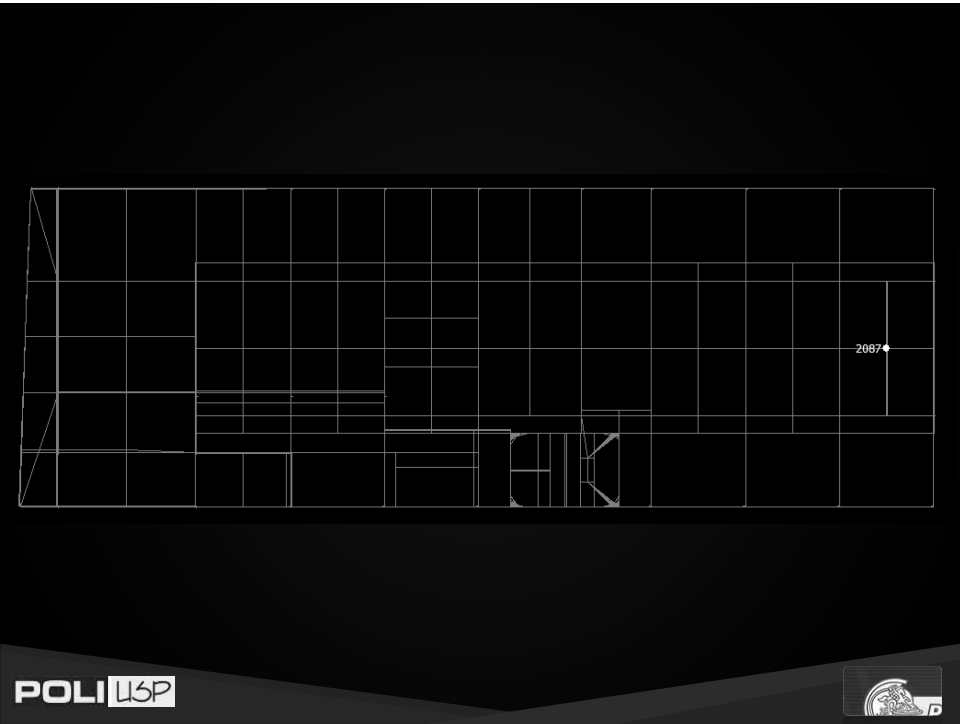
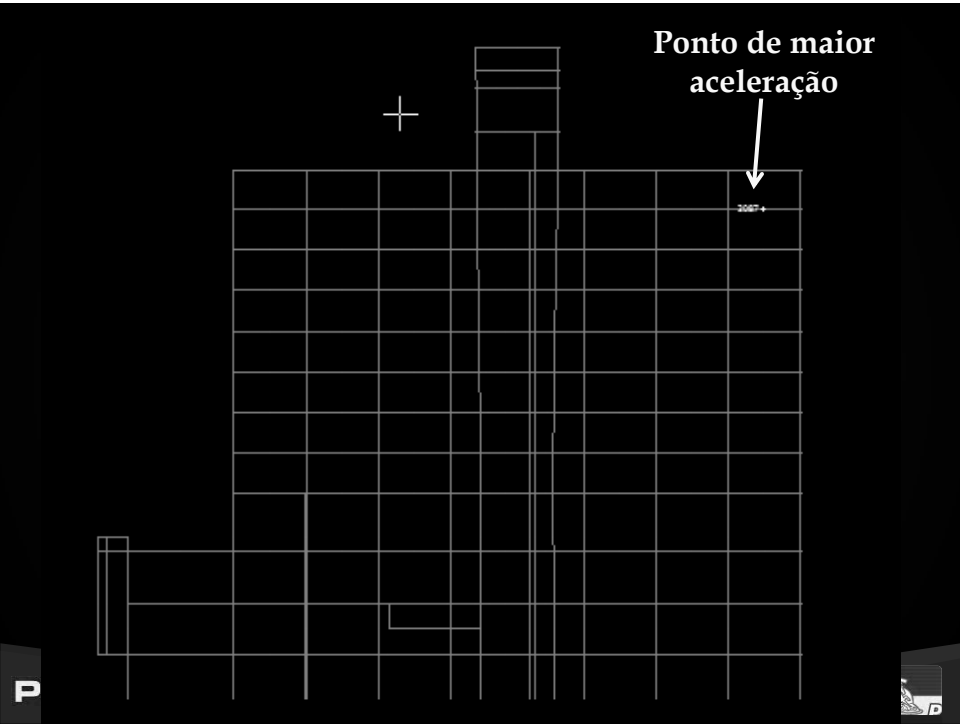
Torre A (Comercial)

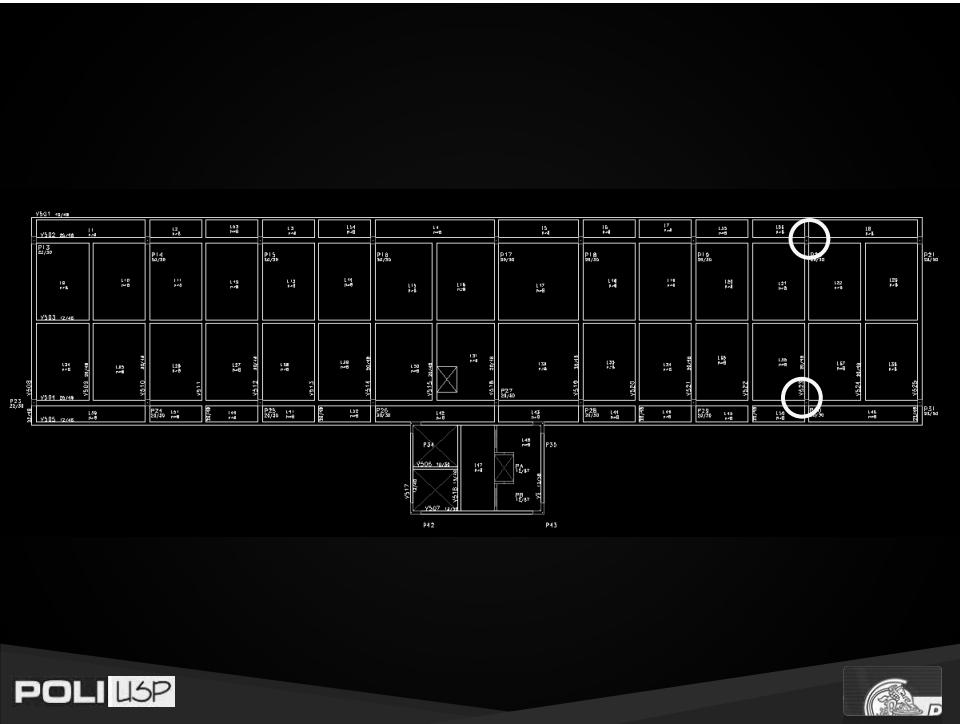
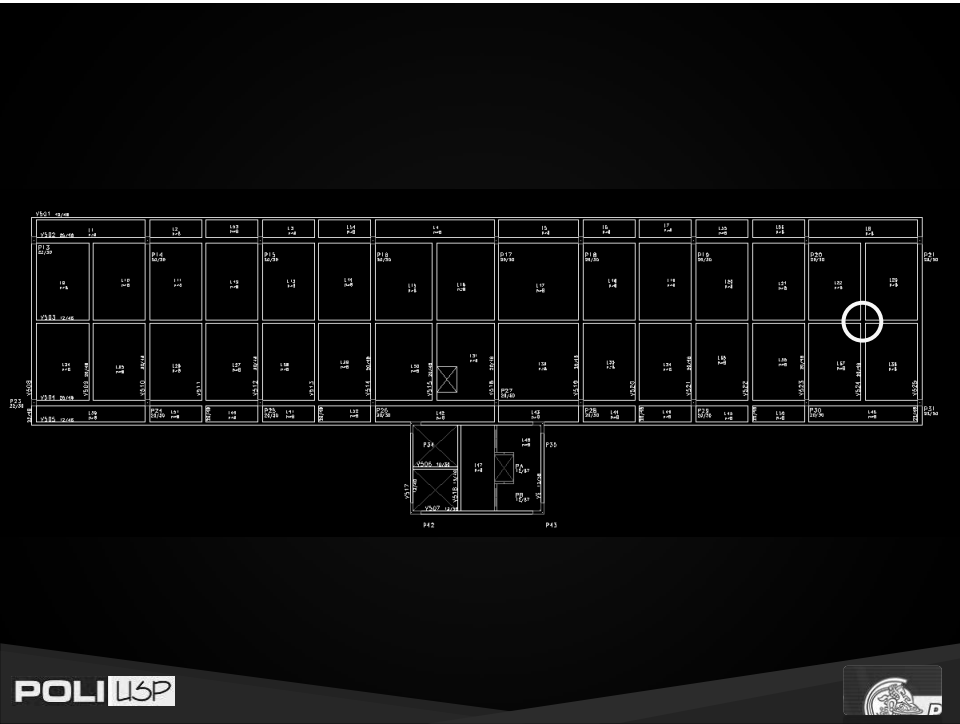
Aceleração máx. $y = 7,24\%g$

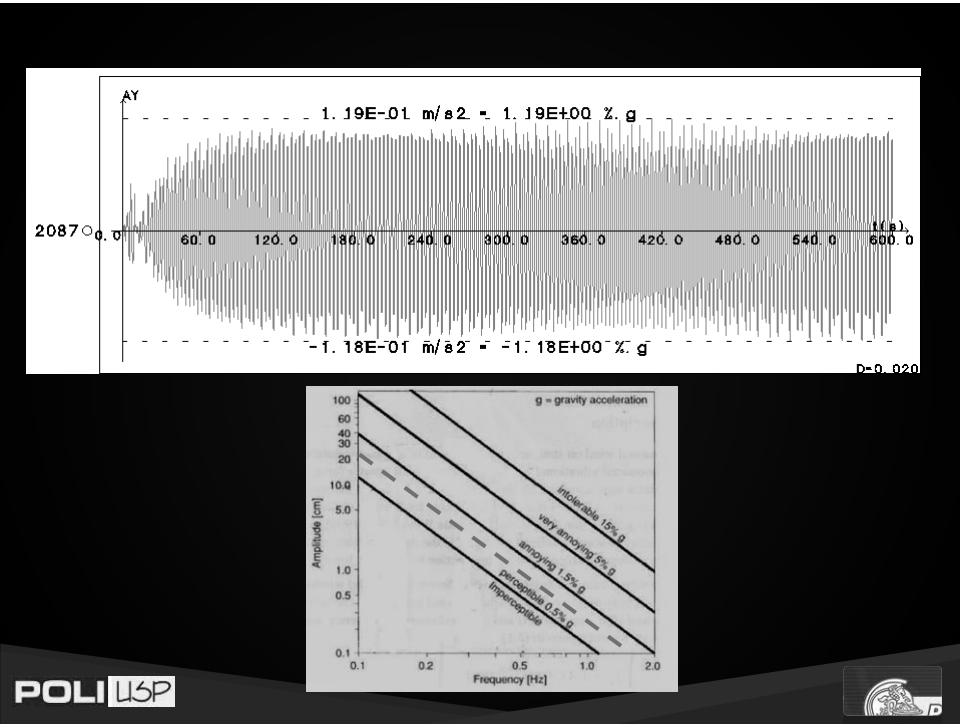
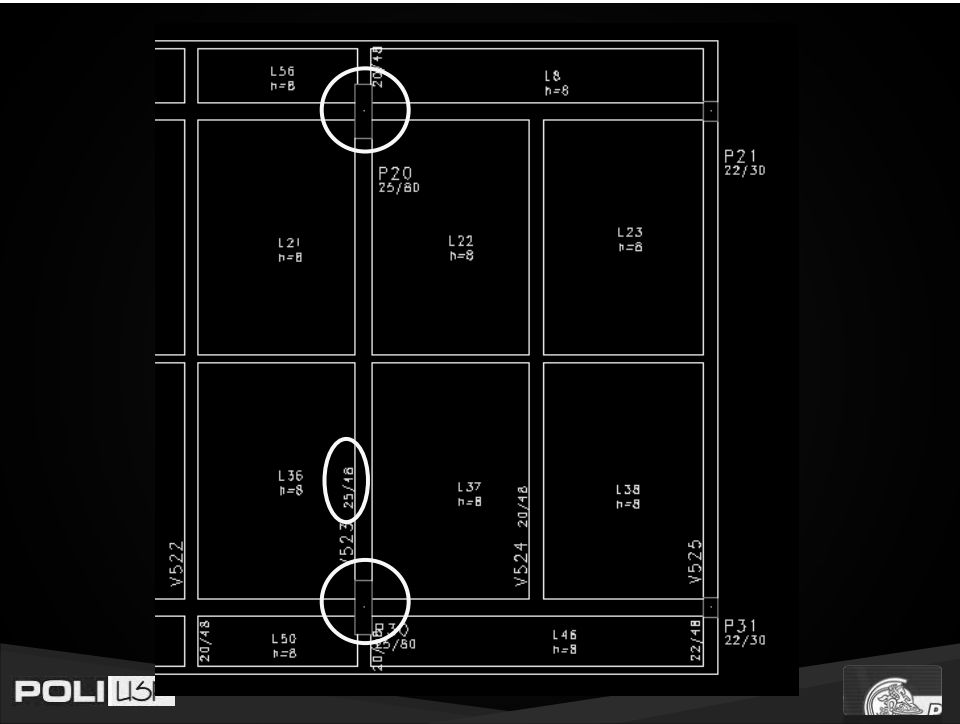


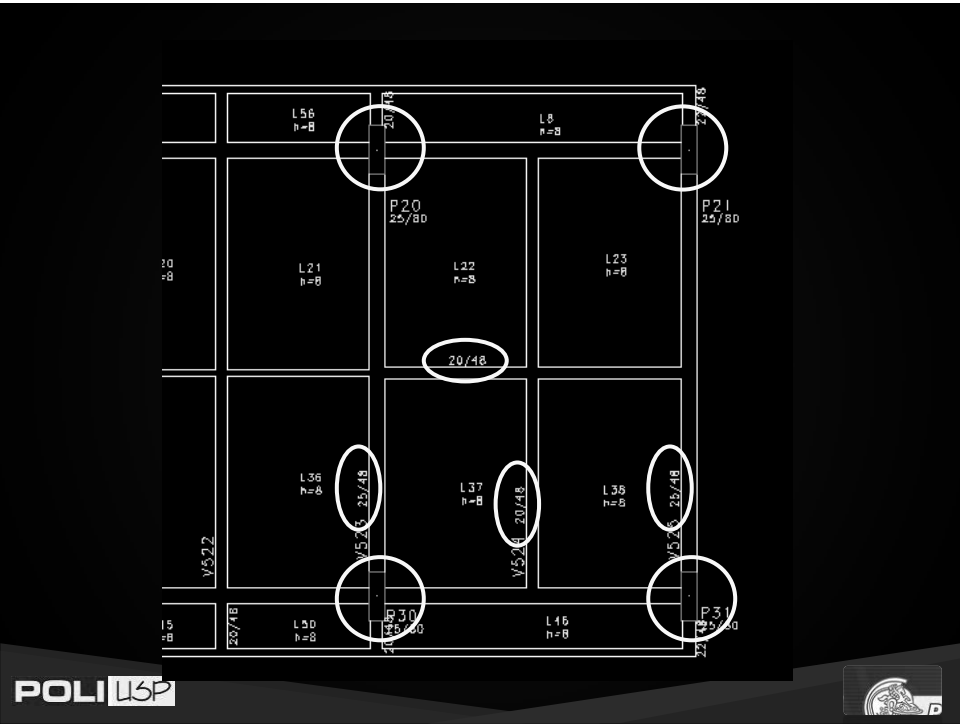
POLI USP



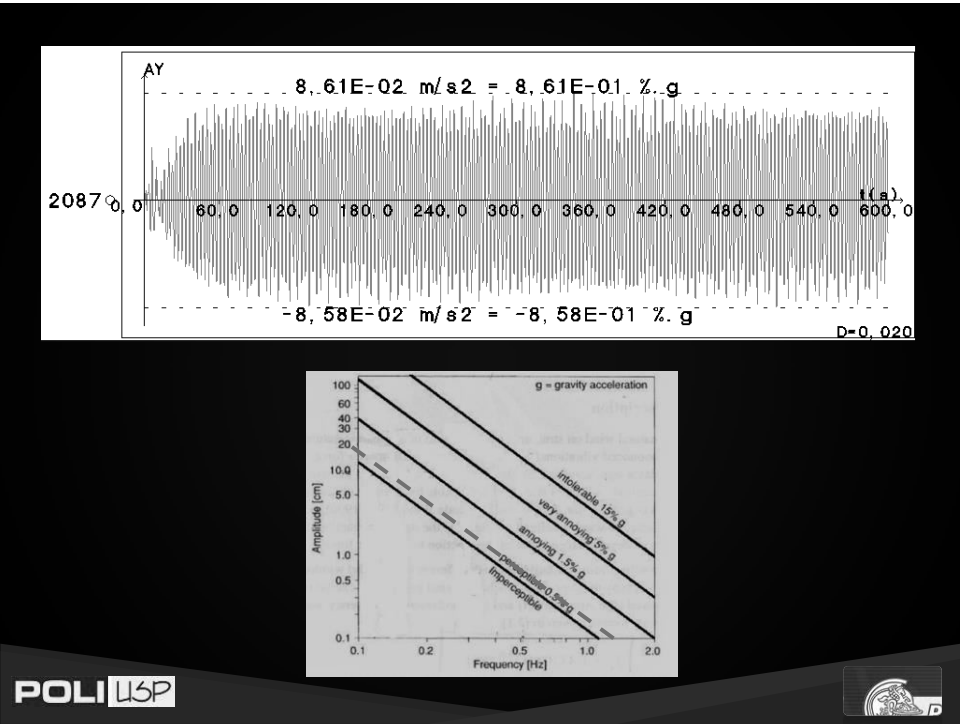








POLI USP



POLI USP



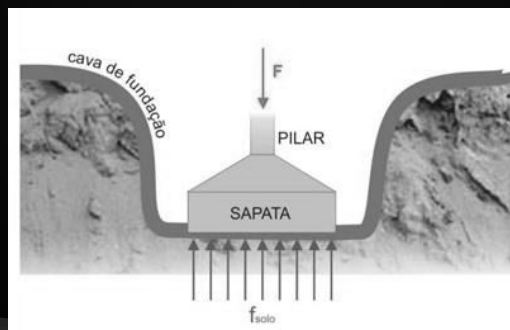
Sapatas & Blocos

POLI USP



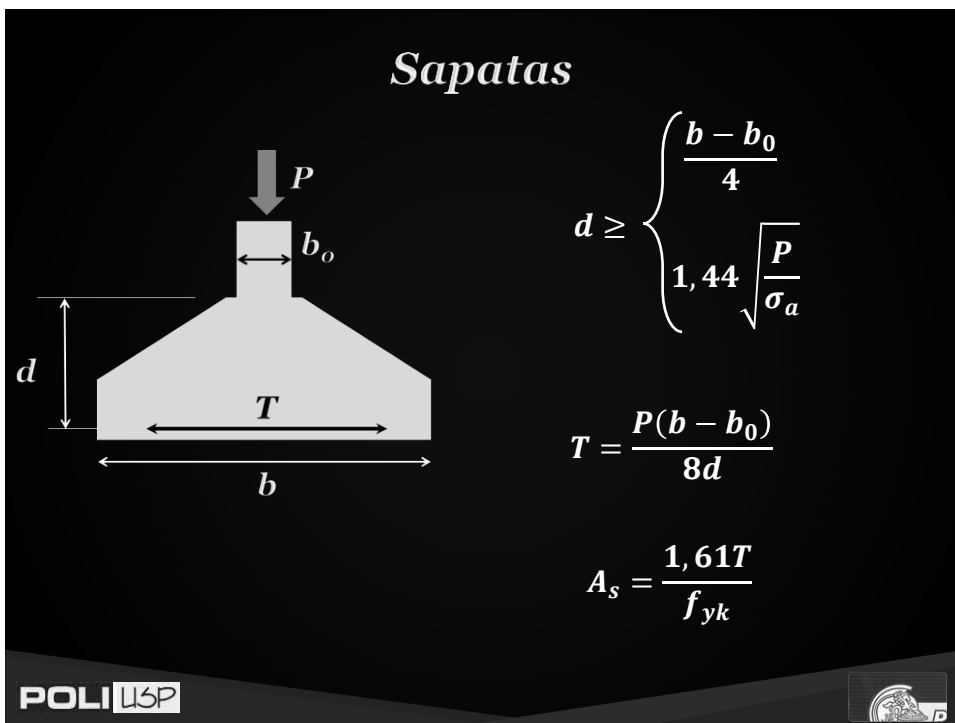
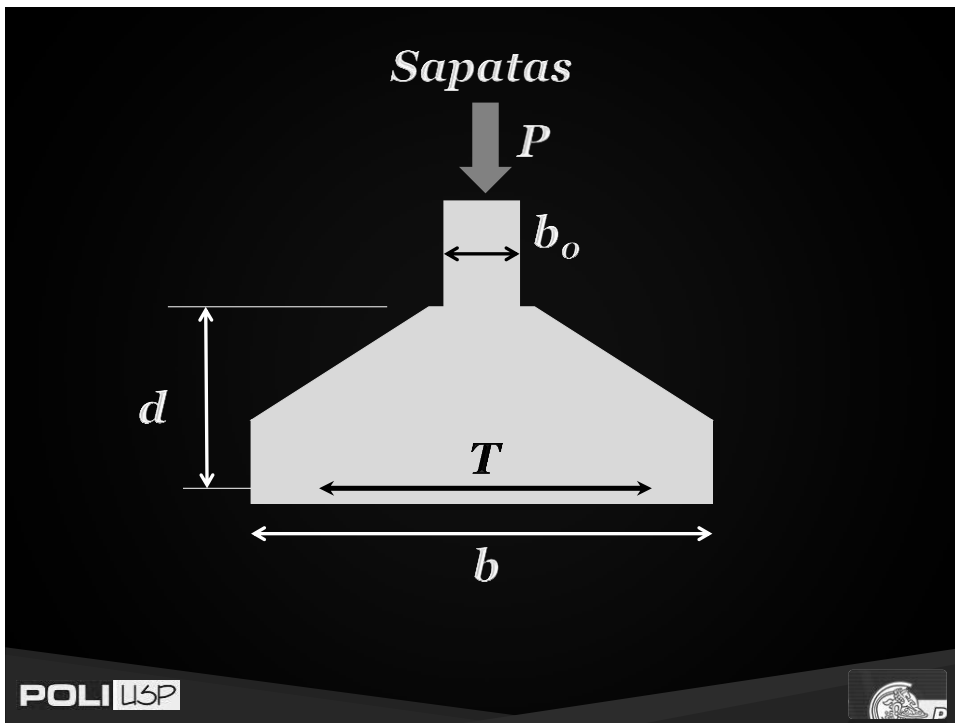
Sapatas & Blocos

Sapatas → Fundação Rasa, que se apoia logo abaixo da infra-estrutura e caracterizam pela transmissão da carga ao solo através da pressão distribuída sob sua base.



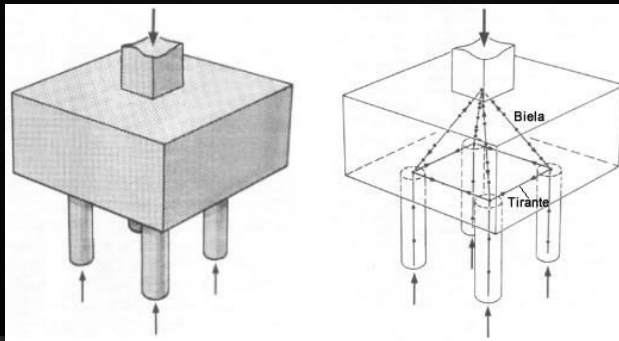
POLI USP





Sapatas & Blocos

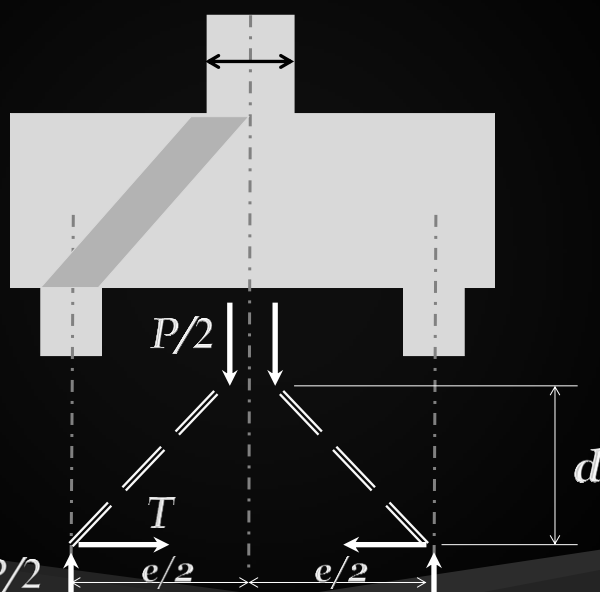
Blocos → Elementos de coroamento de estacas (fundação profunda), que tem como objetivo distribuir a carga do pilar para as estacas.



POLI USP



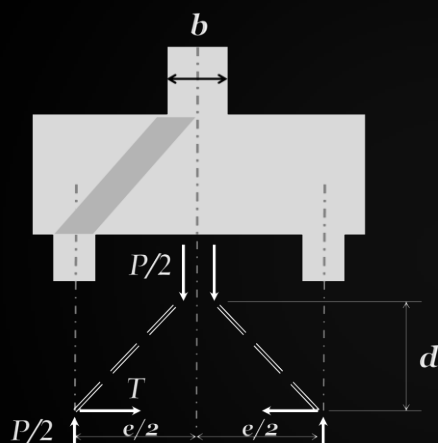
Blocos



POLI USP



Blocos



$$T = \frac{P(2e - b)}{8d}$$

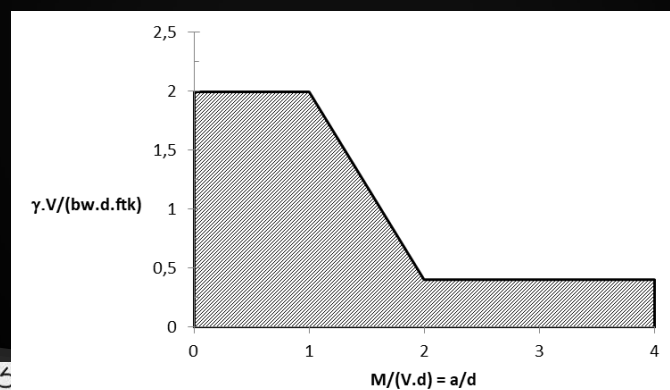
$$A_s = \frac{1,61T}{f_{yk}}$$

POLI USP



Blocos

$$\frac{\gamma \cdot V}{b_w \cdot d} \leq \begin{cases} 2f_{tk} & (\text{blocos com relação } a/d \leq 1) \\ f_{tk} & (\text{blocos com relação } 1 < a/d \leq 1,5) \\ 0,4f_{tk} & (\text{blocos com relação } a/d > 1,5) \end{cases}$$



POLI USP





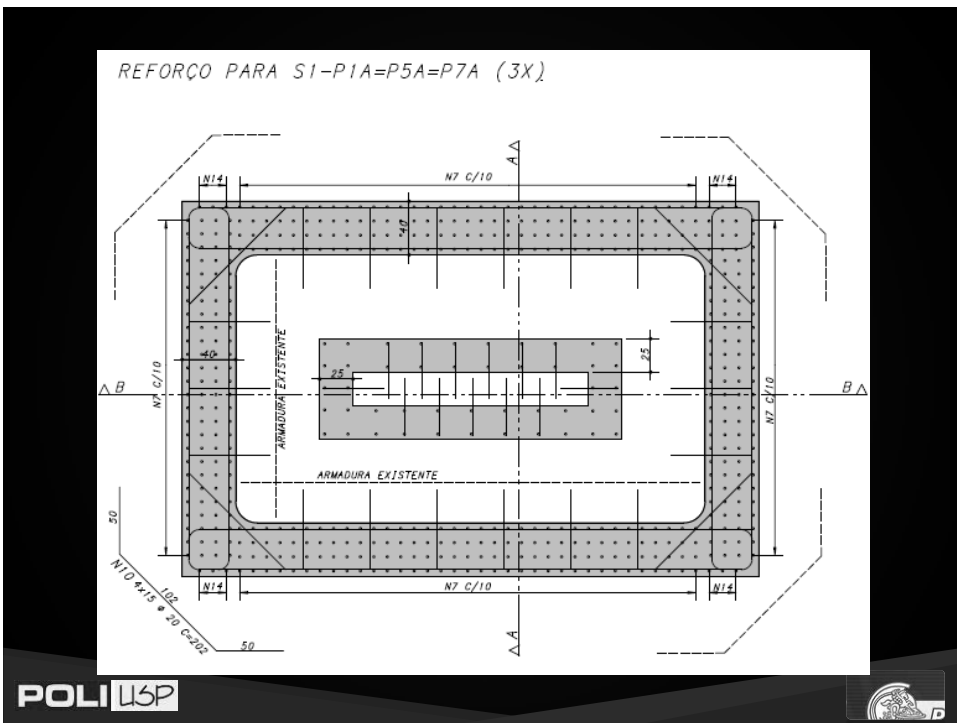


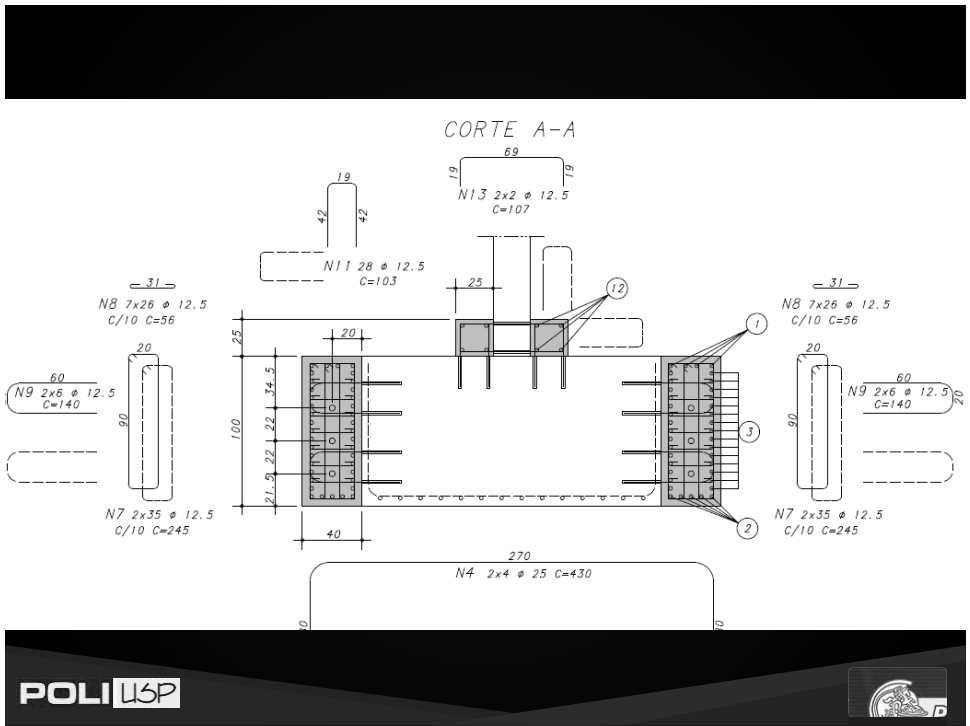












OBRIGADO!



www.concretophd.com.br