



PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Maio, 2023

Prof. Augusto Albuquerque

Mestre Eng. Estruturas (USP – 1999)

Doutor Eng. Estruturas (USP – 2007)

Pesq. Visitante (University Nebraska -2006)



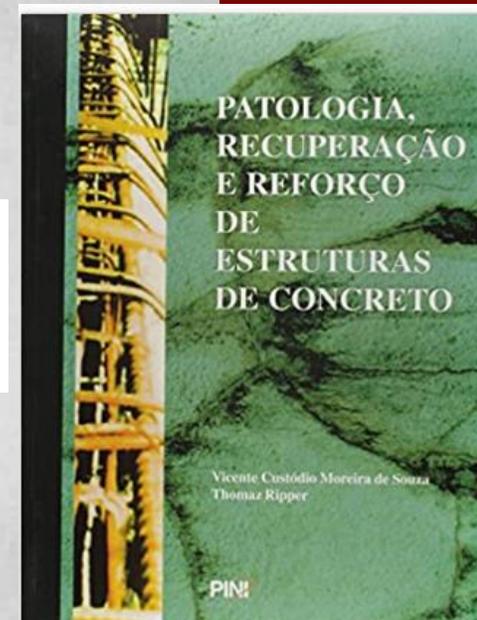
PROGRAMA

1. Avaliação de Estruturas;
2. Principais métodos de avaliação de patologias;
3. Estratégias de recuperação estrutural aplicadas situação prática;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

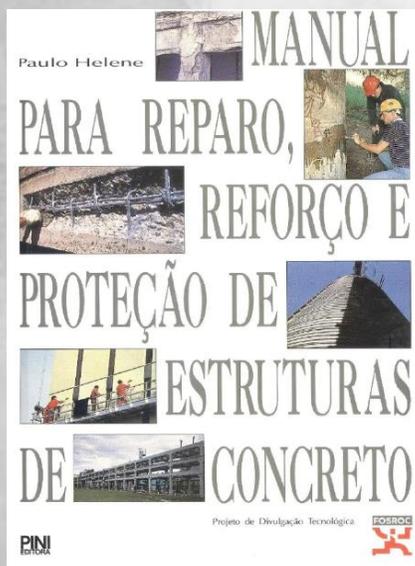
SOUZA, V.C.M. de; RIPPER, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo:PINI.

CÁNOVAS, M. F. (1988). *Patologia e terapia do concreto armado*. 1.ed. São Paulo: PINI.



HELENE, P. R. L. (1992). *Manual para reparo, reforço e proteção de estrutura de concreto*. 2.ed. São Paulo:PINI, 1992. 203p.

- ▶ TAKEUTI, A. R. (1999). Reforço de pilares de CA por meio de encamisamento. Dissertação, EESC.
- ▶ TAKEUTI, A. R. (2003). Comportamento resistente imediato e ao longo do tempo de pilares reforçados por encamisamento. Tese, EESC.



3

Estratégias de recuperação estrutural
aplicadas - situações práticas

PROCEDIMENTO GERAL: CORROSÃO

1. Eliminar concreto deteriorado;
2. Eliminar toda oxidação;
3. Avaliar redução da armadura;
4. Recompôr armadura;
5. Recompôr seção de concreto.

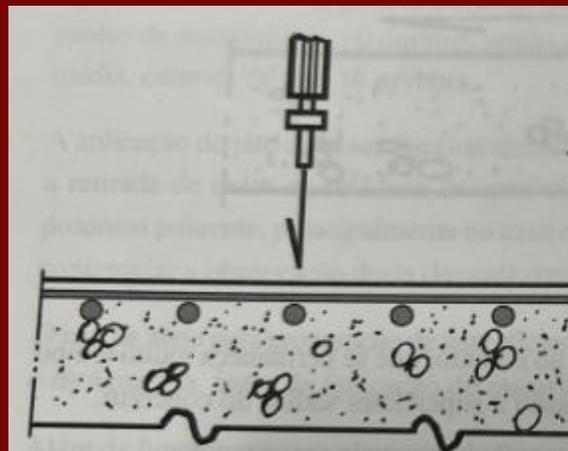


E A RESISTÊNCIA RESIDUAL???



PREPARO: ANTES DA RECOMPOSIÇÃO

2. Preparo Substrato: Corte e Apicoamento;
3. Desoxidação Armadura existente:
Jateamento de areia;
4. Armadura reposição;
5. Limpeza;
6. Inibidor de corrosão;
7. Ponte de aderência;
8. Recomposição da seção.



Figuras 3.6 - Apicoamento mecânico

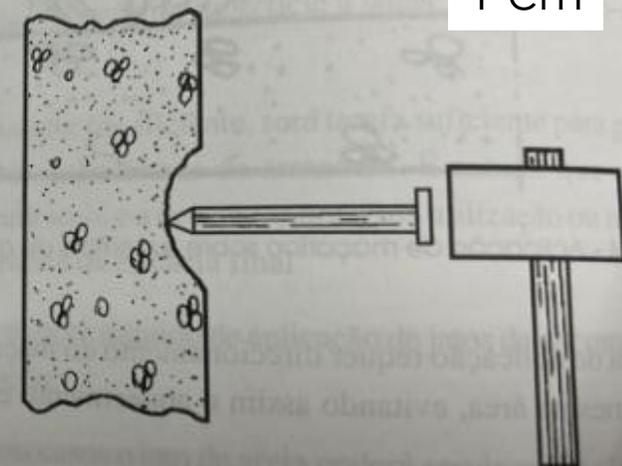


Figura 3.7 - Apicoamento manual

1 cm

RECOMPOSIÇÃO SEÇÃO CONCRETO



Realizar a recomposição do concreto deteriorado com argamassas de reparo tixotrópicas, tipo **Sika Repair®-222 BR** ou **Sika MonoTop®-622 BR** por aplicação manual, de maneira a preencher todos os vazios entre as barras da armadura ou...



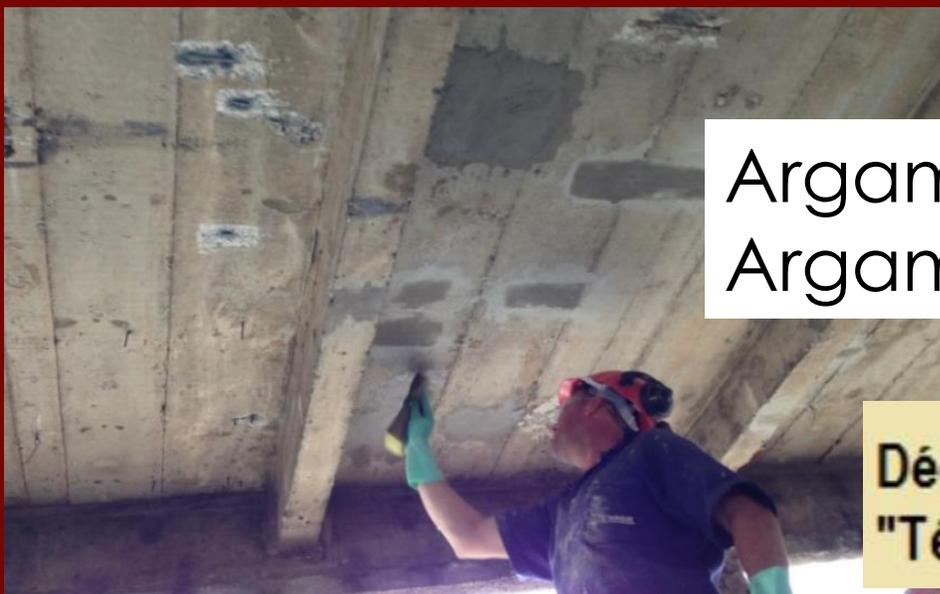
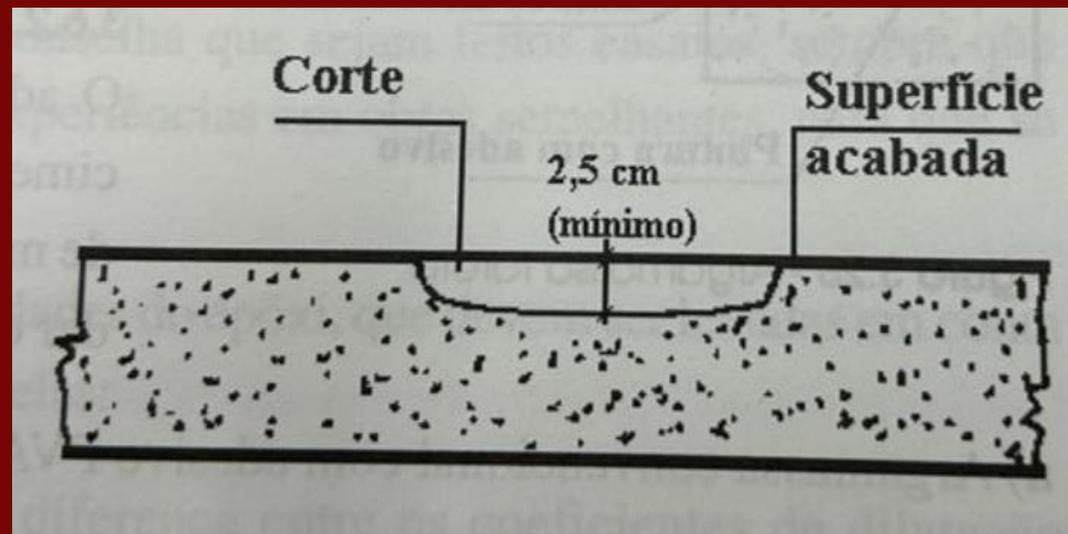
...em obras com grandes volumes de aplicação, a aplicação poder realizada por projeção, com aumento considerável de produtividade.



Para grandes espessuras de recomposição, pode-se optar pela aplicação de grautes fluidos tipo **SikaGrout®-250** ou **SikaGrout®** com auxílio de fôrmas de madeira.

RECOMPOSIÇÃO DA SEÇÃO: DANOS SUPERFICIAIS

1. Pequenos reparos e superficiais;
2. Falhas de concretagem, pouco profundas, após desforma;
3. Danos superficiais;



Argamassa seca (Cimento e Areia)
Argamassa Polimérica

Décio Rey Pereira é Engenheiro Civil, Diretor da "Técnicas Especiais de Engenharia Ltda", cuja

RECOMPOSIÇÃO: DANOS PROFUNDOS

- ▶ Concreto → Necessita forma, dificulta ponte, cuidado com: retração (CURA!);
- ▶ Groute → Microconcreto (concreto fluido com pedrisco) é compacto e uniforme → Baixa retração, alta resistência inicial e auto-adensável;
- ▶ Projettato → Dispensa forma



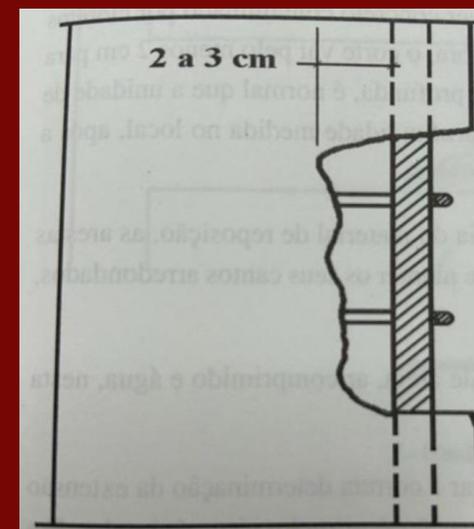
DANOS SUPERFICIAIS X PROFUNDOS

1. Superficiais: profundidade até 2 cm;
2. Intermediários: entre 2 cm e 5 cm;
3. Profundos: superiores a 5 cm

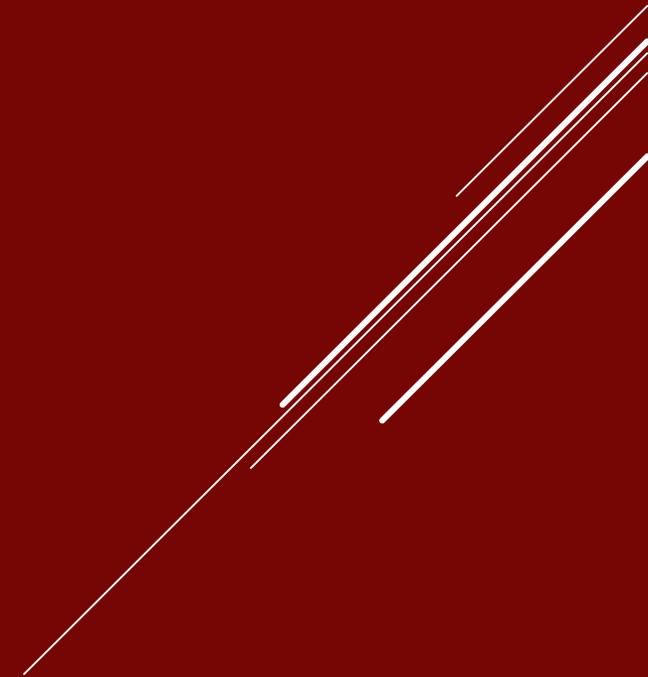
Argamassas

Até 5 cm, mas mantendo relação com a área. EX: 1 m²?? (2,5 cm)

Grout

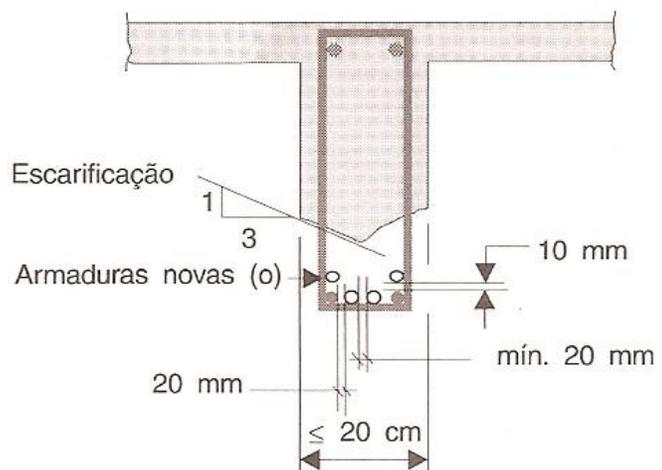


Estratégias Específicas

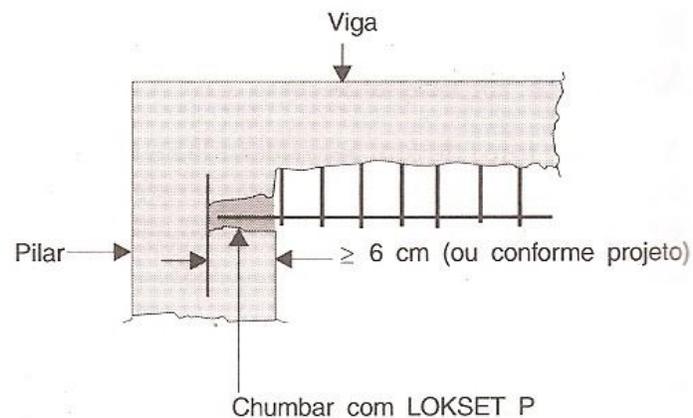
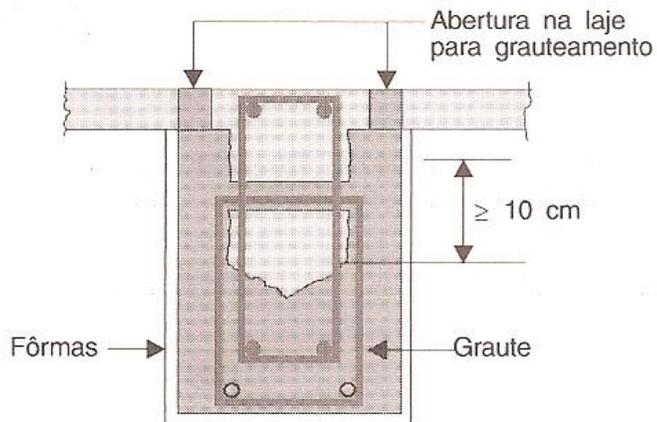
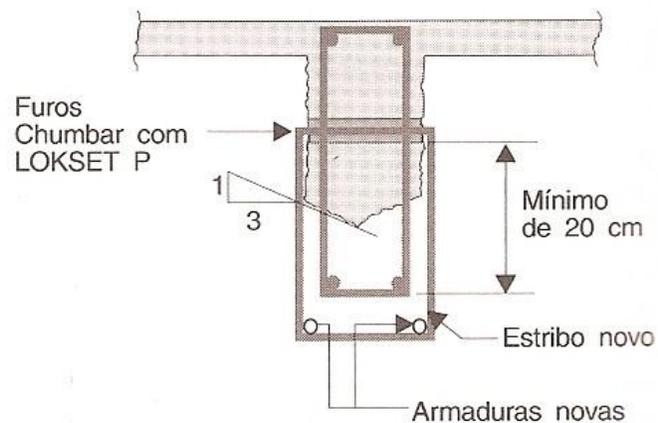


Reforço - Flexão

Alternativa 1



Alternativa 2



Paulo Helene

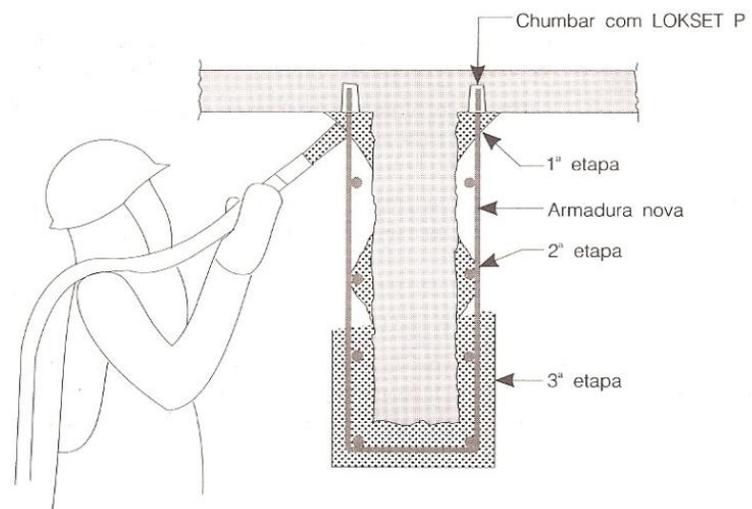
MANUAL

PARA REPARO, REFORÇO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

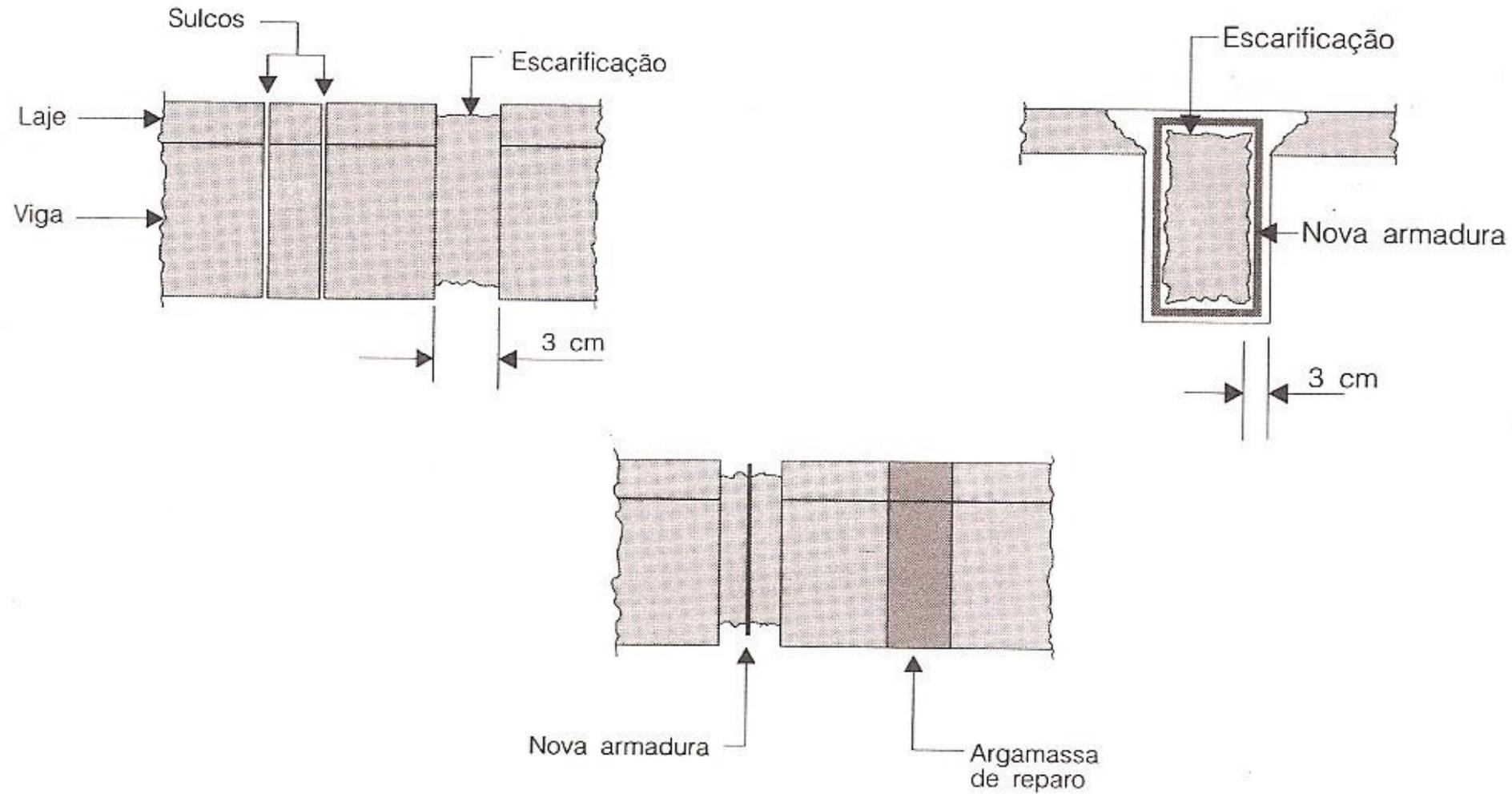
Projeto de Divulgação Tecnológica

PROSDOC

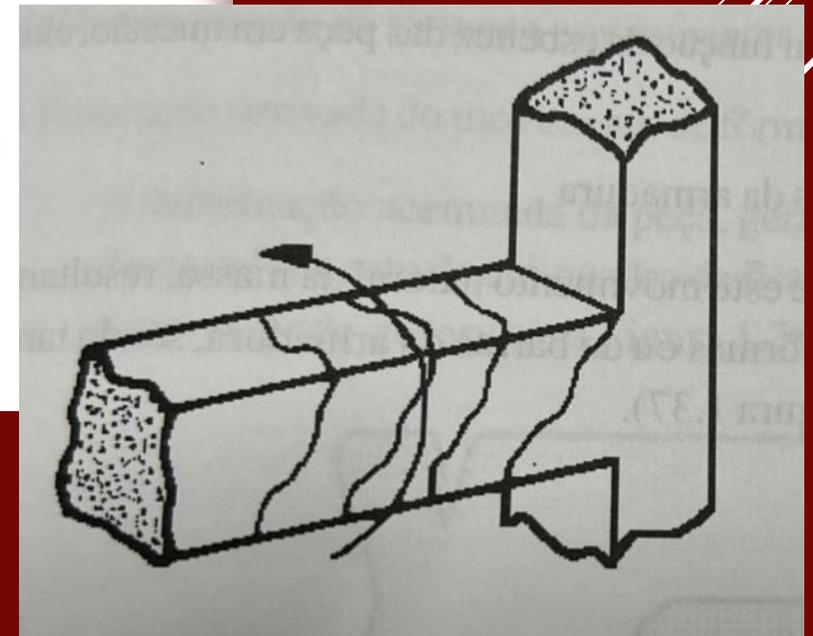
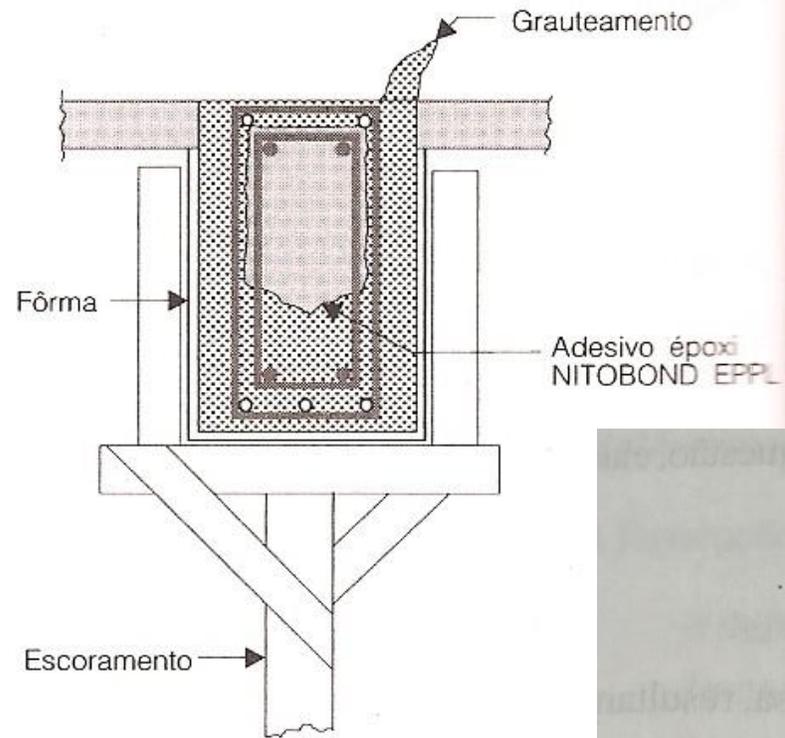
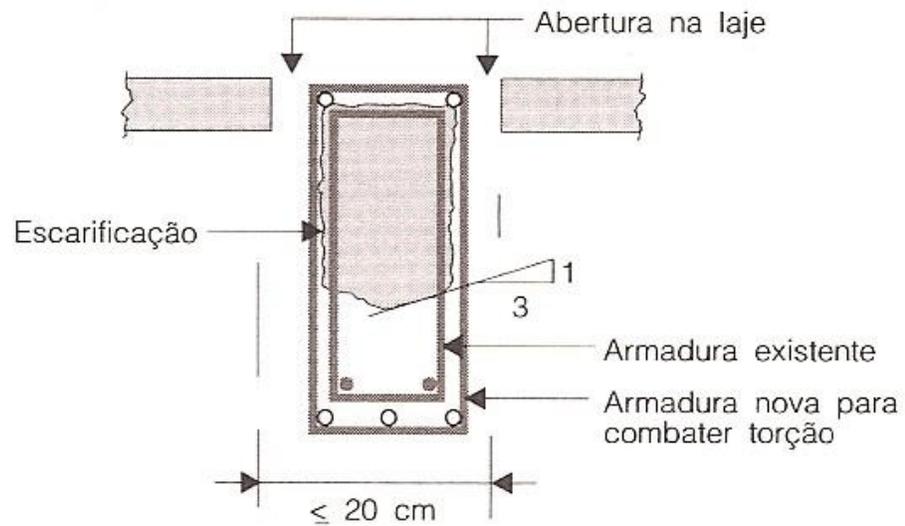
Reforço - Flexão

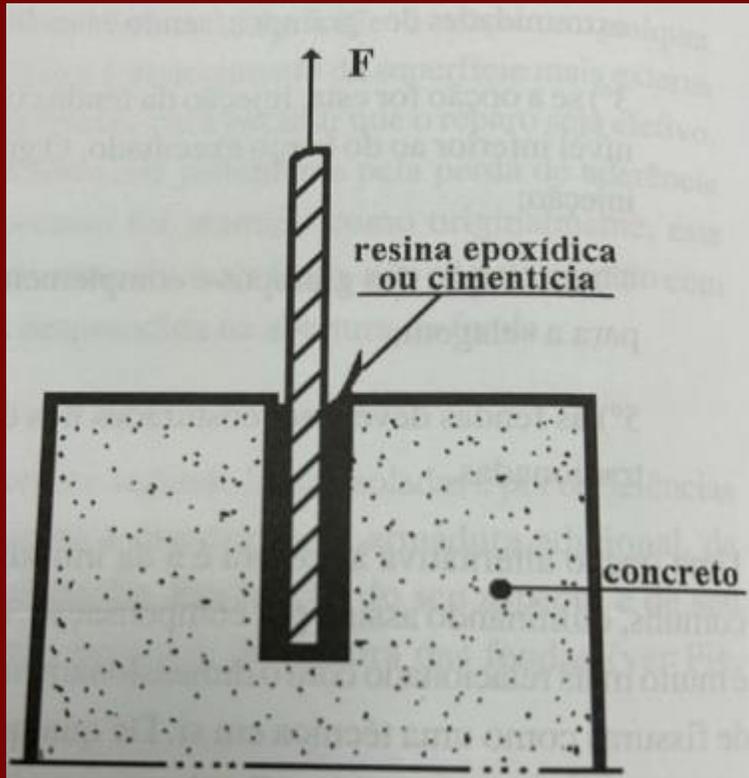


Reforço - Cortante

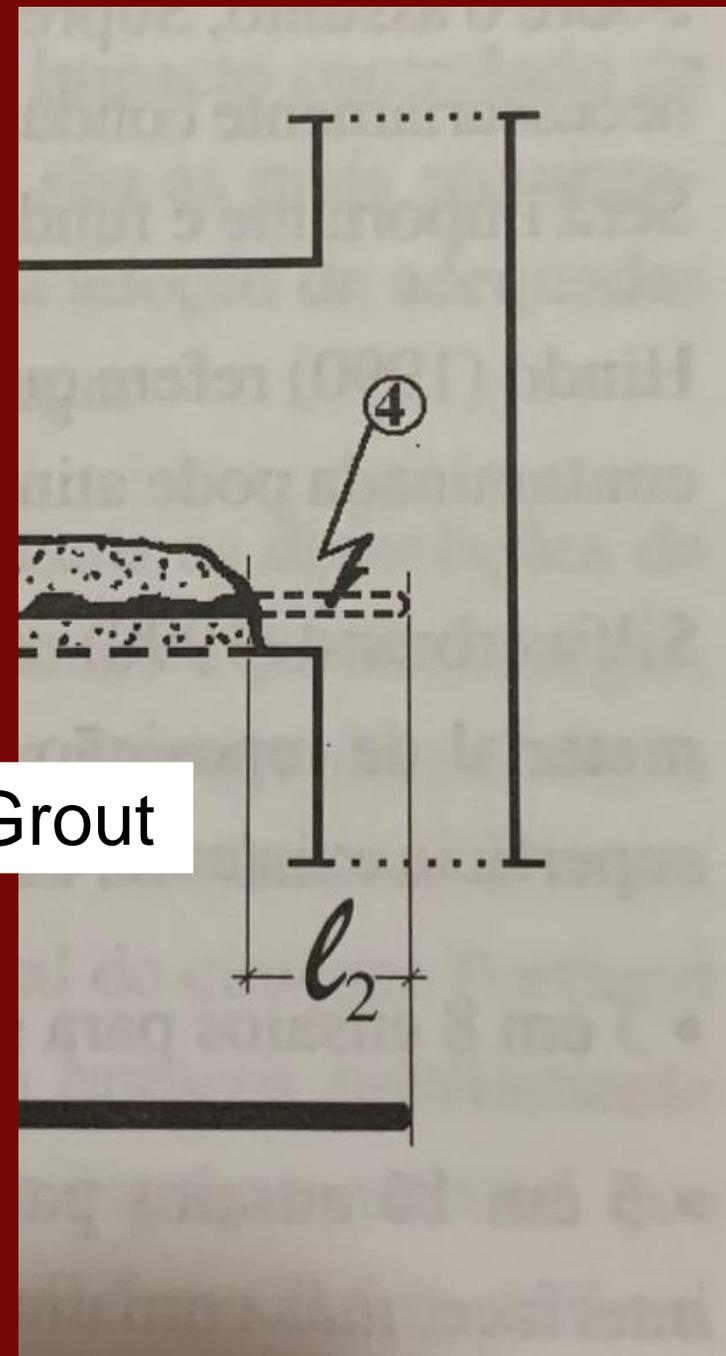


Reforço - Torção

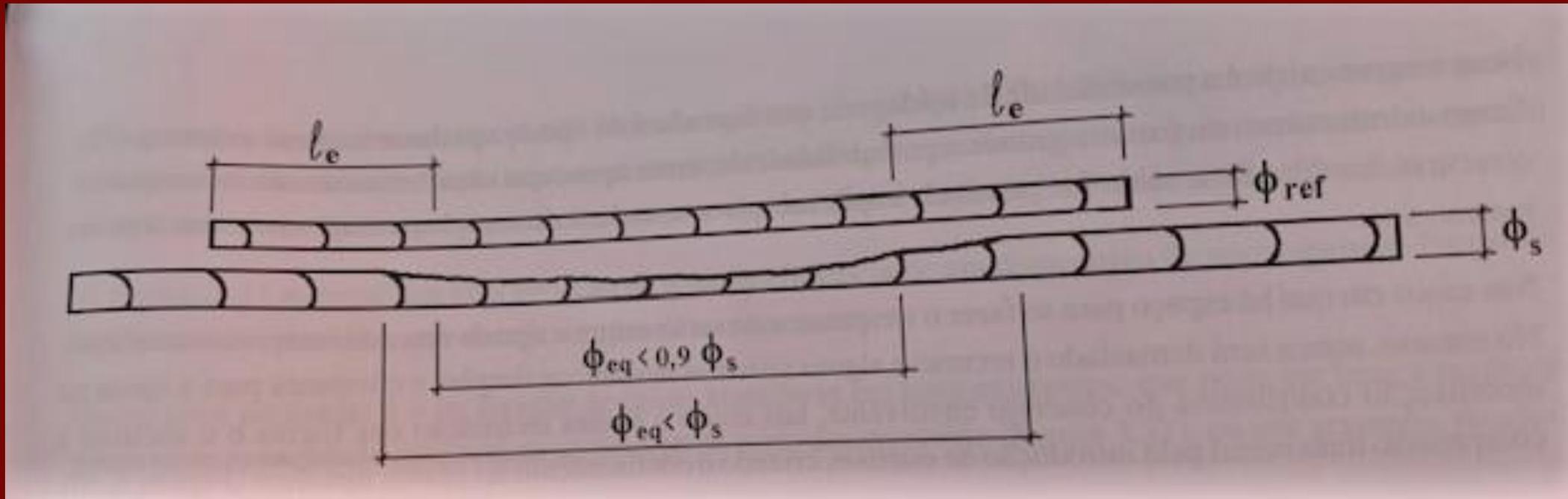




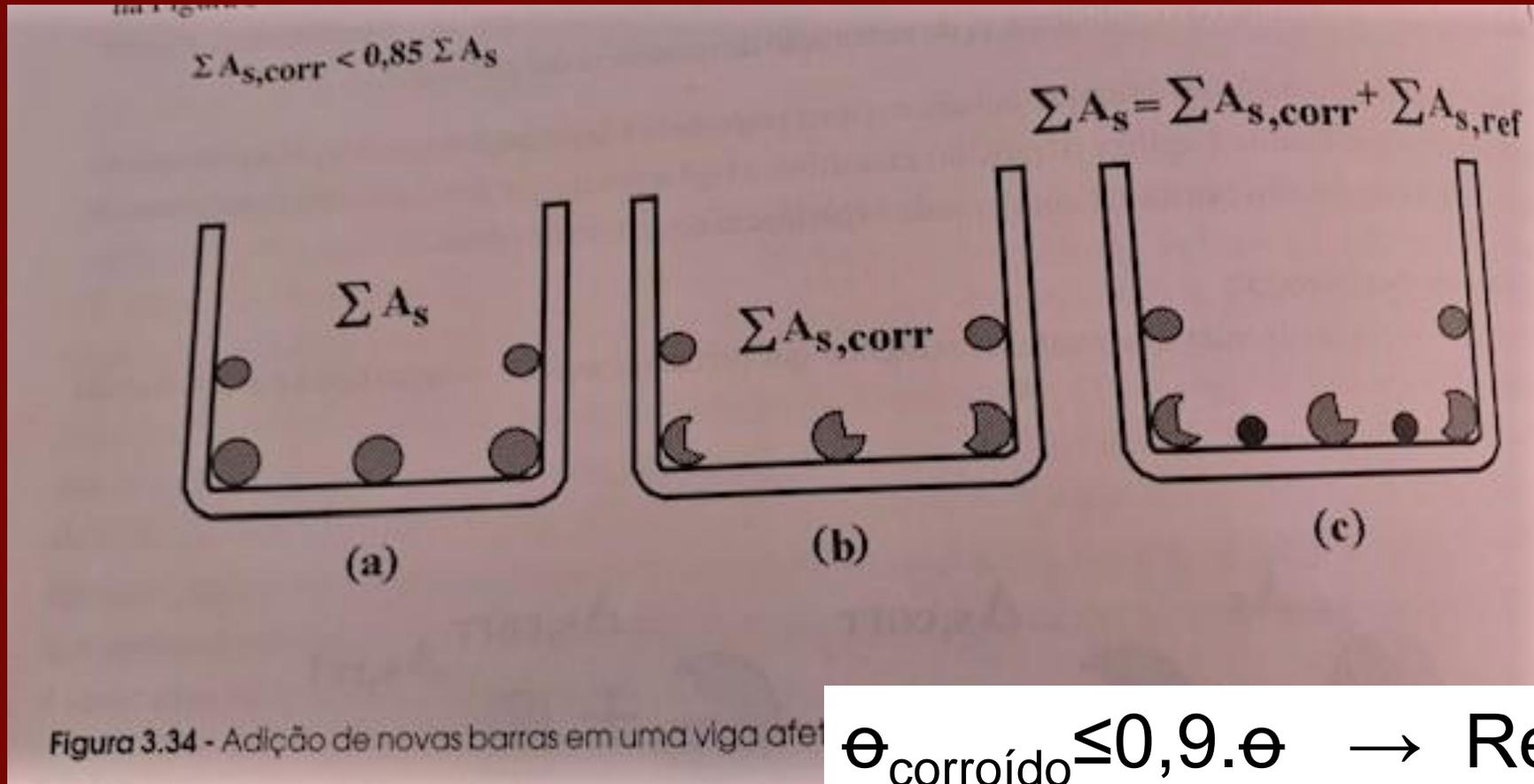
0,7.lb → Grout



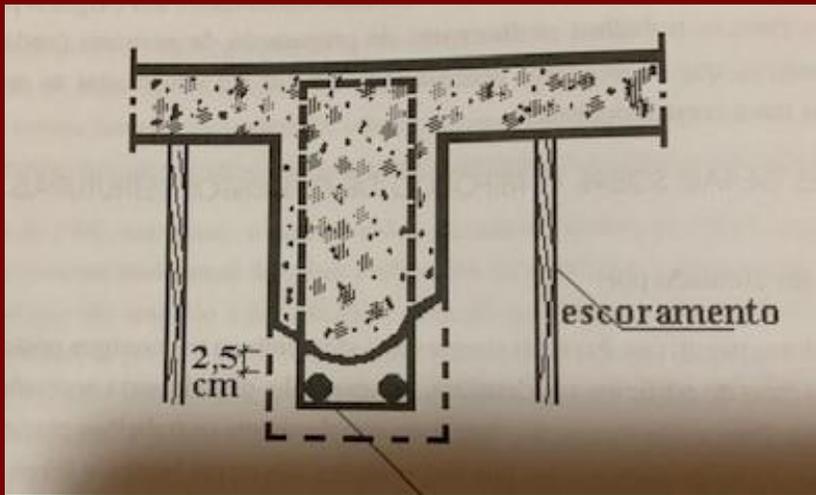
ANCORAGEM



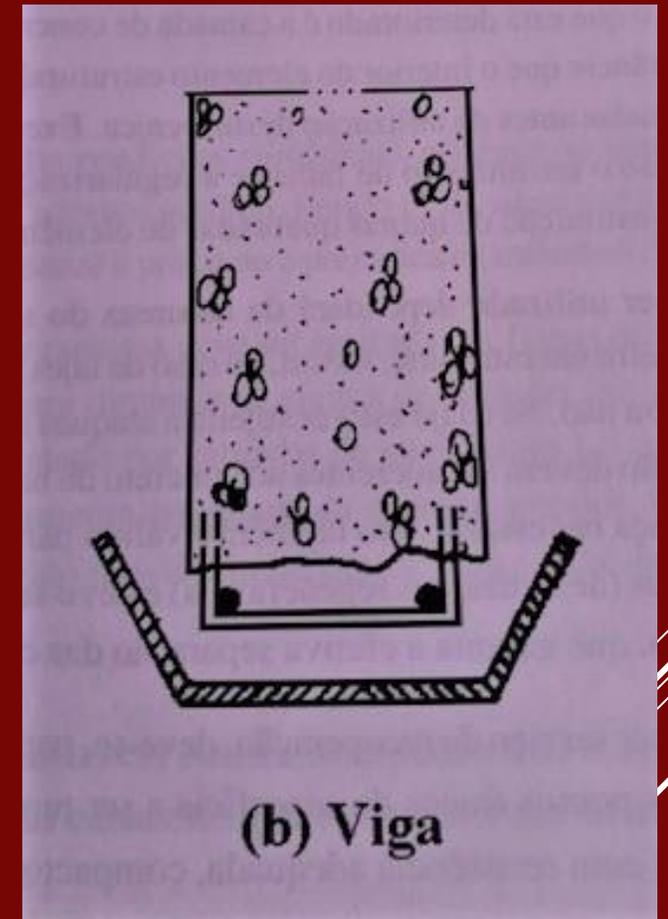
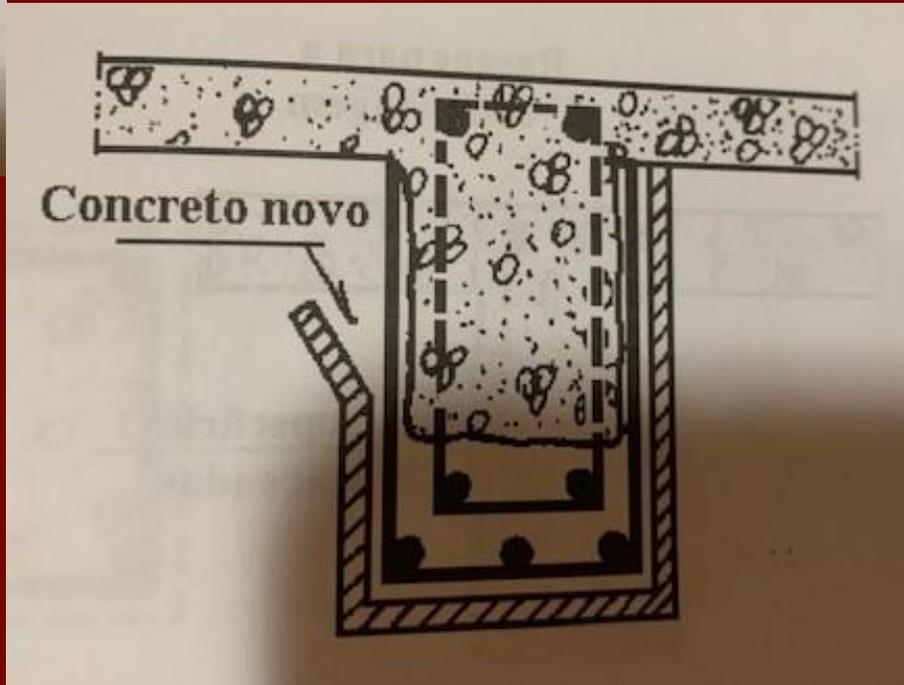
SUBSTITUIÇÃO BARRAS LONGITUDINAIS



RECOMPOSIÇÃO ARMADURA VIGAS



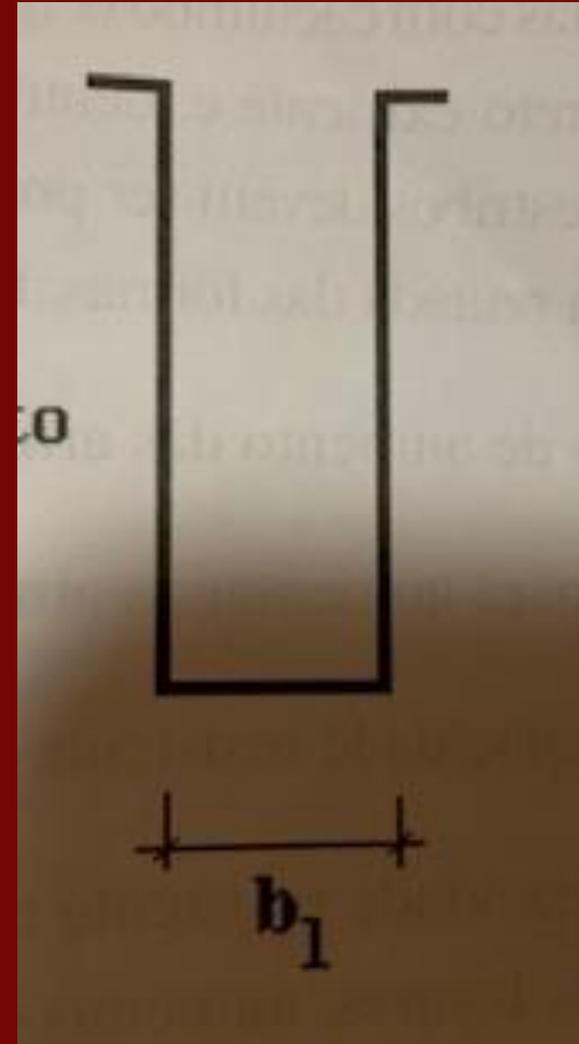
Acréscimo
Flexão

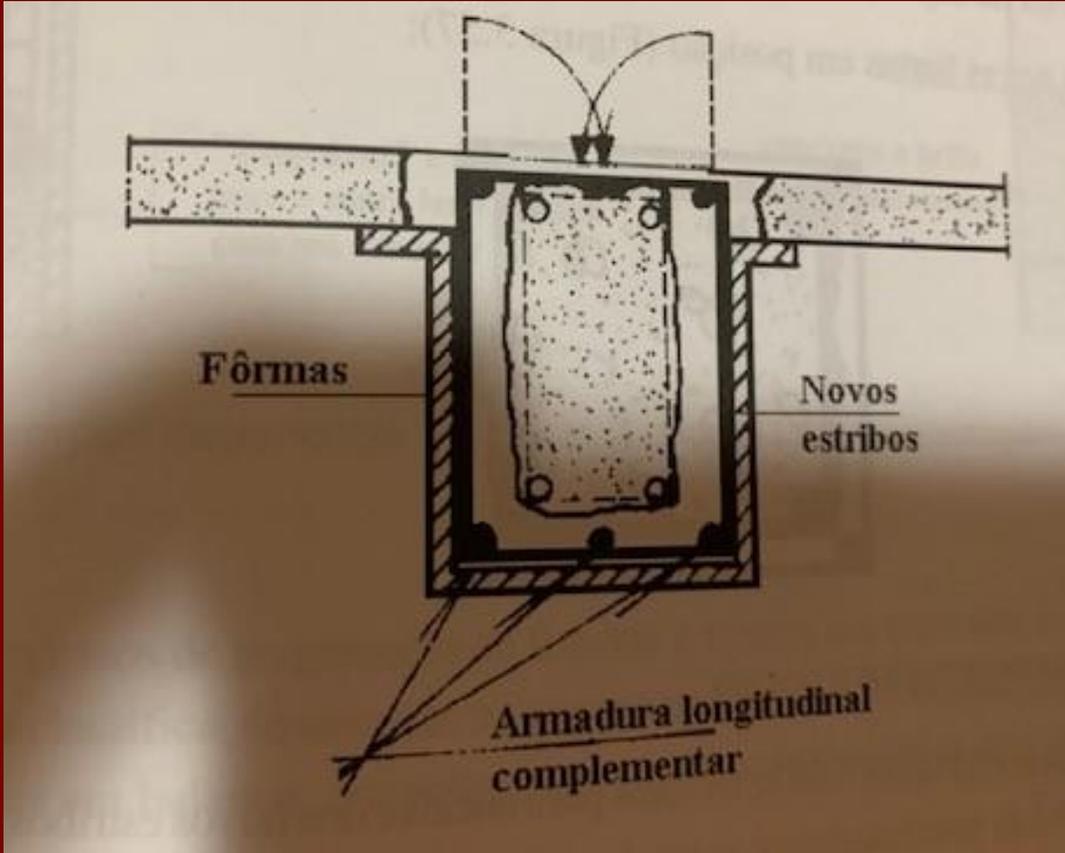


ESTRATÉGIAS: VIGAS

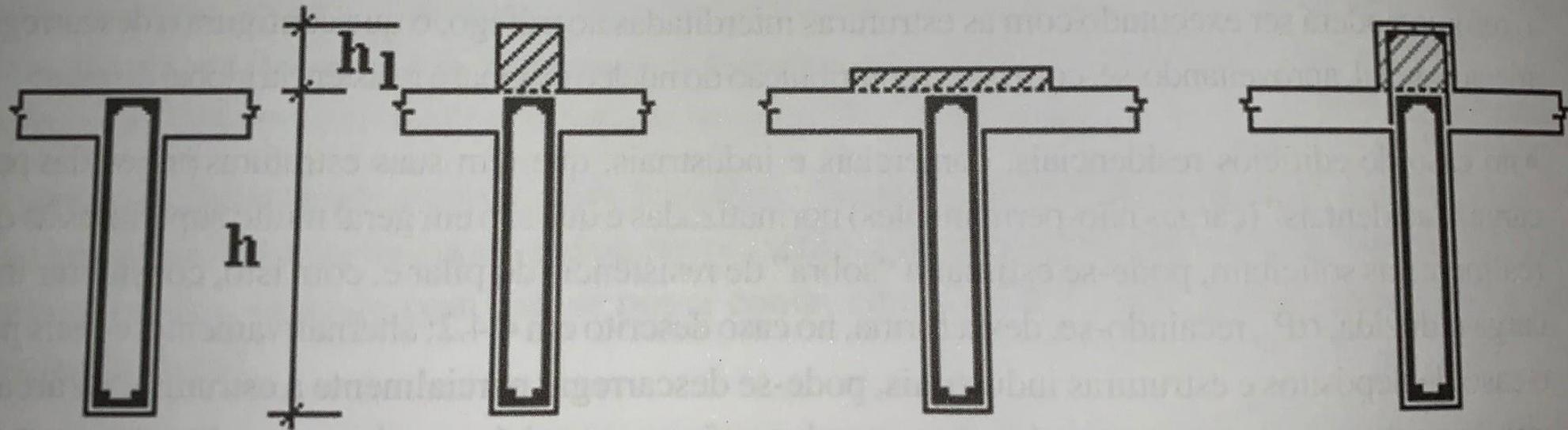


ESTRATÉGIAS: DEFICIÊNCIA
CISALHAMENTO





ESTRATÉGIAS: VIGAS



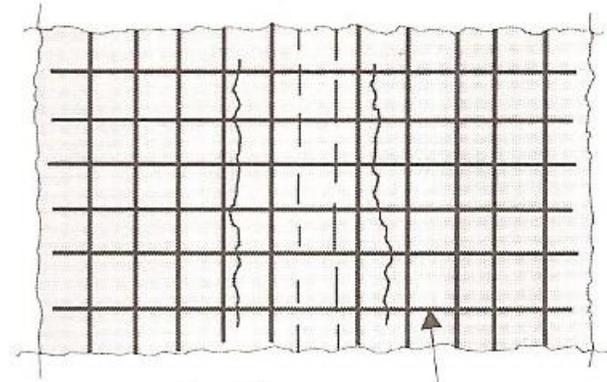
(a) viga original

(b) reforços sem estribos de ligação

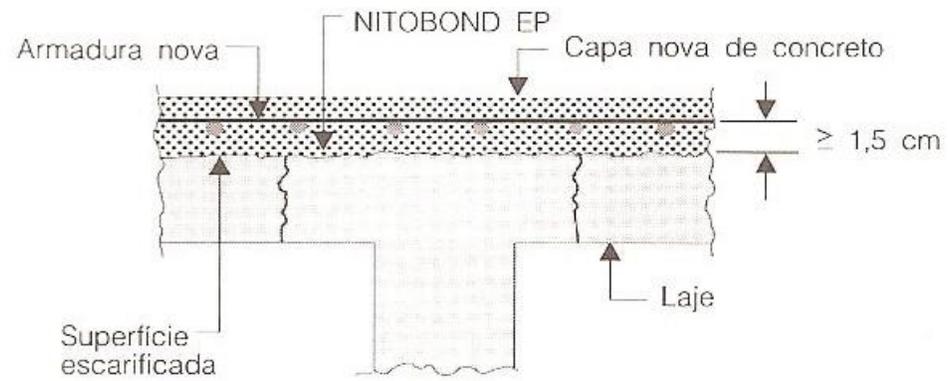
(c) reforço com estribos de ligação

Qual capacidade resistente está sendo implementada?

Reforço - Flexão

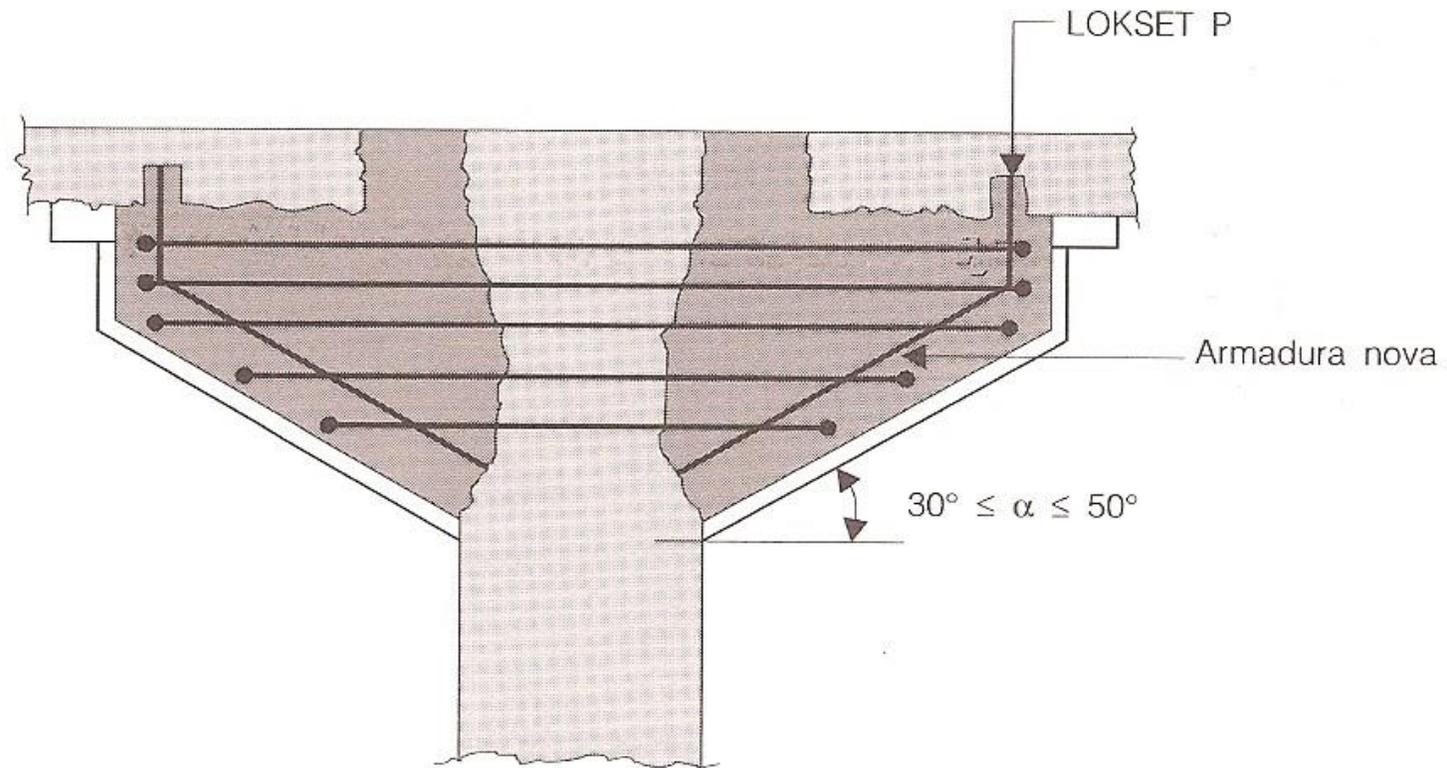


Armadura nova



LAJES

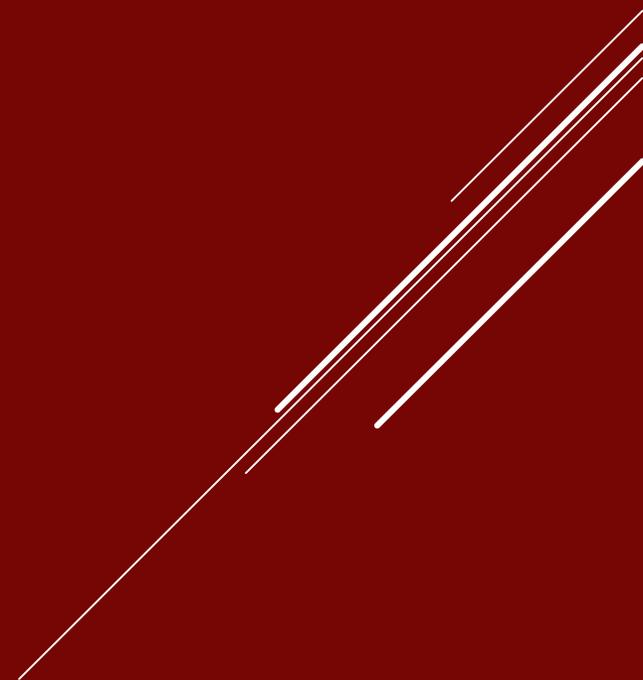
Reforço - Punção



PUNÇÃO

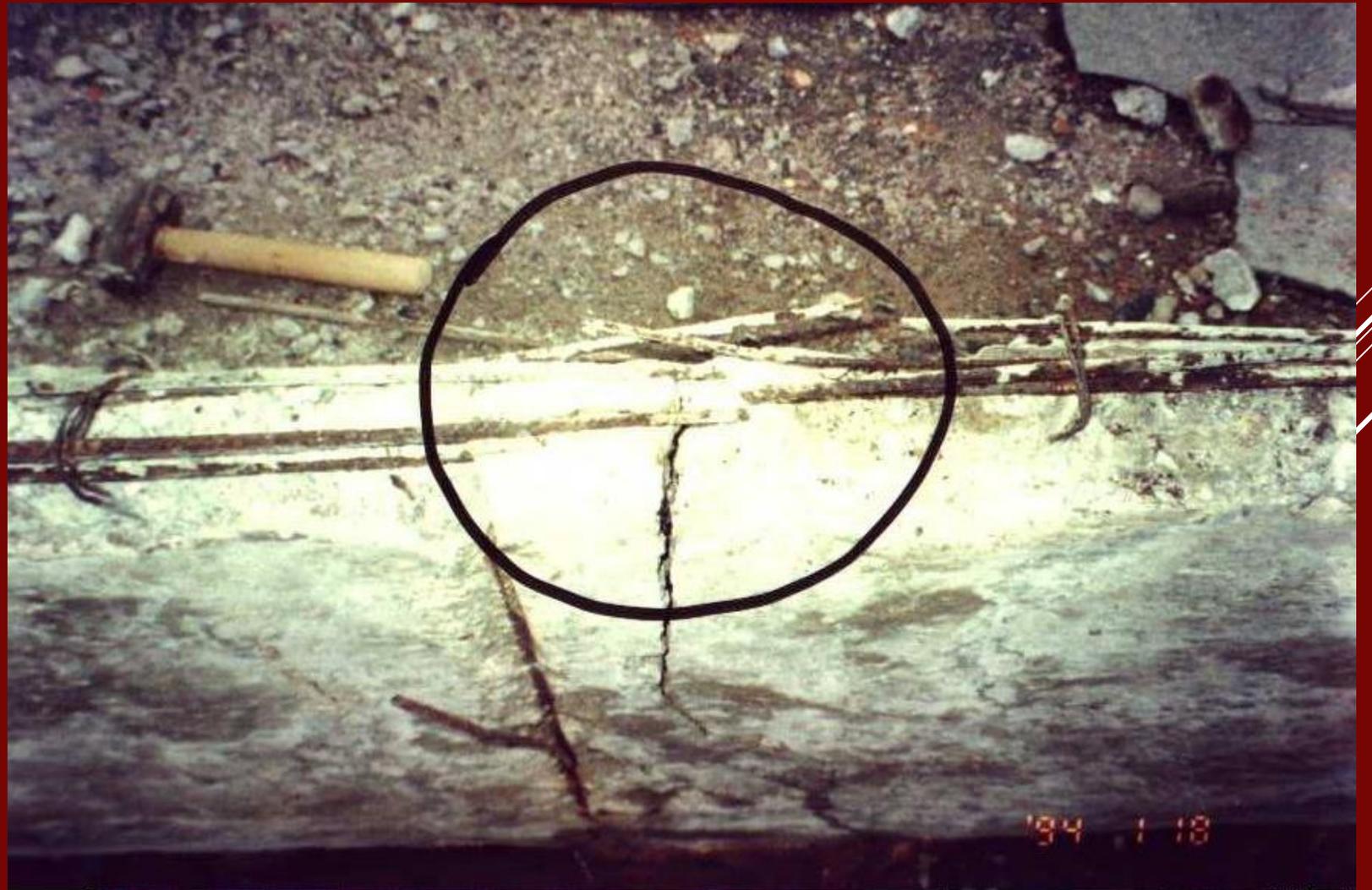
4

Exemplos Aplicações



PAVIMENTO COBERTA – PRAIA FUTURO

VIGA INVERTIDA EM BALANÇO





PREPARO



SERVIÇO CONCLUÍDO

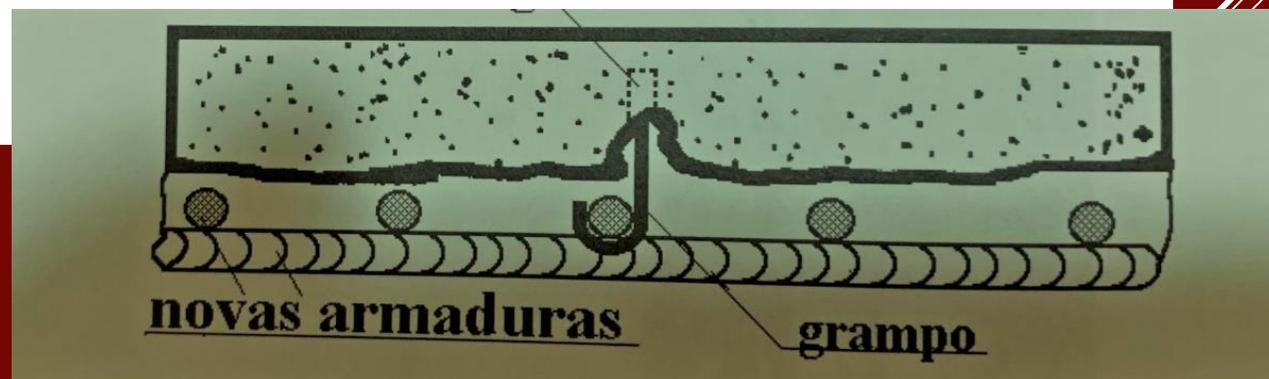
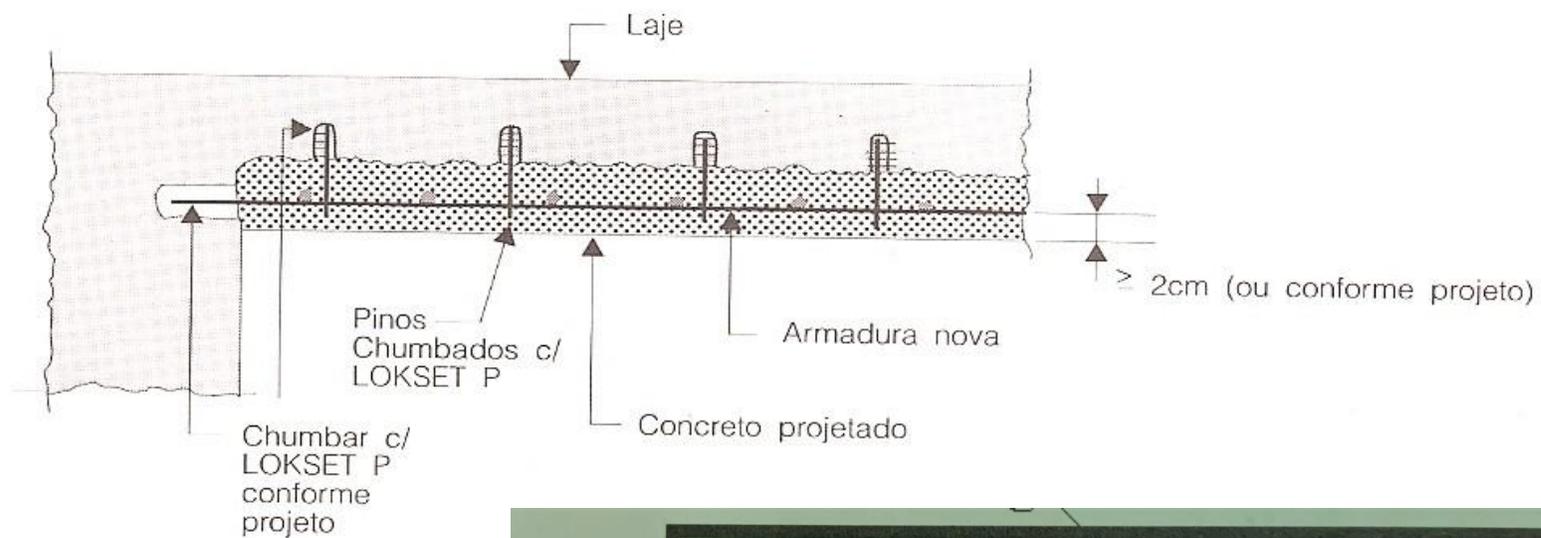




APÓS RETIRADA CONCRETO
DESPLACADO



Reforço - Flexão



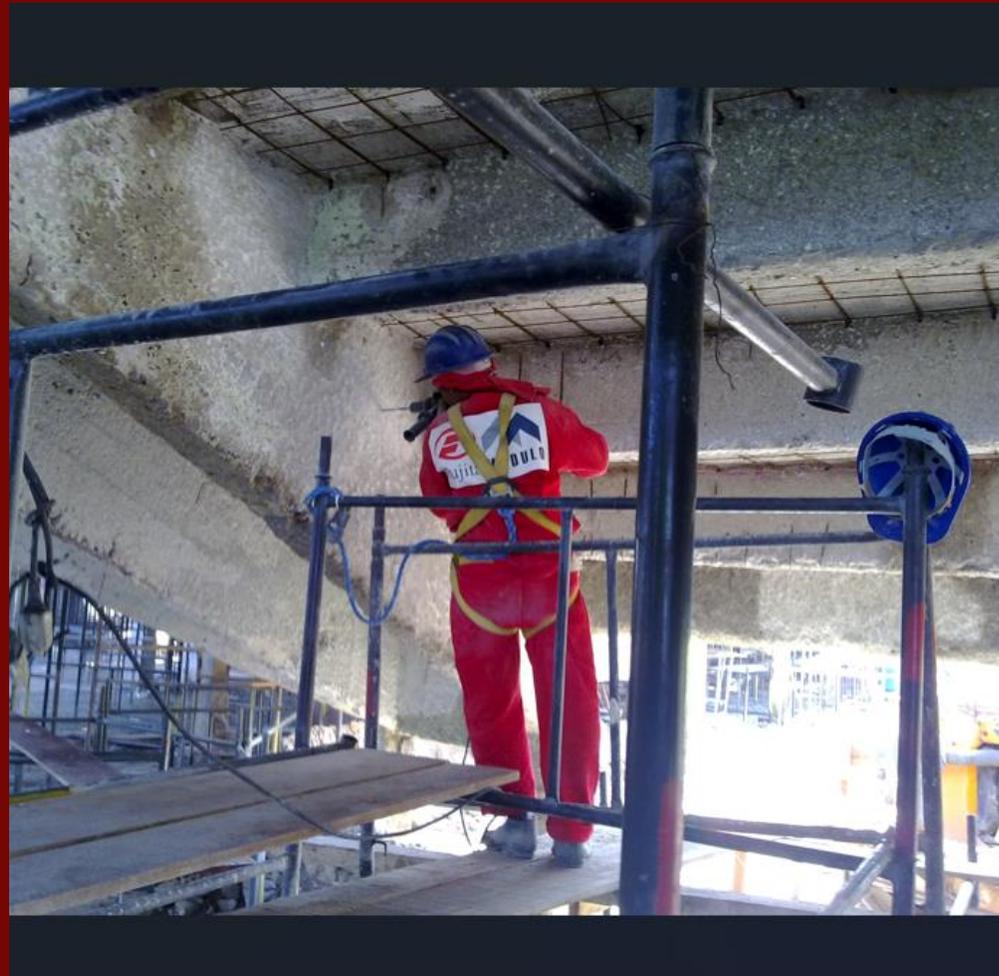
LAJES



ESTÁDIO PRESIDENTE VARGAS



APICOAMENTO



FURAÇÃO PARA CHUMBADORES

COLOCAÇÃO REFORÇO



HIDROJETEAMENTO

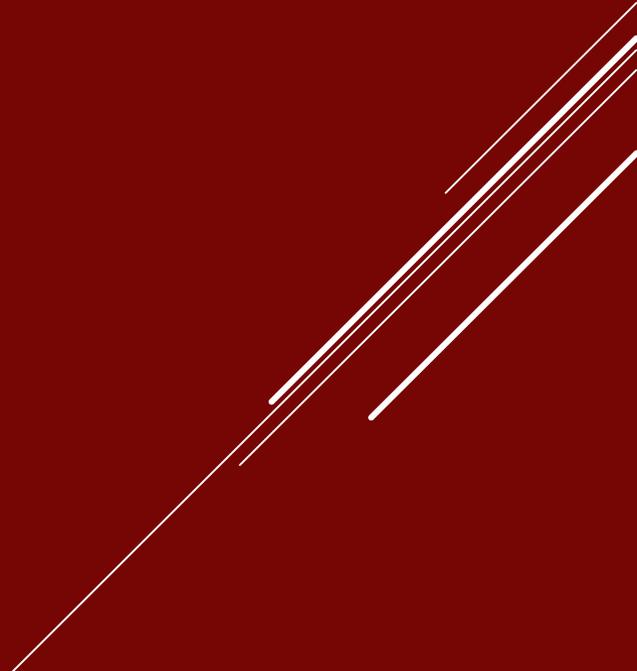




PROJETADO



PILARES



REFORÇOS PILAR (TAKEUTI, 2003)

Um aspecto duvidoso em todos os tipos de métodos de reforço de pilares é a necessidade do descarregamento do elemento estrutural, em que geralmente são utilizados pontaletes de madeira, perfis metálicos e em alguns casos é construído um pilar de alvenaria, conforme Figura 2.1.



Figura 2.1: Tipos de sistemas de alívio de carregamento
(SAWADA, 2002)

A situação da introdução do reforço com o alívio total ou parcial do pilar, é um assunto polêmico que ainda justifica o fato de desconsiderar a parcela resistente existente ainda no pilar original, porém resultados obtidos por ERSOY et al. (1993), que estudaram o reforço por encamisamento com concreto, executado com pilares carregados e descarregados, mostram que praticamente não existe diferença quanto à capacidade resistente entre estas duas situações, sendo a diferença máxima obtidas entre elas de 10% a favor do pilar descarregado. BURKLE E SOUZA (1998) ensaiaram pilaretes reforçados sobre carregamento, e também evidenciaram a participação da capacidade resistente do núcleo, contudo os próprios autores salientaram que se deve fazer um estudo mais preciso com equipamentos mais apropriados para realmente chegar a resultados conclusivos.

REFORÇOS PILAR (TAKEUTI, 2003)

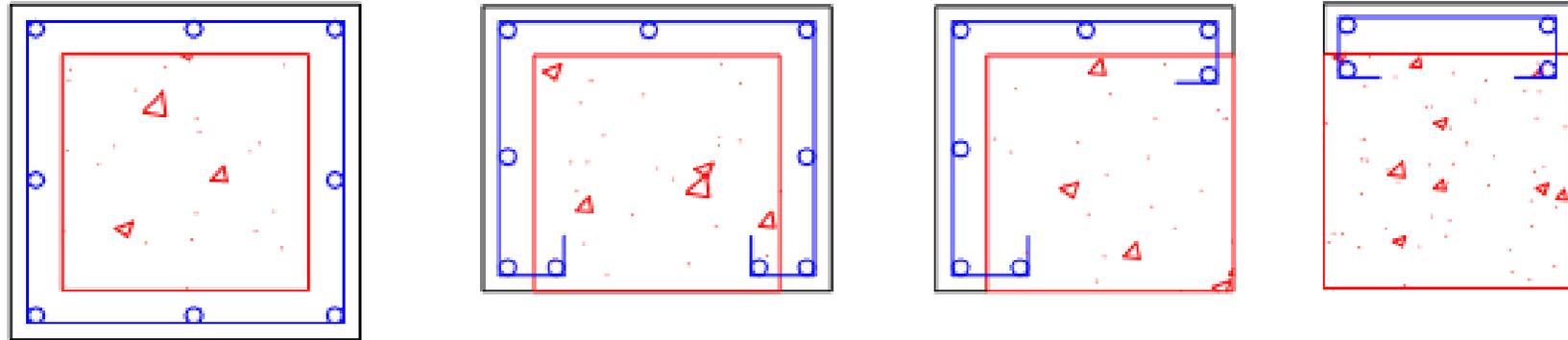


Figura 1.13 - Configurações de reforço (modificada de VALLE, 1983)

Resistência insuficiente
Corrosão

CÁNOVAS (1988) recomenda que seja desprezada totalmente a contribuição do núcleo na capacidade resistente do pilar reforçado.

SOUZA e RIPPER(1998) consideram que para o encamisamento utilizando concreto deve-se partir para o cintamento do pilar, aumentando-se a capacidade resistente inicial e fazendo com que se possa contar com a colaboração da seção já existente na resistência global do elemento.

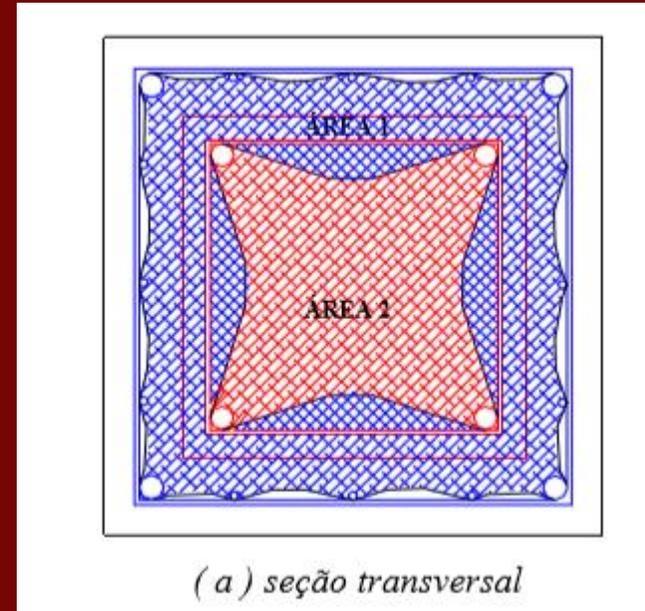
Para determinar a capacidade resistente dos modelos reforçados, utilizou-se a equação de equilíbrio para as forças verticais, supondo-se a perfeita solidariedade entre o concreto e a armadura:

$$F_u = A_{ccad}0,9f_{cmcad} + A_c0,9f_{cm} + A_s f_y$$

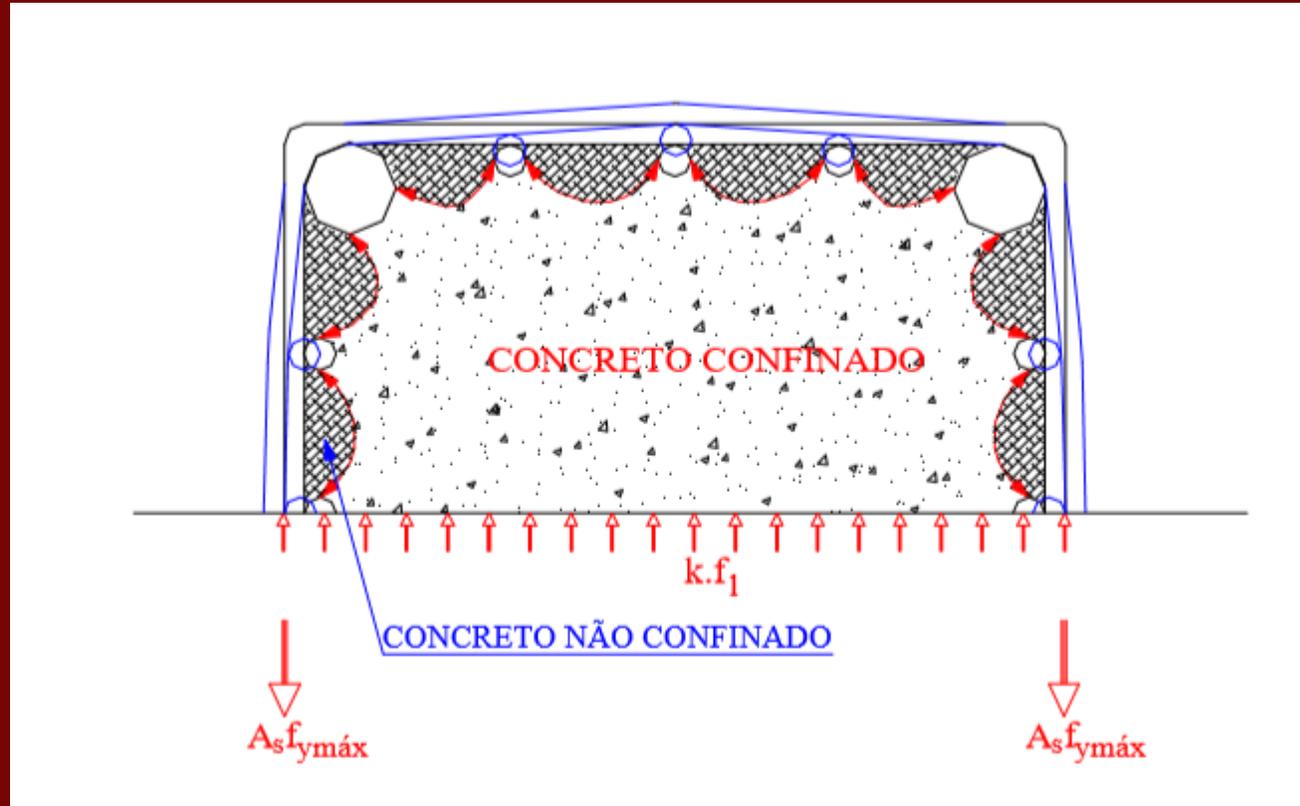
Total

MODELOS DE CÁLCULO

Porém, por se utilizar de concreto de alta resistência na camisa de reforço, traz-se uma nova alternativa de estimativa da capacidade resistente considerando apenas à área confinada pela armadura de reforço, adotando-se portanto um valor menor para A_{ccad} , e para diferenciar esta nova alternativa denominou-se a primeira hipótese como *Cálculo total* e a segunda hipótese como *Cálculo parcial*.



MODELOS DE CÁLCULO



MODELOS DE CONFINAMENTO

CUSSON & PAULTRE (1993)

$$f_{\ell} = \frac{f_{hcc}}{s} \cdot \left(\frac{A_{shx} + A_{shy}}{c_x + c_y} \right)$$

f_{hcc} : tensão nos estribos para a máxima resistência do concreto confinado;

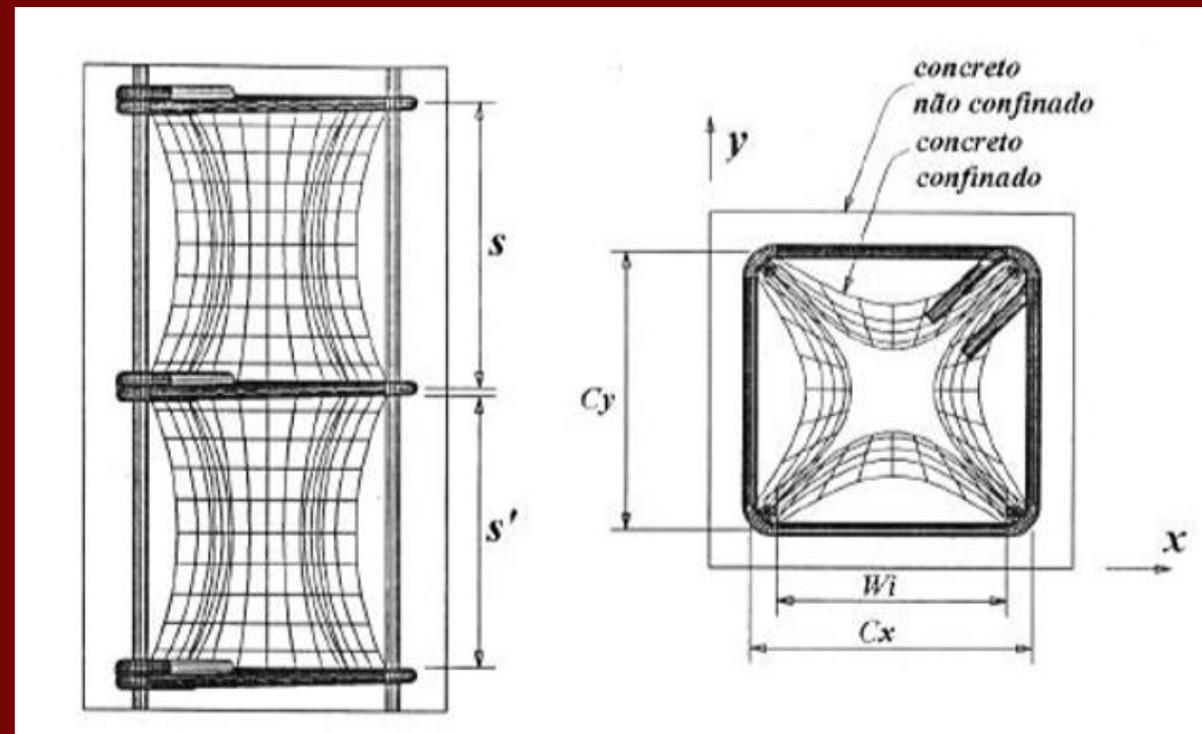
A_{shx} : área total de aço dos estribos na direção perpendicular a x (Figura 4.4)

A_{shy} : área total de aço dos estribos na direção perpendicular a y (Figura 4.4)

s: espaçamento de centro a centro entre os estribos (Figura 4.4)

c_x : dimensão do núcleo de concreto paralelo a x (Figura 4.4)

c_y : dimensão do núcleo de concreto paralelo a y (Figura 4.4)



$$K_e = \frac{\left(1 - \frac{\sum \omega_i^2}{6 \cdot c_x \cdot c_y}\right) \cdot \left(1 - \frac{s'}{2c_x}\right) \cdot \left(1 - \frac{s'}{2c_y}\right)}{(1 - \rho_c)}$$

s' : espaçamento livre entre estribos

ρ_c : taxa longitudinal de amadura em relação ao núcleo de concreto

ω_i : distância livre entre duas barras longitudinais adjacentes

A pressão de confinamento efetiva f_{le} é dada por:

$$f_{le} = K_e \cdot f_l$$

$$f_{cc} = f_c \cdot \left[1 + 2,1 \cdot \left(\frac{f_{le}}{f_c} \right)^{0,7} \right]$$

CUSSON & PAULTRE (1993)

$$f_{cc} = f_c + K_1 f_{le}$$

$$K_1 = 6,7(f_{le})^{-0,17} \text{ com valor de } f_{le} \text{ em MPa}$$

$$f_{le} = k_2 \cdot f_\ell$$

$$f_\ell = \frac{\sum A_{sw} \cdot f_{y*}}{s \cdot b}$$

$$K_2 = 0,26 \sqrt{\left(\frac{b}{s}\right) \left(\frac{b}{w_i}\right) \left(\frac{1}{f_1}\right)} \leq 1,0$$

SAATCIOGLU & RAZVI (1992)

Comparativo dos modelos de confinamento

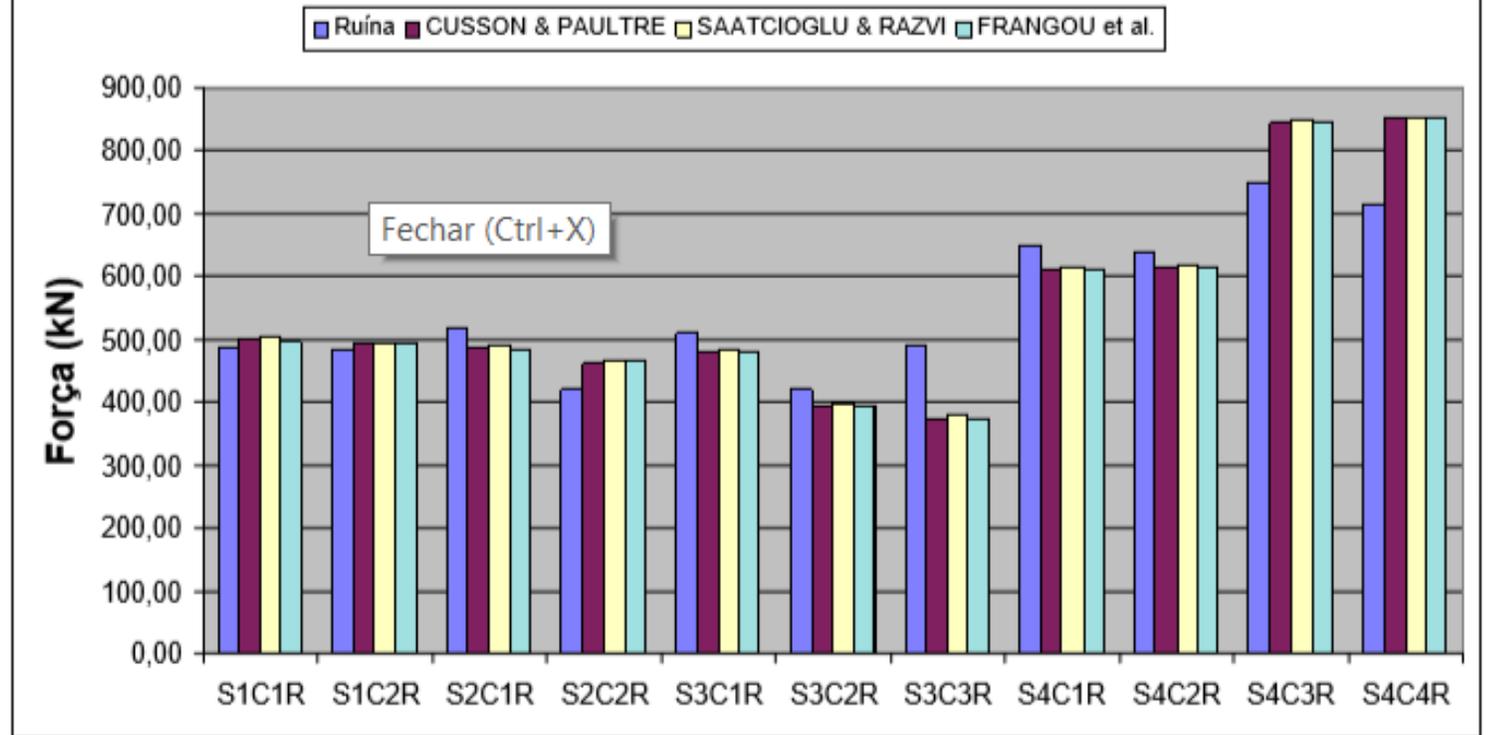


Diagrama 6.5 – Diagrama comparativo dos modelos de confinamento dos pilares de referência

RESULTADOS TAKEUTI:
CONFINAMENTO

RESULTADOS TAKEUTI (1999): COMPRESSÃO

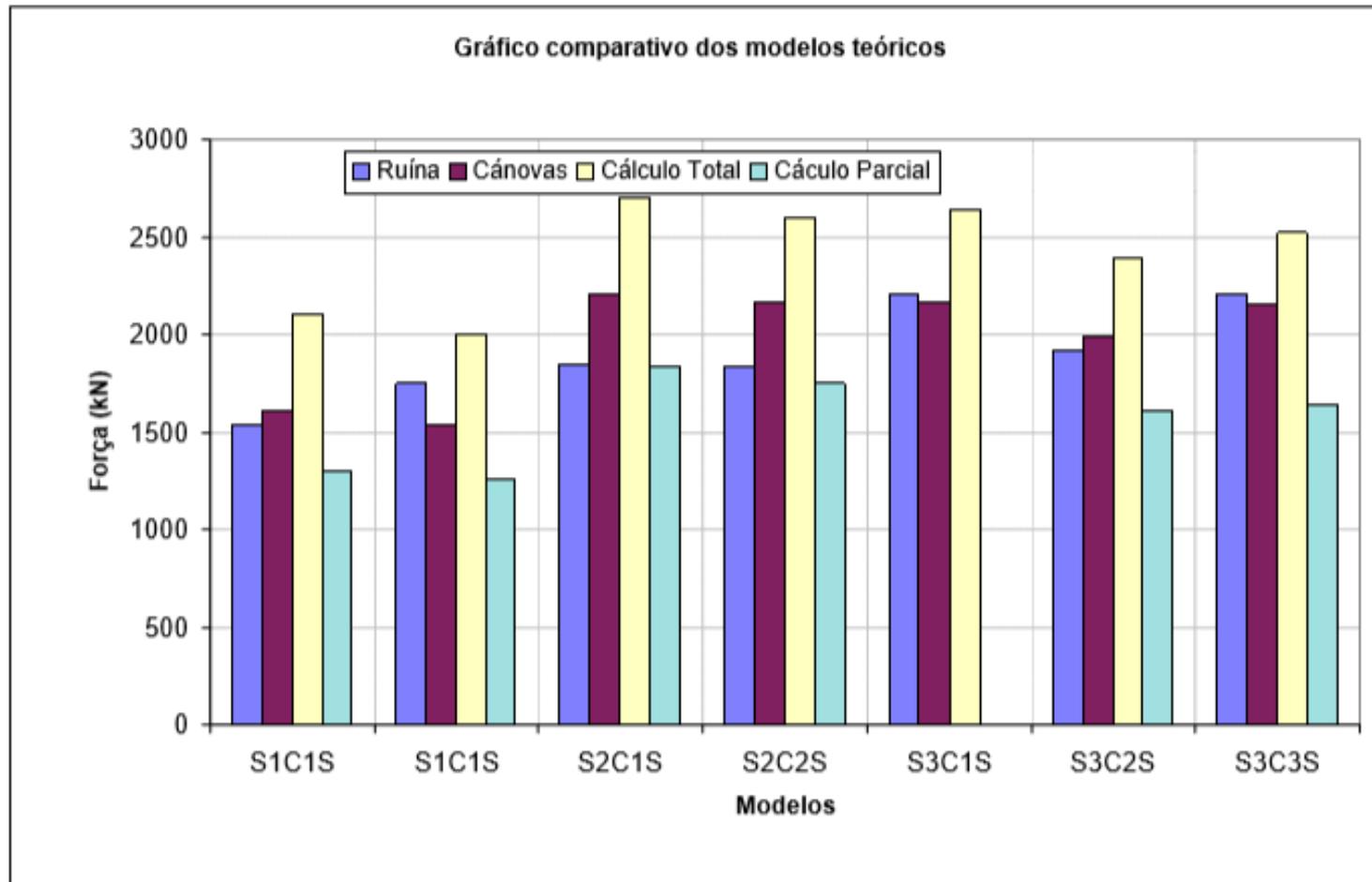
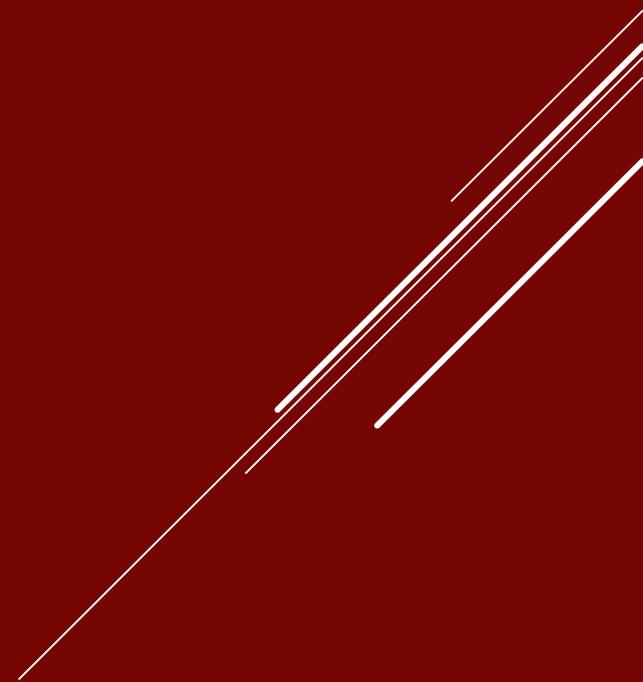
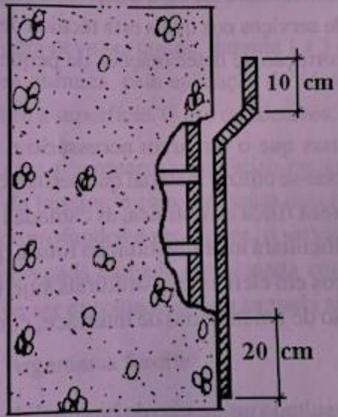


Diagrama 6.4 – Comparativo dos modelos de cálculo dos pilares reforçados

ENTÃO COMO FAZER?

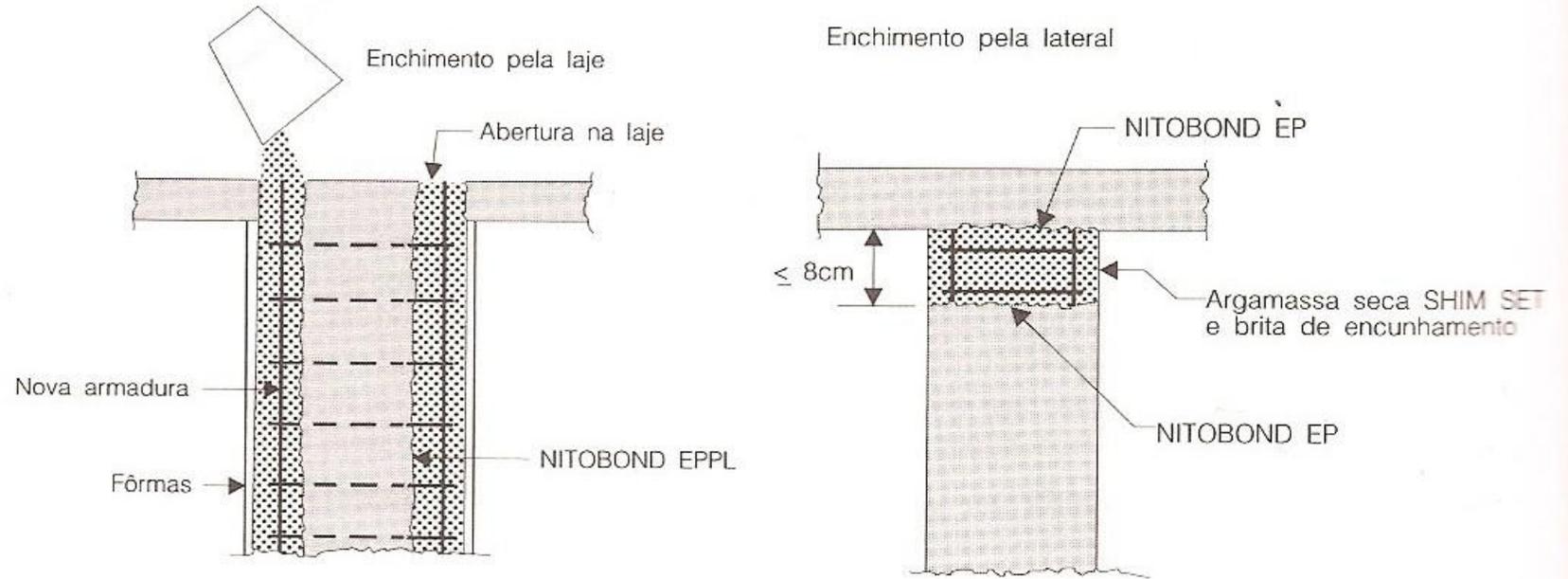


ESTRATÉGIA: PILARES

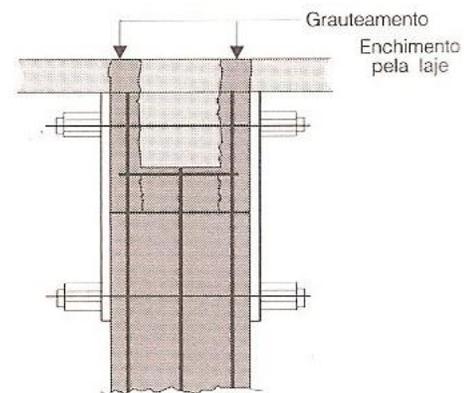
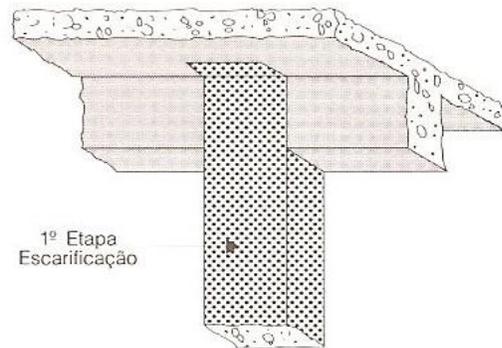
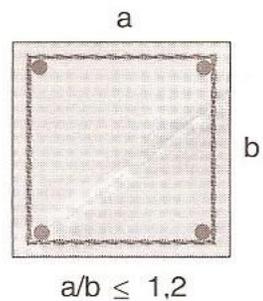


(a) Pilar

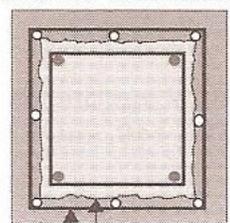
Reforço



Reforço



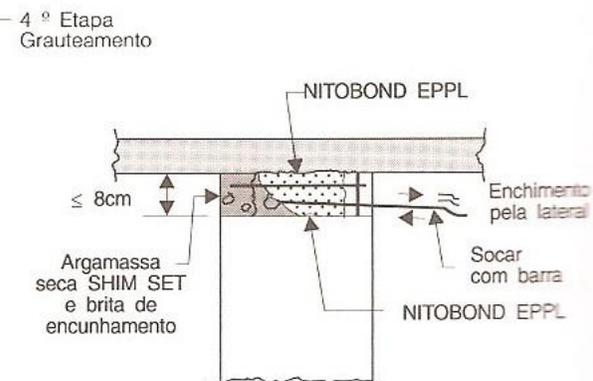
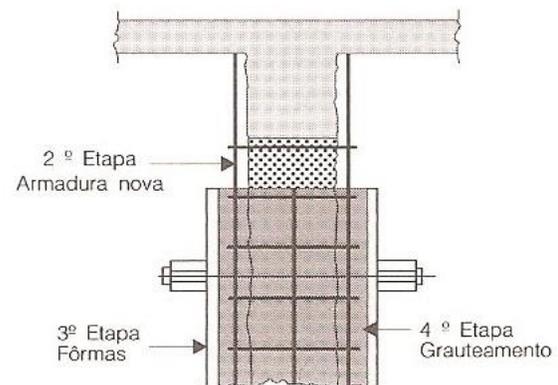
Pilares de seção quadrada ou circular devem ser encamisados



Escarificação

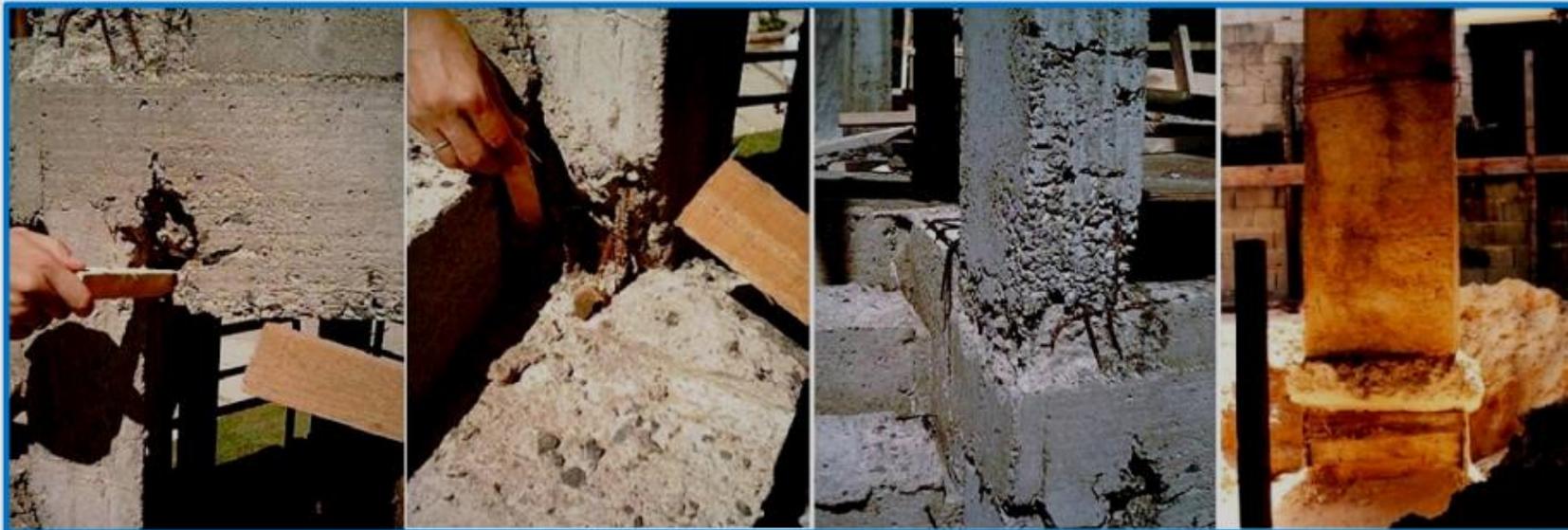
Armadura nova

Graute



PILARES

“LEVES” PROBLEMINHAS DE CONCRETAGEM

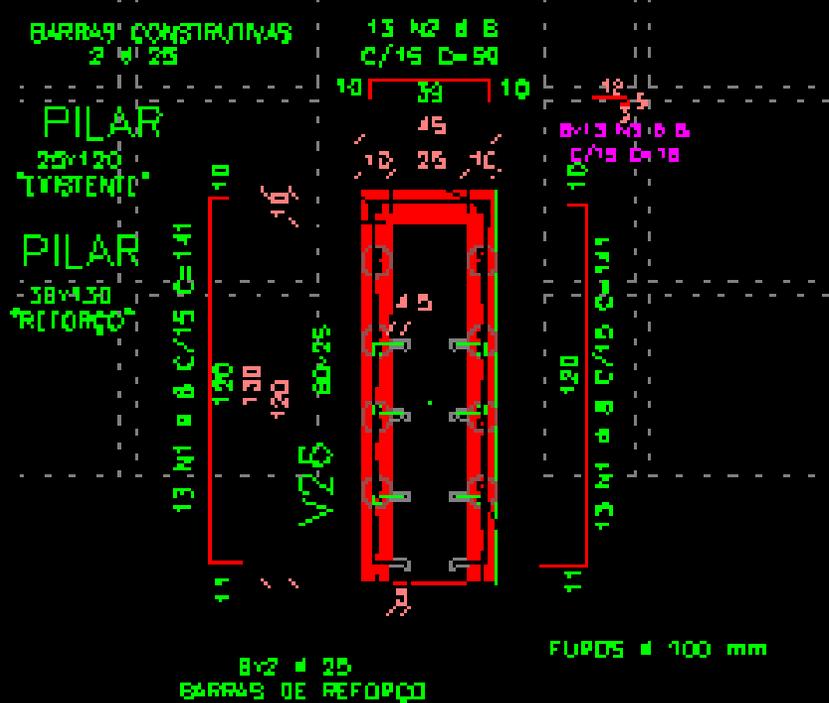


ASSOCIAÇÃO CEARENSE DE
ENGENHARIA ESTRUTURAL



Sinduscon CE

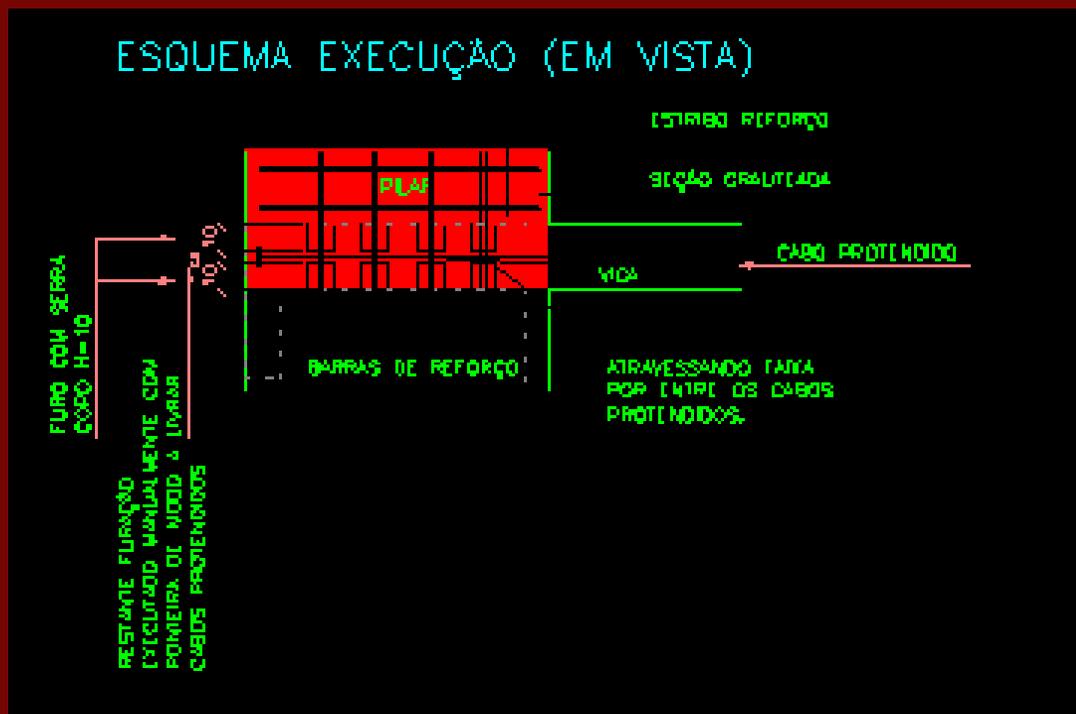
DETALHE REFORÇO PILAR



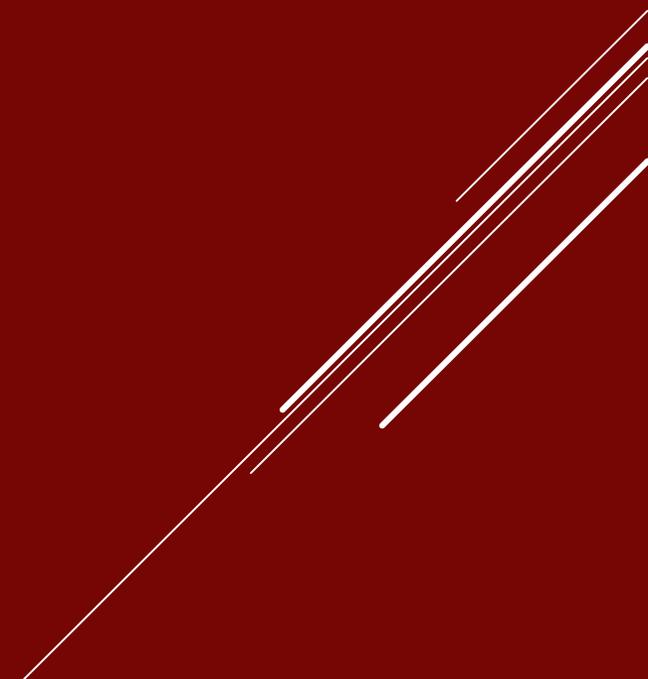
1. Barras de 25 mm;
2. Barras cruzam pavimentos;
3. Grampos intermediários;
4. Grout

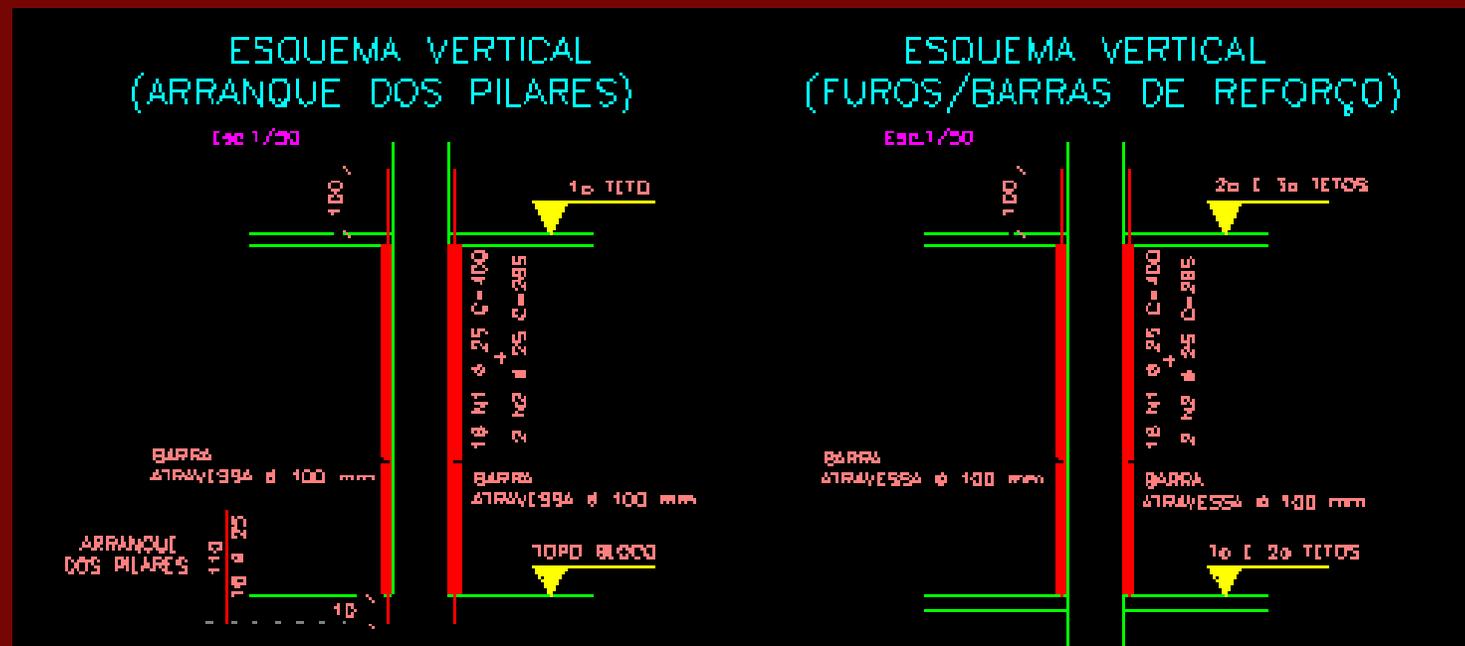
PILARES COM PROBLEMA SEVERO DE RESISTÊNCIA EM VÁRIOS LANCES

Barras cruzam faixa protendida



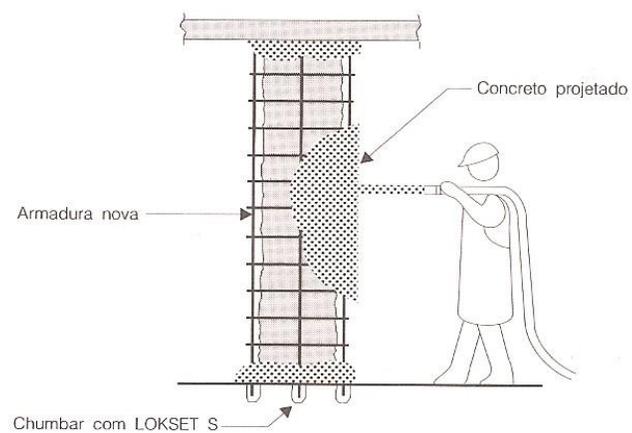
Cuidado para não cortar cabos protensão





DETALHE AO LONGO DOS LANCES

Reforço



ESTRATÉGIA: PILARES



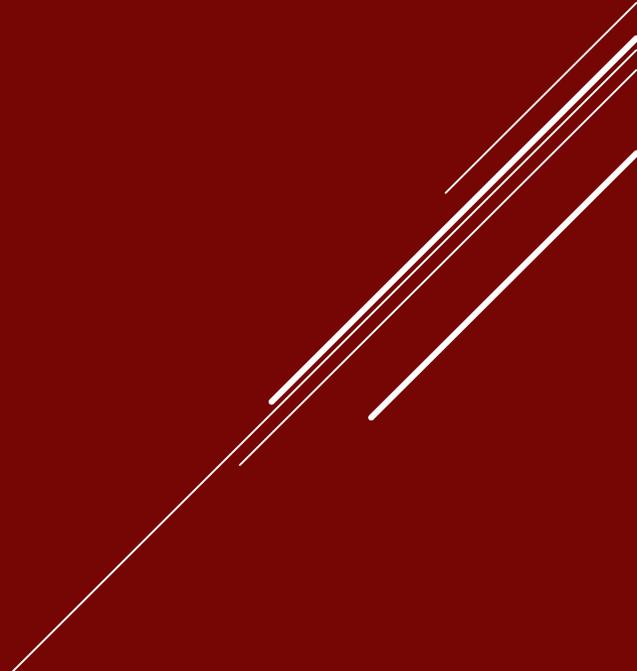
PROBL
GENTILMENT



SOLUÇÃO

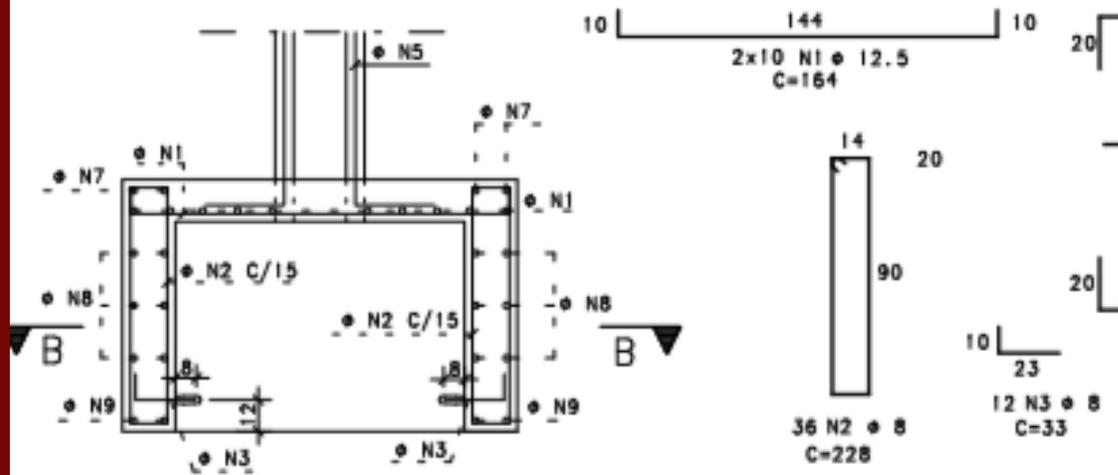


FUNDAÇÕES

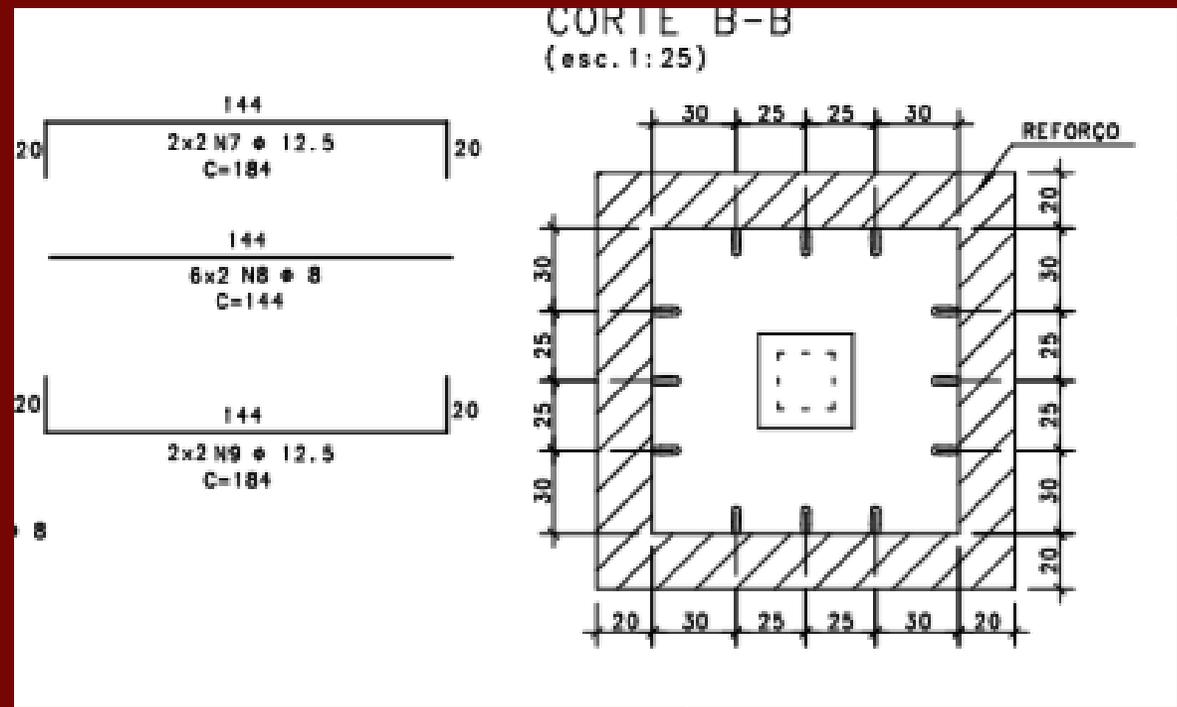


ARM. REFORÇO SAPATA

(esc. 1:25)

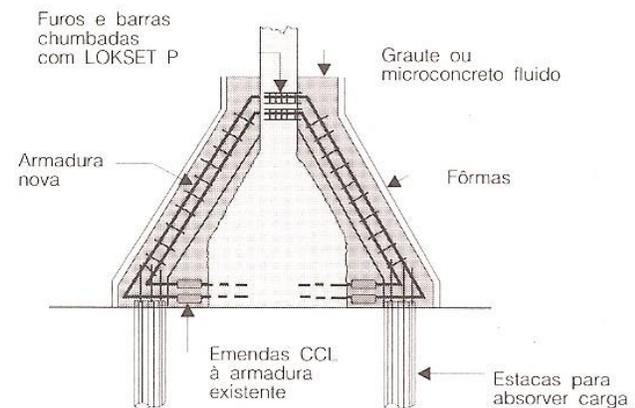
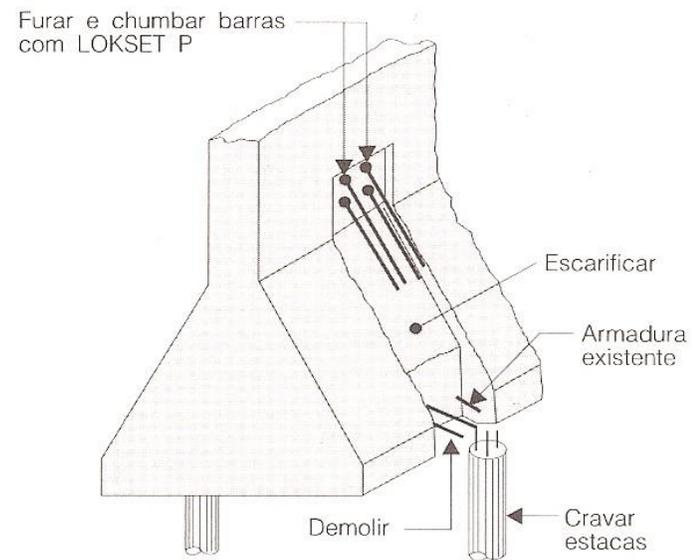


- FURACÃO:
- APICOAR SUPERFÍCIE DE CONTATO
 - MOLHAR ATÉ SATURAÇÃO ANTES DA CONCRETAGEM
 - BROCA 10mm
 - LIMPAR FURO

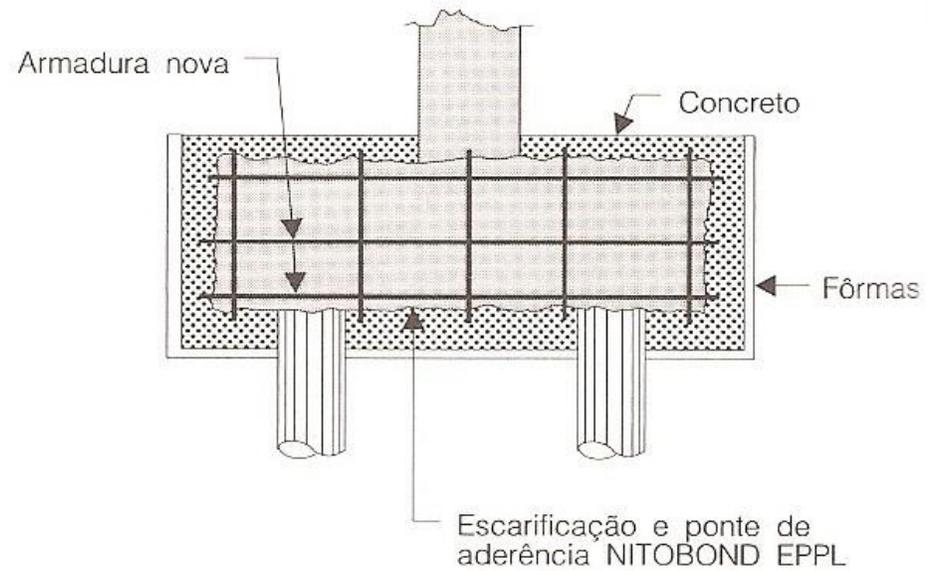
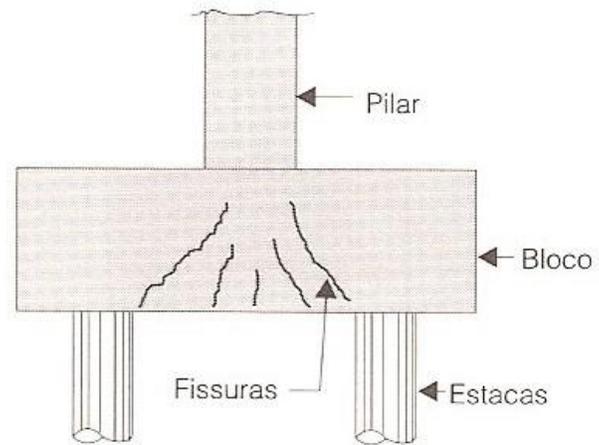


SAPATAS

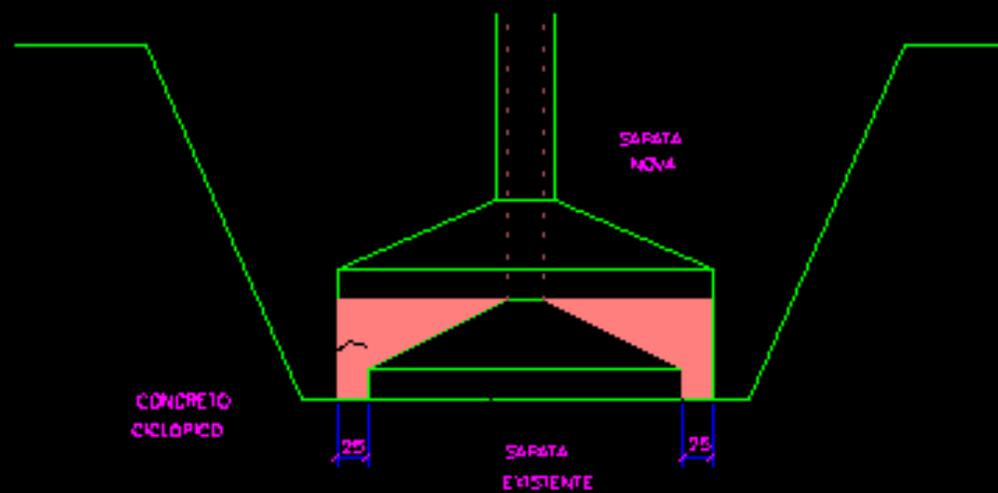
Reforço - Sapatas



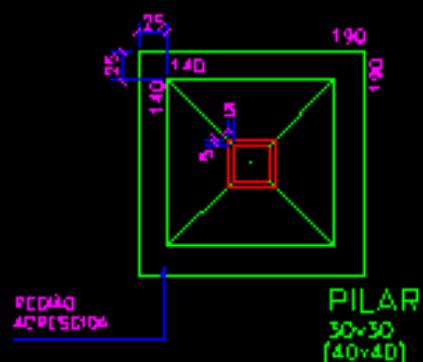
Reforço - Blocos



DETALHE FUNDAÇÃO



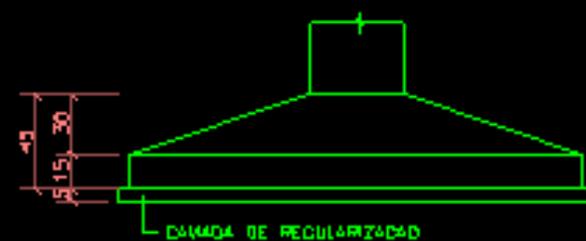
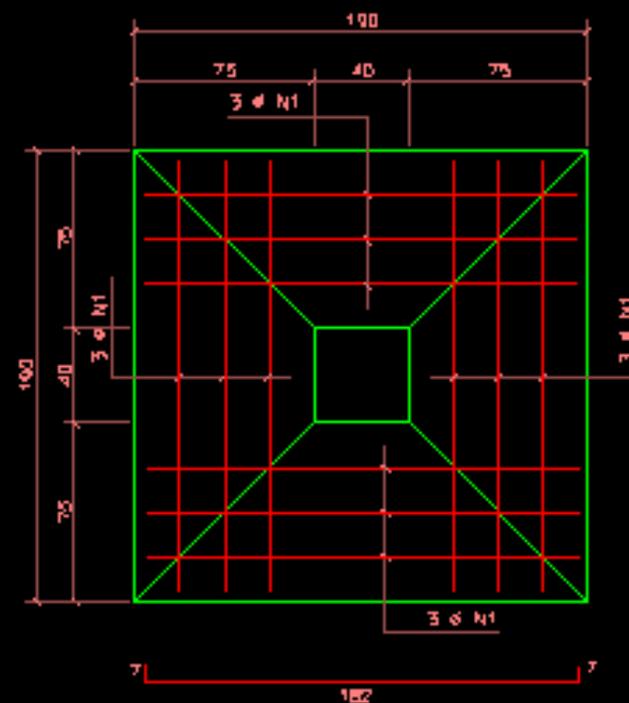
PLANTA



PILAR



ARMAÇÃO



CASTELÃO

LAJE DE FUNDO DE ALGUMAS CX. D'ÁGUA SOB AS ARQUIBANCADAS



CASTELÃO

VIGAS LATERAIS DE UMA DAS ESCADAS DE ACESSO AS ARQUIBANCADAS (FACE SUPERIOR)

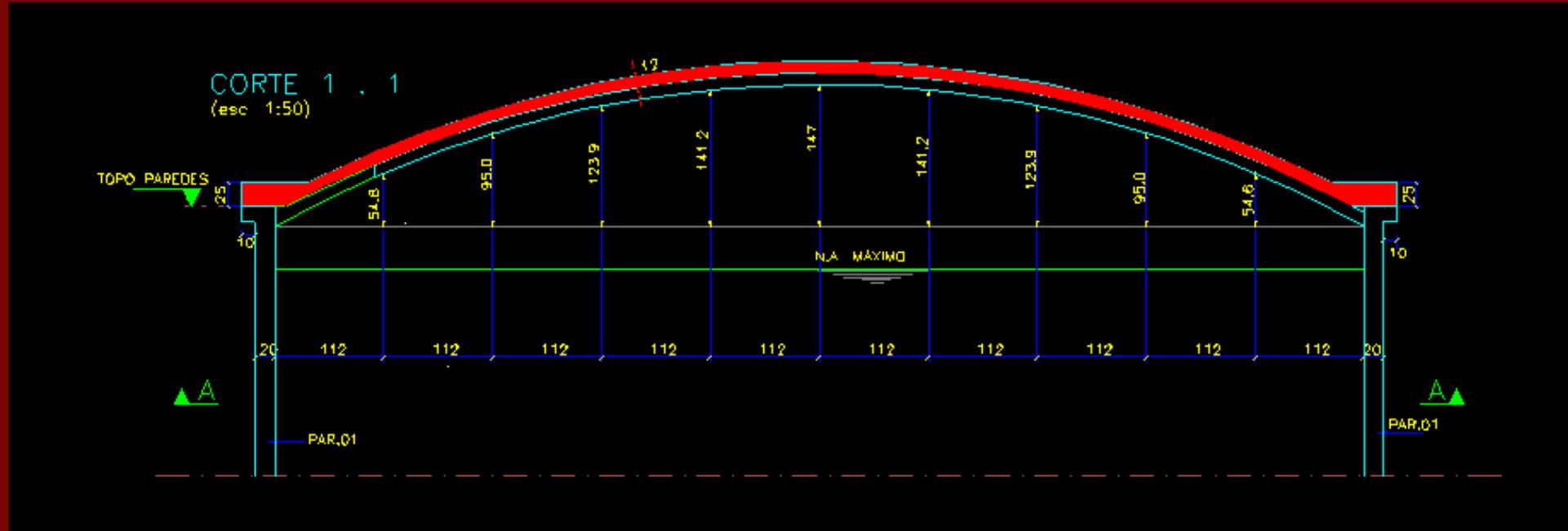


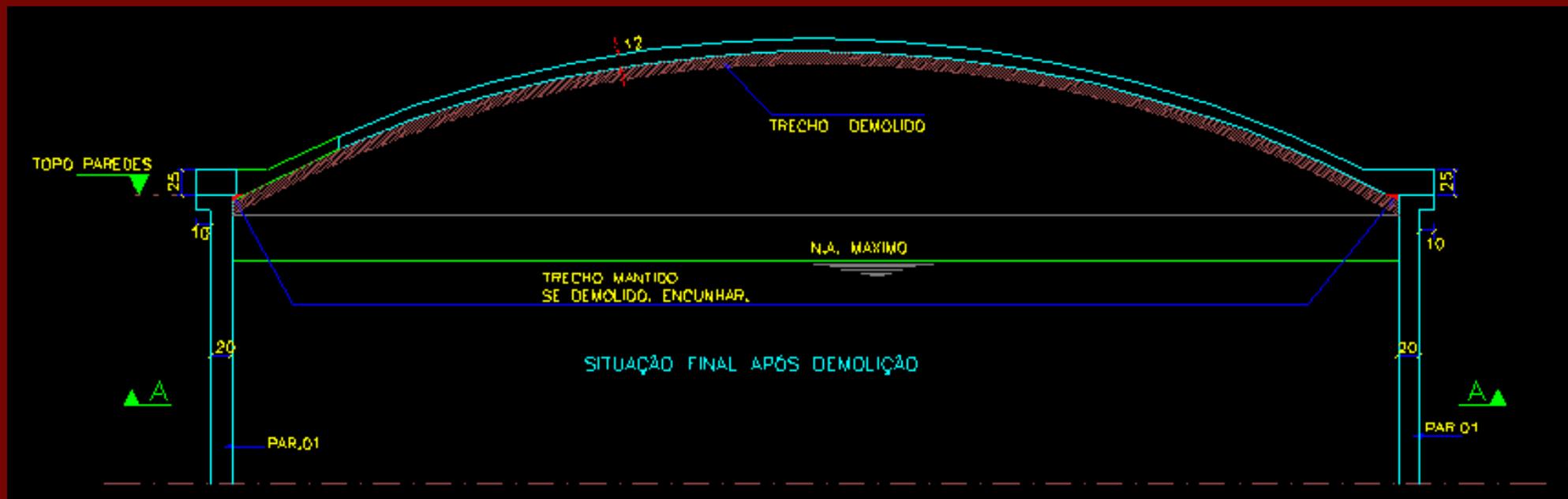
- Além dos agentes agressivos existente neste meio ambiente, como CO_2 , SO_2 e outros. Ainda notamos a presença de ácido amoniaco, produzido por urina humana, em alguns locais do referido estádio.



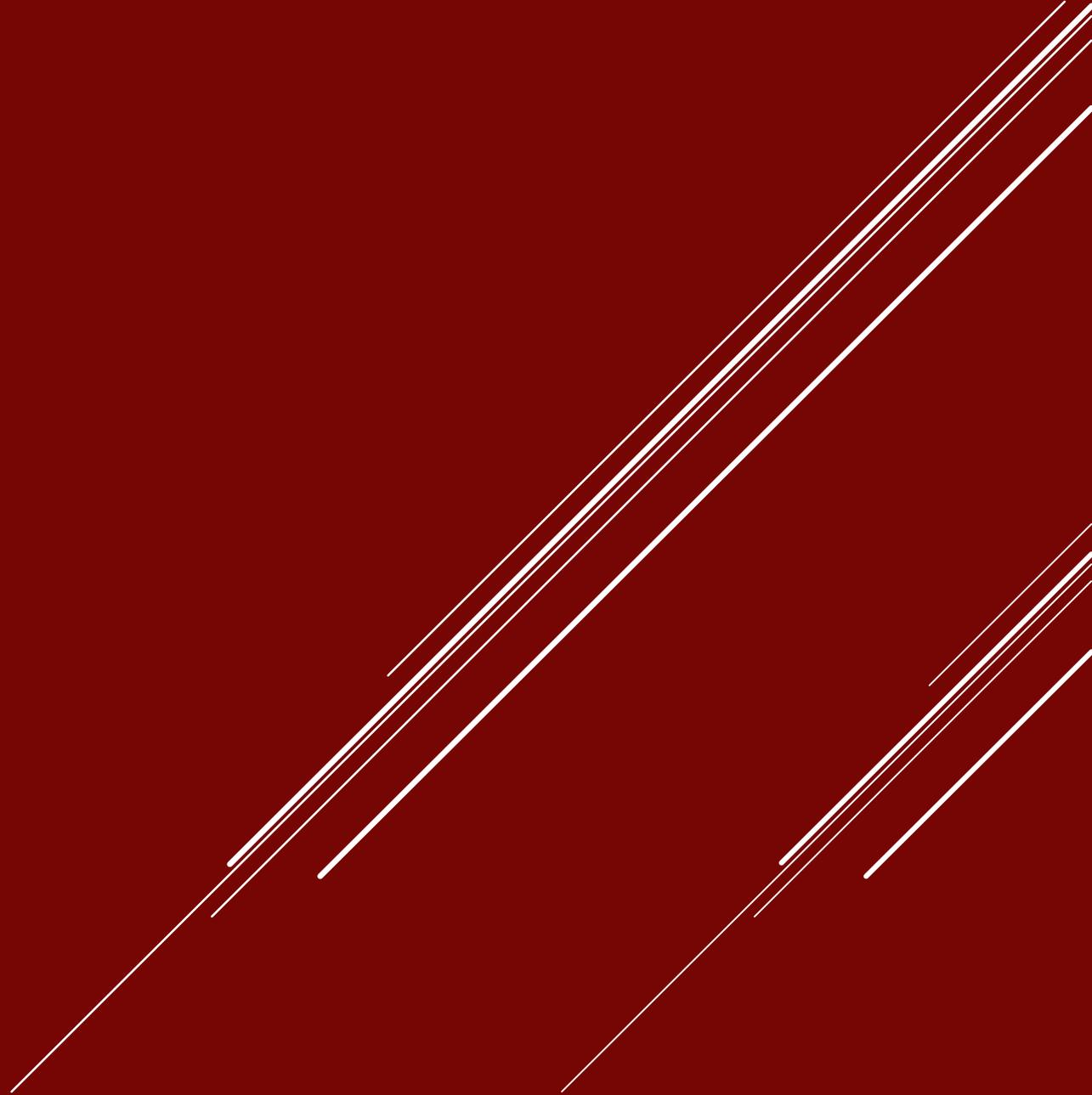
MANUTENÇÃO?

TAMPA RESERVATÓRIO



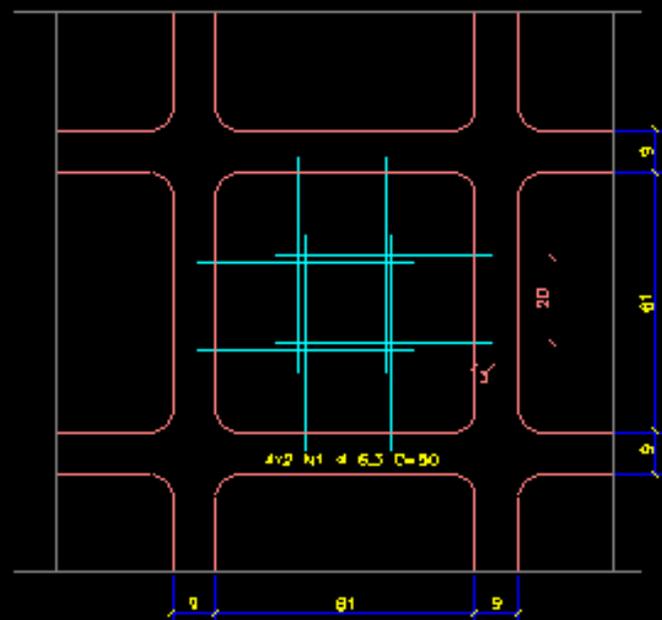


INCÊNDIO



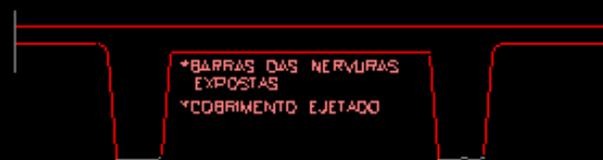


DET. RECOMPOSIÇÃO MESA DESTRUÍDA

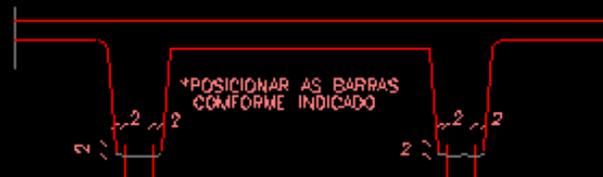


DET. RECOMPOSIÇÃO DE COBRIMENTO DAS NERVURAS

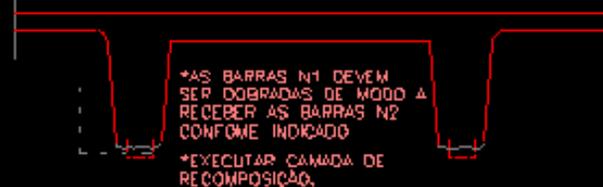
*SITUAÇÃO ATUAL



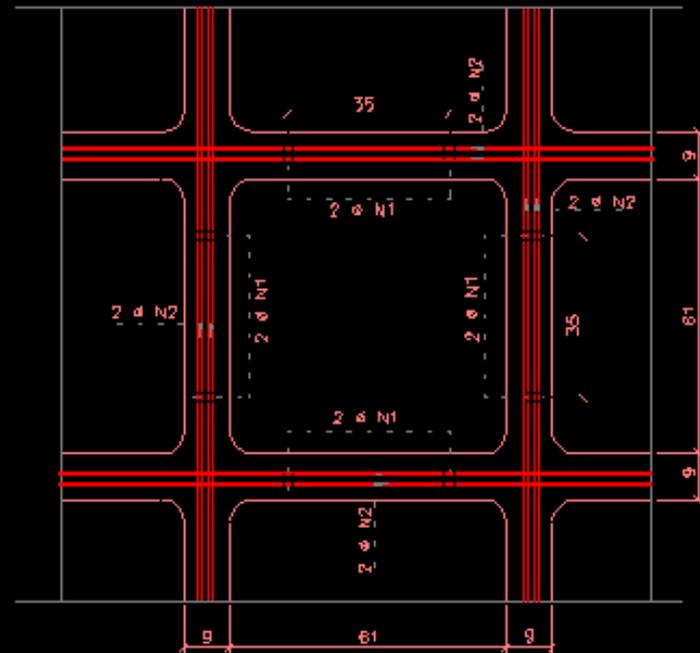
*ETAPA 1



*ETAPA 2



PLANTA



Etringita Tardia: Bloco de Coroamento





Etringita Tardia:
Bloco de Coroamento

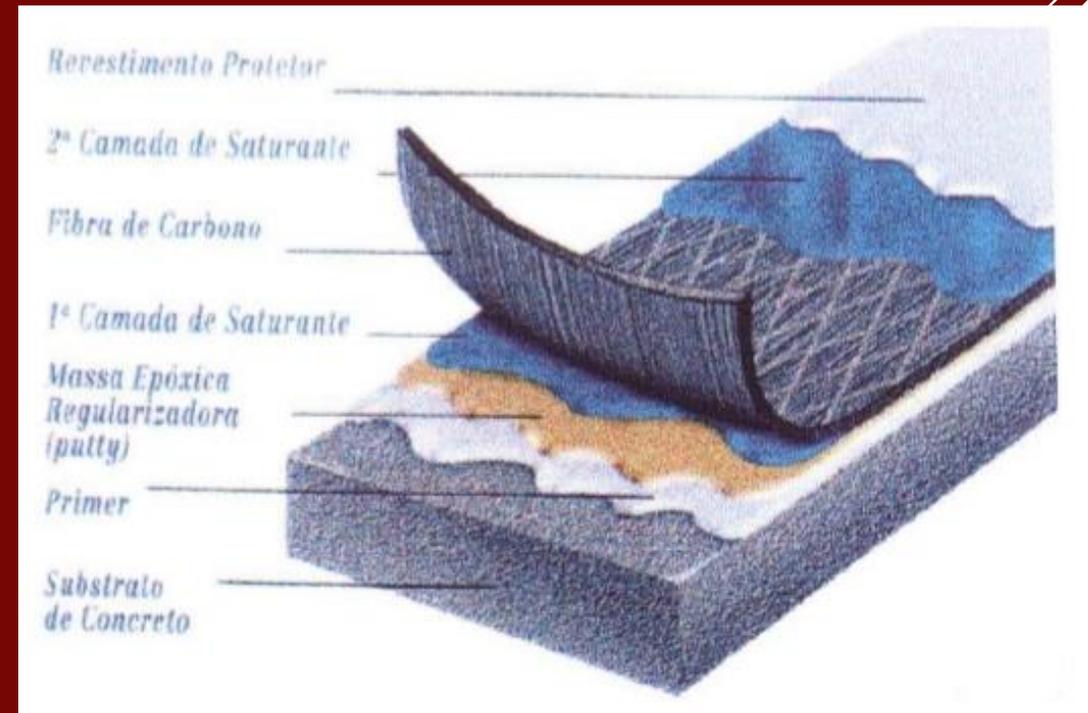




Estringita Tardia:
Bloco de Coroamento



FIBRA DE CARBONO



- ▶ MACHADO, A. de P. Manual de reforço das estruturas de CA com fibras de carbono. Viapol.
- ▶ “O problema da fibra é que tem alta resistência, mas o módulo é baixo, e, com isso tem que deformar muito para mobilizar a força” (Thiago Carmona)

Fibra de Carbono Laje Nervurada



Fibra de Carbono Laje Nervurada



Fibra de Carbono Laje Nervurada



Fibra de Carbono Laje Nervurada





Fibra de Carbono Laje Nervurada





Obrigado

