

REFORÇO DE ESTRUTURAS

CONCEITOS E CASOS ESPECIAIS

Eng. M. Sc. Tiago Garcia Carmona

Eng. M. Sc. Thomas Garcia Carmona

Revisão - Conceitos

RECUPERAR – Restabelecer Características

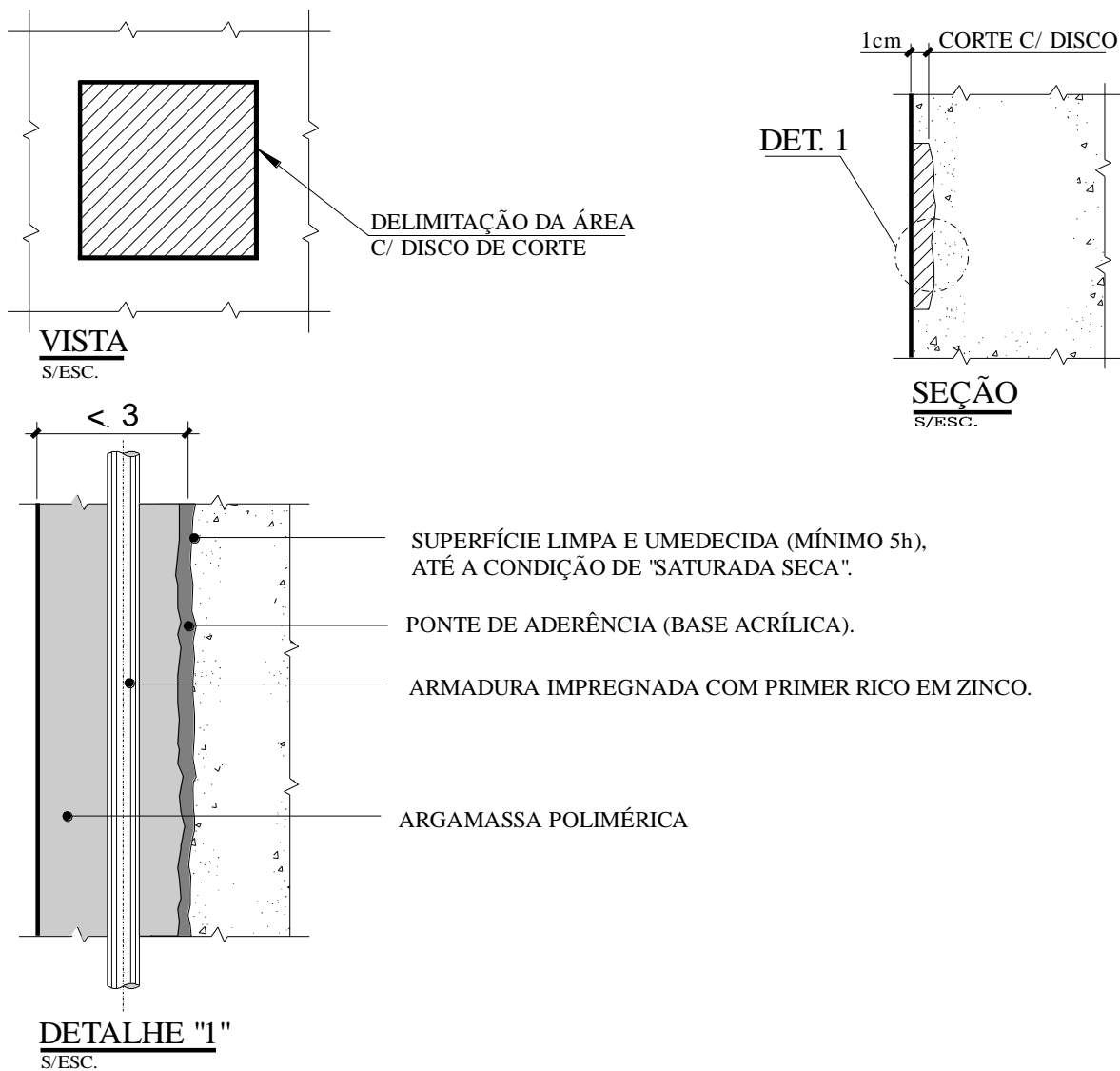
REFORÇAR – Melhorar características resistentes

RECONSTRUIR – Reedificar ou refazer

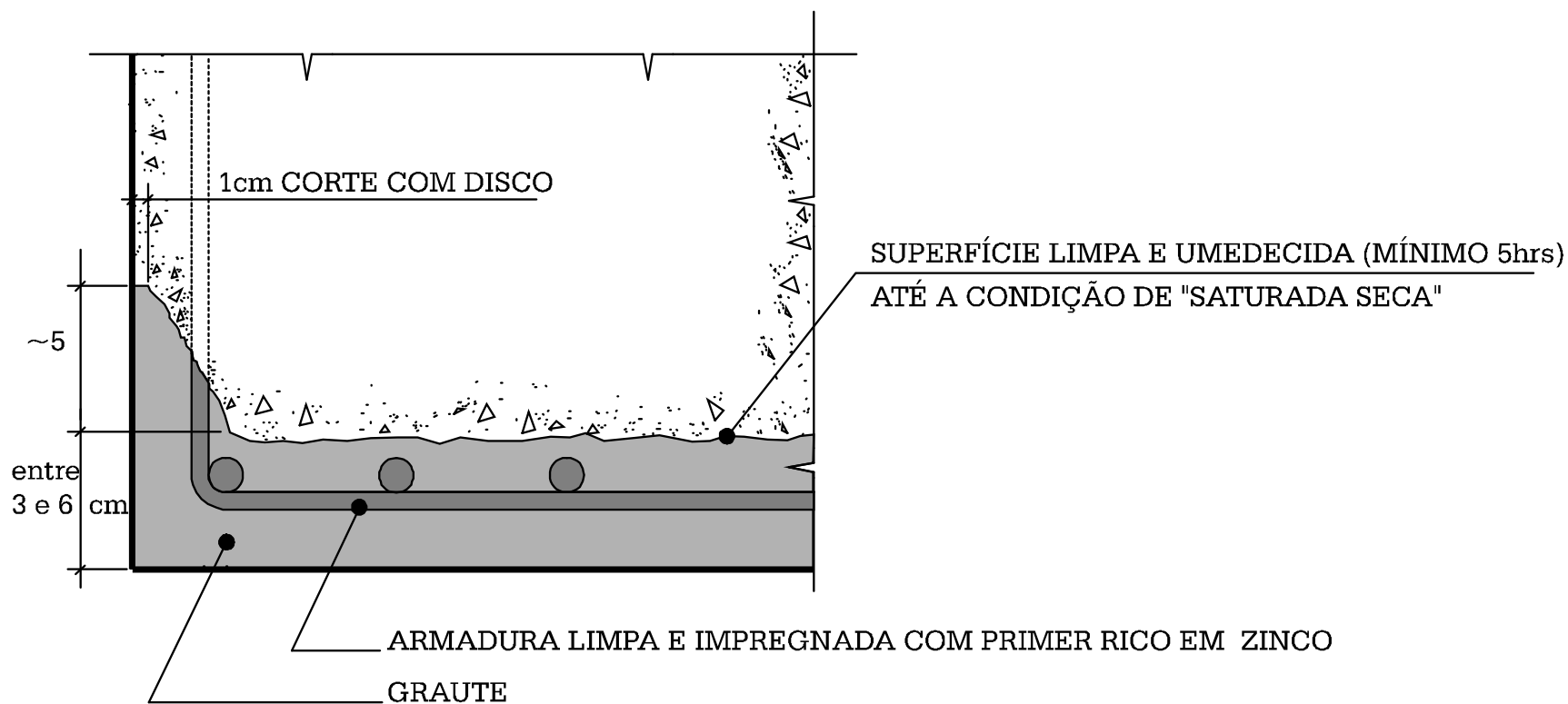
Reparos:

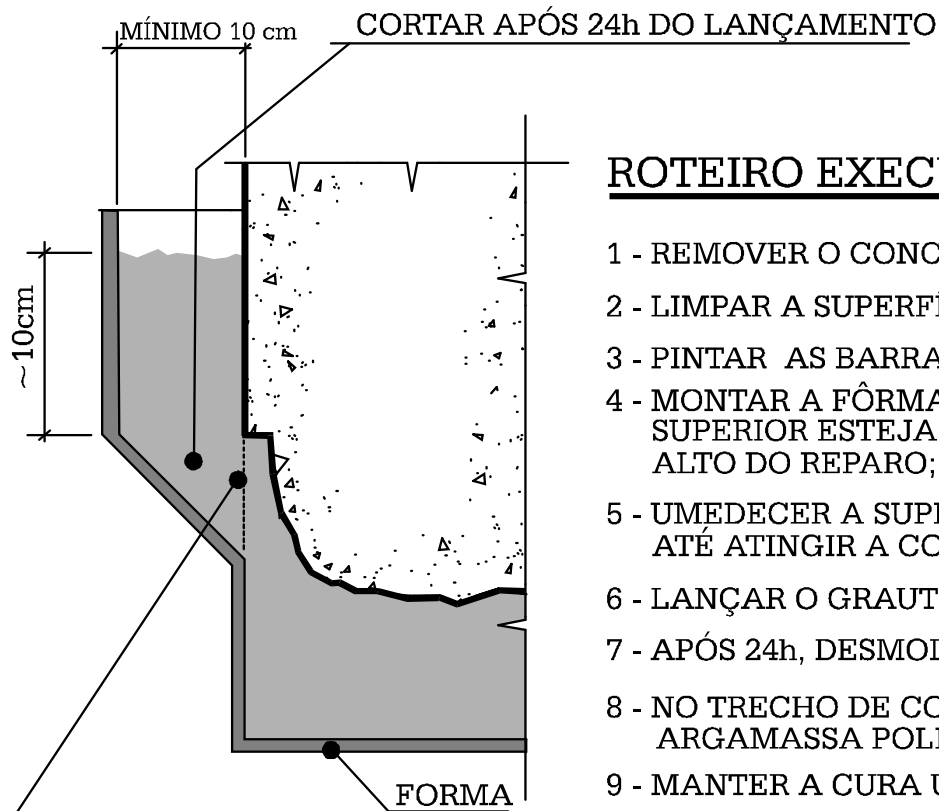
- Os reparos em concreto podem ser de 3 tipos:
 - Raso ($e < 3$ cm) com Argamassa tixotrópica
 - Semi-profundo ($3 < e < 6$ cm) com Argamassa fluída
 - Profundos ($e > 6$ cm) com Microconcreto
- Os reparos devem ser executados considerando o estado de tensão (carregamento) da peça, se possível com escoramento prévio.
- Em pilares os reparos devem ser de pequenas dimensões em planta e no sentido vertical respeitando o 2x o espaçamento de estribos ou 30 cm. Caso os estribos estejam rompidos estes devem ser complementados à medida que o reparo seja aberto.

DETALHE PARA EXECUÇÃO DE REPAROS RASOS (< 3,0 cm)



DETALHE PARA EXECUÇÃO DE REPAROS SEMI-PROFUNDOS (entre 3 e 6 cm)





ROTEIRO EXECUTIVO

- 1 - REMOVER O CONCRETO E TRATAR A ARMADURA;
- 2 - LIMPAR A SUPERFÍCIE COM JATO DE AR FILTRADO;
- 3 - PINTAR AS BARRAS COM PRIMER RICO EM ZINCO;
- 4 - MONTAR A FÔRMA, EXECUTANDO -SE O "CACHIMBO", CUJO NÍVEL SUPERIOR ESTEJA PELO MENOS 10cm ACIMA DO PONTO MAIS ALTO DO REPARO;
- 5 - UMEDECER A SUPERFÍCIE COM ÁGUA, POR TEMPO MÍNIMO DE 5h, ATÉ ATINGIR A CONDIÇÃO DE "SATURADA SECA";
- 6 - LANÇAR O GRAUTE;
- 7 - APÓS 24h, DESMOLDAR E CORTAR O EXCESSO;
- 8 - NO TRECHO DE CORTE DO "CACHIMBO" EXECUTAR REPARO COM ARGAMASSA POLIMÉRICA;
- 9 - MANTER A CURA ÚMIDA POR 7 DIAS.

SUPERFÍCIE REGULARIZADA C/ ARGAMASSA POLIMÉRICA

DETALHE P/ PREENCHIMENTO







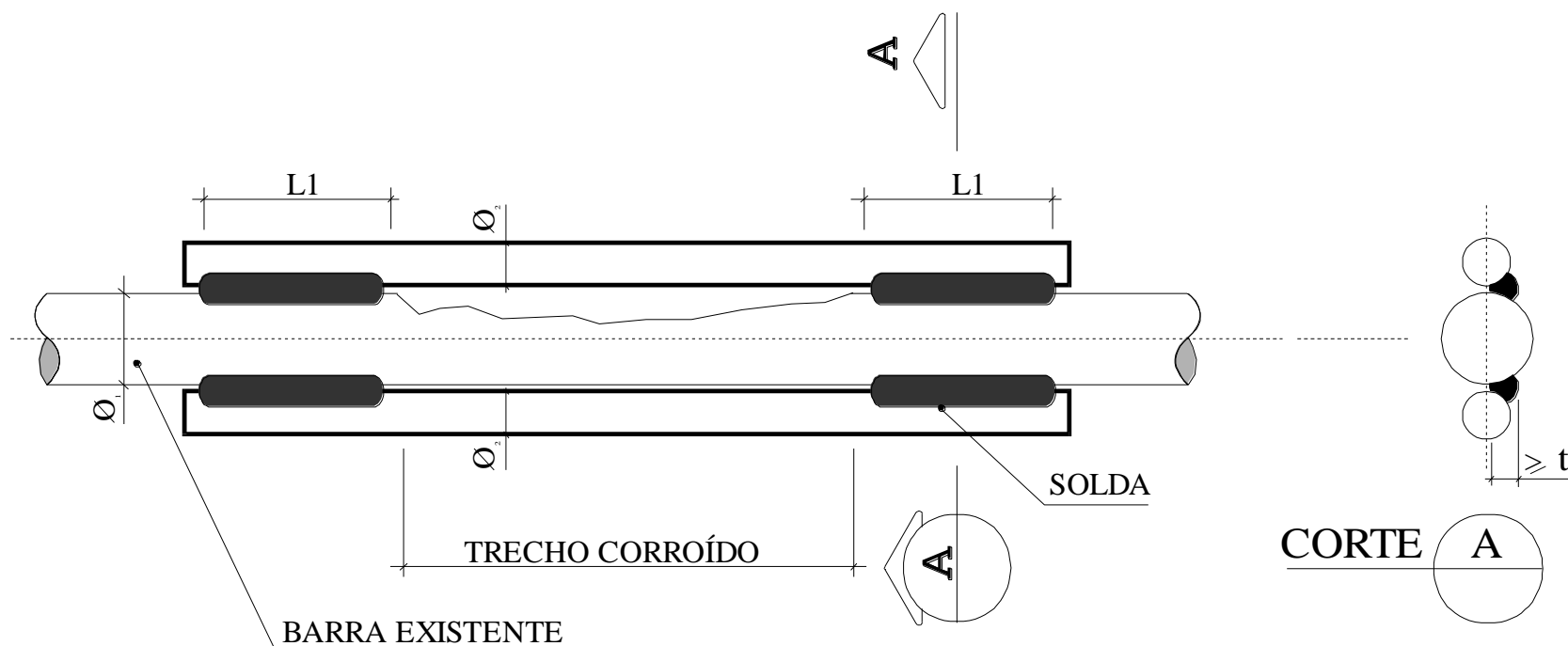






- Quando as barras apresentam perda de diâmetro por corrosão maior que 10% torna-se necessário complementar as armaduras, por traspasse ou solda dependendo das condições do local a ser reparado:
 - Dimensão longitudinal do reparo.
 - Espaço para colocação de novas barras.
 - Limitação de segurança para execução da solda (materiais inflamáveis dispersos em suspensão etc.).
 - Tipo de aço (A ou B).

**DETALHE PARA COMPLEMENTAÇÃO DE BARRAS COM PERDA
DE DIÂMETRO POR CORROSÃO $\geq 10\%$**

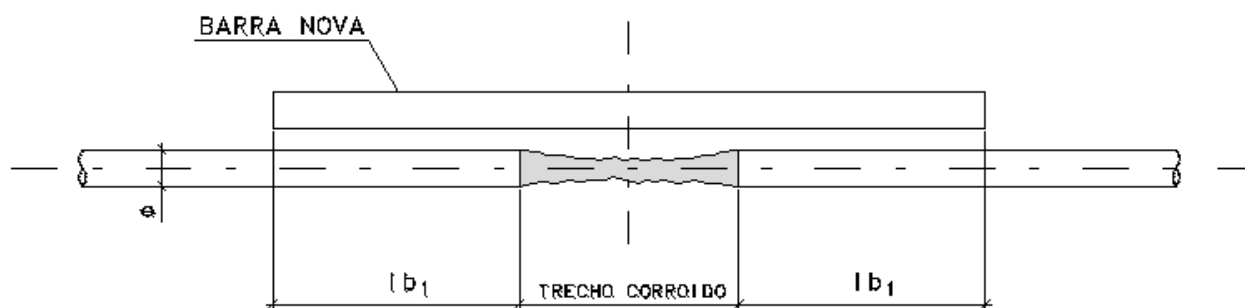


$\phi 1$ (mm)	$\phi 2$ (mm)	L1 (cm)	t (mm)
6,3	6,3	5	2,0
8,0	6,3	5	2,0
10,0	8,0	6	2,5
12,5	10,0	7	3,0
16,0	12,5	10	4,0
20,0	16,0	12	5,0
22,2	16,0	13	7,0
25,4	20,0	15	8,0

ELETRODOS:
TIPO AWS E 7018 (OK 48, 30)

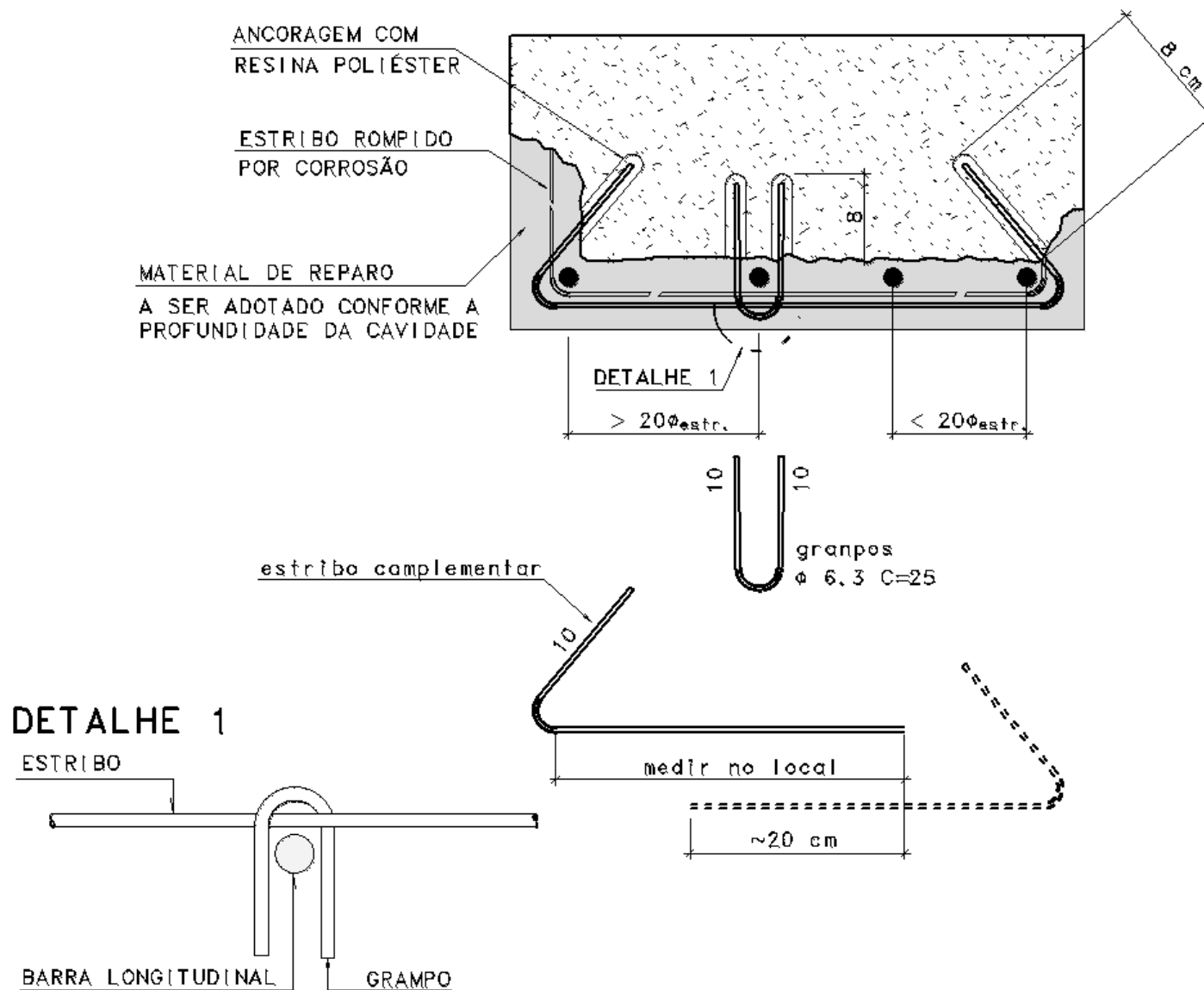
OBS: Este procedimento não é aplicavel para aços encruados a frio

COMPLEMENTAÇÃO DE BARRAS COM PERDA DE DIÂMETRO POR CORROSÃO $\geq 10\%$

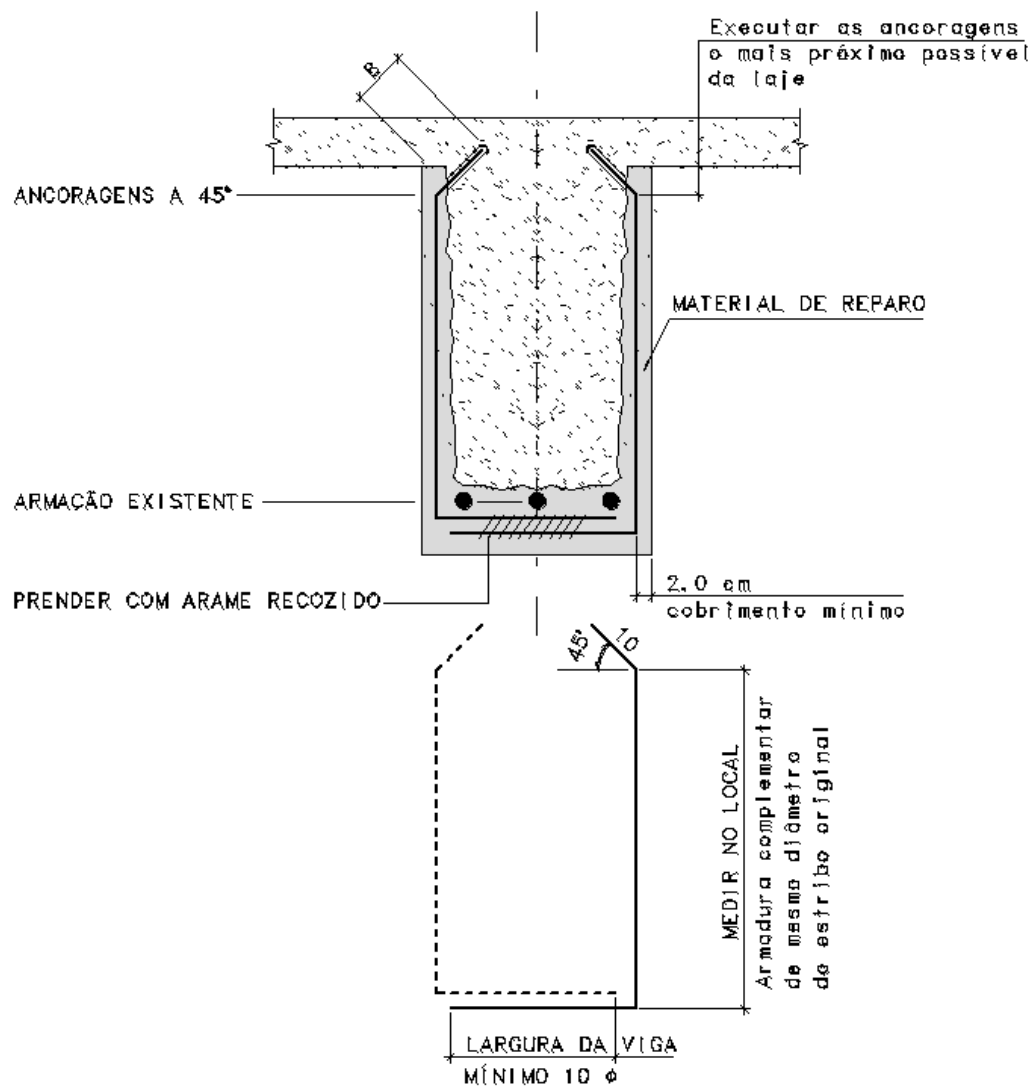


ϕ (mm)	l_{b1} (cm)				
	f_{ck} (MPa)				
	18	20	25	35	40
5,0	27	26	23	19	18
6,3	34	33	29	24	23
8,0	43	41	36	31	29
10,0	53	51	45	38	36
12,5	67	64	57	48	45
16,0	85	82	72	61	58
20,0	106	102	90	76	72
25,0	133	128	113	95	90

DETALHE PARA COMPLEMENTAÇÃO DE ESTRIBOS EM PILARES

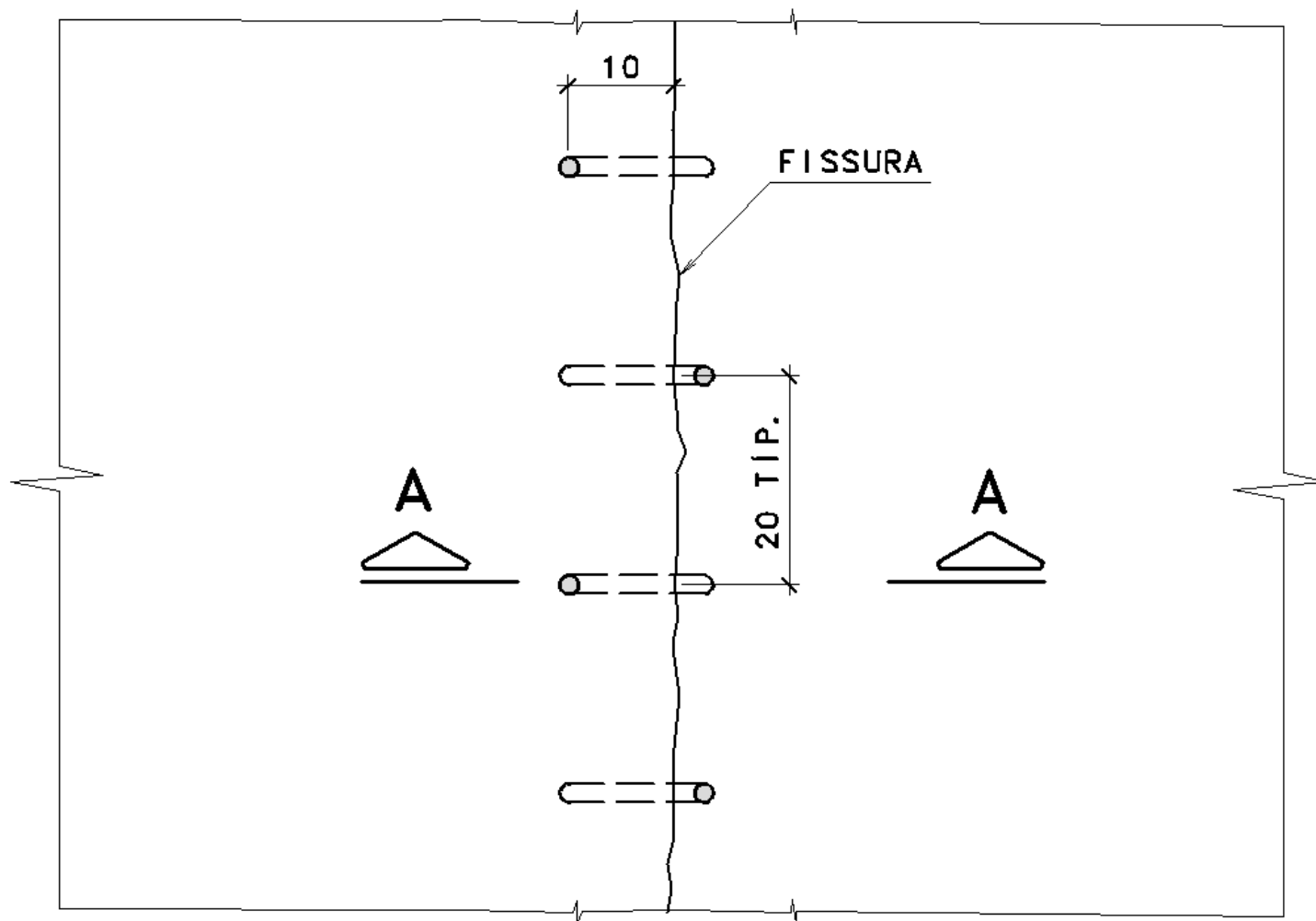


DETALHE PARA COMPLEMENTAÇÃO DE ESTRIBOS EM VIGAS



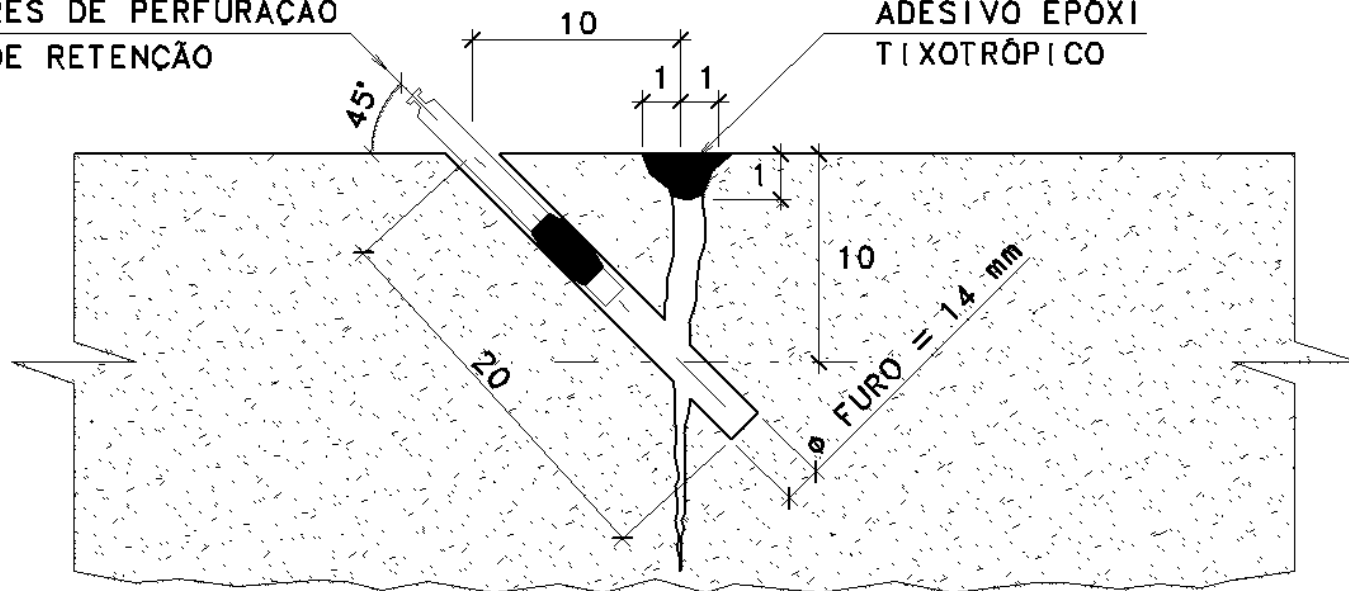


Retificação de barras flambadas 😊



BICOS INJETORES DE PERFURAÇÃO
COM VÁLVULA DE RETENÇÃO

ADESIVO EPÓXI
TIXOTRÓPICO



CORTE 

Aumento de Seção – O Rei do Reforço de Estruturas

Reforços de Pilares:

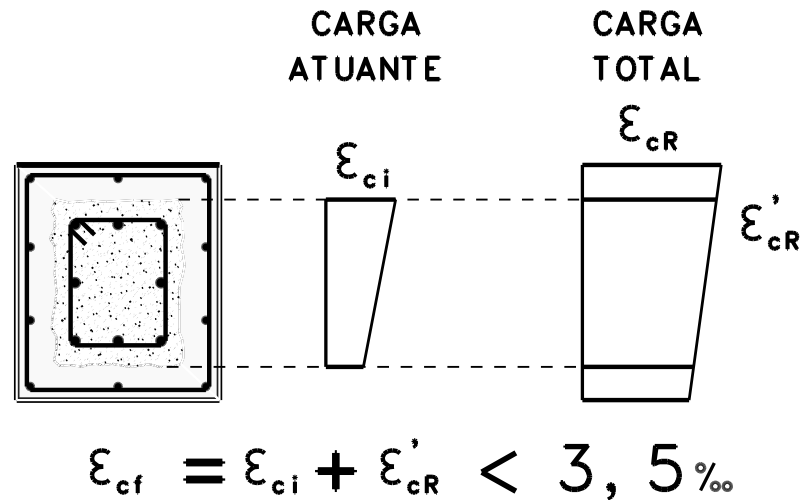
- Reforço com concreto armado de pilares que não têm a resistência de projeto devido à má qualidade do concreto ou à falta de armadura
- Espessura mínima da camada de concreto está condicionada à facilidade de colocá-la em obra
- É conveniente não utilizar espessuras menores que 7 cm.

- A espessura da camada de concreto vem imposta pela seção prevista para resistir ao esforço.
- O reforço com concreto tem a vantagem de que este trabalha unido ao pilar original pela aderência que existe entre os concretos, motivadas pelo efeito de cintamento que produz a retração.
- Em caso de pequenas fissuras ou trincas, procede-se à uma injeção de resina epóxi
- Se os danos estão localizados no pilar, proceder-se-á ao escoramento da estrutura que carrega o pilar, quando possível.
- Com este tipo de reforço aumenta-se de forma bastante considerável a resistência, rigidez e tenacidade do pilar reforçado

O método “aproximado requintado”:

Consiste em verificar a capacidade residual de deformação do pilar original para transferência das novas cargas ao reforço.

Este assunto é muito controverso e portanto é melhor ser conservador!

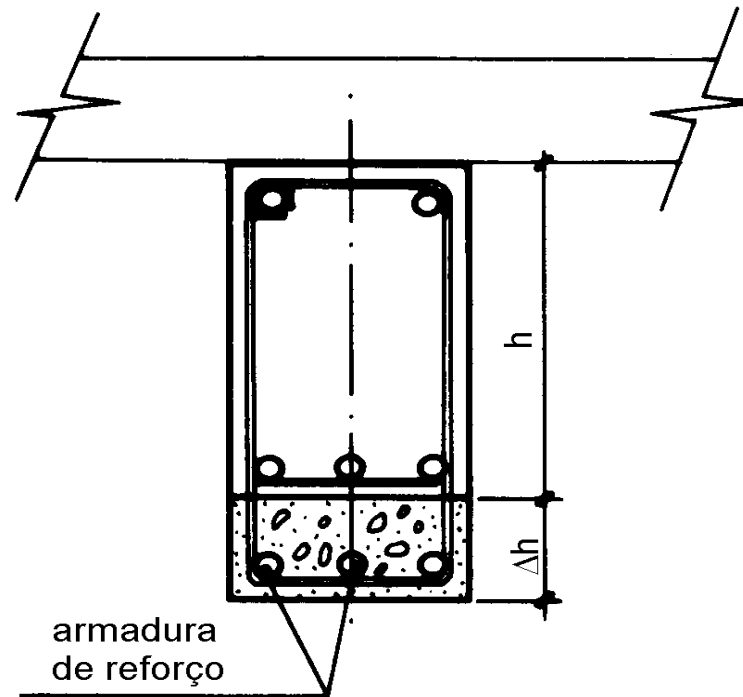


Cuidados Importantes:

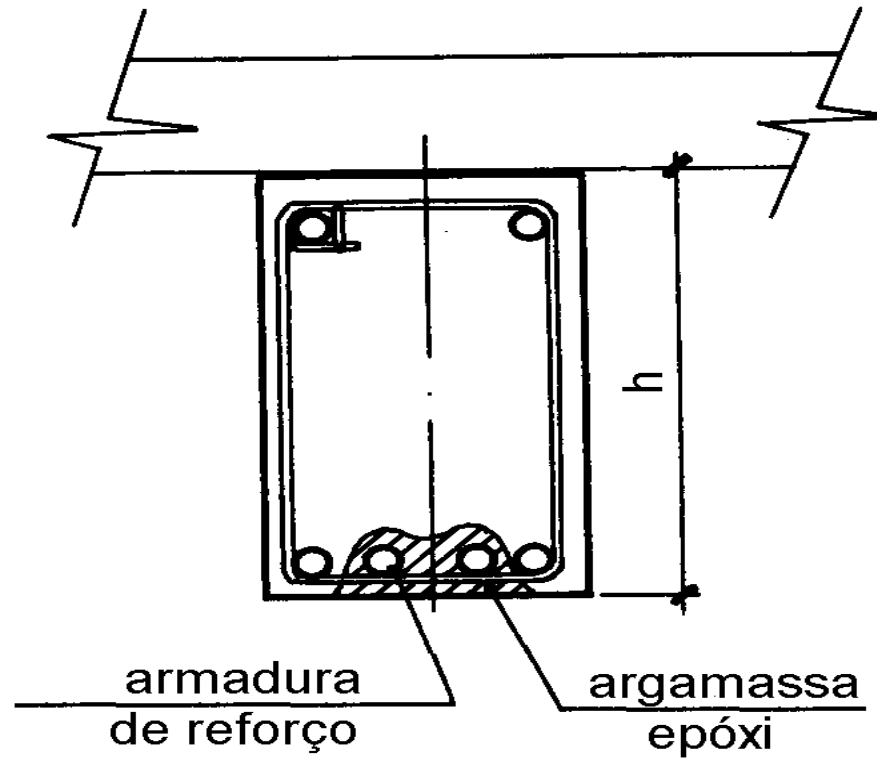
- 1 – O reforço de pilares deve ser ancorado um lance acima e um abaixo do lance a reforçar.
- 2 – Considerar a resistência das vigas/lajes no caso de seções não confinadas por vigas.
- 3 – Desconsiderar armaduras que não podem seguir nas interferências com vigas.
- 4 – Detalhar estribos segmentados nas regiões das vigas e outras interferências.

Reforço de Vigas

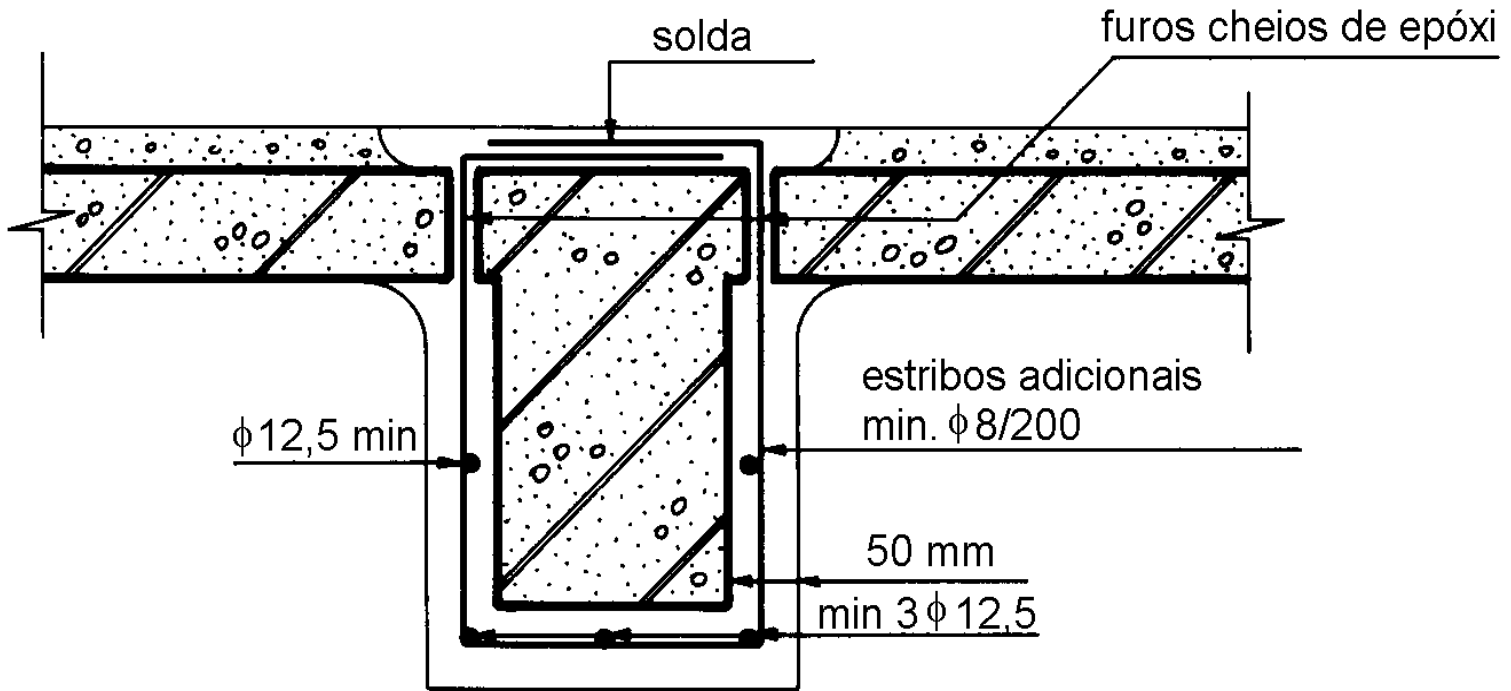
- A falta de armadura de tração que terá provocado fissuração na parte central da viga e inclusive pode provocar ruptura da mesma se a deficiência é grave
- A falta de capacidade resistente da viga pode ser consequência da falta de seção transversal na zona comprimida
- No cortante, as falhas podem produzir-se pela má colocação da armadura transversal, ou por falhas motivadas por erros de cálculo ou de execução



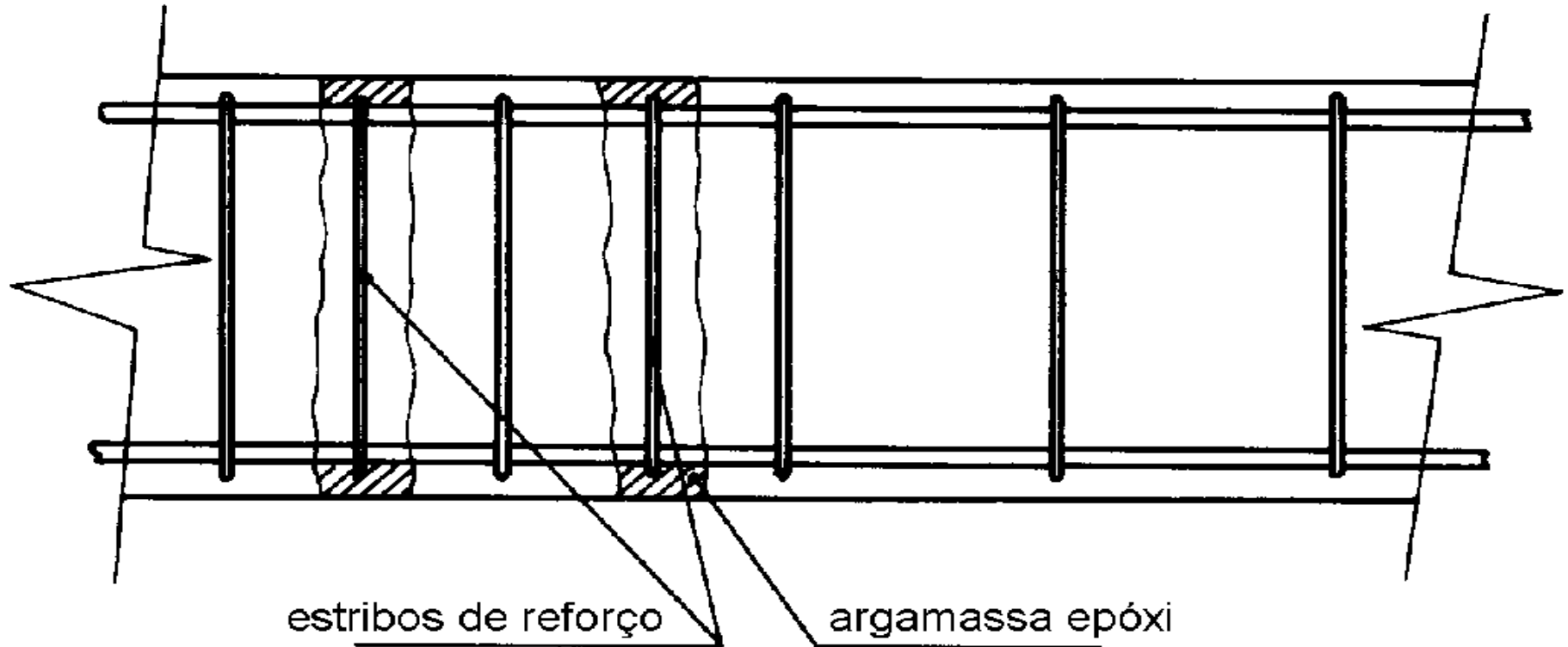
Reforço de viga com enchimento de concreto



Reforço de uma viga sem enchimento



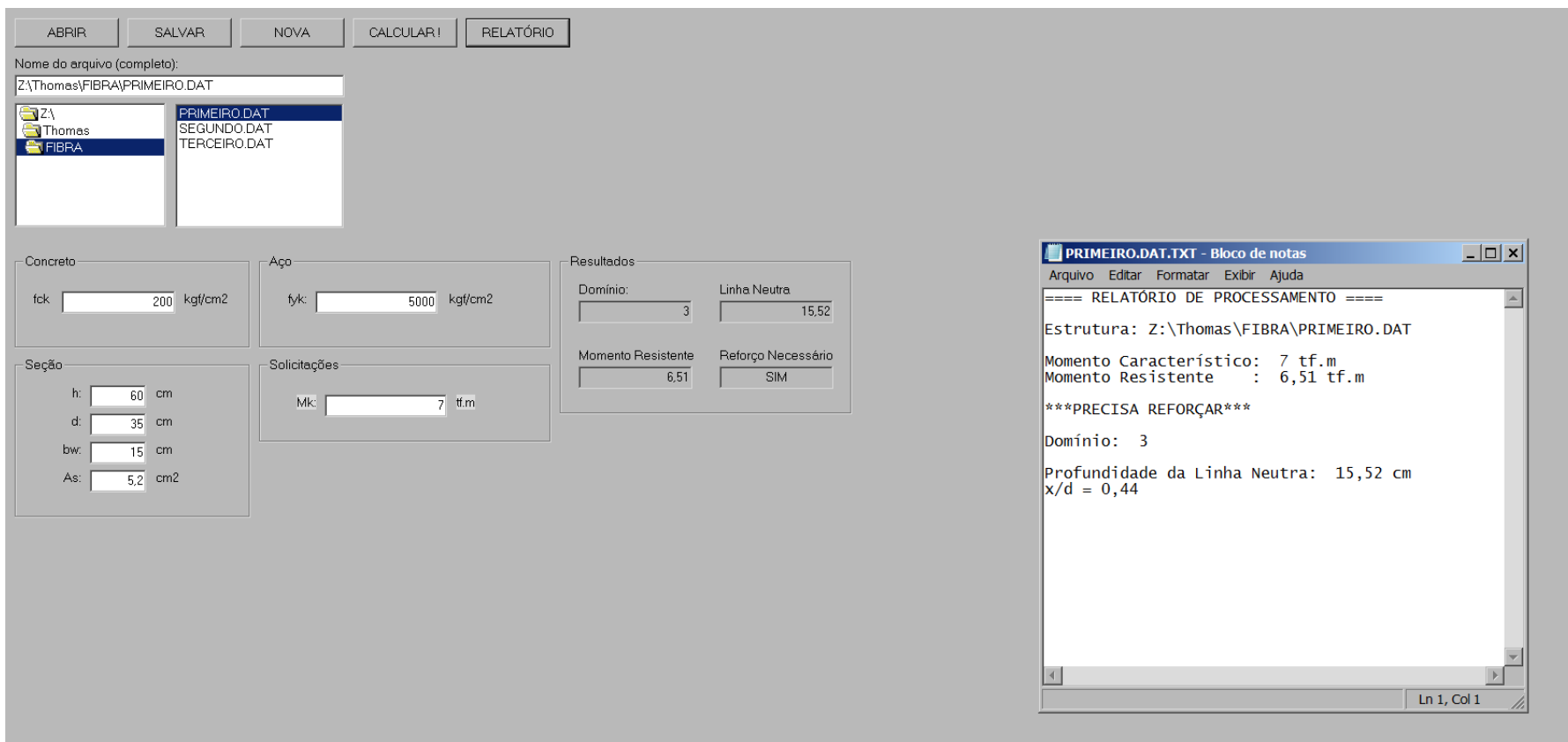
Detalhe da seção de uma viga reforçada com aumento de seção



Reforço da viga para força cortante

- Não esquecer que para realizar todos os tipos de reforços a primeira operação consiste em escorar as vigas afetadas e, se possível, descarregá-las total ou parcialmente

“BIM CARMONA REFORÇO” 😊



The screenshot displays the main interface of the BIM CARMONA REFORÇO software. At the top, there are buttons for 'ABRIR', 'SALVAR', 'NOVA', 'CALCULAR!', and 'RELATÓRIO'. Below these, the file name 'Z:\Thomas\FIBRA\PRIMEIRO.DAT' is shown in a text field. A file explorer window is open, showing the directory structure and the selected file 'PRIMEIRO.DAT'. The interface is divided into several input sections:

- Concreto:** fck = 200 kg/cm²
- Aço:** fyk = 5000 kg/cm²
- Seção:** h = 60 cm, d = 35 cm, bw = 15 cm, As = 5,2 cm²
- Solicitações:** Mk = 7 tf.m
- Resultados:**

Domínio:	Linha Neutra
3	15,52
Momento Resistente	Reforço Necessário
6,51	SIM

On the right side, a 'BLOCO DE NOTAS' window titled 'PRIMEIRO.DAT.TXT' is open, displaying the following report:

```

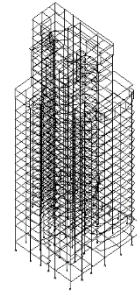
==== RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO ====
Estrutura: Z:\Thomas\FIBRA\PRIMEIRO.DAT
Momento Característico: 7 tf.m
Momento Resistente : 6,51 tf.m
***PRECISA REFORÇAR***
Domínio: 3
Profundidade da Linha Neutra: 15,52 cm
x/d = 0,44
  
```

The status bar at the bottom right of the notes window shows 'Ln 1, Col 1'.

Conjunto de 2 edifícios residenciais
Torre 1 - 15 pavimentos
Torre 2 - 16 pavimentos
Controle por amostragem total
C30 ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$)
Cimento declarado CII E 40

Os resultados de controle não foram analisados -
estrutura no 15º Pav.

Projeto Estrutural:



Escritório Técnico Cid Guimarães

Projeto Estrutural | Concreto Armado | Concreto Protendido | Alvenaria Estrutural

Engenheiros Responsáveis:

Cid A. Q. Guimarães

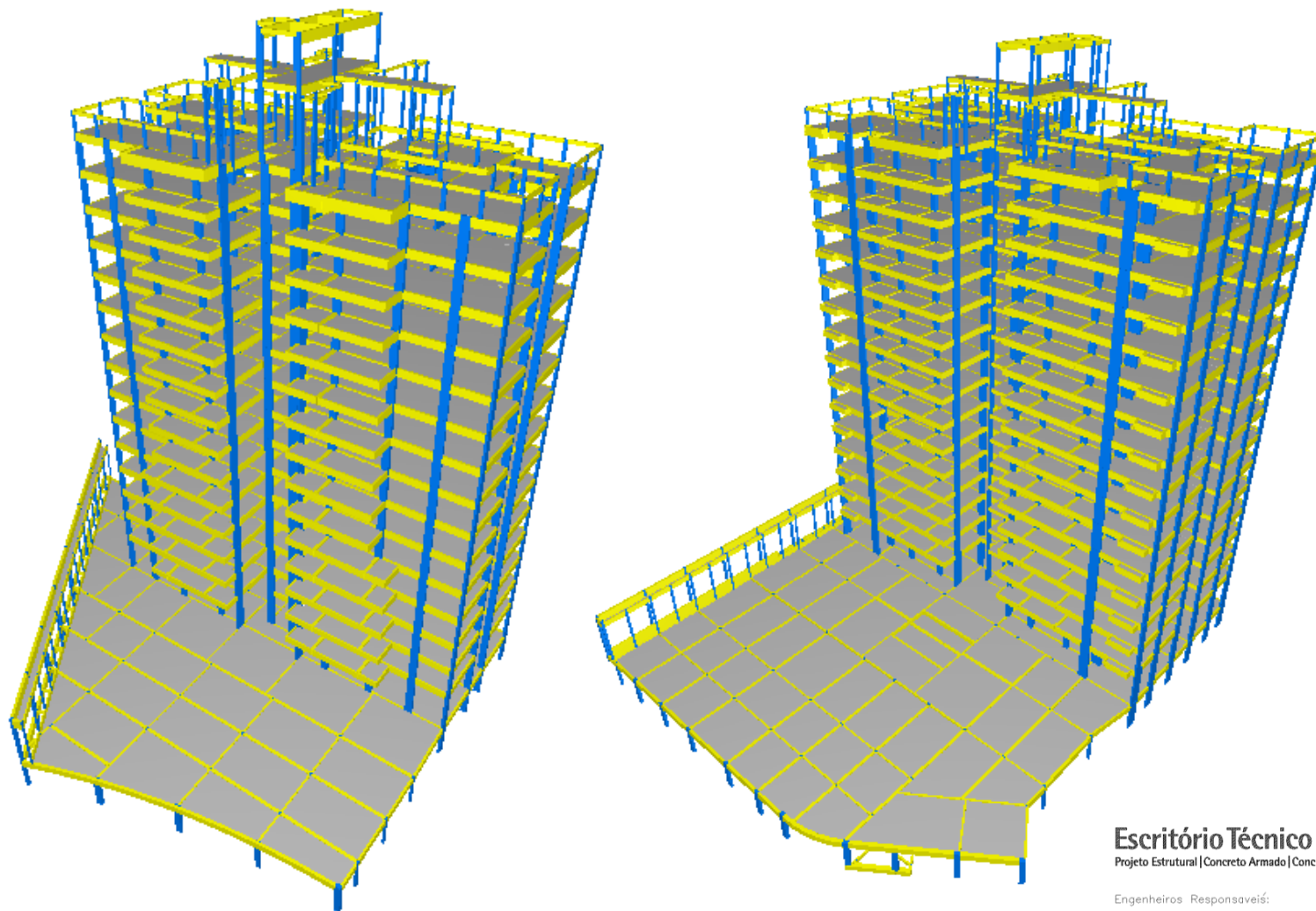
CREA: 0601478320

Fábio F. Albieri

CREA: 5060788659

“Descontrole” por amostragem total!

ISSO NÃO PODE ACONTECER!



Escritório Técnico Cid Guimarães
Projeto Estrutural | Concreto Armado | Concreto Protendido | Alvenaria Estrutural

Engenheiros Responsáveis:

Cid A. Q. Guimarães

Fábio F. Albieri

CREA: 0601478320

CREA: 5060788659

Conselho da Manuela - 180 dias (fora da câmara úmida)

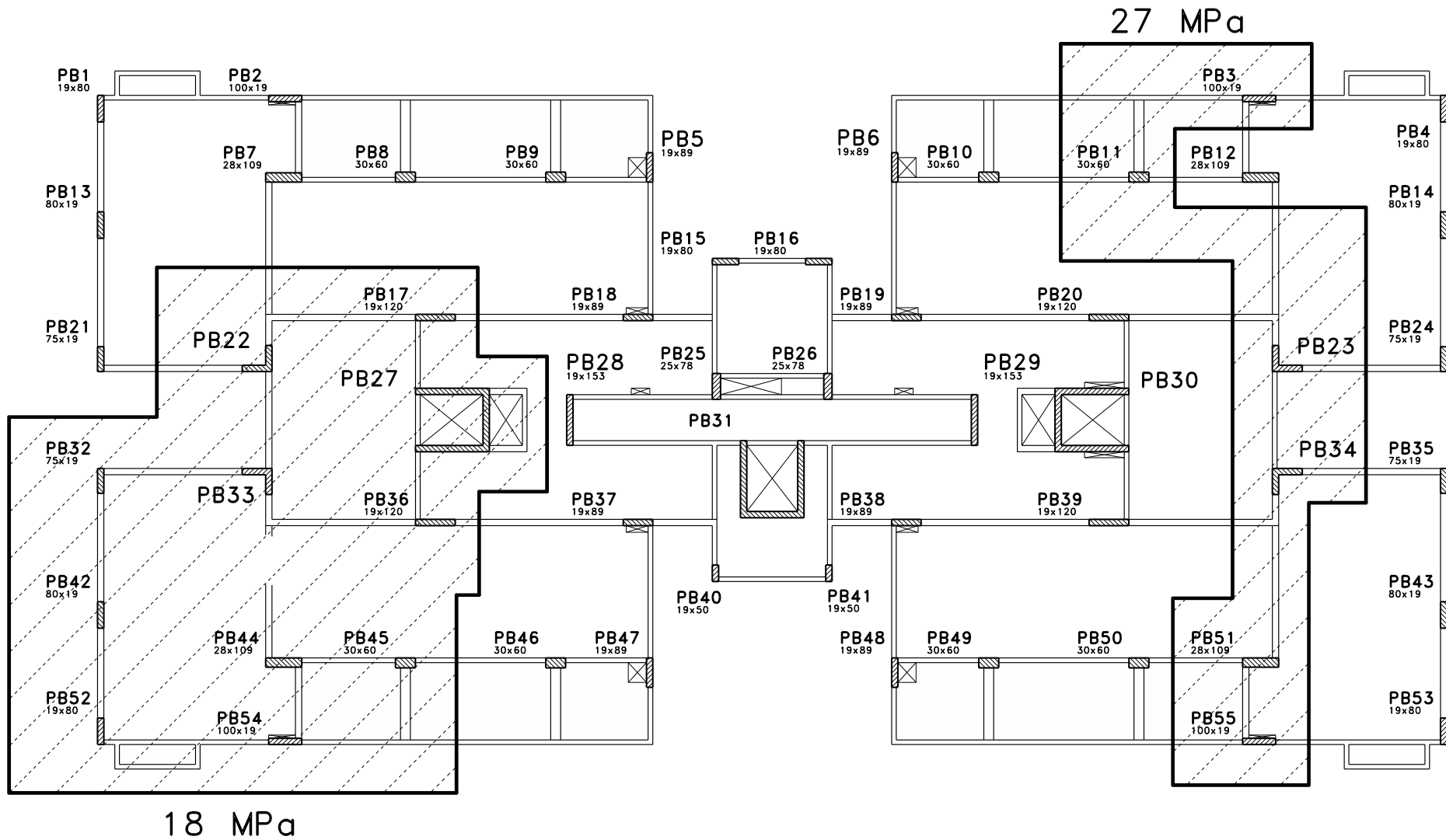
¿¿Nossa, mas de 30 para 18 MPa??

¿¿Justo no térreo com pé-direito duplo??

¿¿E agora Batman, como é que eu faço??

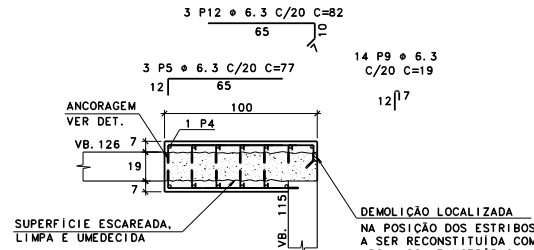
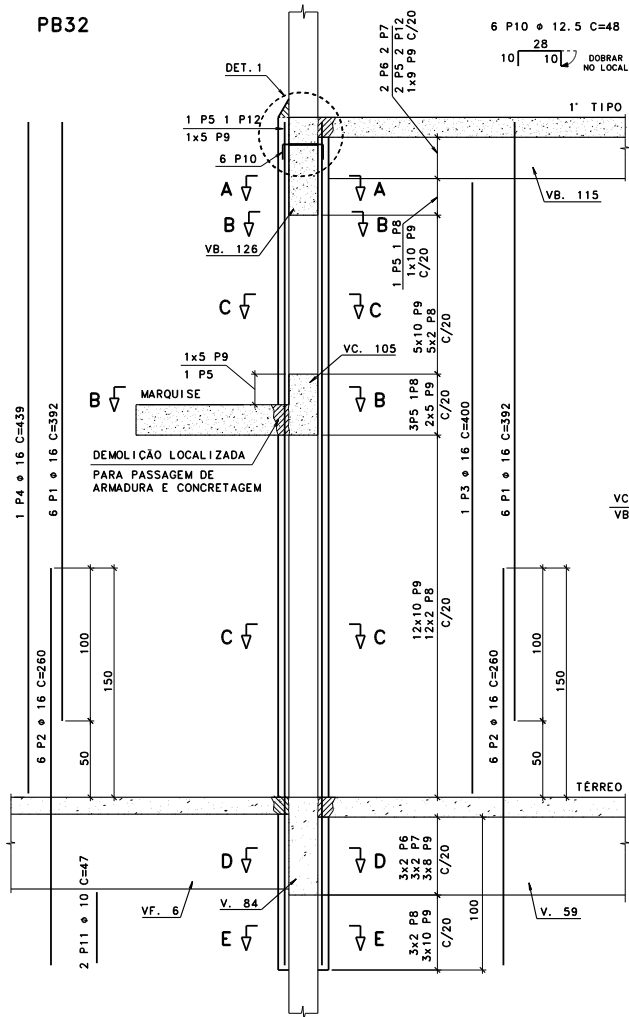


Tio, chama o vovô
Carmona que essa é
pra gente grande!

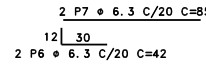


Exemplos de Projeto

PB32

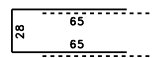


CORTE A

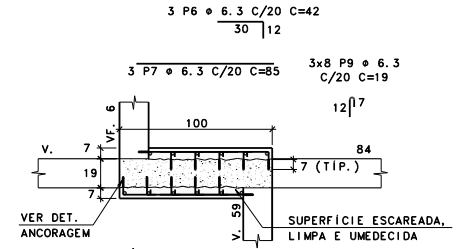


CORTE B

17x2 P8 ϕ 6.3 C/20 C=158



CORTE C



CORTE D

5x5 P9 ϕ 6.3 C/20 C=19

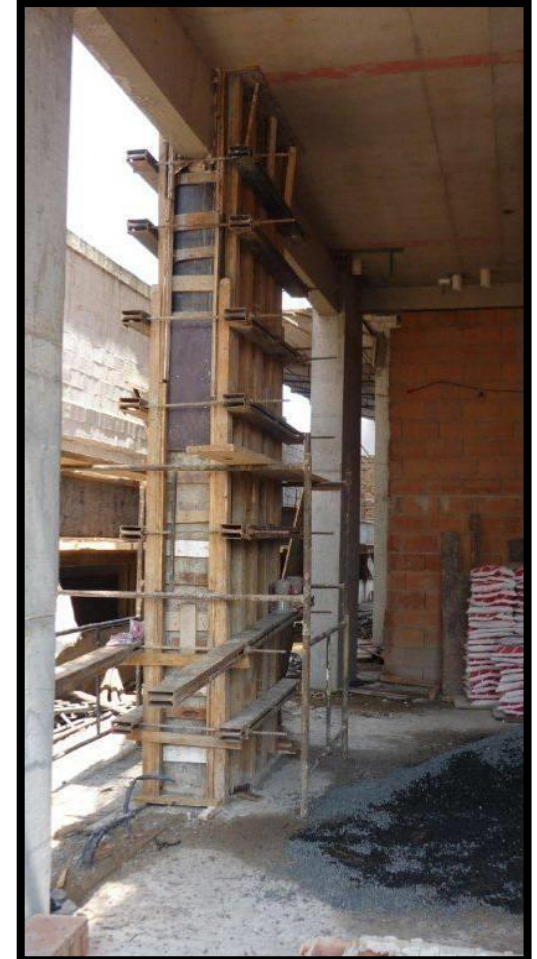


CORTE E

17x10 P9 ϕ 6.3 C/20 C=19



Exemplos de Projeto



Exemplos de Projeto

“...de repente não mais que de repente...”

Uma descoberta estarrecedora!



Exemplos de Projeto

Abre parêntesis: Para quem não acredita que os ganchos servem de algo:



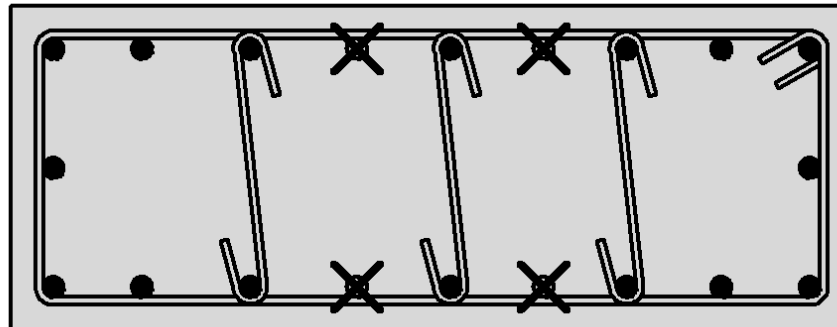
Exemplos de Projeto

Após amostragem para verificação da colocação de ganchos em vários lances se constatou que realmente o erro foi generalizado!

“...do riso fez-se o pranto... silencioso e calmo como a bruma...”

Conclusão: fomos obrigados a reaverificar todos os lances de pilares!

- Desconsiderando armaduras desprotegidas contra flambagem.
- Concretos com diferentes resistências nos lances.
- Concretos com diferentes resistências no topo dos pilares.
- Diferentes coeficientes de segurança (testemunhos ou cps)



Exemplos de Projetos



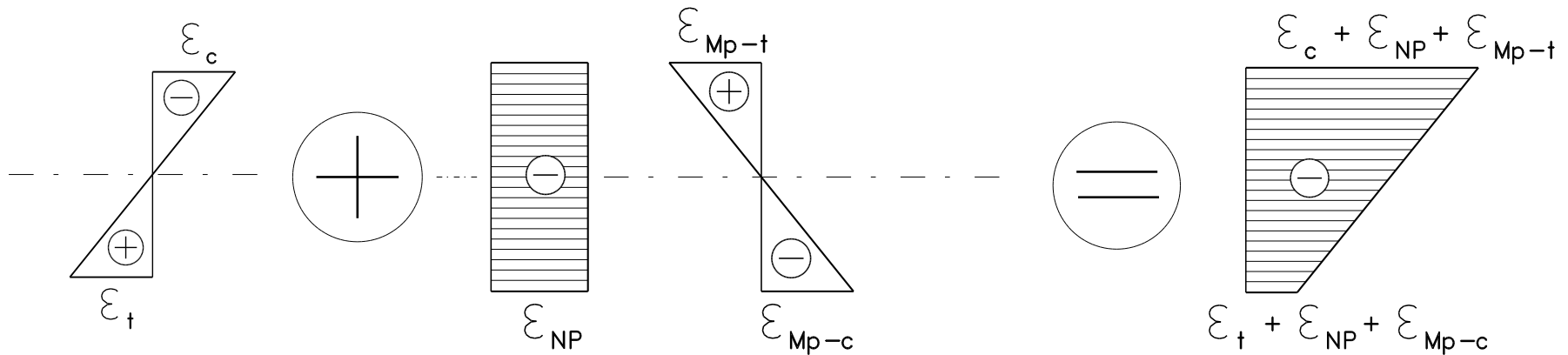
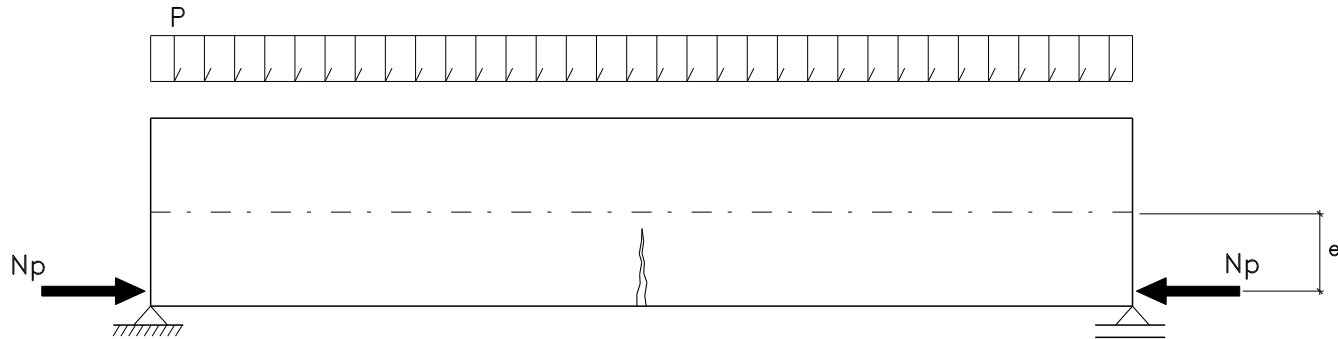
REFORÇOS COM PROTENSÃO

CONCEITOS

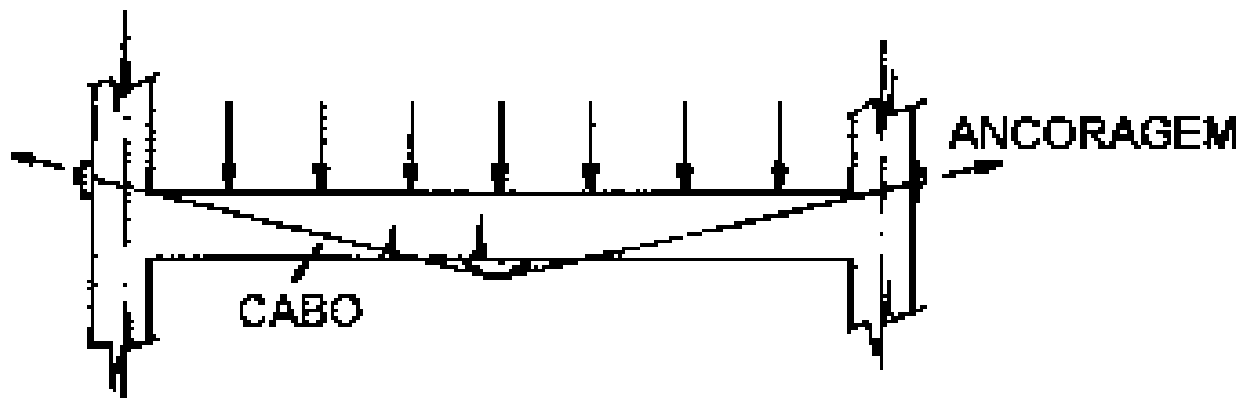
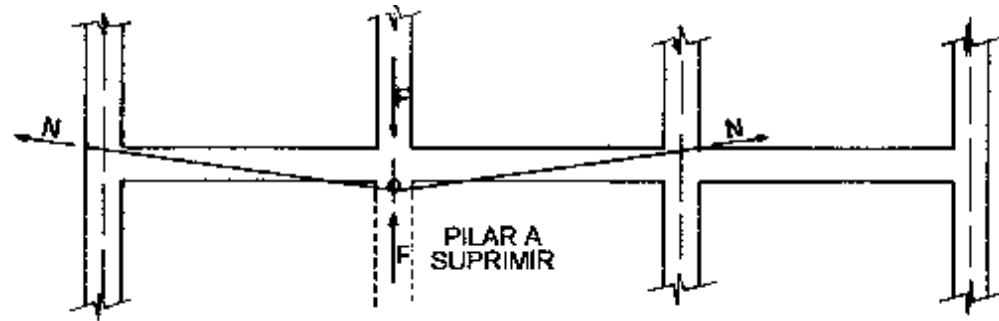
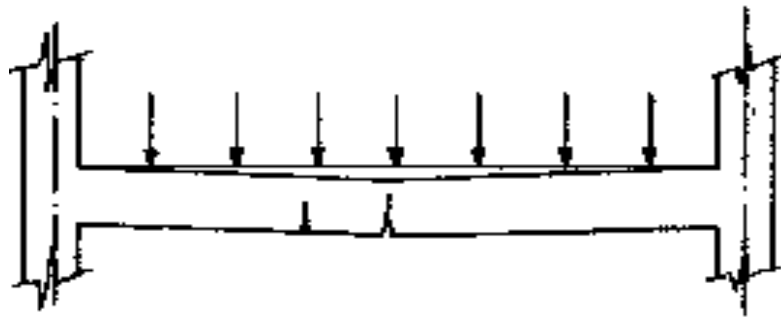
- Vantagem de dispensar a necessidade de se descarregar os elementos antes do reforço.
- Não é necessário que a estrutura se deforme para que o reforço passe a funcionar.
- Eficiente para combate dos deslocamentos.
- Fácil manutenção - substituição total ou parcialmente
- Os esforços solicitantes gerados pela ação da protensão podem ser calculados diretamente a partir da excentricidade do cabo na seção transversal do elemento estrutural e da força de protensão ou através de um conjunto de cargas externas equivalentes, ou ainda através da introdução de deformações impostas correspondentes ao pré-alongamento das armaduras.
- Não esquecer das perdas!!!!!!

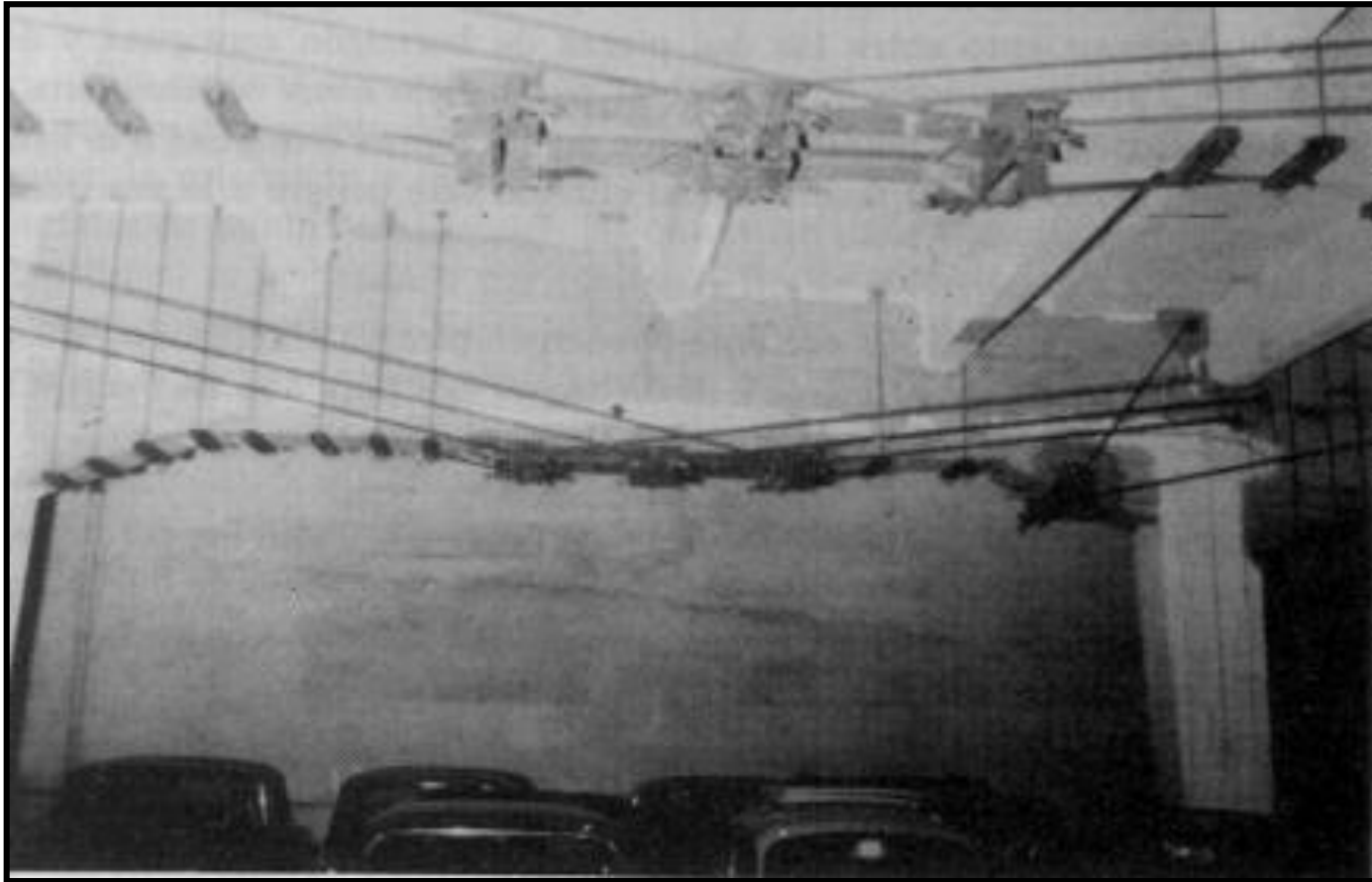


Cabo Excêntrico



REFORÇO COM CABOS INCLINADOS

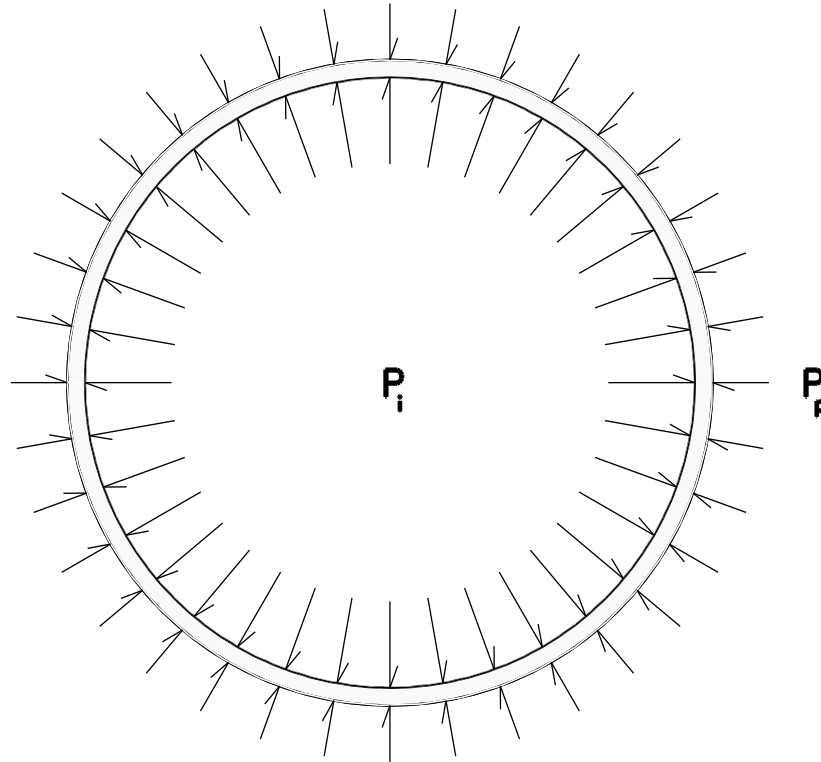


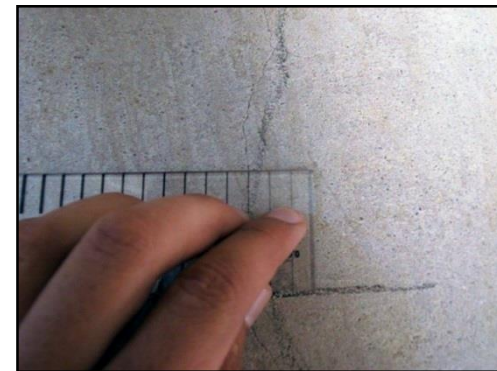
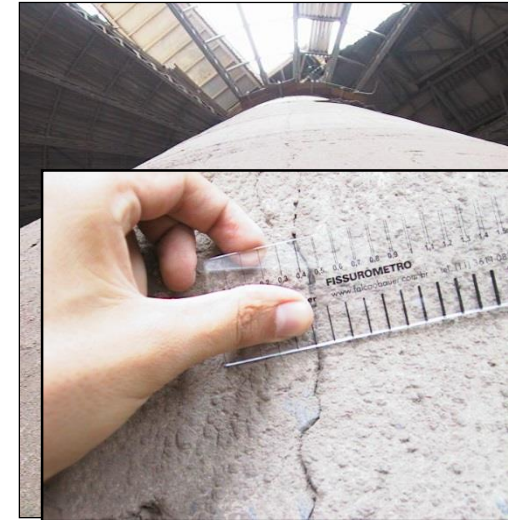
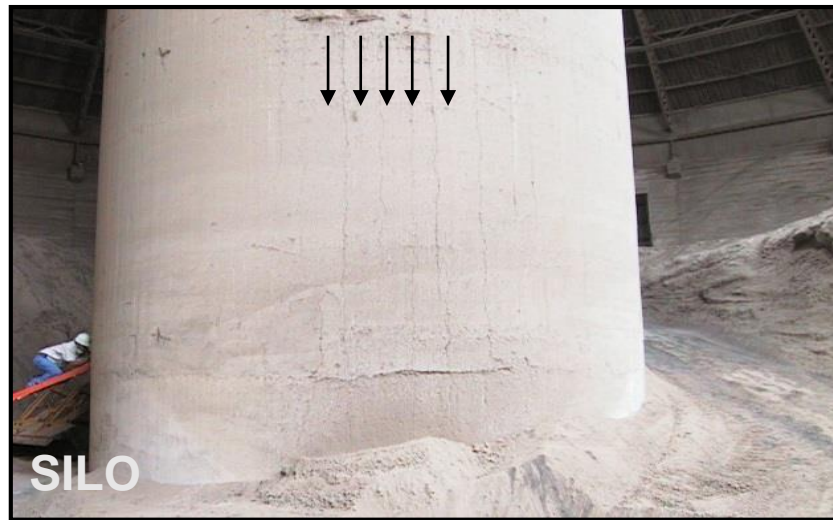


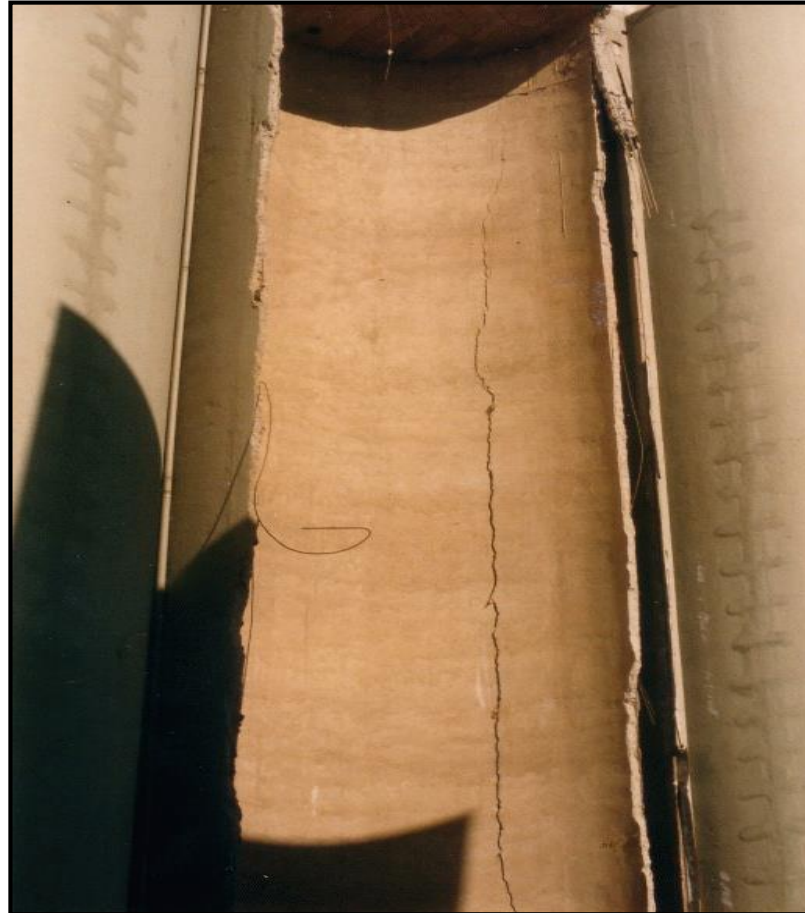
Viga reforçada a flexão e cortante por protensão

REFORÇO DE ESTRUTURAS CILÍNDRICAS

A protensão externa atua como uma pressão externa oposta à do material armazenado, tendendo a anular as tensões de tração oriundas dessa pressão.



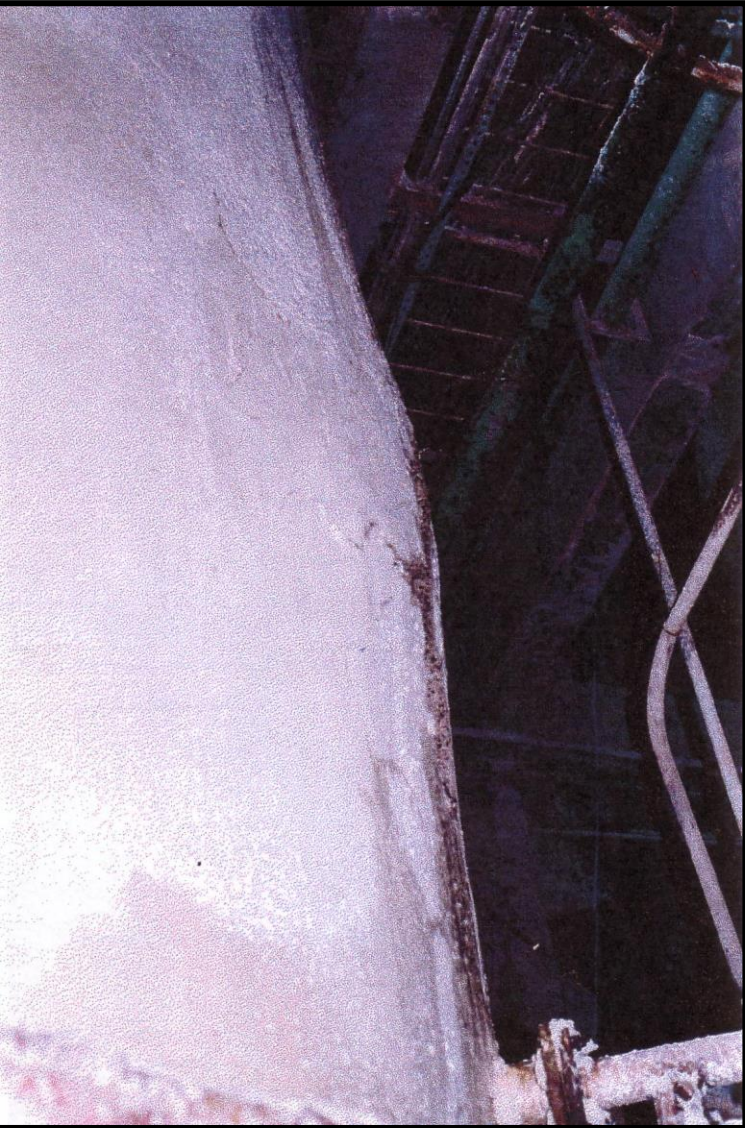


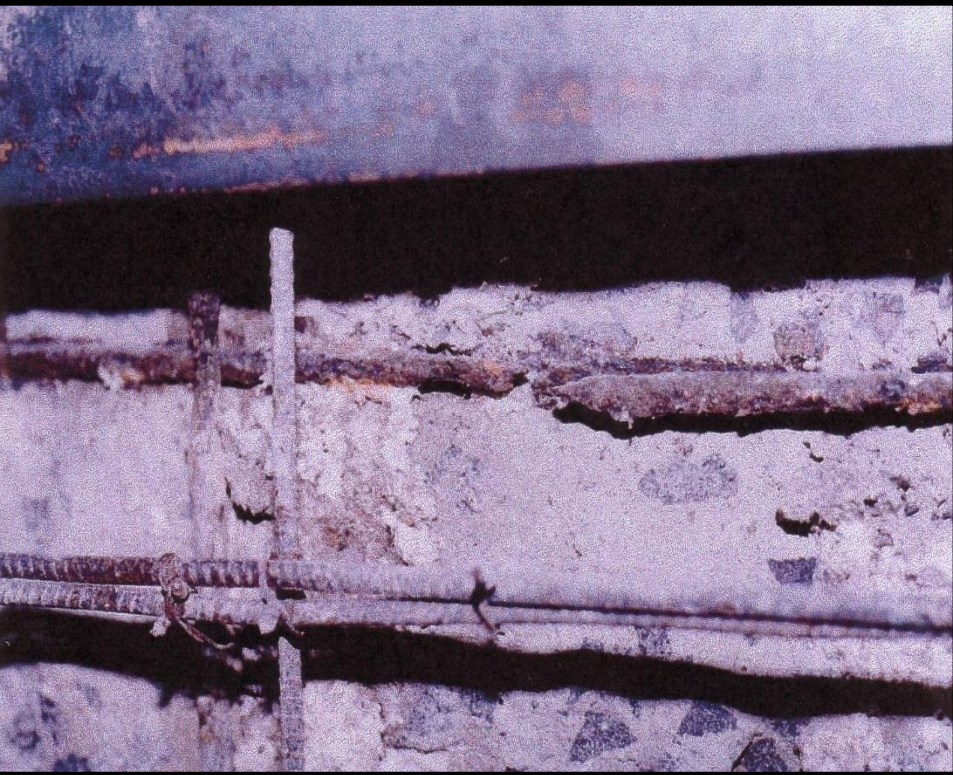


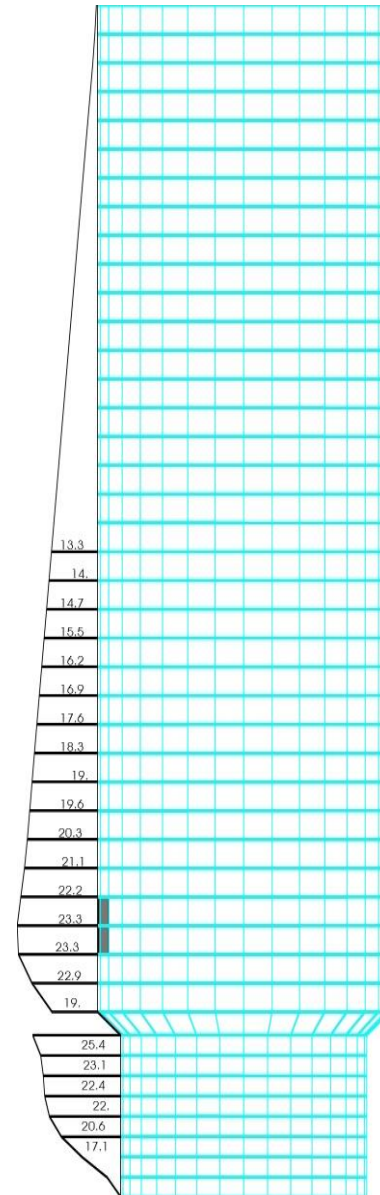
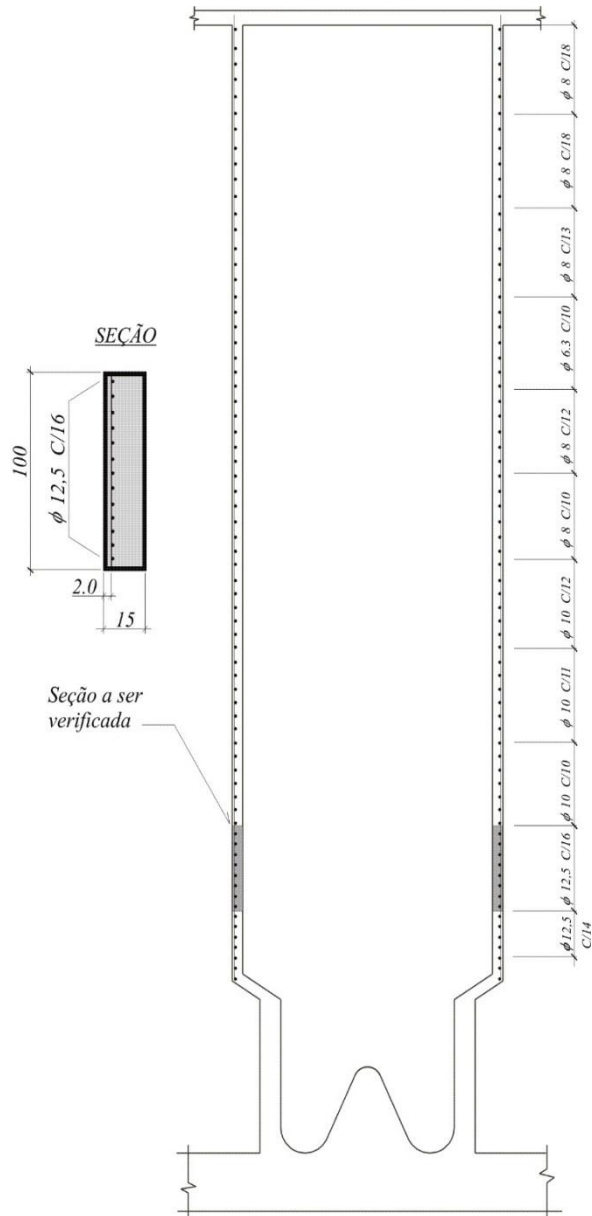
Silo com ruína parcial, Moinho Peônia - Santa Catarina

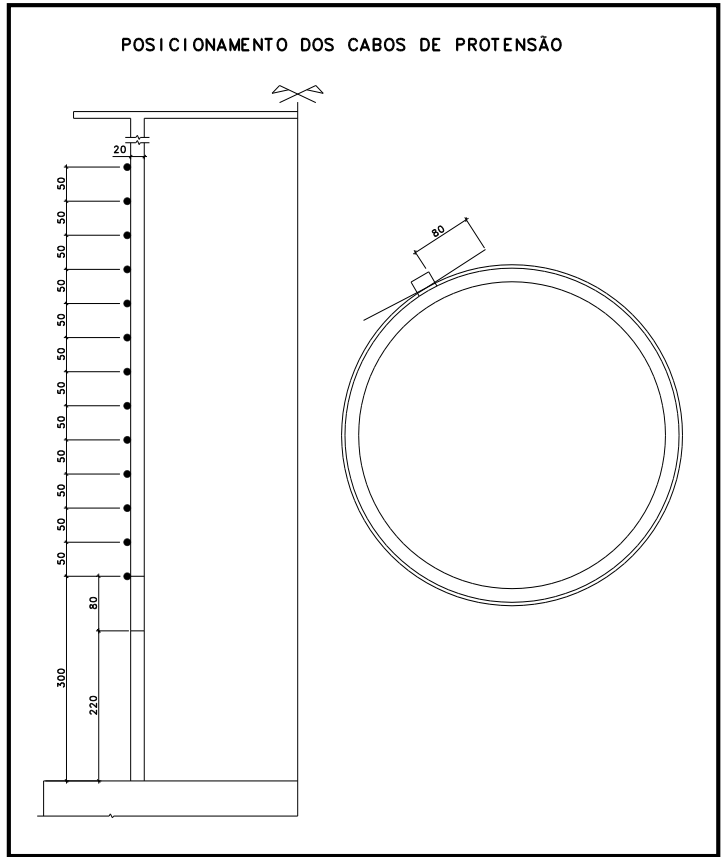
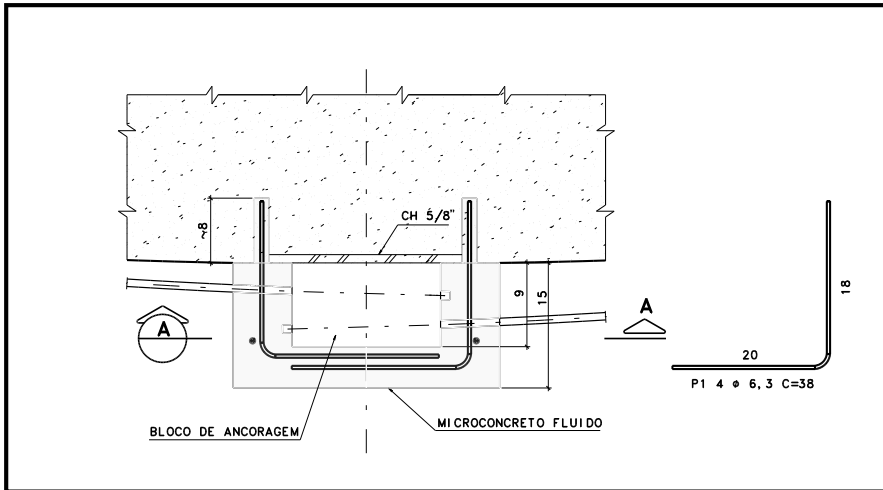
TANQUE de HIPOCLORITO – Linha A

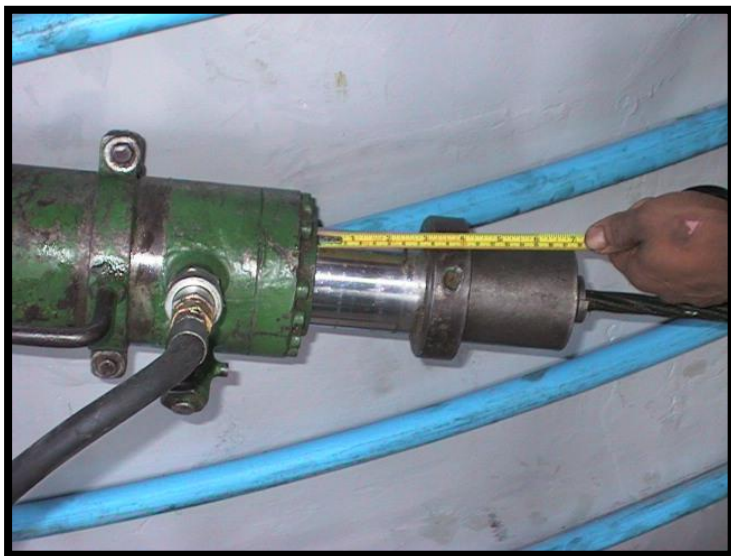
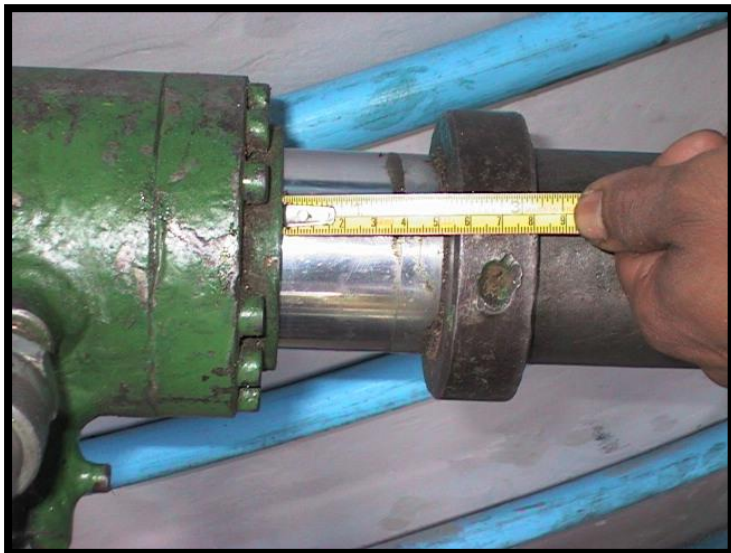
- Tanque que opera em uma fábrica de papel e celulose no interior de São Paulo
- Substância rica em cloro.
- Área da produção de celulose – PRODUCEL.
- Ambiente com abundância de cloretos e umidade.







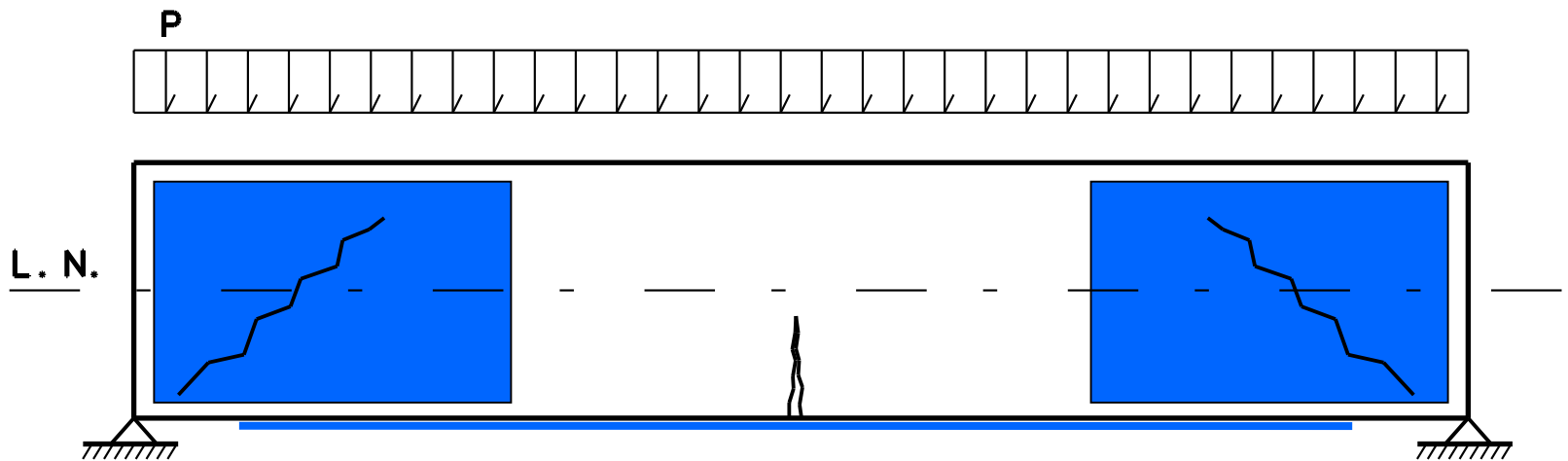


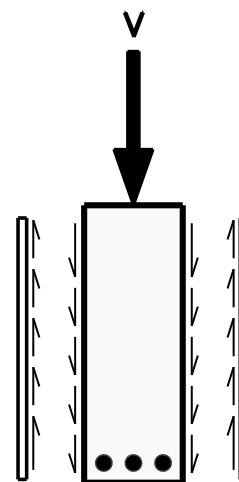
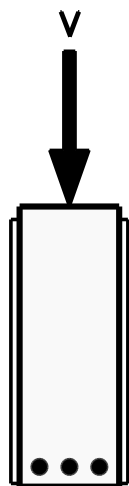
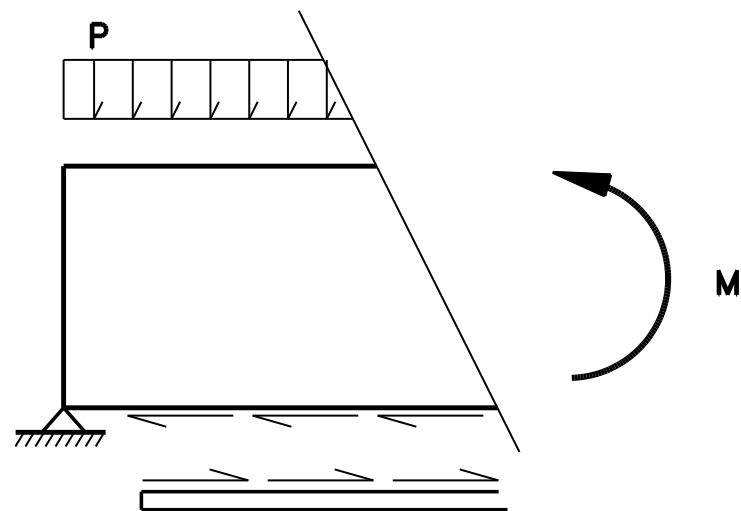
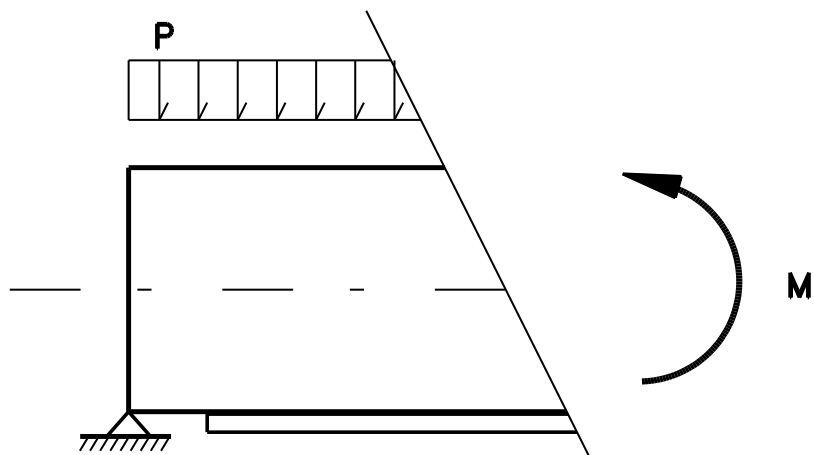


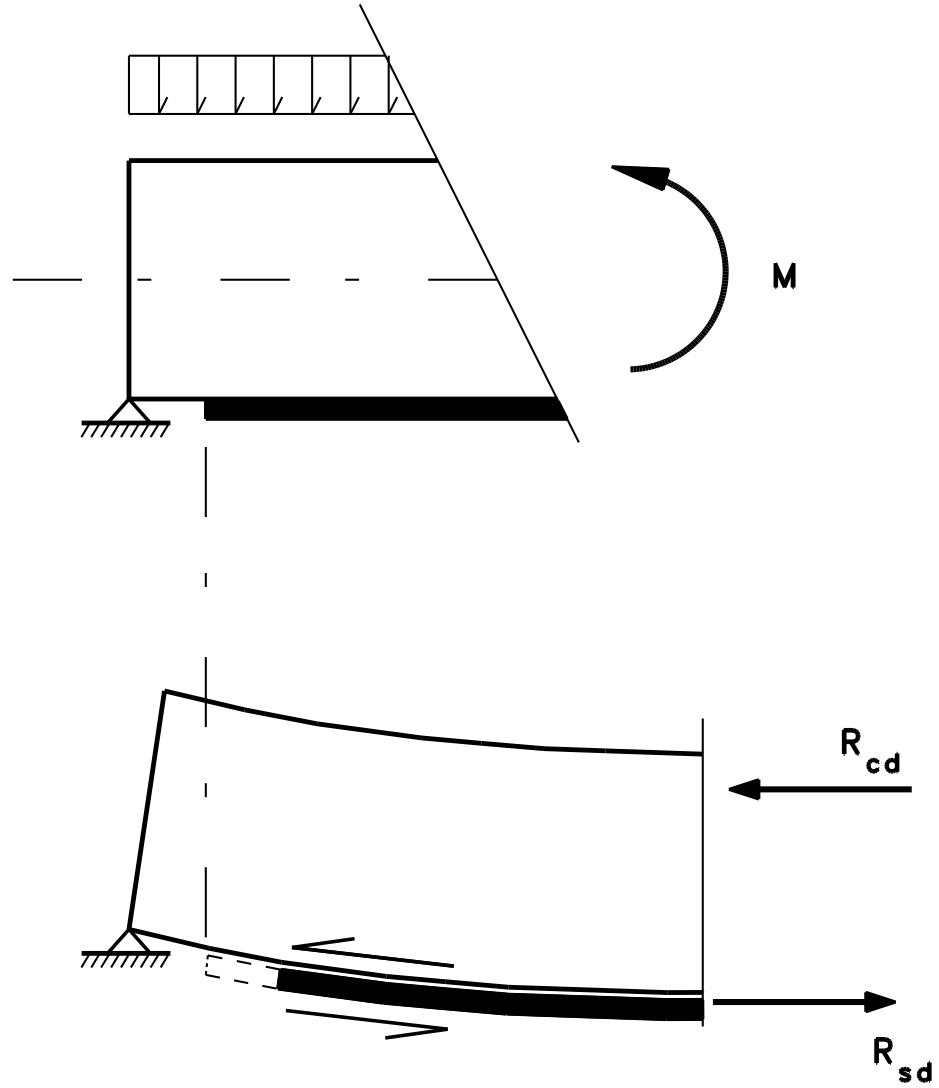


Chapas Coladas

Importância das ligações mediante tensões tangenciais







3. EXECUÇÃO

- Recuperação do concreto
- Injeção de fissuras
- Preparo de superfície (lixamento / jato de areia)
- Regularização (argamassa epoxi)

- Execução de chumbadores
- Marcação das chapas e furação
- Lixamento das chapas
- Limpeza com solvente (acetona)
- Utilizar luvas de borracha

- Preparo do adesivo (mecanicamente)
- Posicionamento das chapas
- Aperto dos chumbadores
- Instalação de escoras e presilhas

- Teste de percussão
- Pintura de proteção das chapas







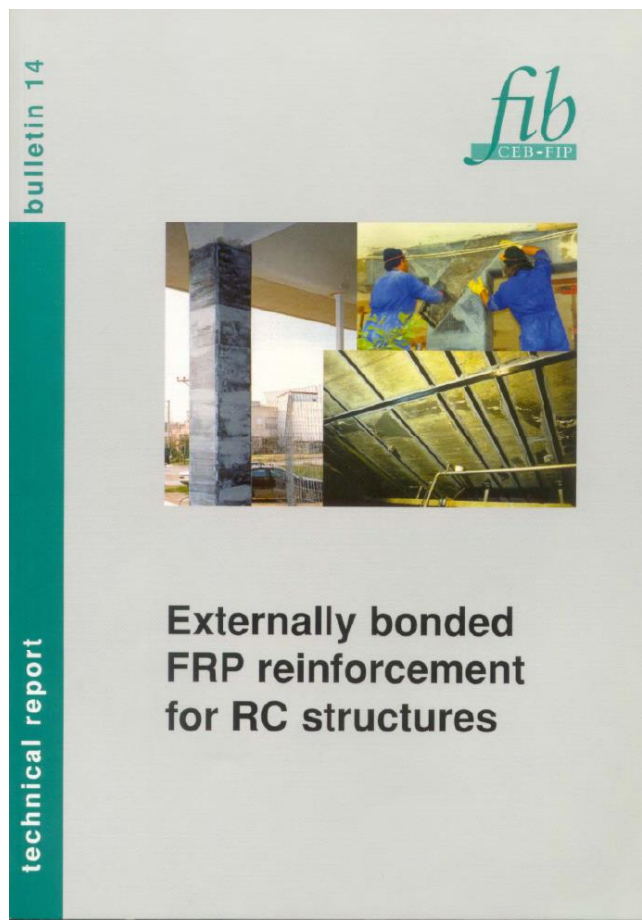








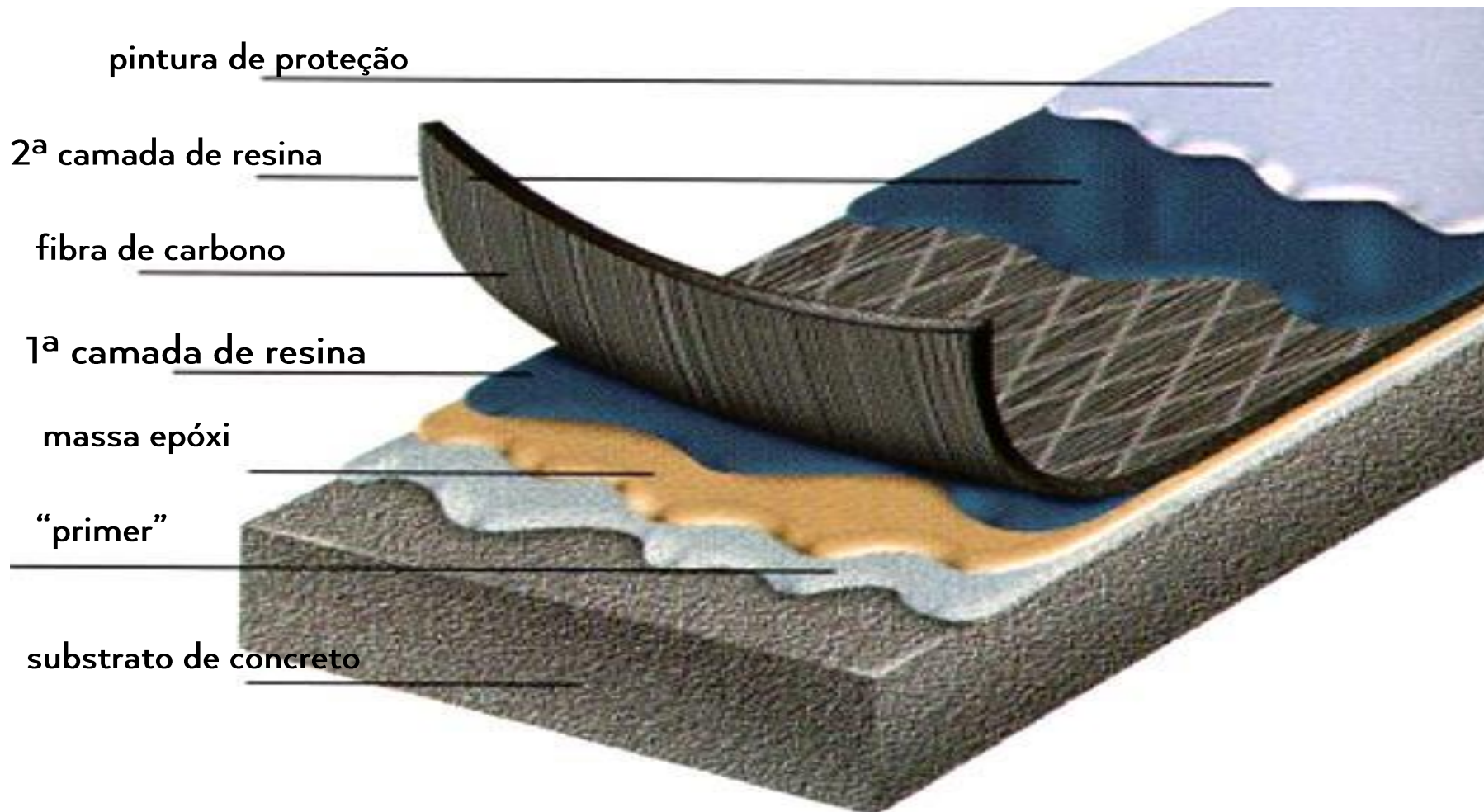
Reforço com Fibra de Carbono



Materiais e Métodos

Procedimentos para Aplicação

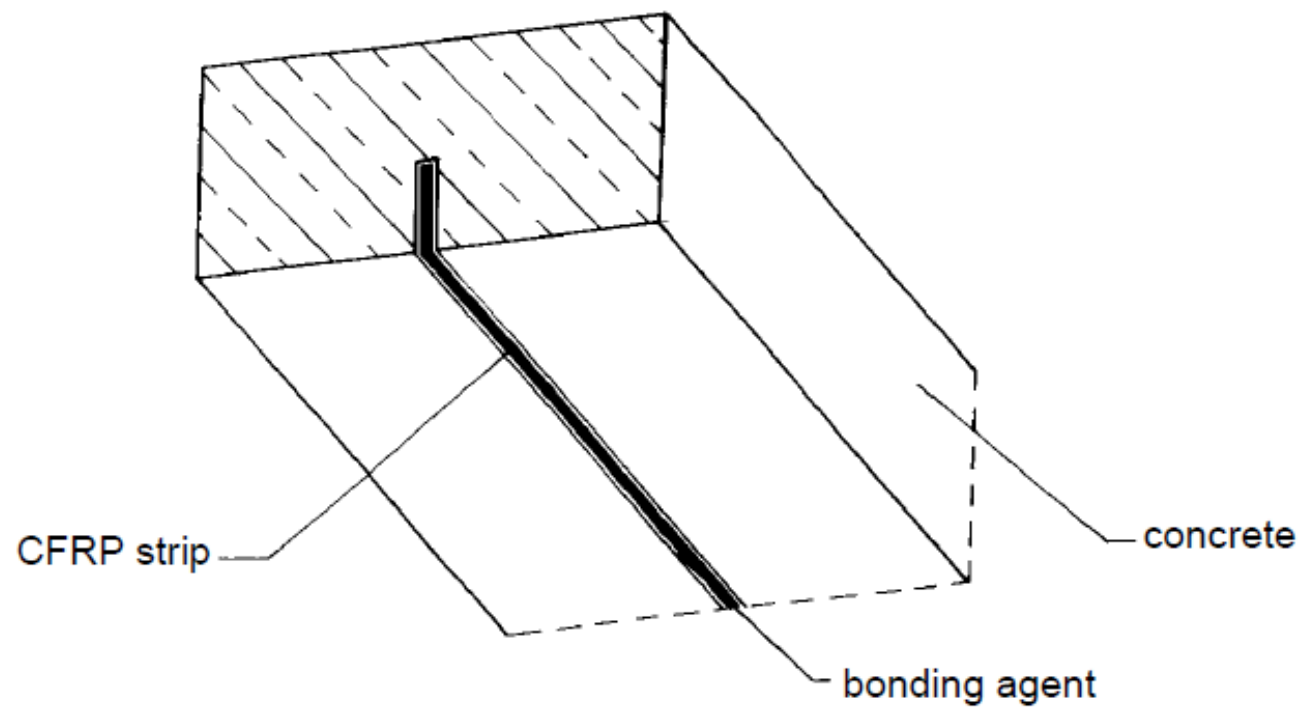
Materiais Componentes – Moldada no Local



Laminados Pré-fabricados



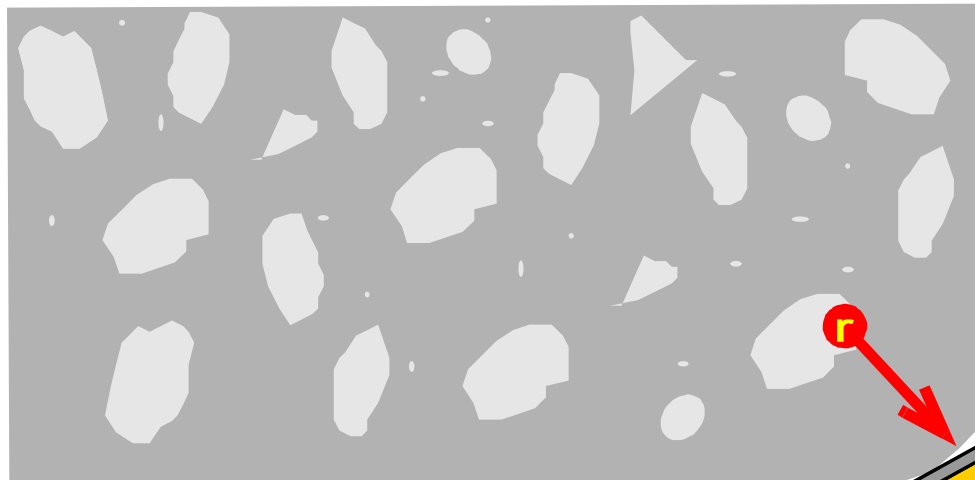
Laminados Pré-fabricados Inseridos



Laminados Protendidos

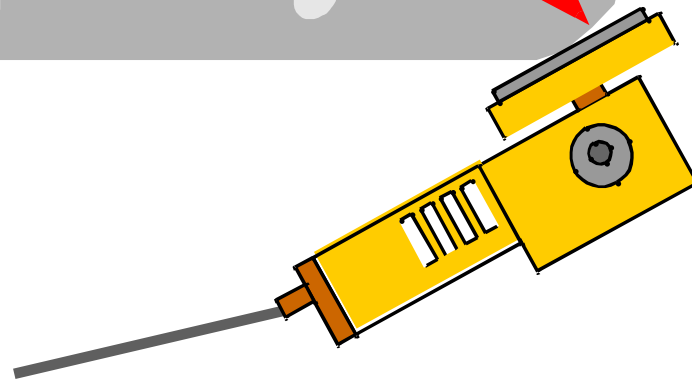


Procedimentos para Aplicação



$r = 1 \text{ cm}$

Preparar arestas



Procedimentos para Aplicação

Aplicação de primer sobre superfície preparada



Procedimentos para Aplicação

Aplicação de massa sobre o primer



Procedimentos para Aplicação

Corte da fibra na bancada



Procedimentos para Aplicação

Primeira saturação da fibra de carbono



Procedimentos para Aplicação

Remover o papel suporte



Procedimentos para Aplicação

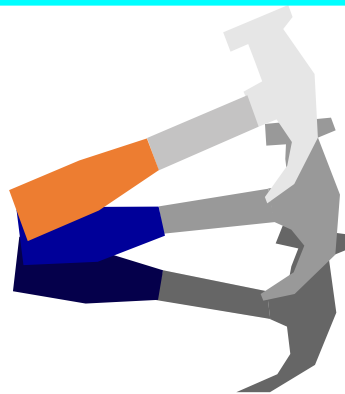
Remover as bolhas de ar com rolagem



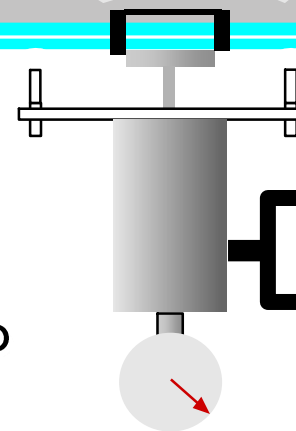
Testes de aderência



Sonoridade



Arrancamento



Procedimentos para Aplicação

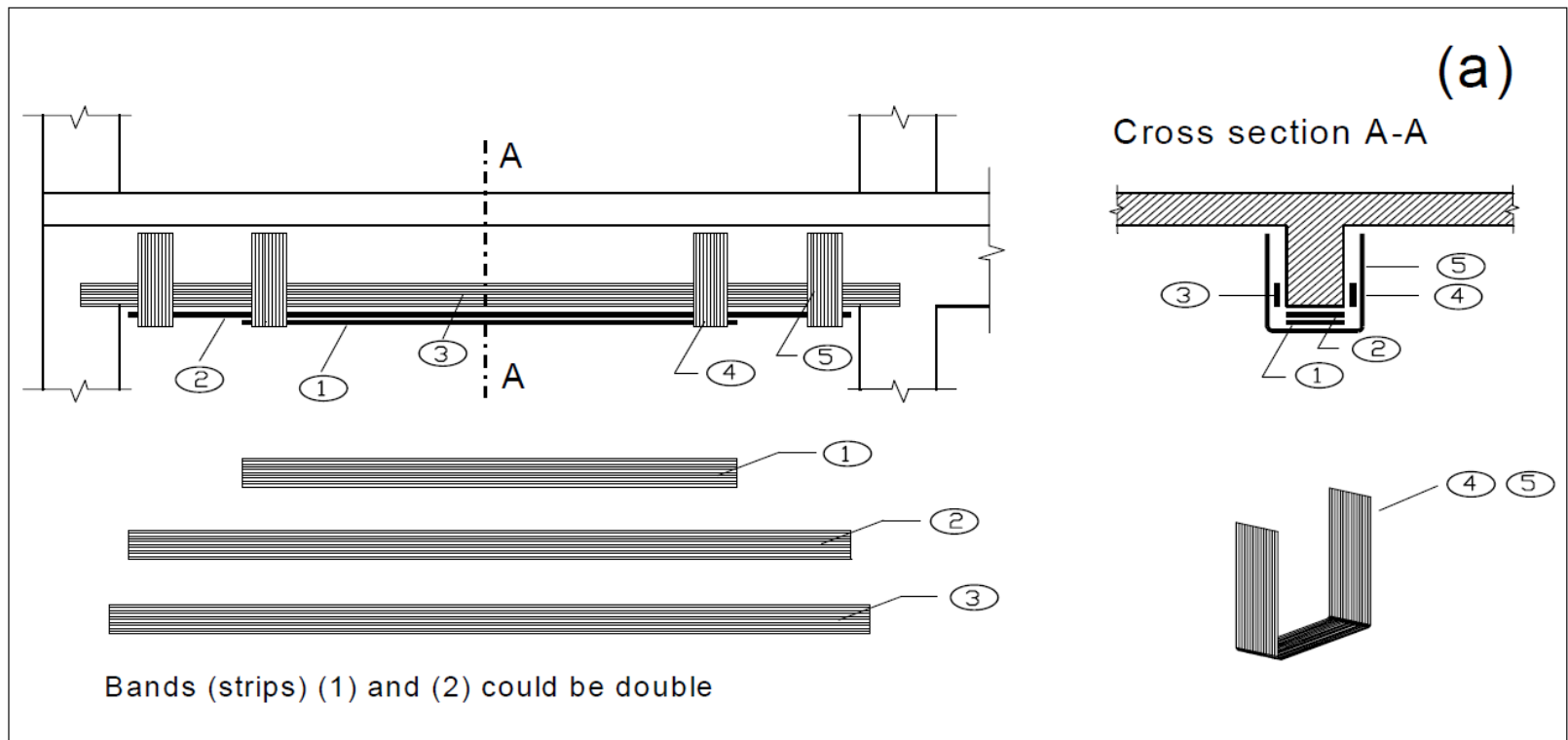
Equipamento utilizado para o teste de aderência



Dimensionamento de Reforços à Flexão (Fibra de Carbono)

As teorias ainda **não estão consolidadas**, as formulações resultam em baixos comprimentos de ancoragem, mas normalmente também em forças menores que as necessárias.

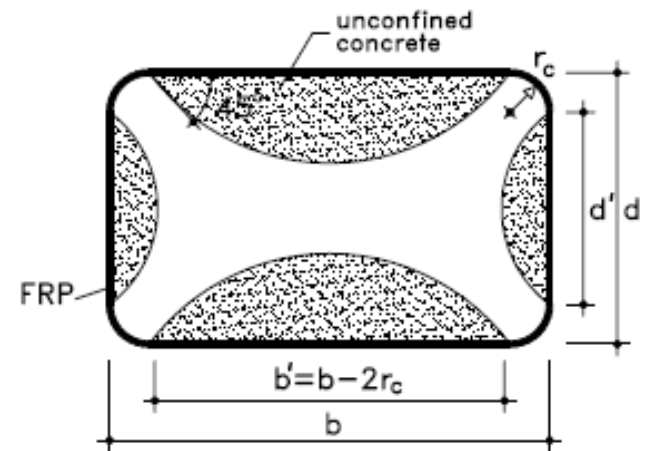
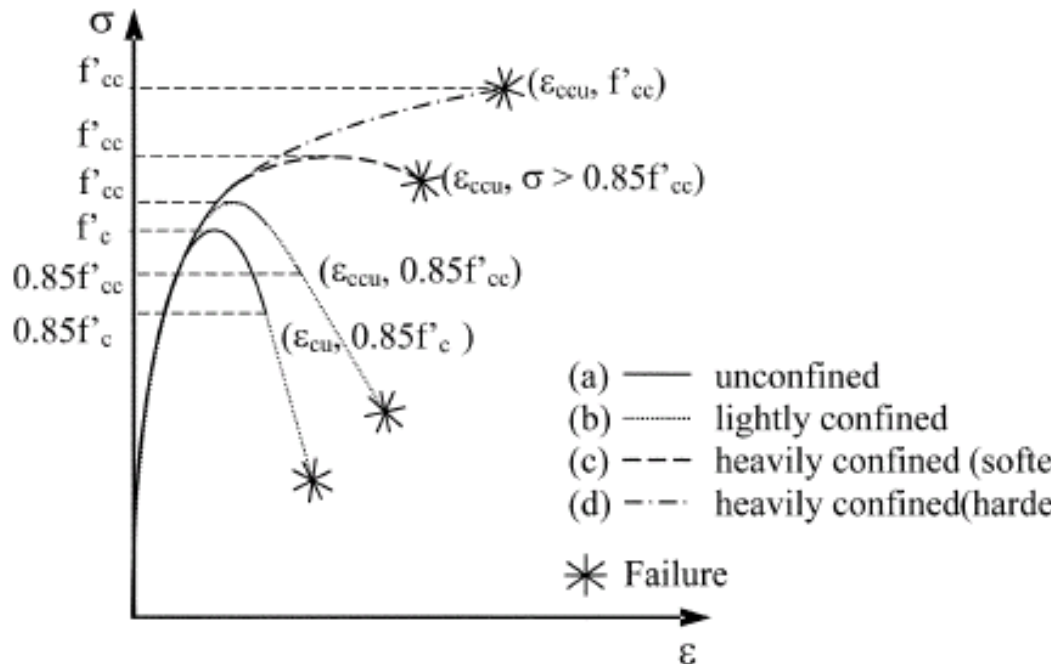
É recomendado empregar reforço transversal na zona de ancoragem do reforço longitudinal.



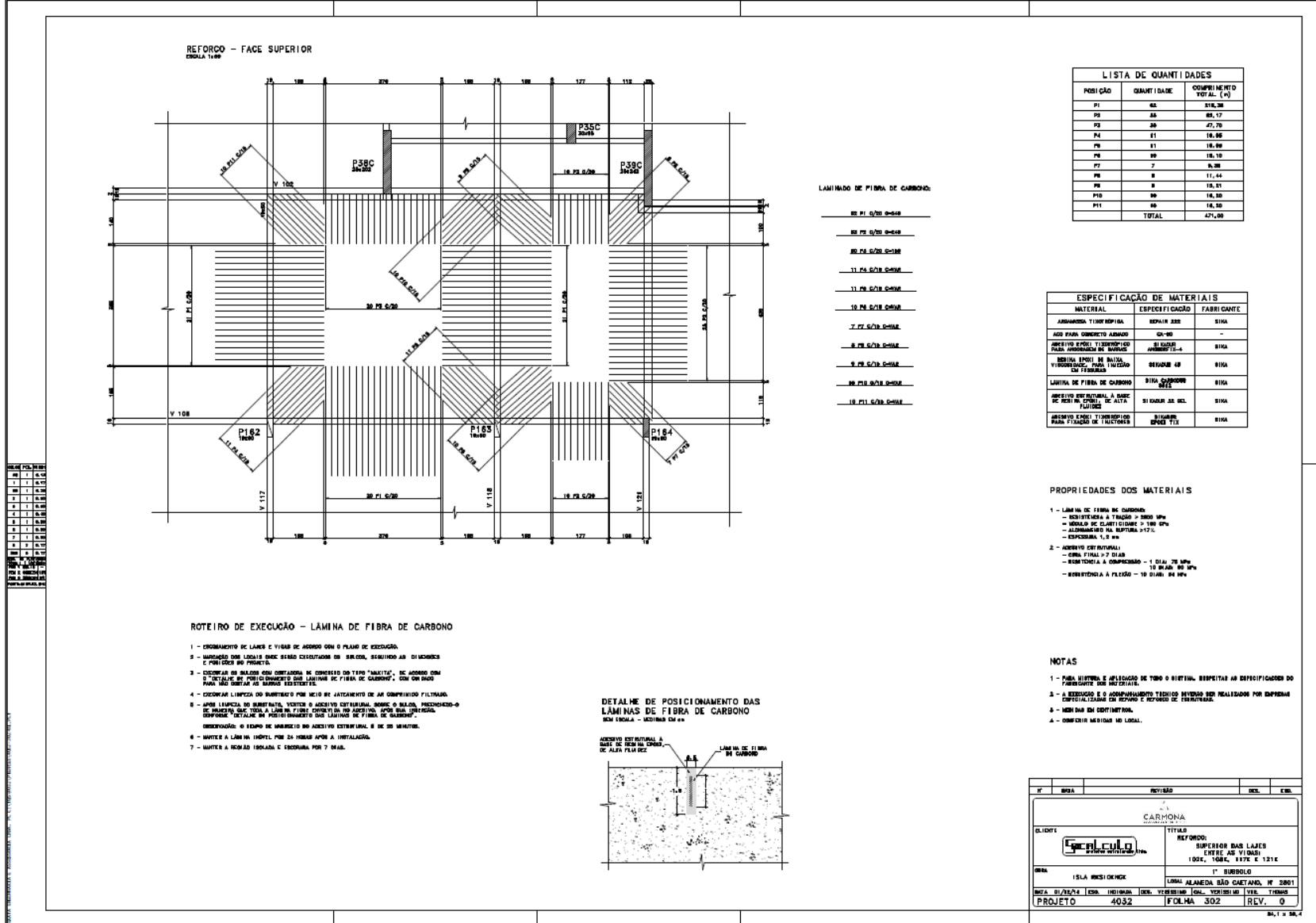
Reforço por Confinamento (Fibra de Carbono)

Válido para:

- $h/b < 2$
- b ou h menores que 90 cm
- Pilar confinado em todo o lance
- Fibras perpendiculares ao eixo do pilar
- Pilar com baixas excentricidades



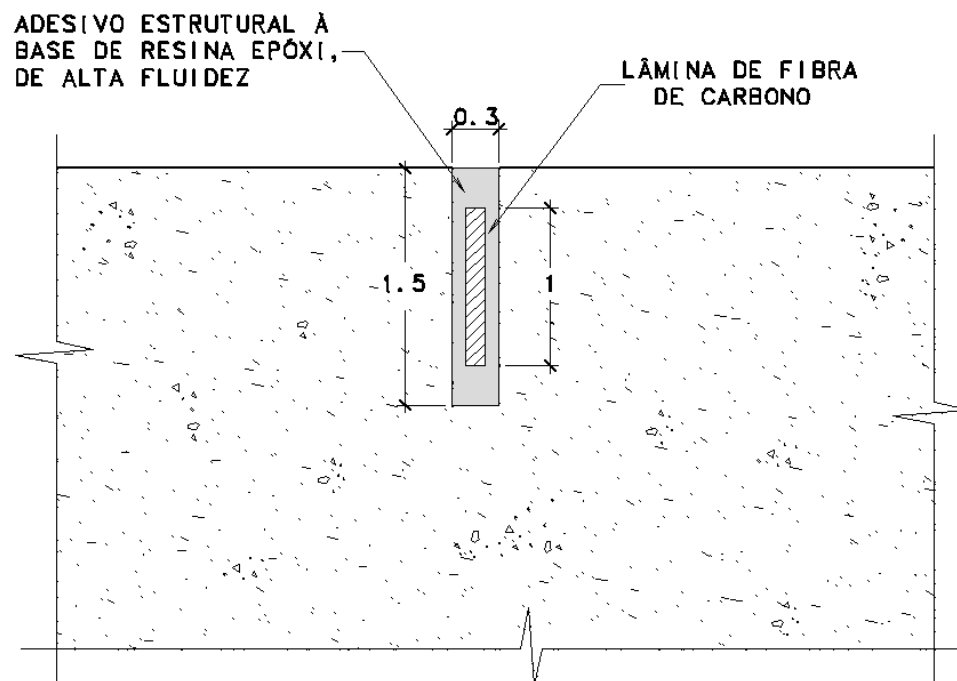
Exemplos de Projeto



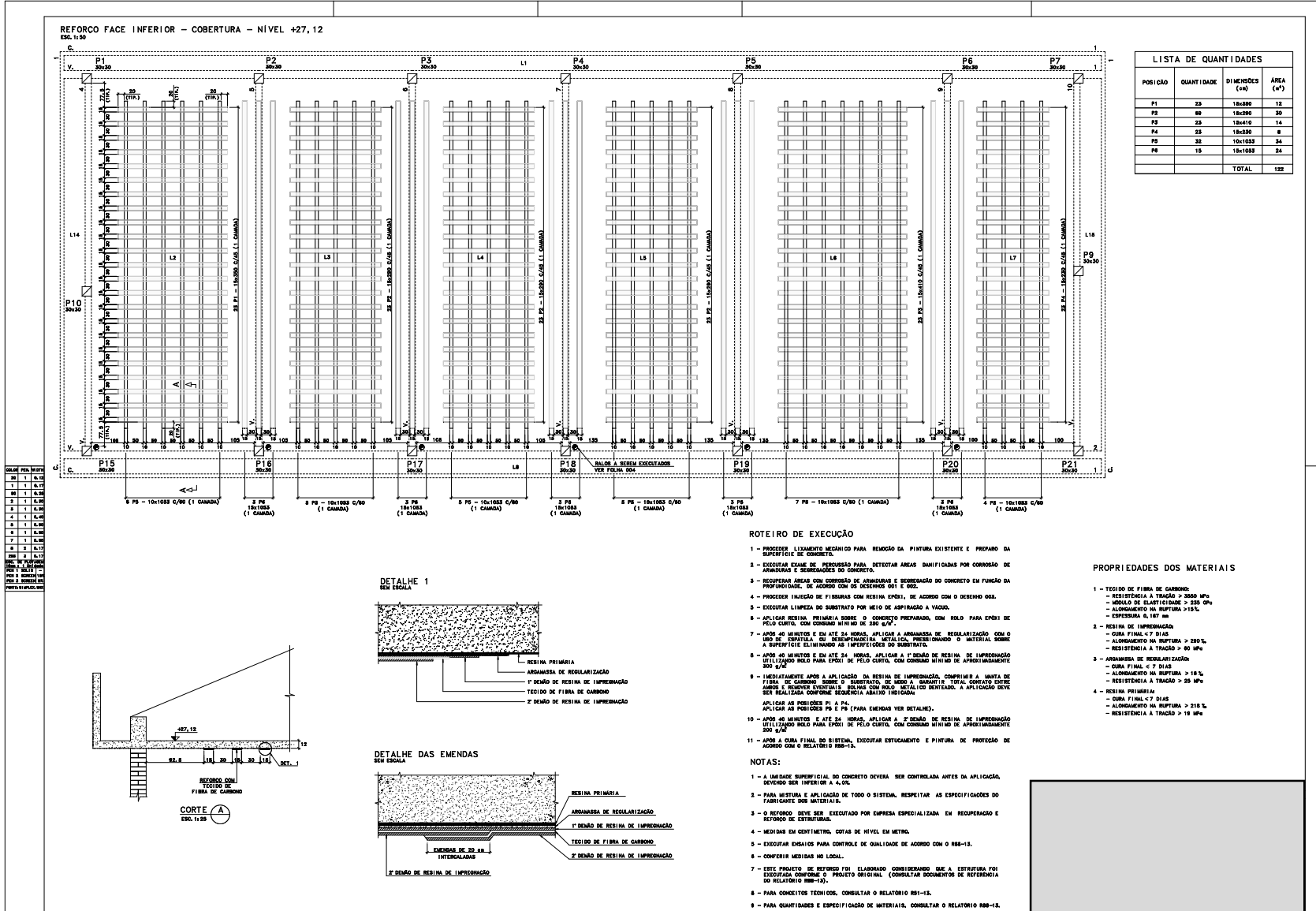
Exemplos de Projeto

DETALHE DE POSICIONAMENTO DAS LÂMINAS DE FIBRA DE CARBONO

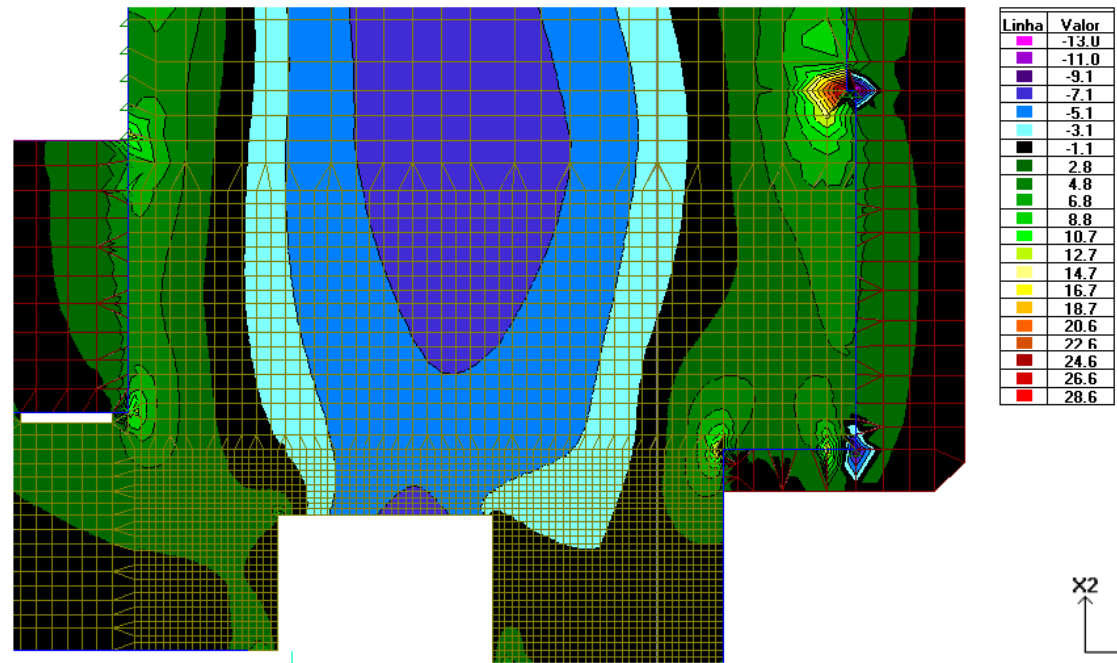
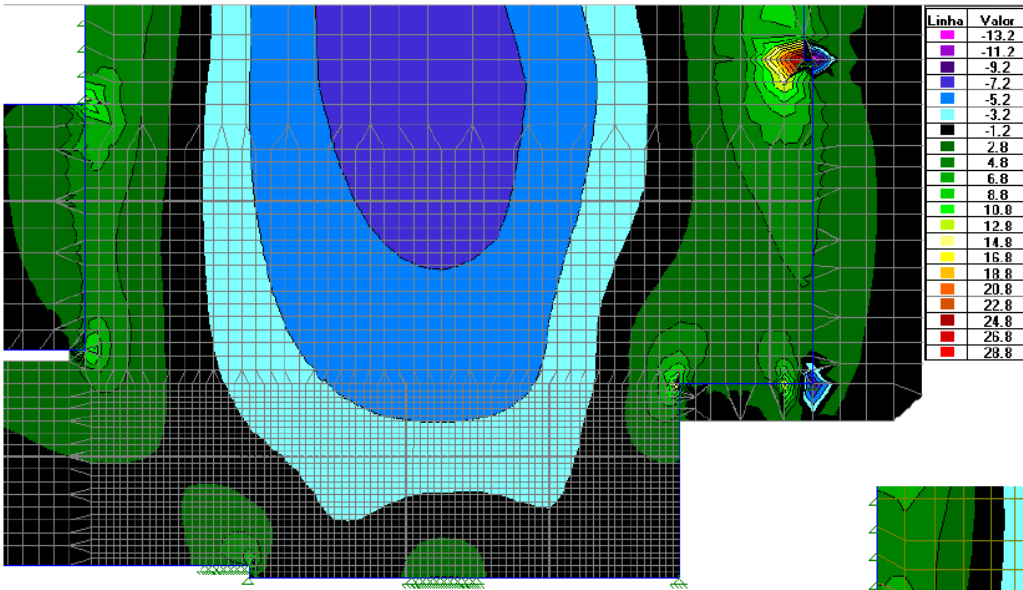
SEM ESCALA - MEDIDAS EM cm



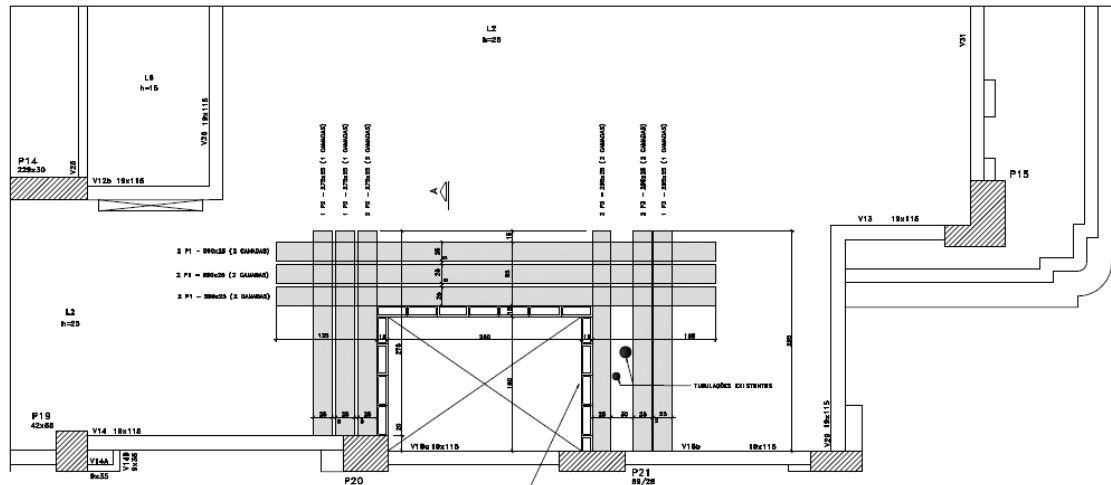
Exemplos de Projeto



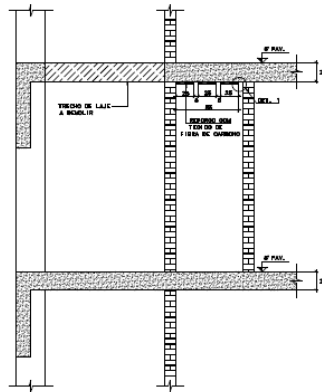
Exemplos de Projeto



REFORÇO FACE INFERIOR - 6' PAVIMENTO

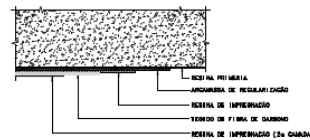


ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR
1	1	m	1,00
2	1	m	1,00
3	1	m	1,00
4	1	m	1,00
5	1	m	1,00
6	1	m	1,00
7	1	m	1,00
8	1	m	1,00
9	1	m	1,00
10	1	m	1,00
11	1	m	1,00
12	1	m	1,00
13	1	m	1,00
14	1	m	1,00
15	1	m	1,00
16	1	m	1,00
17	1	m	1,00
18	1	m	1,00
19	1	m	1,00
20	1	m	1,00
21	1	m	1,00
22	1	m	1,00
23	1	m	1,00
24	1	m	1,00
25	1	m	1,00
26	1	m	1,00
27	1	m	1,00
28	1	m	1,00
29	1	m	1,00
30	1	m	1,00
31	1	m	1,00
32	1	m	1,00
33	1	m	1,00
34	1	m	1,00
35	1	m	1,00
36	1	m	1,00
37	1	m	1,00
38	1	m	1,00
39	1	m	1,00
40	1	m	1,00
41	1	m	1,00
42	1	m	1,00
43	1	m	1,00
44	1	m	1,00
45	1	m	1,00
46	1	m	1,00
47	1	m	1,00
48	1	m	1,00
49	1	m	1,00
50	1	m	1,00



CORTE A-A

DETALHE 1



ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS

SISTEMA DE REFORÇO COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO E EPÓXI

- REDE DE FIBRA DE CARBONO
 - RESISTÊNCIA À TRACÇÃO > 3600 MPa
 - MÓDULO DE ELASTICIDADE > 230.000 MPa
 - ALONGAMENTO NA RUPÇÃO > 2,5 %
 - ESPESSURA < 1,68 mm
- REDE NA CORTE
 - CLASS. FINAL < 7 MPa
 - ALONGAMENTO NA RUPÇÃO > 28 %
 - RESISTÊNCIA À TRACÇÃO > 48 MPa
- QUARTI CARBONO
 - ÁREA DE FIBRA > 16,36 m²

SEQUENCIA DE EXECUÇÃO

- REMOVER PORMENTE OS QUADROS DE CONCRETO POR MEIO DE LIQUIDO ALTERNATIVO, SEM APRESENTAR DANOS À ARMADURA OU ESTRUTURA DO CONCRETO. RECURSOS NECESSÁRIOS SÃO MATERIAIS E METODOLOGIAS ESPECÍFICAS.
- APLICAR O SISTEMA DE REFORÇO CONFORME DETALHE DE C SEGUNDO A SEQUÊNCIA INDICADA:
 - APLICAR A 1ª CHAMADA DAS POSIÇÕES P1 (A)
 - APLICAR A 2ª CHAMADA DAS POSIÇÕES P2 (B)
 - APLICAR A 3ª CHAMADA DAS POSIÇÕES P3 (C)
 - APLICAR A 4ª CHAMADA DAS POSIÇÕES P4 (D)
- APÓS O TERMO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO, LIMPAR O ORTEGO DA LAJE COM USO DE BICO DE CORTE O FIO DIAMANTADO.
- PROTEGER AS BARRAS CONCRETAS DA LAJE ANTES DA COLOCAÇÃO DA CORDÃO METALICO.

NOTAS:

- A 1ª CHAMADA REPRESENTA O CONCRETO DEVIDO SER CONTROLADO NESTE DA APLICAÇÃO DEVIDO SER INFERIOR A 4,0%
- PARA SUSTENTAR A APLICAÇÃO DE TODO O SISTEMA, RESPECTIVAS AS ESPECIFICAÇÕES DO PAVIMENTO DEBEM SER RESPEITADAS.
- O REFORÇO DEVE SER EXECUTADO POR EMPRESA ESPECIALIZADA NESTE TIPO DE PROCEDIMENTO.
- REDES EM CONTÍNUO, CORTES DE NÍVEL EM METROS.
- EXCETO EM CASOS DE REFORÇO PARA AUMENTAR A TENSÃO DE ADERÊNCIA DO SISTEMA DO PORMENTE.
- PROJETO ELABORADO COM BASE NOS DECRETOS:
 - LA LAURE (LIMBAZADA) Nº 11.078/1-010 - REV. A, 28/06/2012
 - LEI Nº 13.082/10 - REV. A, 25/04/2012
 - LEI Nº 13.082/10 - REV. A, 25/04/2012
- VER CONTEÚDO E PARTE INFORMATIVA DO RELATÓRIO R11-A.

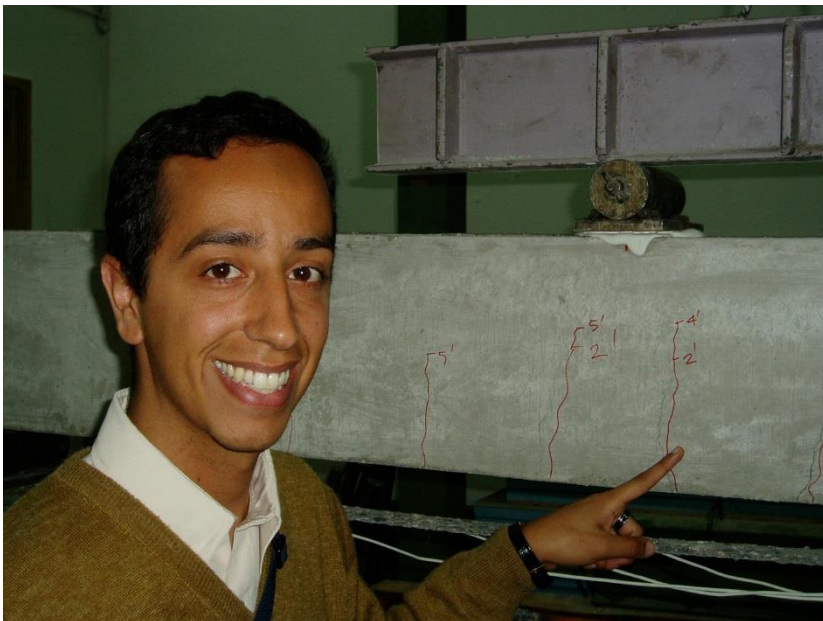
Nº	VIA/DE/PA	ALTO/LADO DO REFORÇO		REV.14	REV.15
		DATA	REV.10		
CARMONA SOLUÇÕES DE ENGENHARIA					
CLIENTE	BRICK	TÍTULO		REFORÇO DO 6º PAVIMENTO	
ADMINISTRAÇÃO	ADMINISTRAÇÃO E COMÉRCIO S/A	ABERTURA DA LAJE PARA		ESCALADA DE INTERLIGADO	
OBJETO	EDIFÍCIO CHATEAU MARSAISE	6º PAVIMENTO		REF. 1	
DATA	08/05/2012	FECH. 12/06/2012	FECH. 12/06/2012	FECH. 12/06/2012	FECH. 12/06/2012
PROJETO	3755	FOLHA	301	REV.	1

Exemplos de Projeto



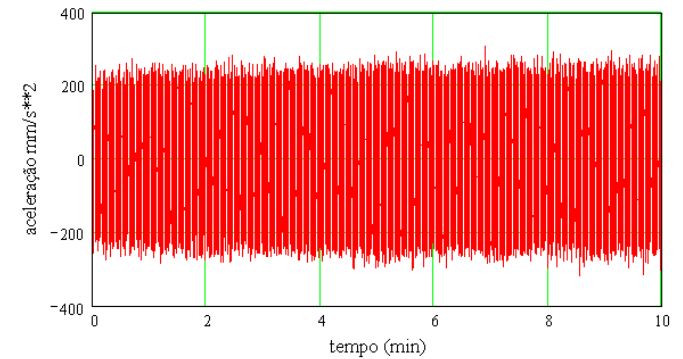
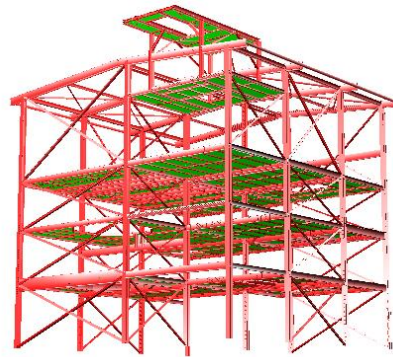
Exemplos de Projeto





Espanha - Instituto Eduardo Torroja - CEMCO 2004

- INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS -



- COMO VAI FUNCIONAR NA APLICAÇÃO REAL?
- HIPÓTESES DE CÁLCULO?
- VARIÁVEIS NÃO COMPUTADAS?
- CONFIRMAÇÃO EMPÍRICA DO COMPROMETIMENTO DO DESEMPENHO?



***** EXPERIMENTAÇÃO *****

INSTRUMENTOS



MONITORAMENTO



instrumento

ins.tru.men.to

sm (lat instrumentu) **1 Aparelho**, objeto ou utensílio que serve para executar uma obra ou levar a efeito uma operação mecânica em qualquer arte, ciência ou ofício.



monitorizar

mo.ni.to.ri.zar

(monitor+izar) vtd **1 Acompanhar e avaliar dados fornecidos por aparelhagem** elétrica. **2 Controlar, mediante monitorização.** Sin: monitorar.

PARAMETROS A MONITORAR: (variam em função do tempo)

- Módulo de elasticidade;
- Abertura de fissuras;
- Potencial elétrico de corrosão;
- Recalques de apoio;
- Convergência de túneis;
- Nível d´água;
- Pressão;
- Temperatura;
- **Deslocamentos;**
- **Tensões;**
- **Vibração (acelerações, velocidade e deslocamentos).**

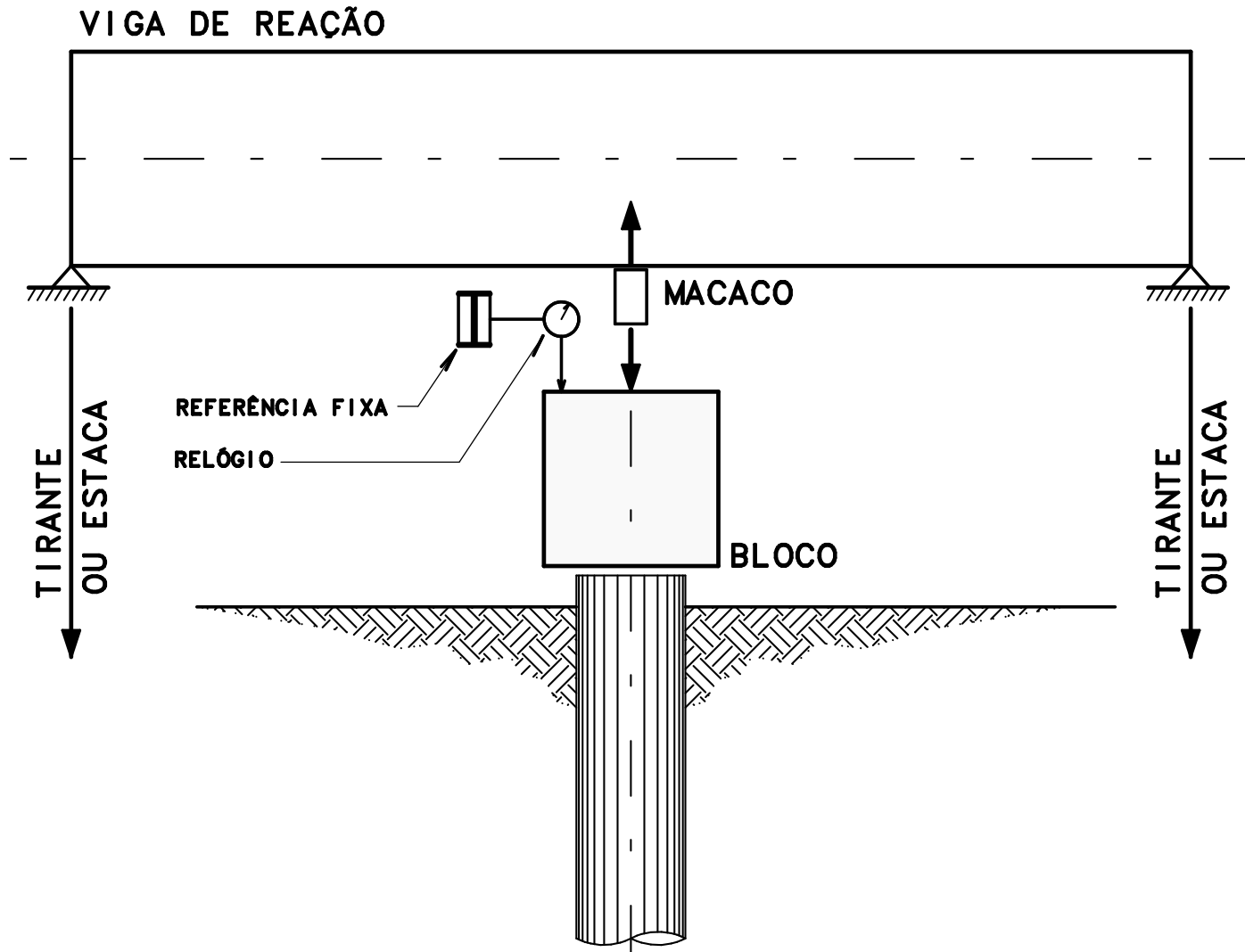
DESLOCAMENTOS – Topografia – Relógios comparadores


NBR 6122 Projeto e execução de Fundações Recomenda a execução de provas de carga em estacas



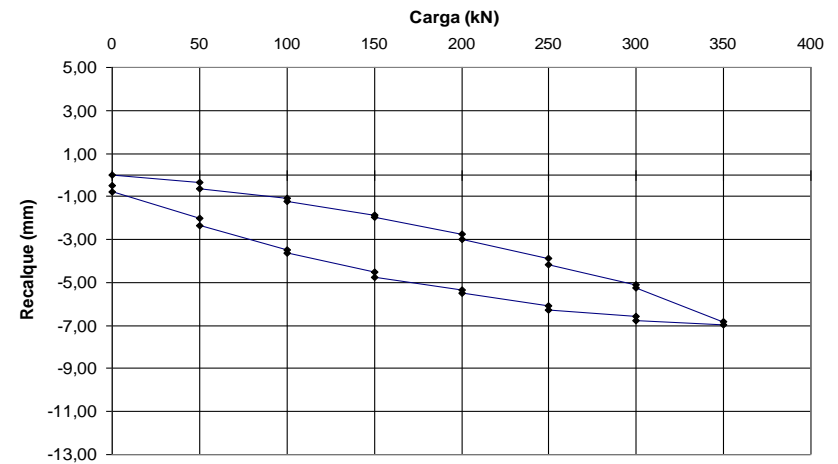
NBR 12131 Estacas – Prova de carga estática Método de Ensaio



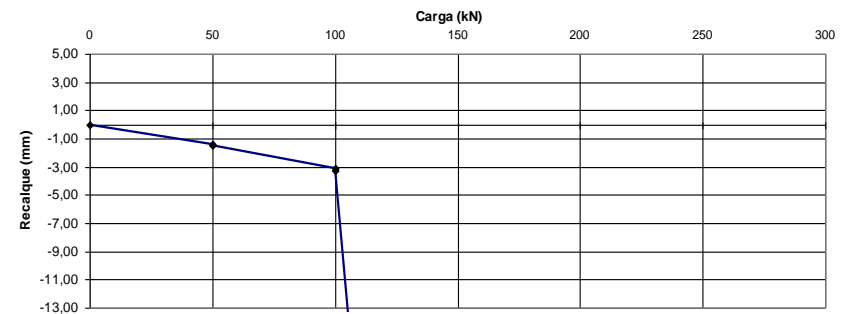


PROVA DE CARGA EM ESTACA									
 ENGENHARIA E ASSESSORIA		DATA	28/05/08	ESTACA	M15	OBRA	PROJETO		3056-D
		DIAMETRO (cm)		Solo					
CARGA DE TRABALHO (kN)		CARGA DE ENSAIO (kN)		TIPO					
Estágio	Leitura do Manômetro (kg/cm ²)	Carga aplicada (kN)	Hora	Tempo	Relógio 1			Leitura (mm)	
					Leitura (mm)	Recalque (mm)	Recalque acumulado (mm)		
0		0	09:03	0	9,66	9,66	-	8,46	
1		50	09:03	0	7,76	-1,90	-1,90	6,90	
			09:13	10	7,72	-0,04	-1,94	6,86	
2		100	09:15	0	6,42	-1,30	-3,24	5,55	
			09:25	10	6,20	-0,22	-3,46	5,42	
3		150	09:29	0	5,04	-1,16	-4,62	4,17	
			09:39	10	4,76	-0,28	-4,90	3,90	
4		200	09:40	0	3,76	-1,00	-5,90	2,70	
			09:50	10	3,49	-0,27	-6,17	2,35	
5		250	09:52	0	2,44	-1,05	-7,22	1,15	
			10:02	10	2,03	-0,41	-7,63	0,80	
			10:12	20	1,92	-0,11	-7,74	0,54	
			10:22	30	1,88	-0,04	-7,78	0,52	

Carga x Recalque - Tanque 29 - E40

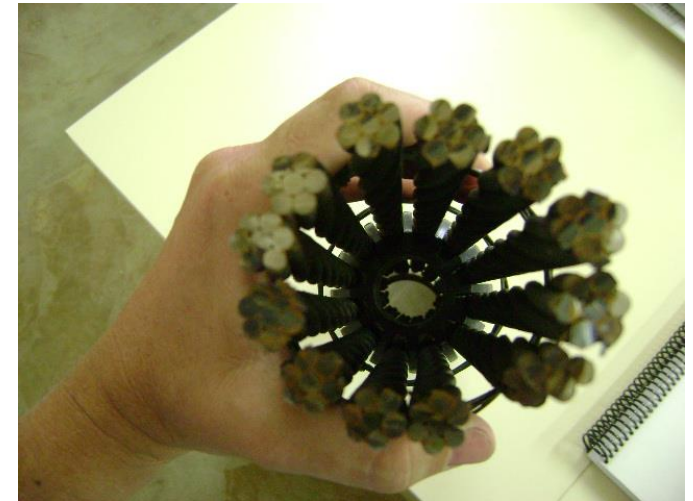


Carga x Recalque - Tanque 29 - M15





Vigas de reação



Tirante




Prova de carga para 500 tf





Prova de carga em Estruturas

NBR 9607 Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido - procedimento



SET 1986 **NBR 9607**

Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido

ABNT-Associação Brasileira Normas Técnicas

Rua do Arco, 371 - São Paulo, SP - 05438-900
 Caixa Postal 50071 - CEP 05400-000 - São Paulo, SP
 Tel: (011) 3151-1000
 Fax: (011) 3151-1001
 E-mail: abnt@abnt.org.br
 Internet: www.abnt.org.br

Original © 1986, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
 Reprodução ou transferência de direitos reservados

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Definições
- 3 Condições gerais
- 4 Avaliação da carga
- 5 Espécime técnico prévia
- 6 Planejamento e controle da execução da prova de carga
- 7 Análise final dos resultados
- 8 Teste final

1 Objetivo

Esta Norma fixa as condições mínimas e procedimentos gerais a serem observados no planejamento e execução de provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido.

2 Definições

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de 2.1 a 2.7.

2.1 Prova de carga

Conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle os efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

2.2 Carregamento de prova

Conjunto de ações externas dimensionadas segundo critérios prestabelecidos e que, submetidas à estrutura, a submetem a esforços suficientes de intensidades contínuas ou representativas de finalidade prevista para sua utilização. O carregamento deve ser dimensionado de forma a não ocasionar qualquer dano de caráter irreversível à estrutura, exceto nos casos:

- a) elementos pré-fabricados de concreto armado ou protendido, quando houver interesse de se estabelecer as condições de ruptura da peça;
- b) nos casos de demolição total ou parcial de estruturas, quando houver interesse de pesquisa tecnológica.

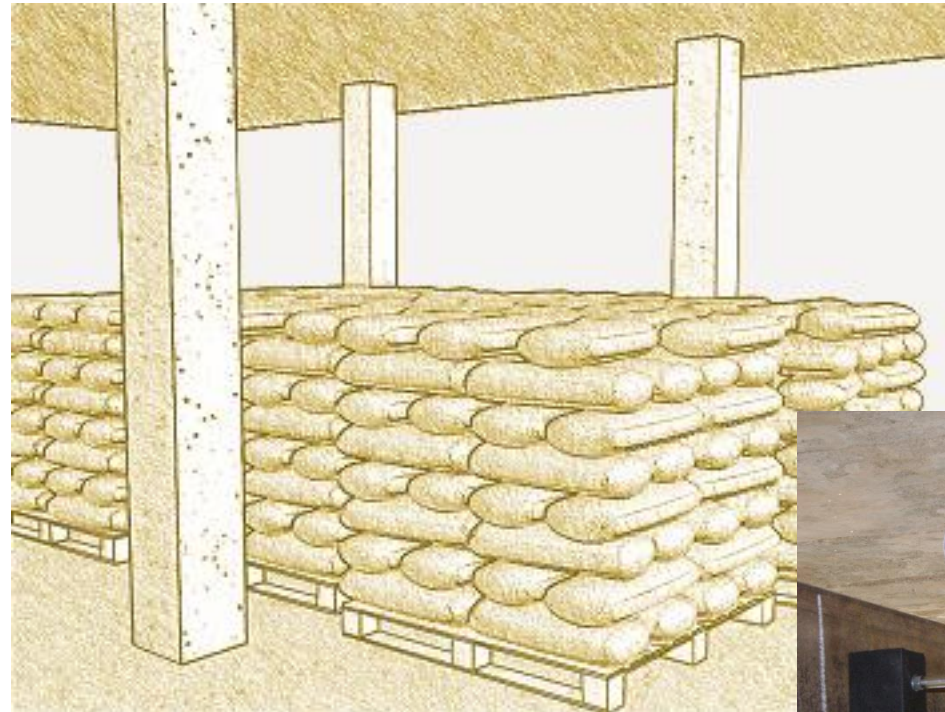
2.3 Fator de carregamento

Valor numérico que tem por finalidade indicar o nível de solicitação a que deve ser submetida uma seção ou ponto de uma estrutura durante uma prova de carga. Este valor, calculado para as seções e para os esforços solicitantes que se pretende verificar, é expresso por:

$F_d = \frac{F_u}{F_c}$

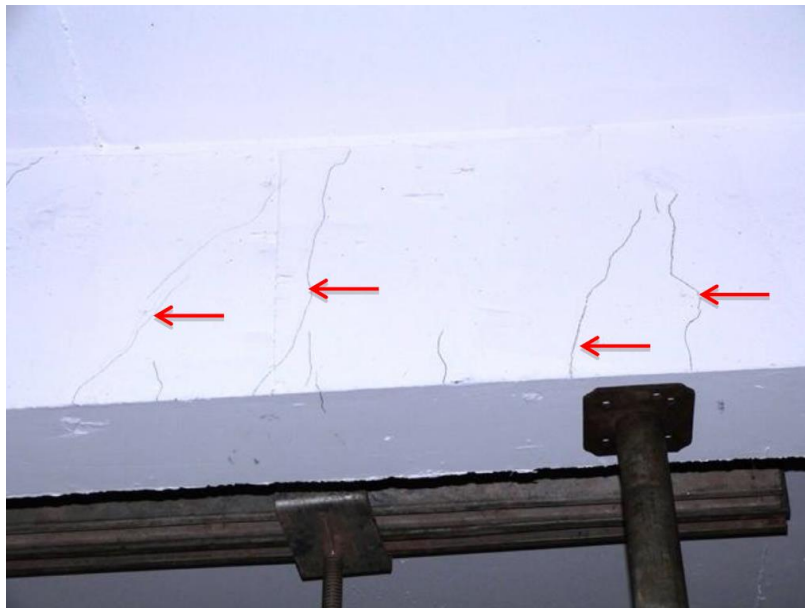
Onde:

- F_d = esforço solicitante teórico devido ao carregamento de prova de carga
- F_u = esforço solicitante teórico devido ao carregamento de serviço



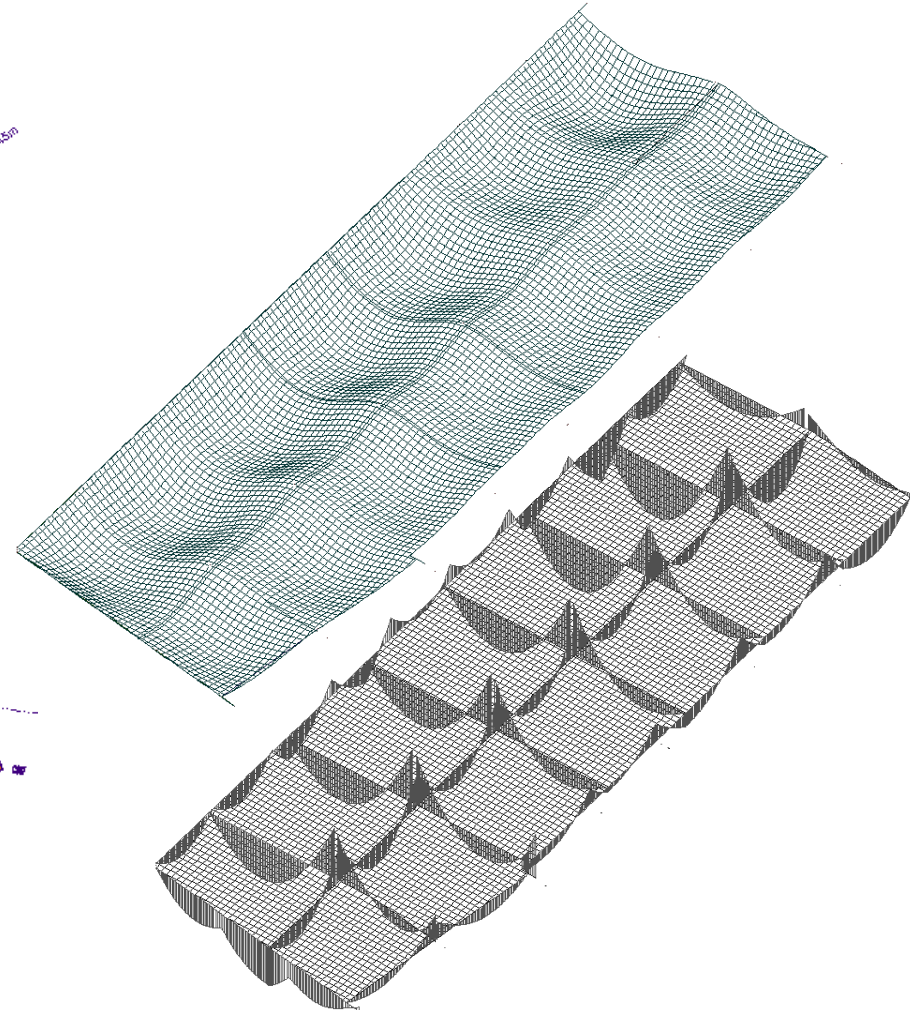
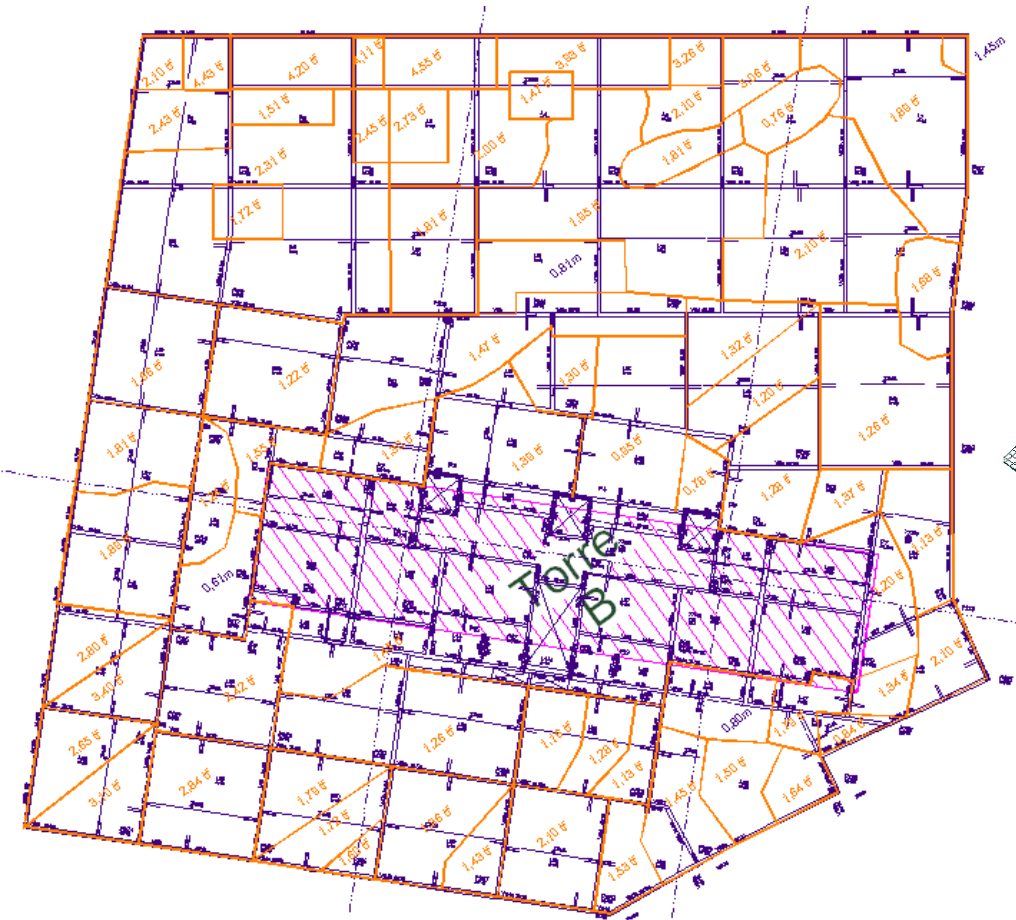




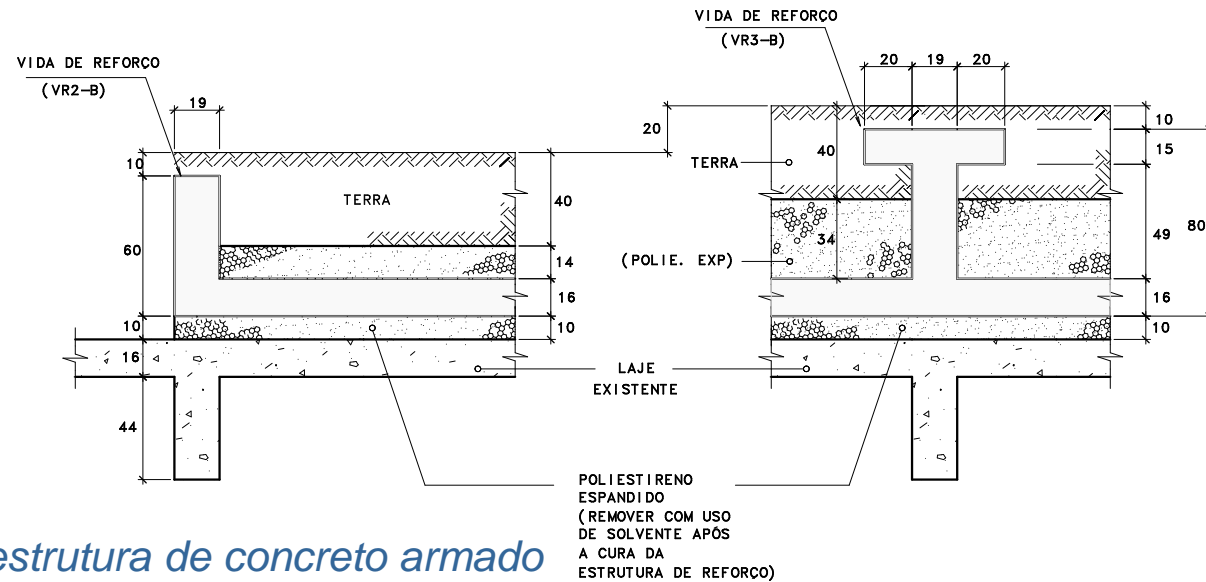
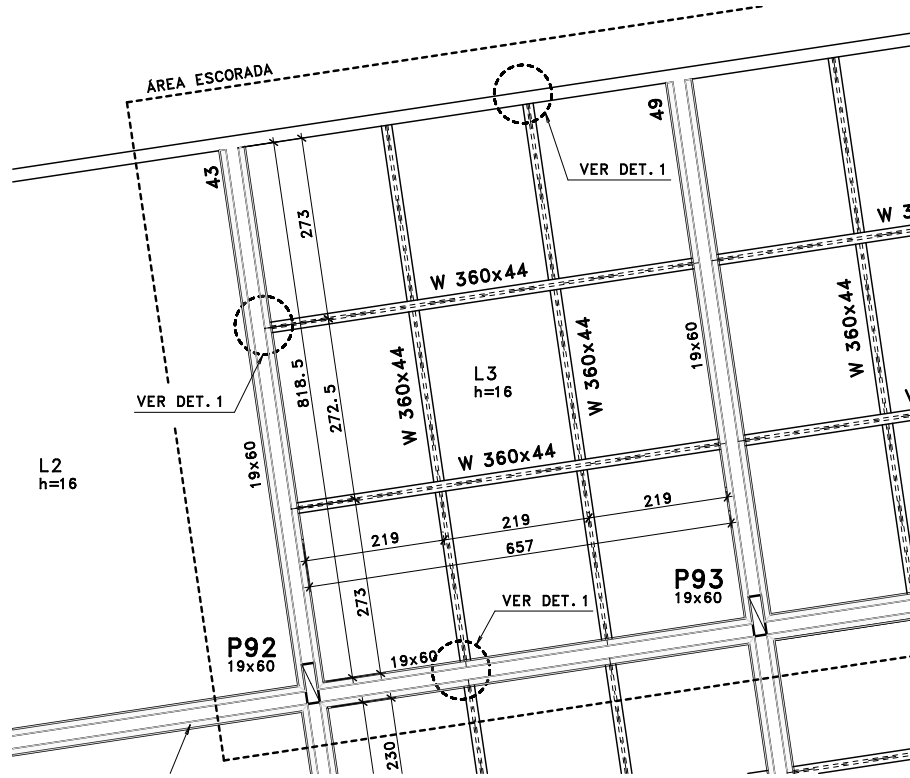




- O projeto original foi elaborado para uma sobrecarga de terra de 900 kgf/m^2 .
- A sobrecarga de terra em alguns pontos chegava a $3,1 \text{ tf/m}^2$.
- Já considerando o peso específico “real” de amostras indeformáveis do aterro, foram ($1,9 \text{ tf/m}^3$ a de $2,1 \text{ tf/m}^3$).

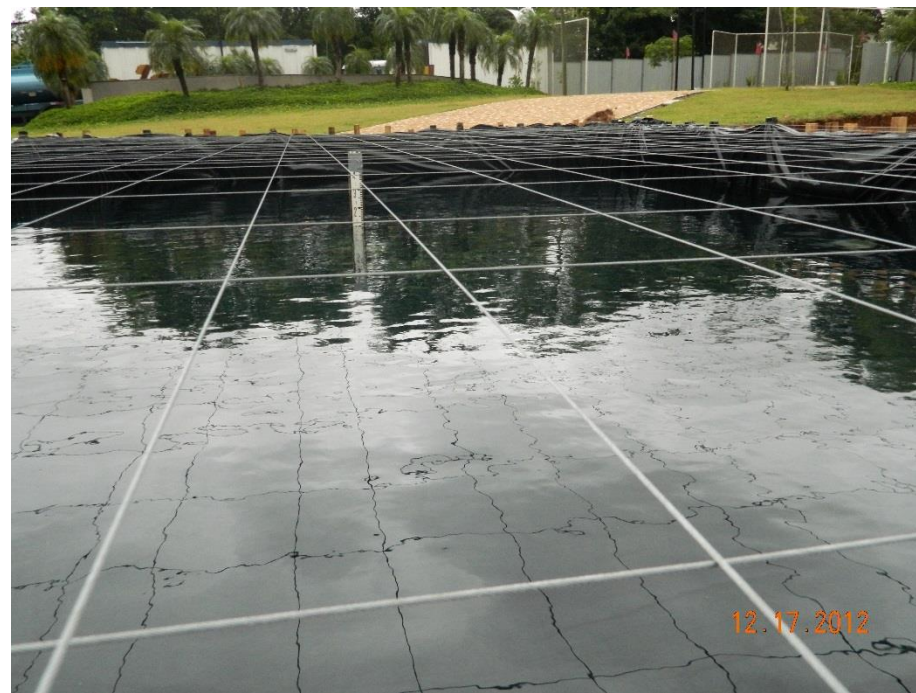
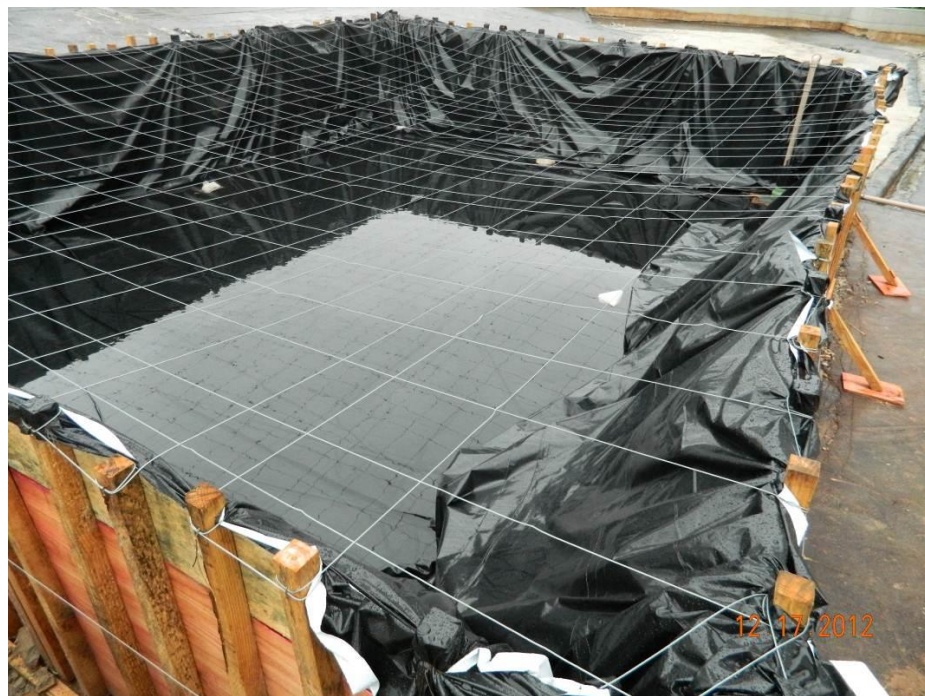


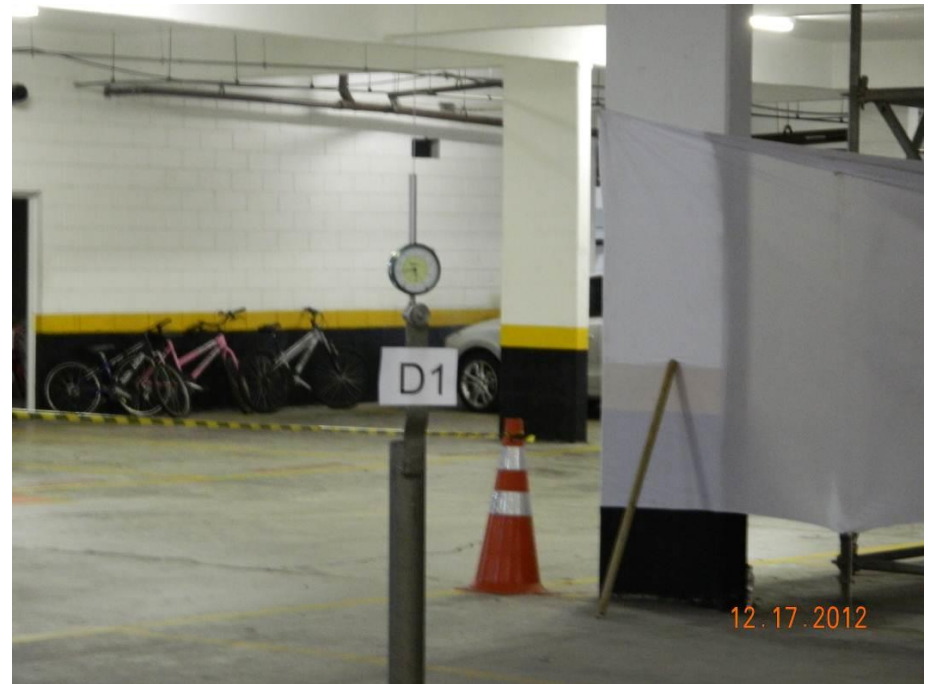
Reforço com estrutura metálica

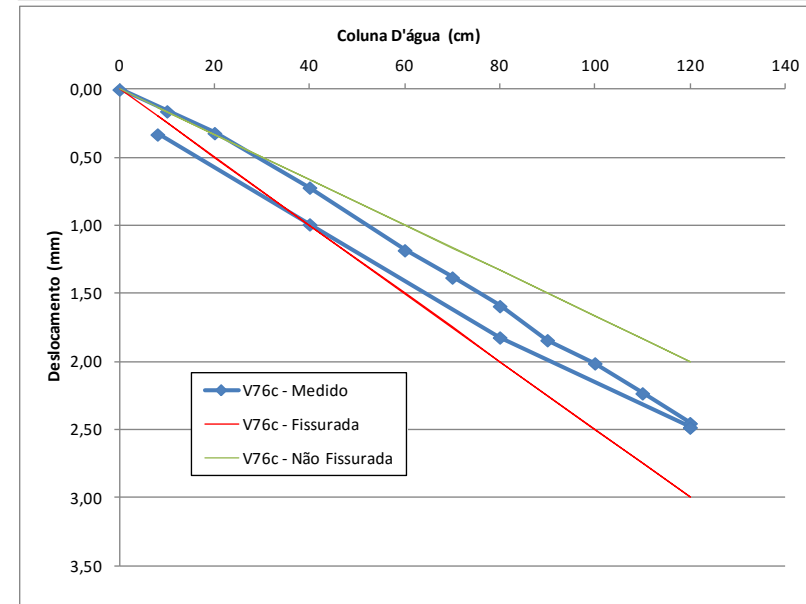
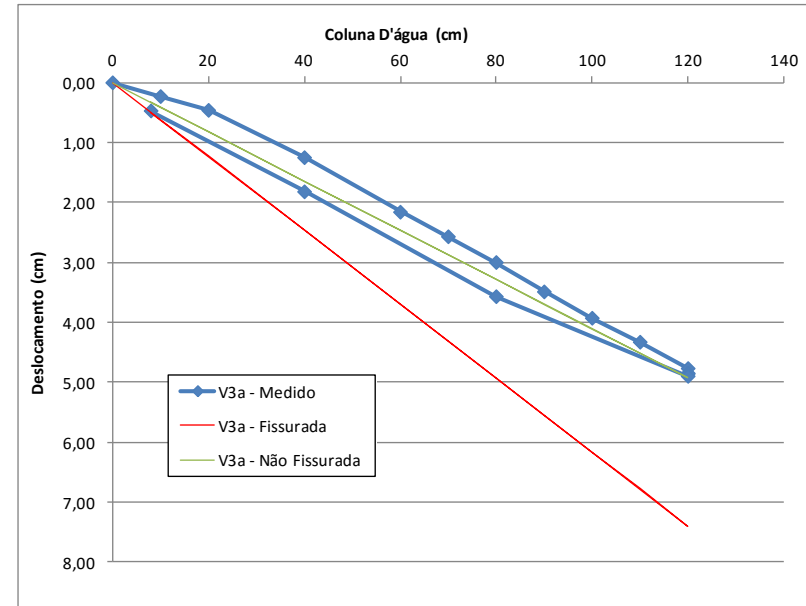
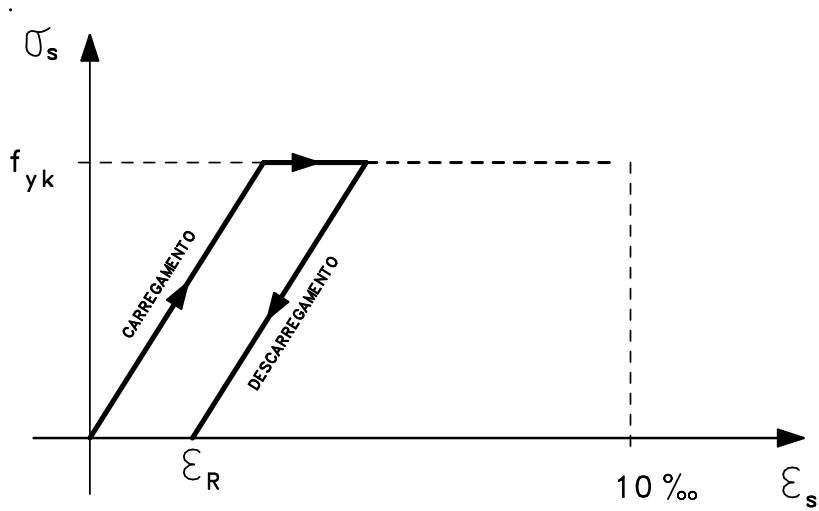


Reforço com estrutura de concreto armado

PROVA DE CARGA







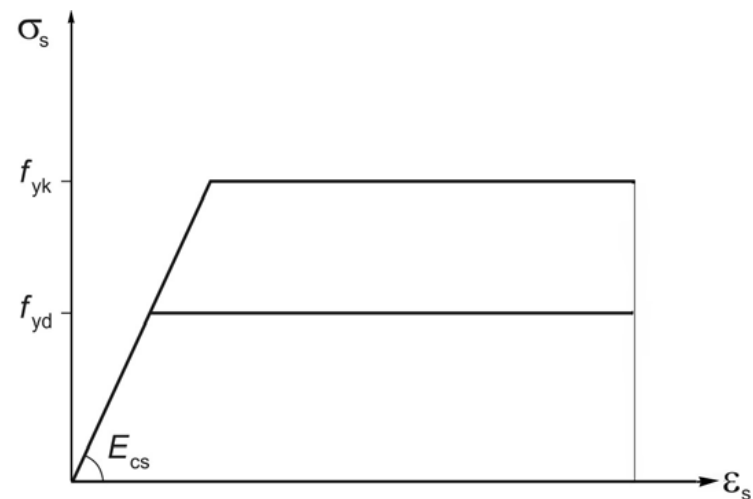
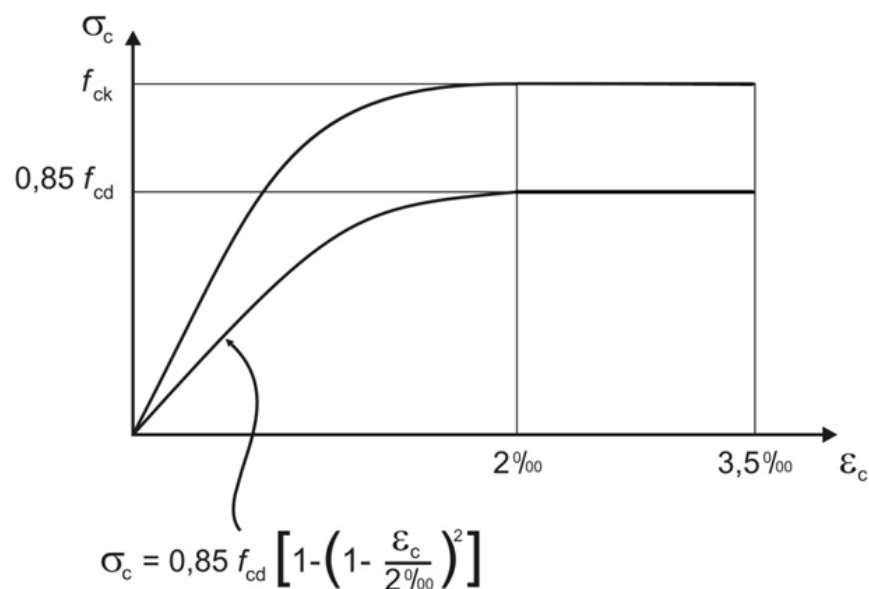






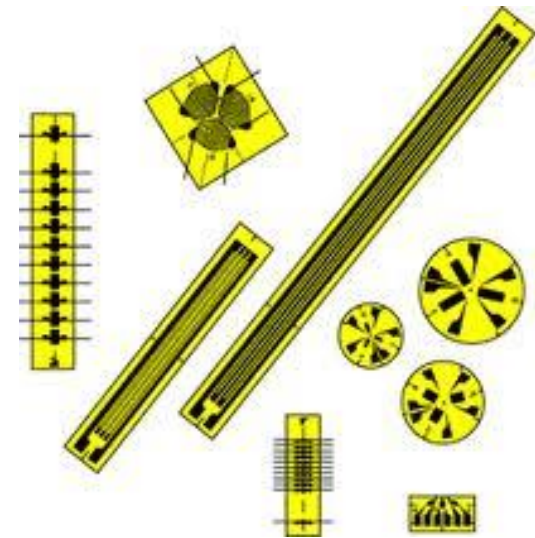
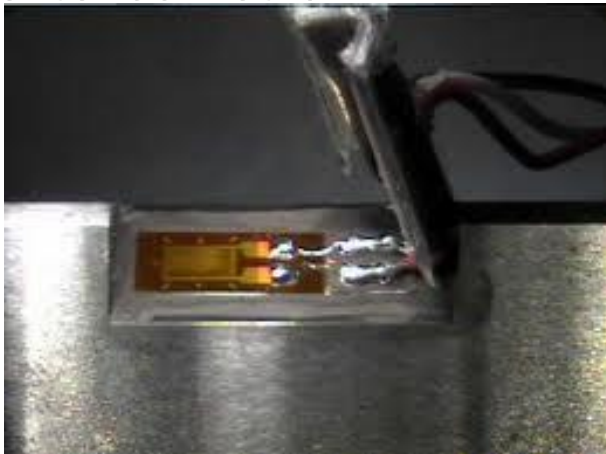
MONITORAÇÃO DE DEFORMAÇÕES / TENSÕES:

- Utilizado em estruturas (concreto armado, protendido e estruturas metálicas);
- Colagem de sensores de deformação aderidos ao substrato;



Extensômetros (Strain Gauges – aderidos em perfis metálicos)

- Medição da deformação na superfície de materiais
- O extensômetro é colado à superfície
- O substrato e o sensor compartilham da mesma deformação
- A deformação do extensômetro altera sua resistência elétrica de maneira proporcional
- O resultado se refere a uma deformação média sob a área do extensômetro.

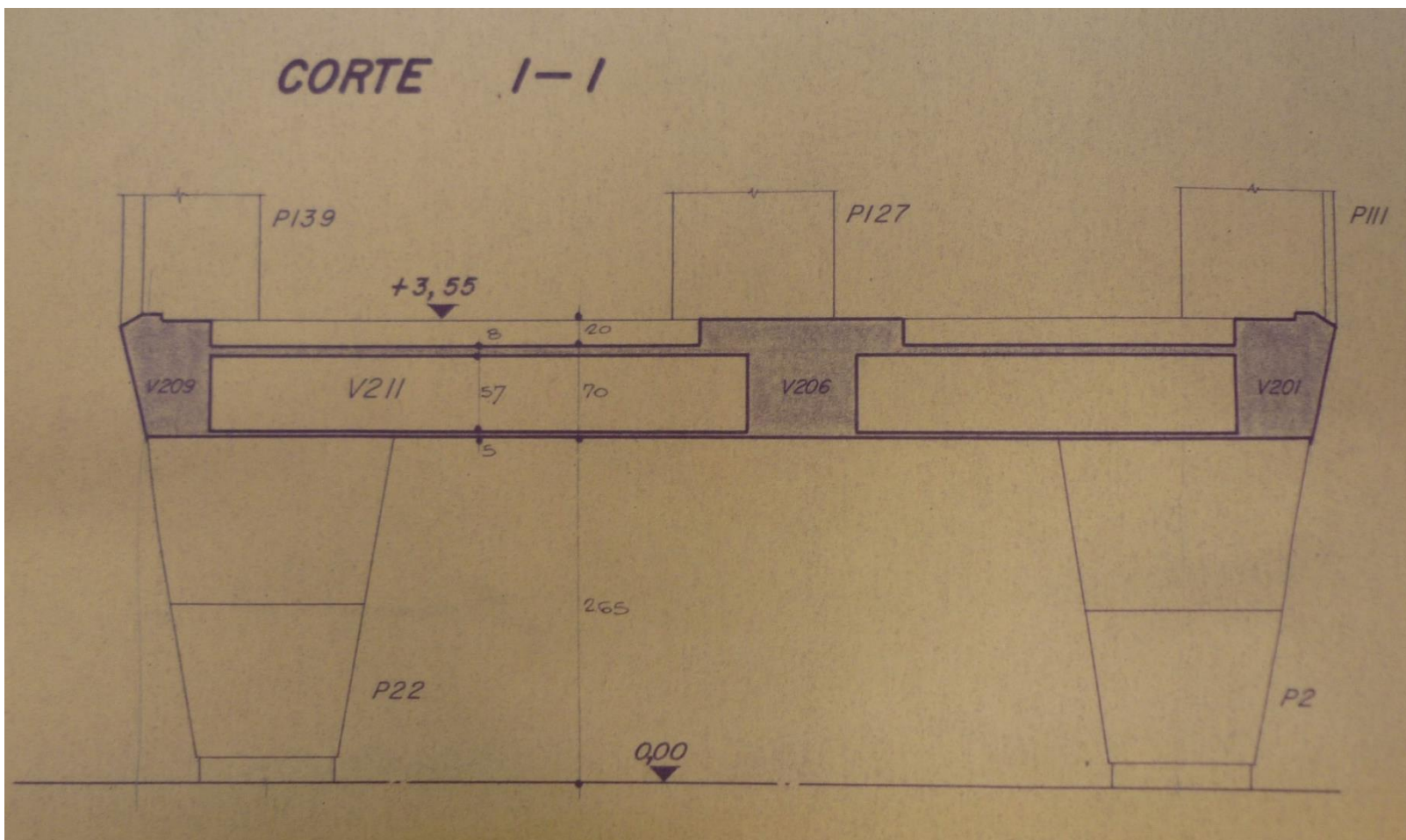








CORTE 1-1



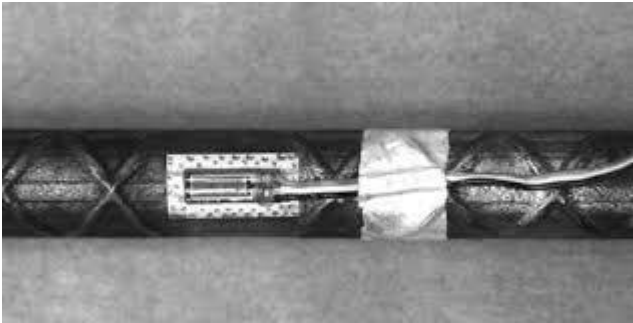






Extensômetros (Strain Gauges – barras instrumentadas)

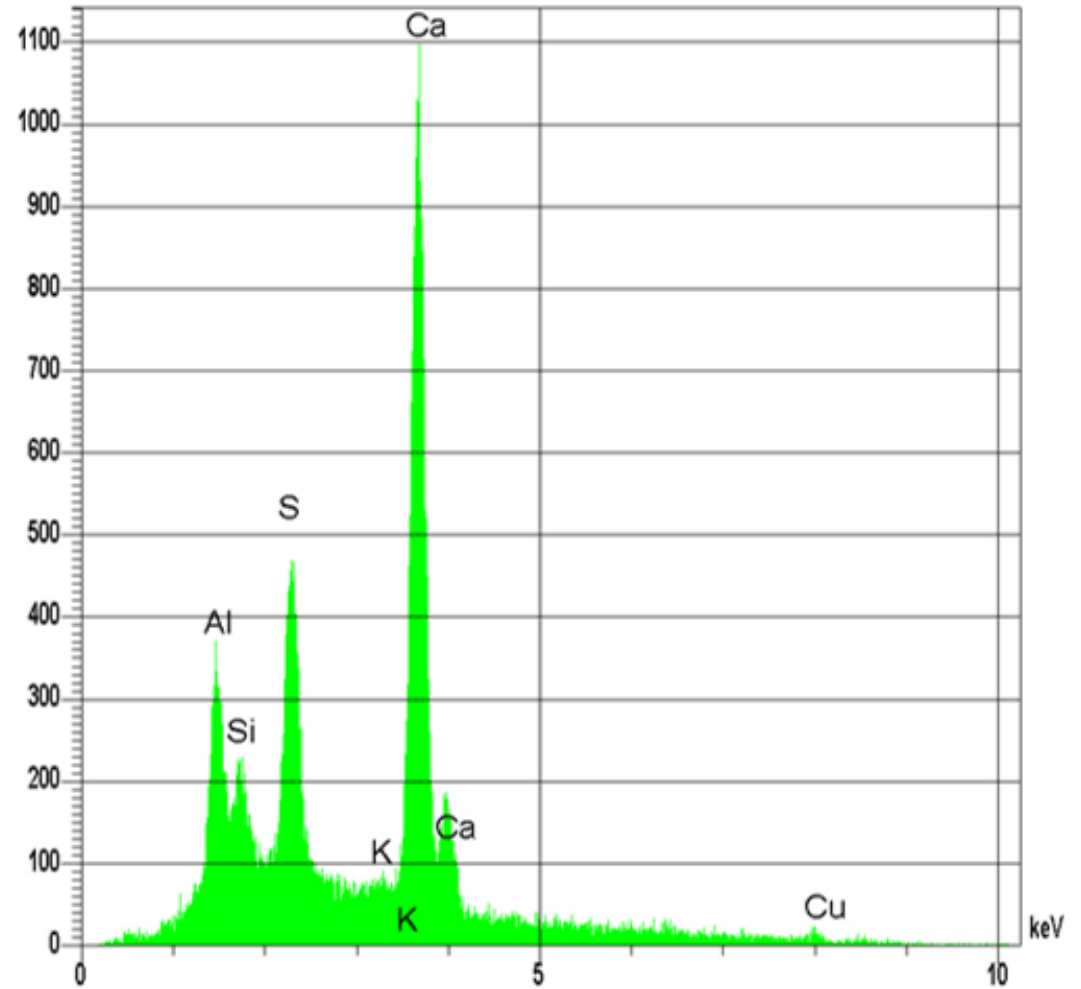
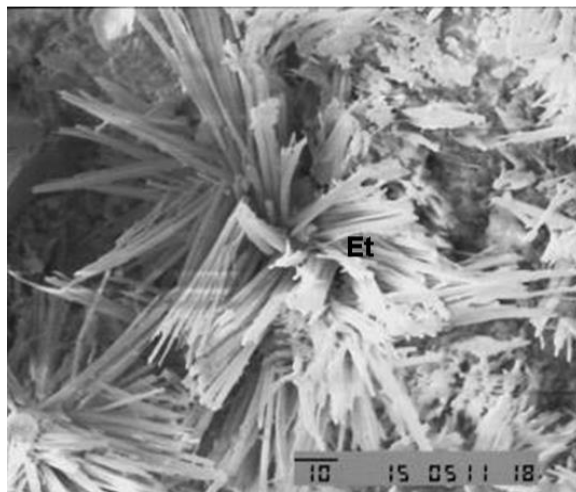
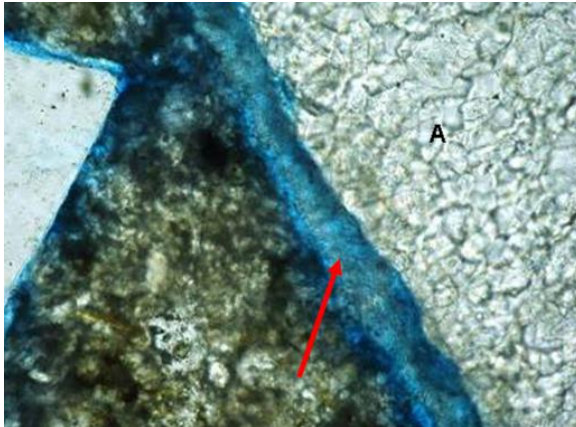
- Preparadas em laboratório
- Concretadas com os elementos a monitorar





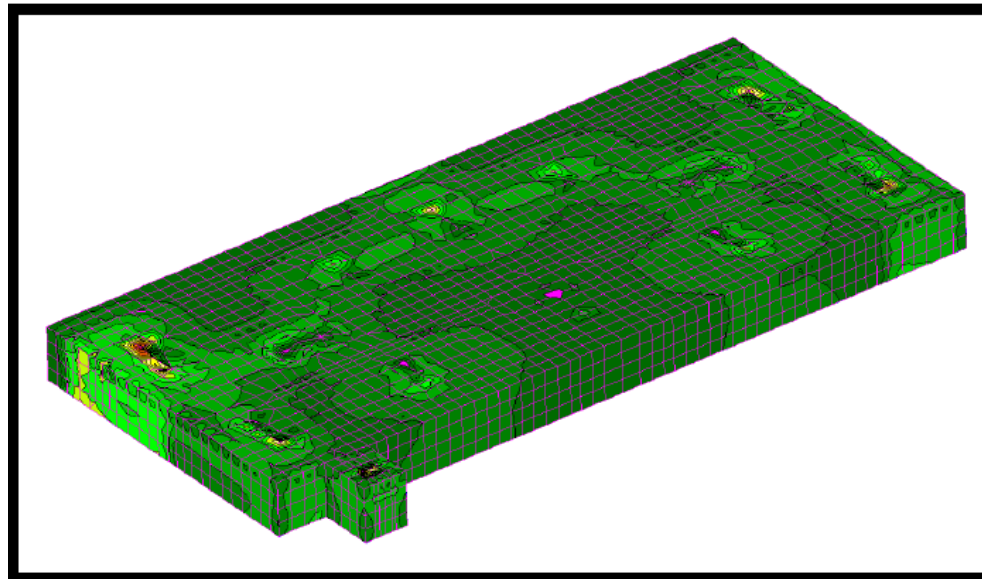
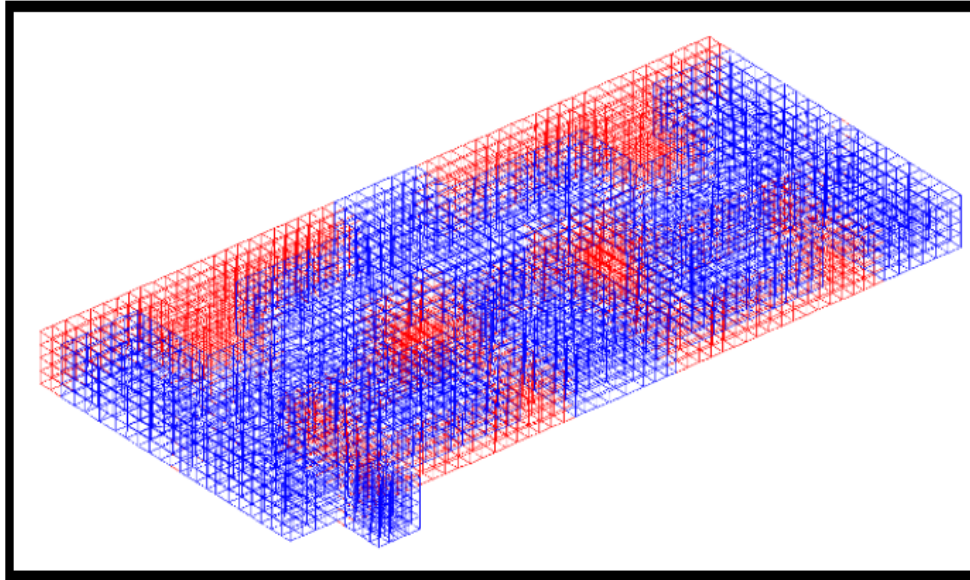


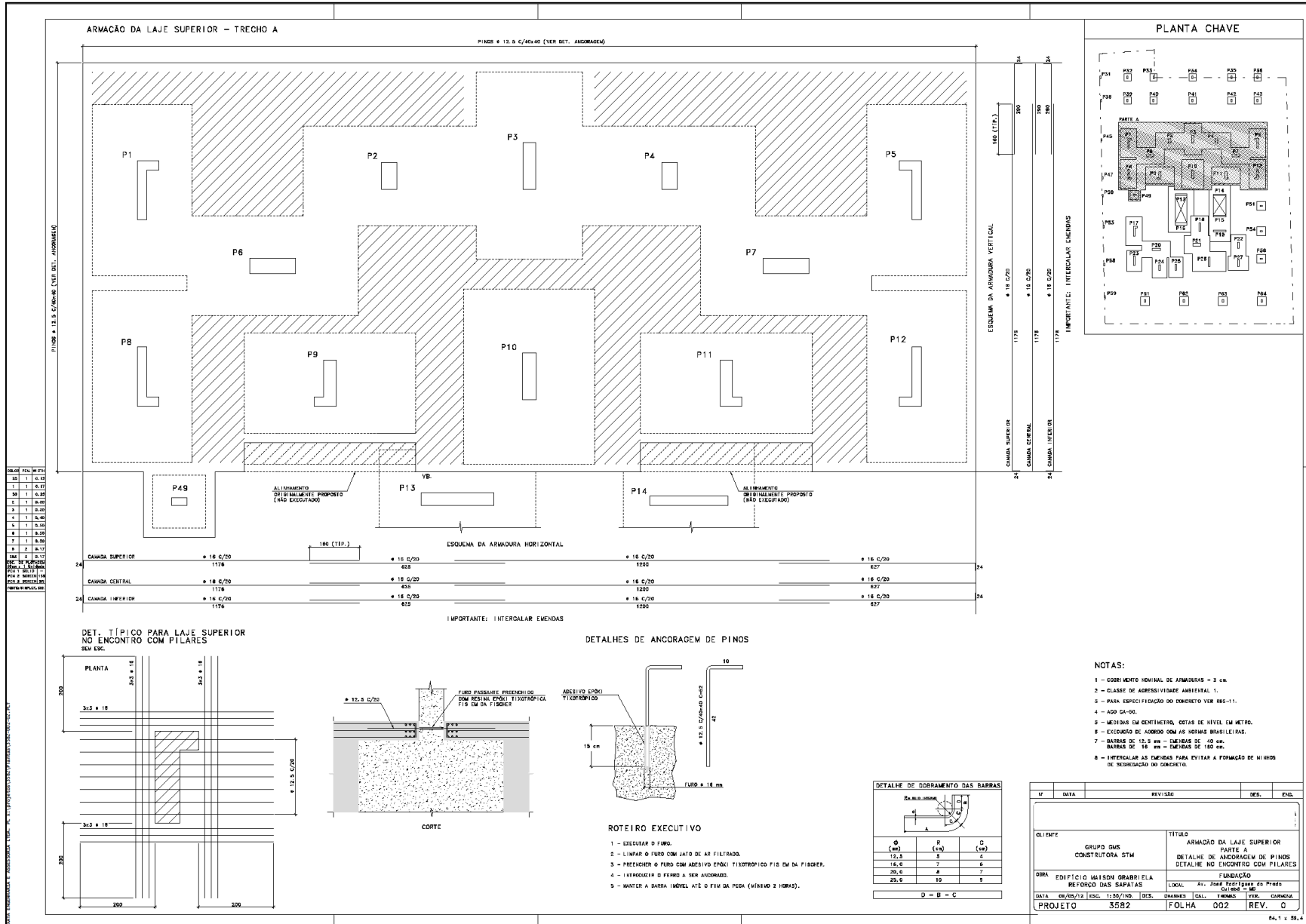




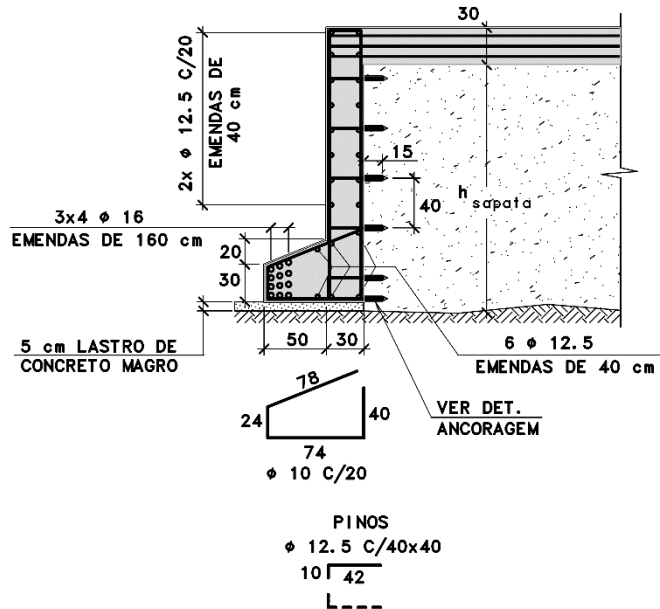




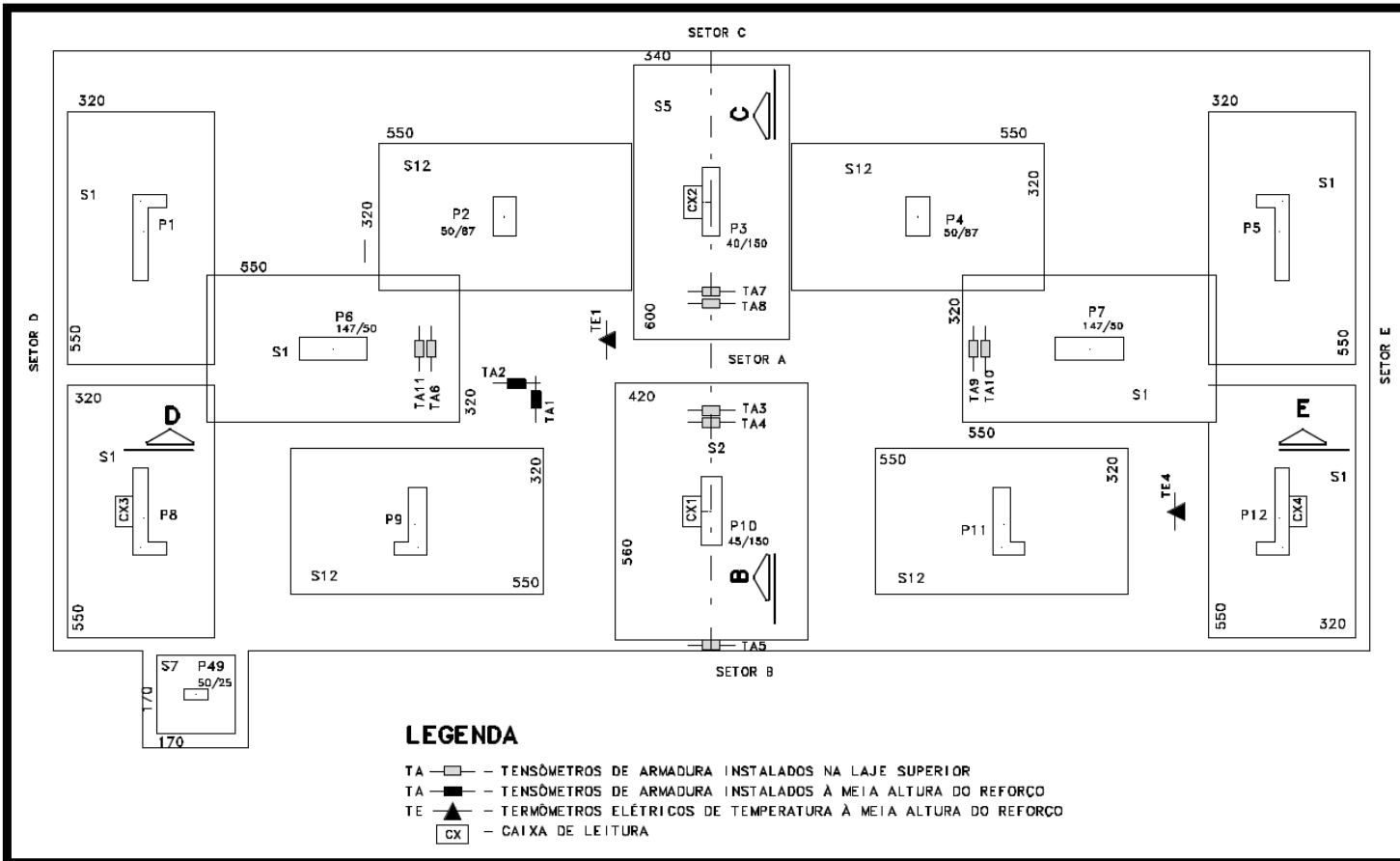


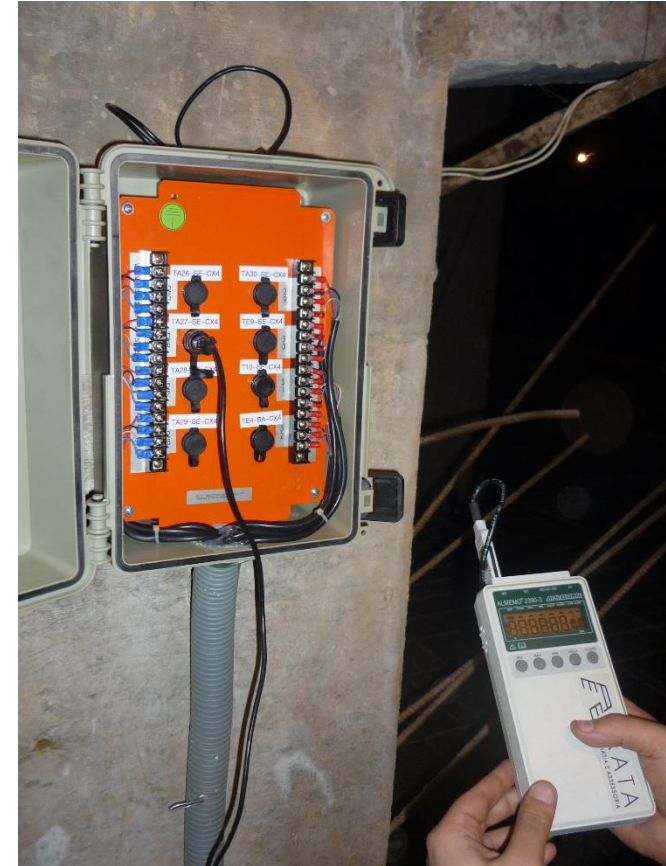


**DET. TÍPICO VIGAS DE BORDA
VB. 22 a VB. 25, VB. 27 a VB. 29,
VB. 33 , VB. 34 e VB. 36**

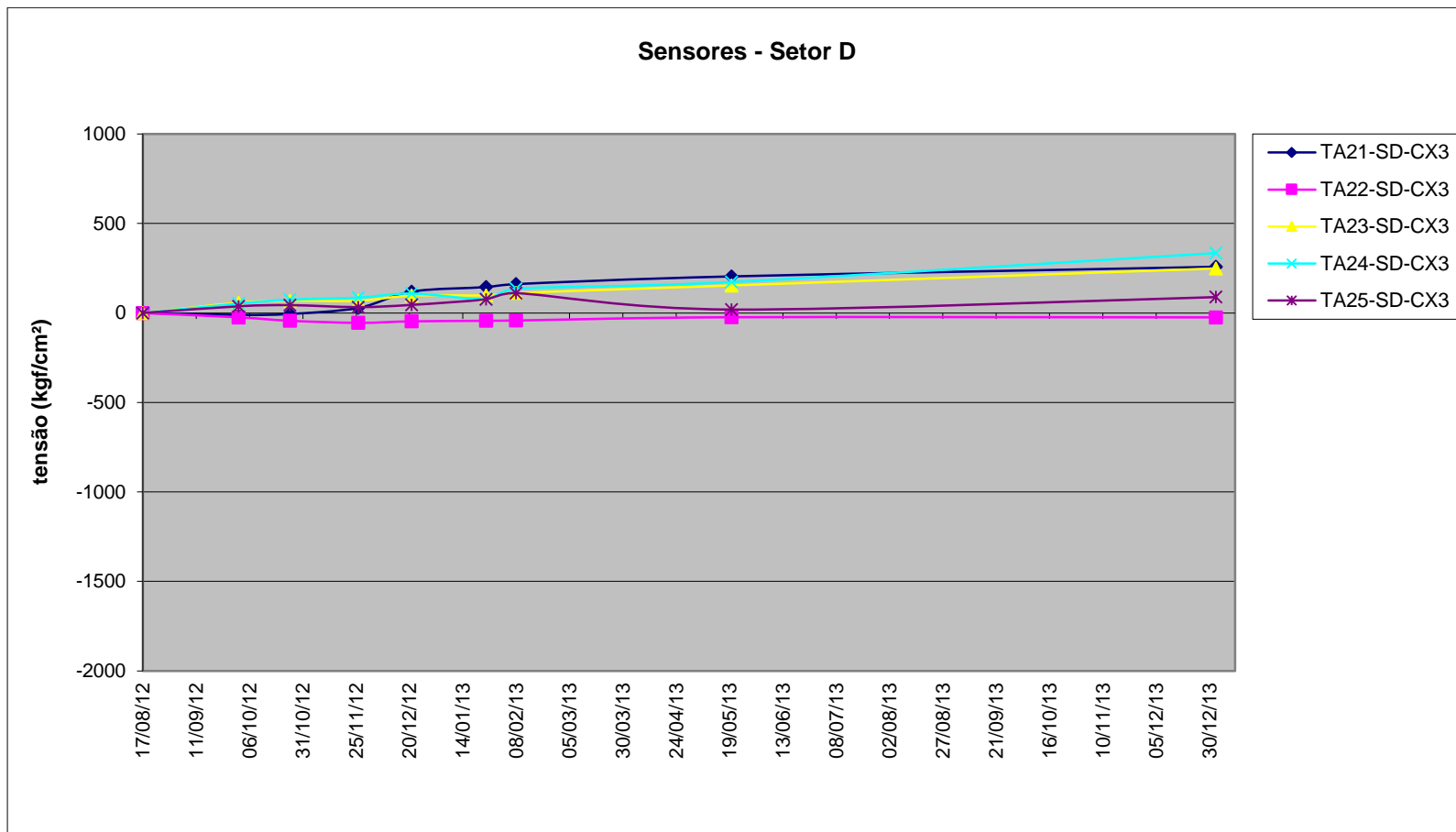














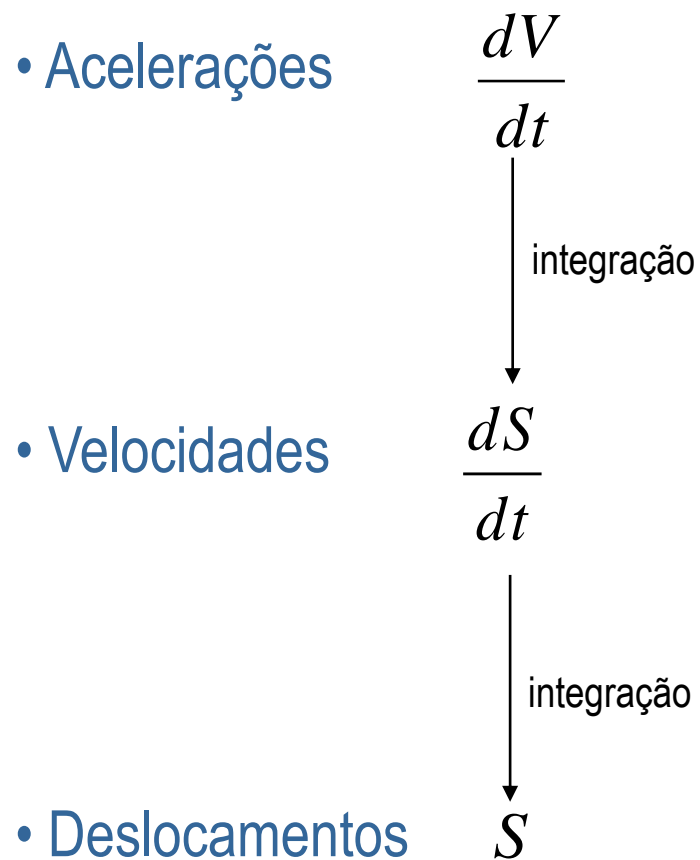
MONITORAÇÃO DINÂMICA:

- estruturas submetidas ao tráfego de veículos ou público (pontes e passarelas);
- estruturas submetidas ao movimento rítmico de pessoas (academia);
- efeito de sismos sobre estruturas (sismógrafos);
- efeito de vento sobre estruturas;
- efeito de impactos e explosões sobre estruturas;

- Necessidade de se avaliar o conforto humano.
- Influência do nível de vibrações sobre o desempenho de equipamentos
- Avaliar a durabilidade das estruturas.
- Monitorar a variação das propriedades dinâmicas das estruturas ao longo do tempo.

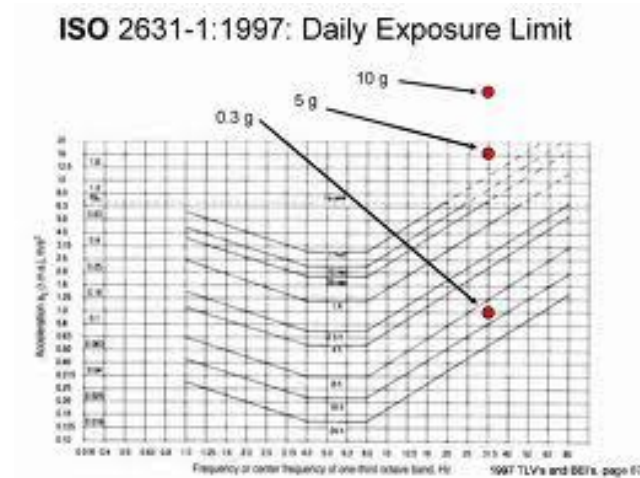
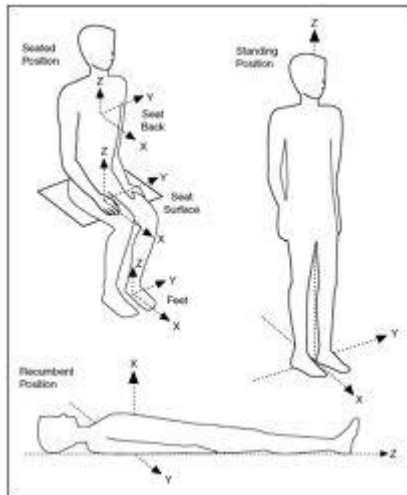
Interesse Primordial

Avaliar Experimentalmente:



Comparar com parâmetros Normativos e Referências diversas

- Percepção Humana - ISO 2631



Bachmann et al (1995).

<i>Descrição</i>	<i>Aceleração de pico (mm/s²)</i>
<i>Levemente perceptível</i>	<i>34 - 100</i>
<i>Claramente perceptível</i>	<i>100 - 550</i>
<i>Desagradável</i>	<i>550 - 1800</i>
<i>Intolerável</i>	<i>>1800</i>

módulo de entrada/calibração



cabeamentos



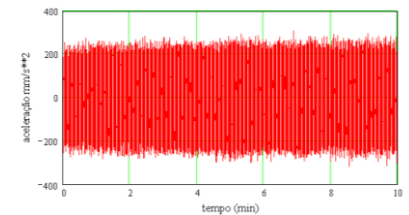
acelerômetro



Placa de aquisição



PC / armazenamento



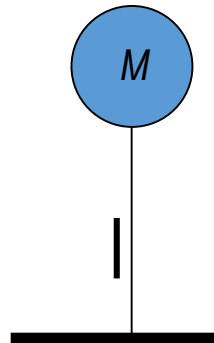
Software - interpretação

Acelerômetros Piezoresistivos

Uma massa inercial sob aceleração causa tensão na estrutura interna do sensor, a qual tem extensômetros montados.

A mudança de resistência elétrica do extensômetro é proporcional à tensão mecânica aplicada, que por sua vez é proporcional à aceleração.

- medição de vibração de baixa frequência
- medição de choques mecânicos
- alta sensibilidade



Acelerômetros Piezoelétricos

Uma massa inercial sob aceleração causa compressão ou cisalhamento de um cristal piezoelétrico. A diferença de potencial gerada pelo cristal piezoelétrico é proporcional à aceleração.



Certos cristais, como o sal de Rochelle, turmalina ou sal de Seignette e o quartzo, têm a propriedade de gerar uma tensão elétrica, quando comprimidos. A tensão gerada, mais ou menos volts, depende do grau de compressão. Chama-se a isso de piezoelectricidade

ESTUDO DE CASO - ACADEMIA

- Edifício de concreto armado
- Composto por pavimento térreo e superior
- Maior fonte de excitação – esteiras no pavimento superior
- Enrijecimento com perfis metálicos
- Avaliação do nível de vibração (conforto / implicações estruturais)



Limites adotados:

CONFORTO HUMANO - Bachmann et al (1995):

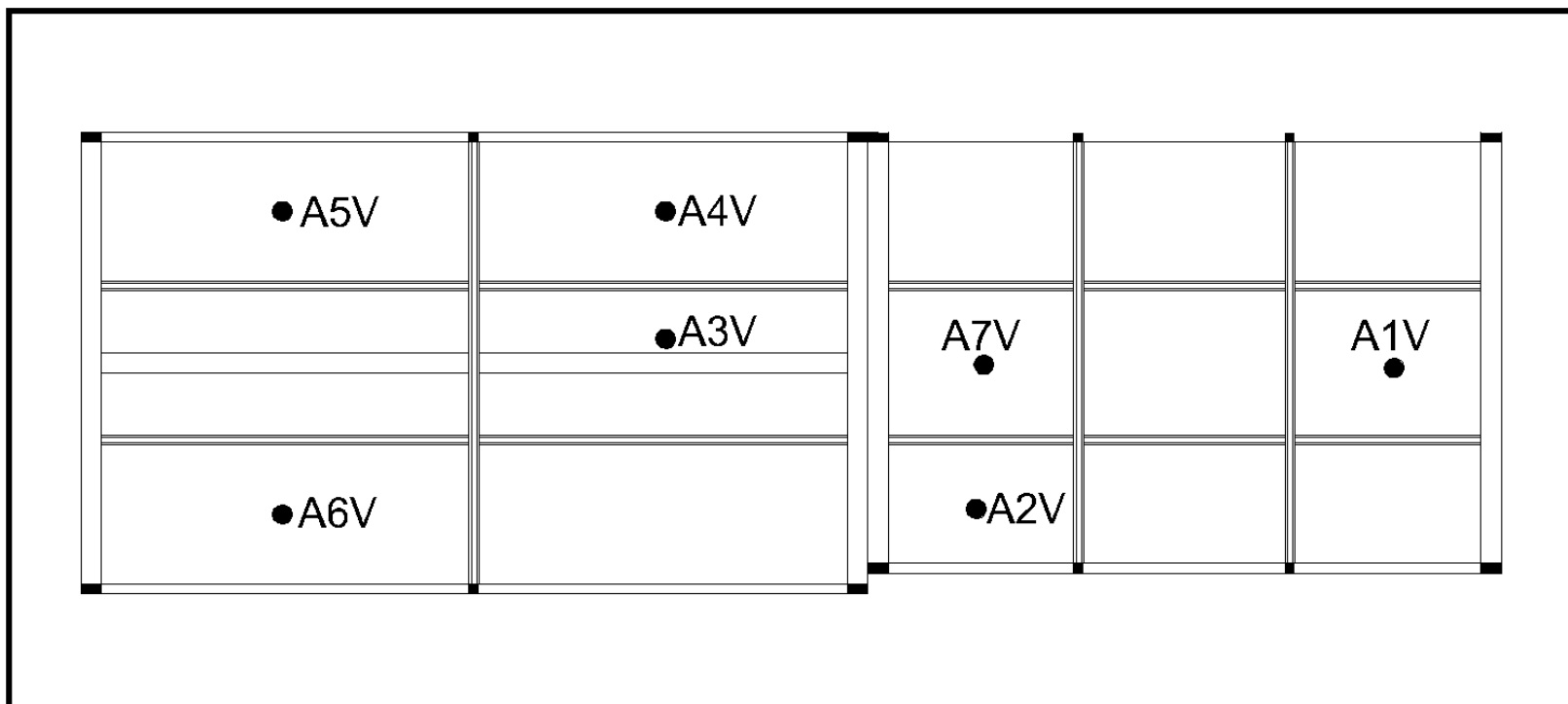
<i>Descrição</i>	<i>Aceleração de pico (mm/s²)</i>
<i>Levemente perceptível</i>	<i>34 - 100</i>
<i>Claramente perceptível</i>	<i>100 - 550</i>
<i>Desagradável</i>	<i>550 - 1800</i>
<i>Intolerável</i>	<i>>1800</i>

ESTRUTURA:

DIN 4150 (1986), $V < 40$ mm/s

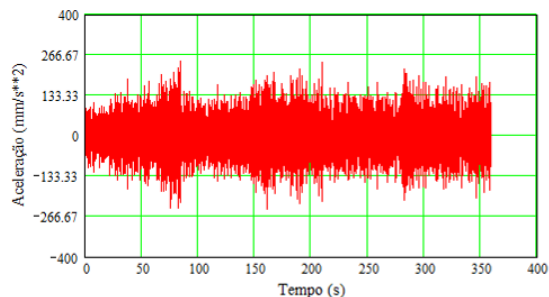
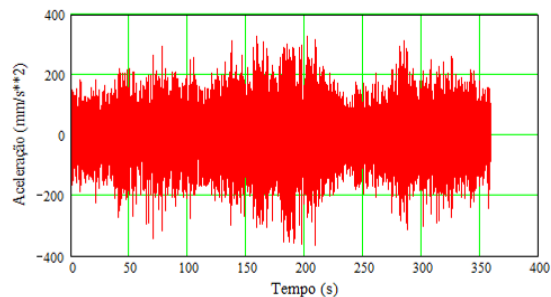
(para que não ocorra qualquer tipo de comprometimento estrutural)

Escolha da posição dos sensores





Aceleração x Tempo



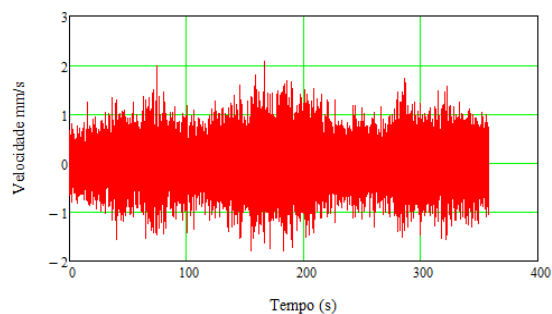
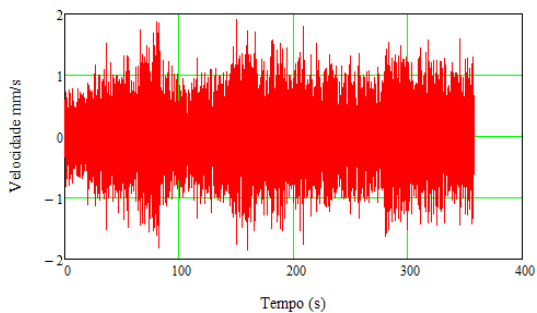
Acelerações máximas

Sens or	Prova 1 Aceleração mm/s ²	Prova 2 Aceleração mm/s ²
A1V	281	101
A2V	195	20
A3V	246	105
A4V	48	30
A5V	58	188
A6V	89	190
A7V	367	165

CONFORTO HUMANO - Bachmann et al (1995):

Descrição	Aceleração de pico (mm/s ²)
Levemente perceptível	34 - 100
Claramente perceptível	100 - 550
Desagradável	550 - 1800
Intolerável	>1800

Velocidade x Tempo



Velocidades máximas

Sens or	Prova 1 Velocidade mm/s	Prova 2 Velocidade mm/s
A1V	2,1	1,0
A2V	0,3	0,2
A3V	1,9	0,7
A4V	0,4	0,2
A5V	0,5	1,2
A6V	0,9	1,6
A7V	3,0	1,1

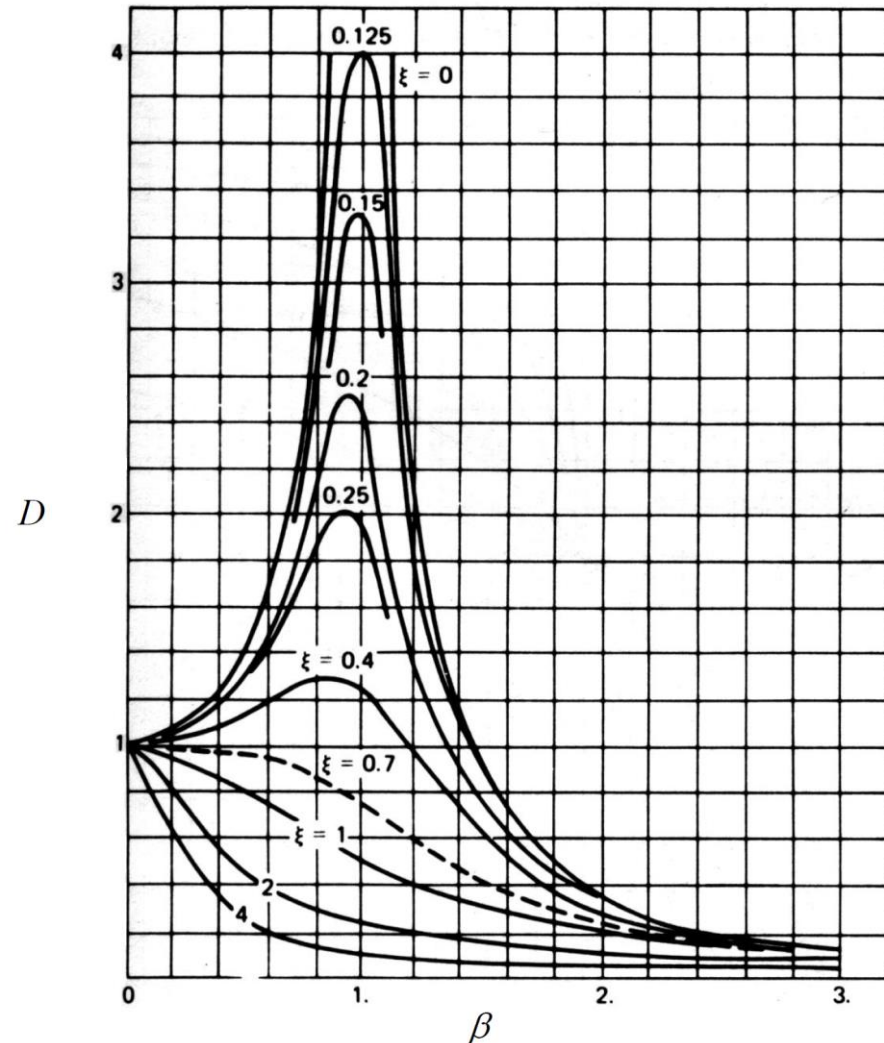
ESTRUTURA:

DIN 4150 (1986), $V < 40$ mm/s

(para que não ocorra qualquer tipo de comprometimento estrutural)

- Outra aplicação usual é a obtenção das frequências naturais experimentais da estrutura, por meio de uma análise de auto densidade espectral

Seja β a relação a frequência da excitação e a frequência natural da estrutura, quando $\beta \ll 1$ (razoavelmente abaixo da ressonância), D tende a 1, isto é, a resposta dinâmica é praticamente igual à estática. Já quando $\beta \gg 1$ (razoavelmente acima da ressonância), D tende rapidamente para zero! Assim, excitações harmônicas de alta frequência quase não afetam o sistema.



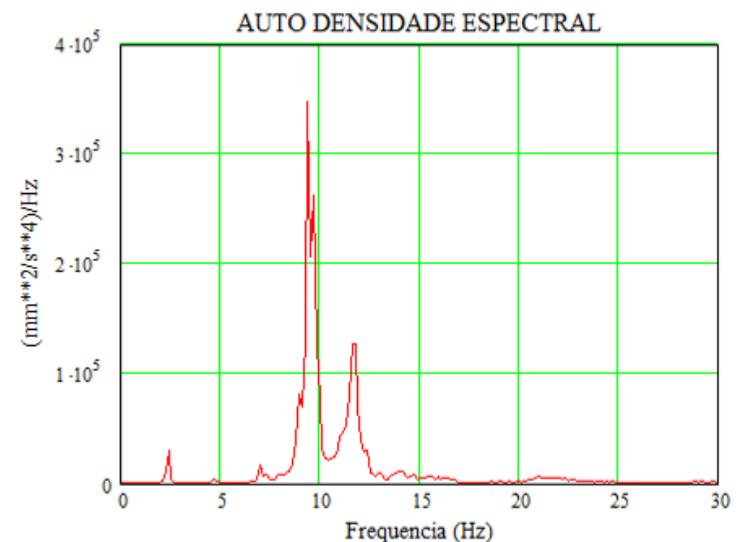
Variação do coeficiente de amplificação dinâmica com o amortecimento e frequências.

*Avaliar frequência do modo crítico
perante limites estabelecidos na
tabela 23.1 da NBR 6118:2003*

Tabela 23.1 - Frequência crítica para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas

Caso	f_{crit} Hz
Ginásio de esportes	8,0
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Escritórios	3,0 a 4,0
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,4
Passarelas de pedestres ou ciclistas	1,6 a 4,5

- *Outra aplicação usual é a obtenção das frequências naturais experimentais da estrutura, por meio de uma análise de auto densidade espectral*
- *Transformação rápida de Fourier (FFT – fast fourier transform)*
Passa o sinal para o domínio da frequência (picos representam as frequências fundamentais).



VANTAGENS:

- Auxílio no diagnóstico de anomalias
- Acompanhamento destas características ao longo do tempo, possibilitando o diagnóstico precoce de danos estruturais
- Calibração de modelos computacionais para avaliação de soluções de atenuação de vibrações

Como excitar a estrutura?

- Ação própria dos equipamentos
- Passagem de veículos
- Queda de massas
- Vento
- Ação de multidão
- Vibrodina



INSTRUMENTAÇÃO DINÂMICA – EXEMPLO PRÁTICO

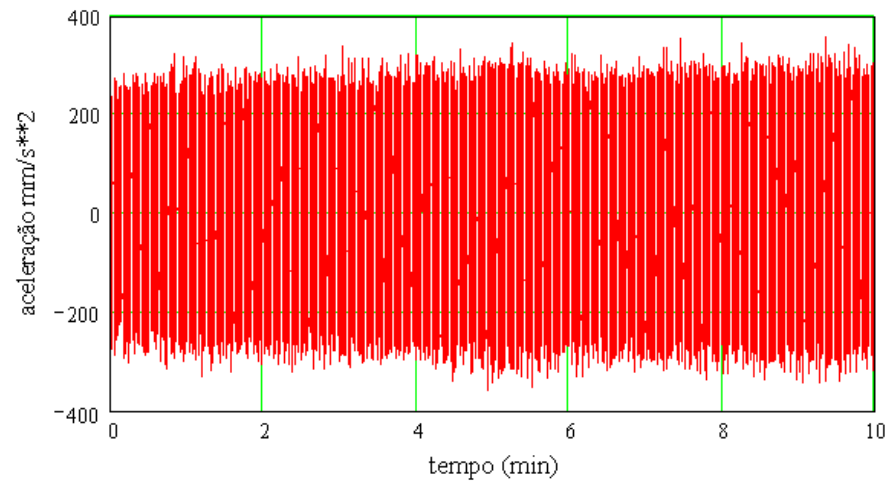
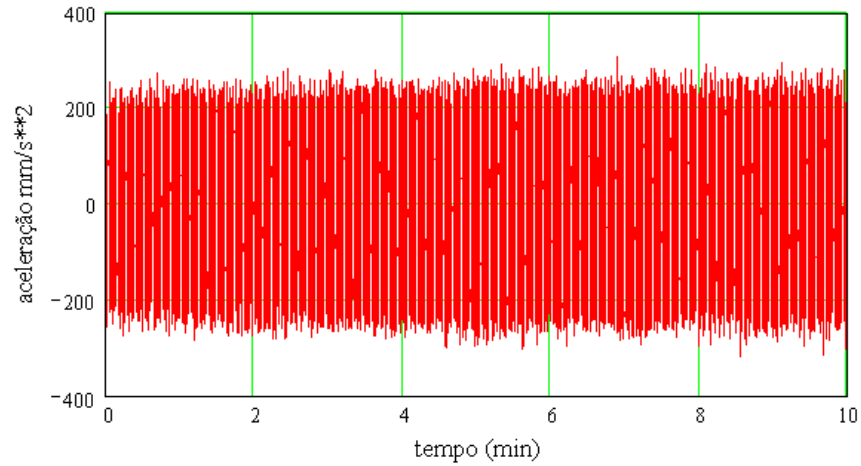


*Edifício Industrial em estrutura metálica.
Peneira de baixa frequência de operação no 3º nível.*



*Instalação de acelerômetros e monitoração
do comportamento dinâmico.*

Resultados da instrumentação (aceleração x tempo).



Por meio de integração das acelerações, obtém-se as velocidades máximas para comparação com limites indicados em códigos específicos.

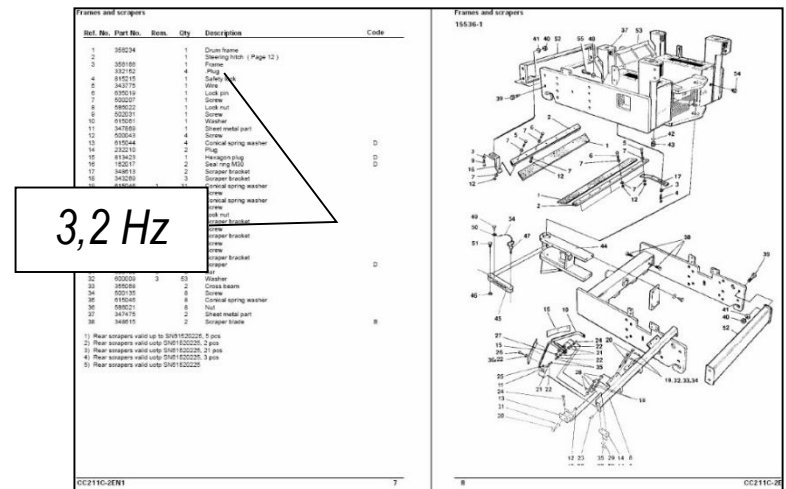
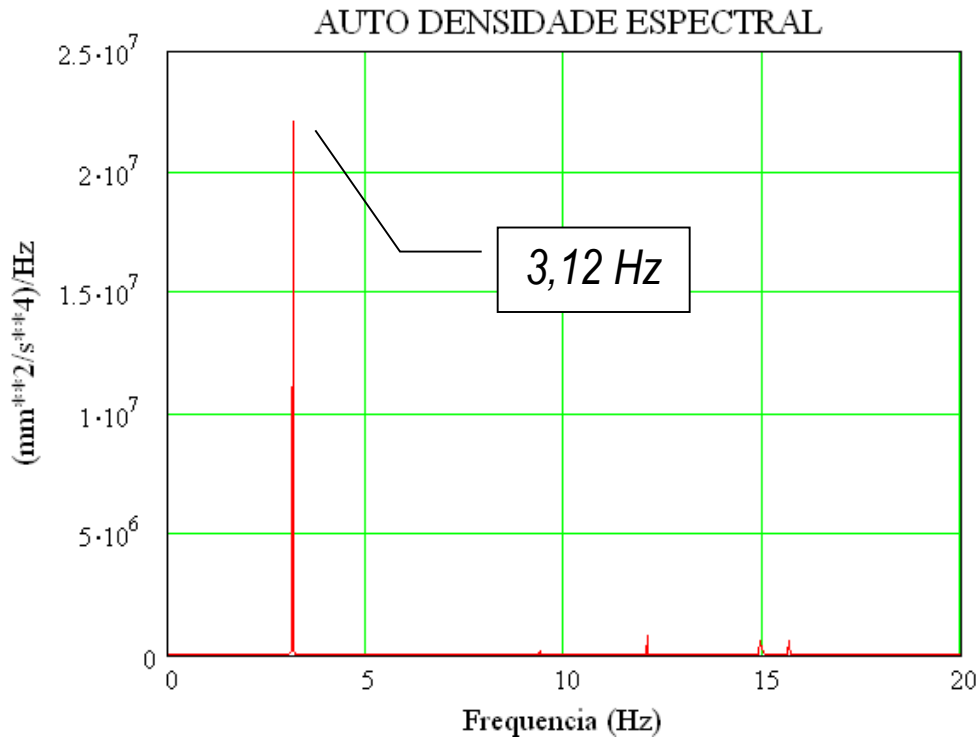
Acelerações e velocidades máximas.

<i>Nome da Posição</i>	<i>Aceleração Máxima Medida* (mm/s²)</i>	<i>Velocidade Máxima Calculada (mm/s)</i>
<i>A1X</i>	<i>320</i>	<i>16</i>
<i>A1Y</i>	<i>380</i>	<i>19</i>
<i>A2Y</i>	<i>343</i>	<i>17</i>
<i>A3Z</i>	<i>356</i>	<i>6</i>
<i>A4Z</i>	<i>470</i>	<i>8</i>
<i>A5Z</i>	<i>616</i>	<i>10</i>
<i>A7Z</i>	<i>763</i>	<i>13</i>
<i>A8X</i>	<i>365</i>	<i>19</i>
<i>A8Y</i>	<i>437</i>	<i>22</i>
<i>A9Y</i>	<i>359</i>	<i>18</i>
<i>A10Z</i>	<i>1890</i>	<i>32</i>
<i>A12Z</i>	<i>724</i>	<i>12</i>
<i>A13X</i>	<i>566</i>	<i>29</i>
<i>A13Y</i>	<i>464</i>	<i>24</i>

<i>Descrição</i>	<i>Aceleração de pico (mm/s²)</i>
<i>Levemente perceptível</i>	<i>34 - 100</i>
<i>Claramente perceptível</i>	<i>100 - 550</i>
<i>Desagradável</i>	<i>550 - 1800</i>
<i>Intolerável</i>	<i>>1800</i>

* Valores de picos máximos (instantâneos).

Transformando os resultados para o domínio da frequência, é possível identificar as frequências naturais experimentais.

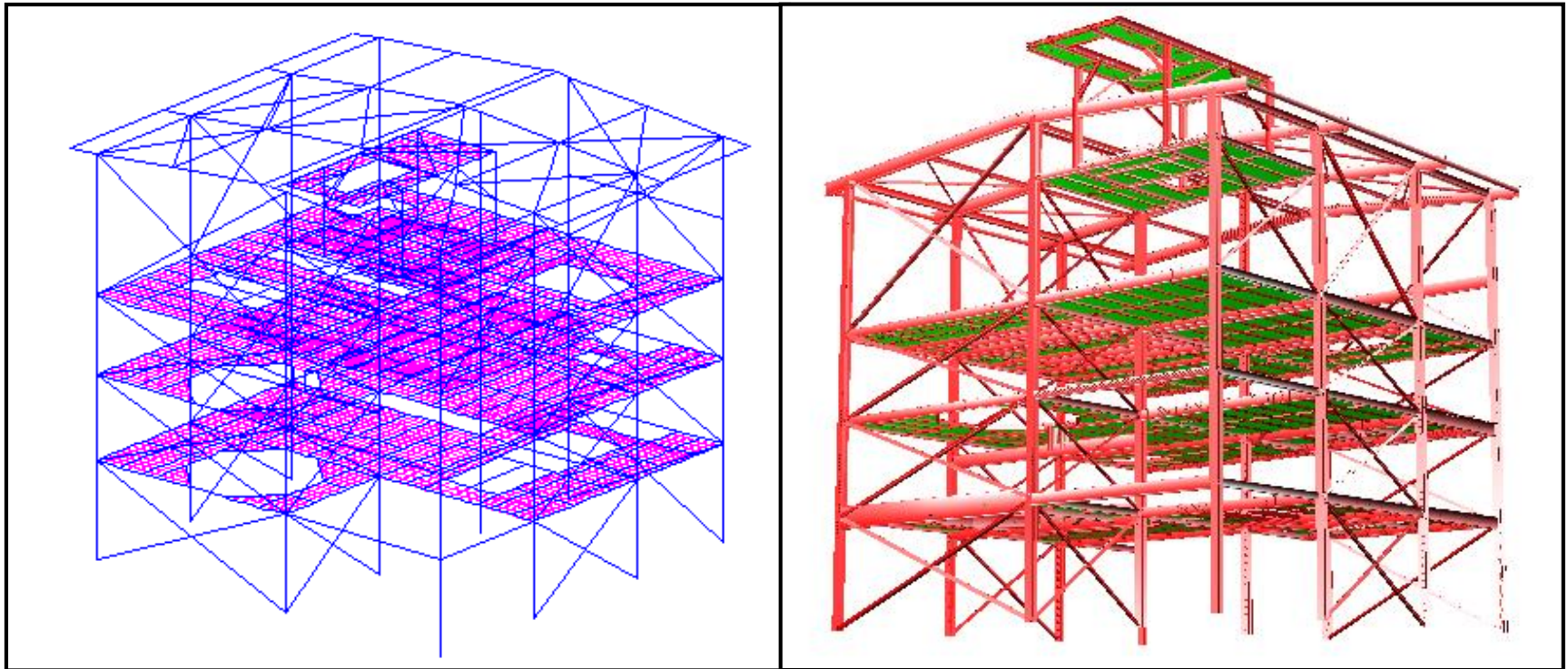


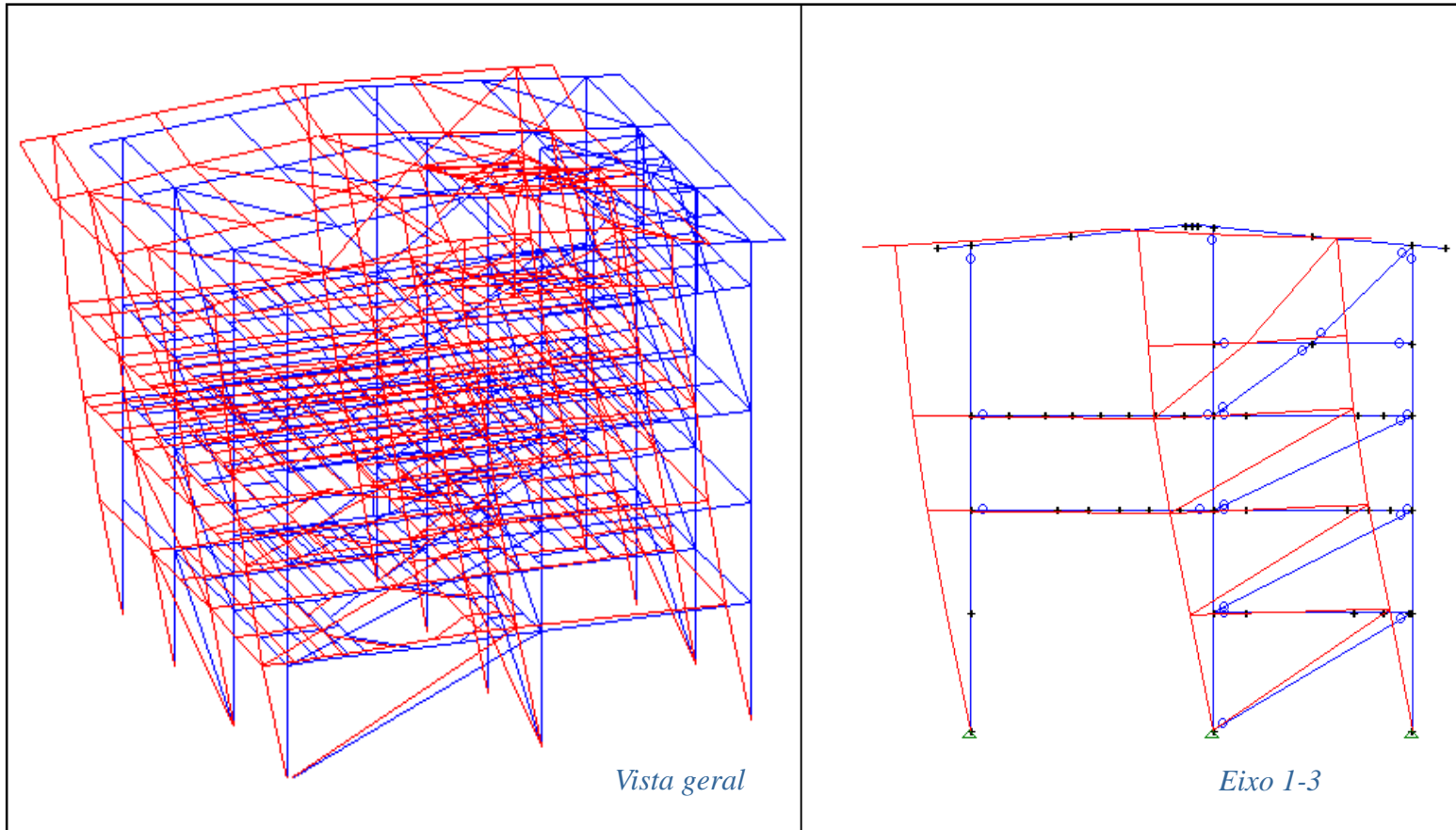
O resultado obtido pode ser comparado com a frequência da excitação, neste caso:

Frequencia da peneira = 3,2 Hz

1ª Frequencia natural experimental = 3,12 Hz (muito próximas)

Outra aplicação da instrumentação, é a calibração de modelos computacionais.

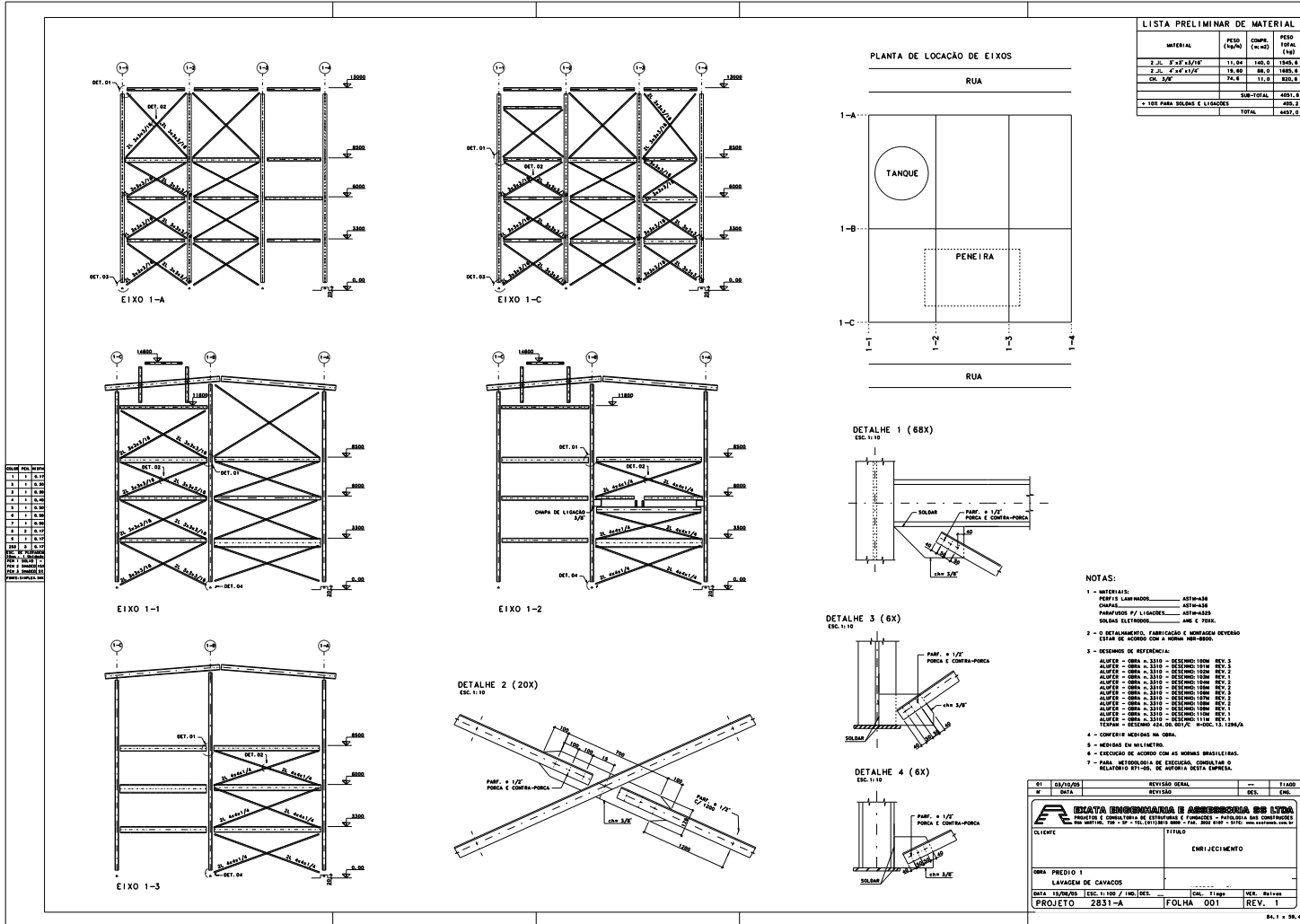




1ª Frequencia natural do modelo = 3,5 Hz

1ª Frequencia natural experimental = 3,12 Hz (calibração)

Com o modelo calibrado, pode-se avaliar a eficiência das possíveis intervenções



ADEQUAÇÃO POR ENRIJECIMENTO DA ESTRUTURA



MUITO OBRIGADO!!!

contato@carmona.eng.br
(11) 2645-5811

Eng. M. Sc. Tiago Garcia Carmona

Eng. M. Sc. Thomas Garcia Carmona