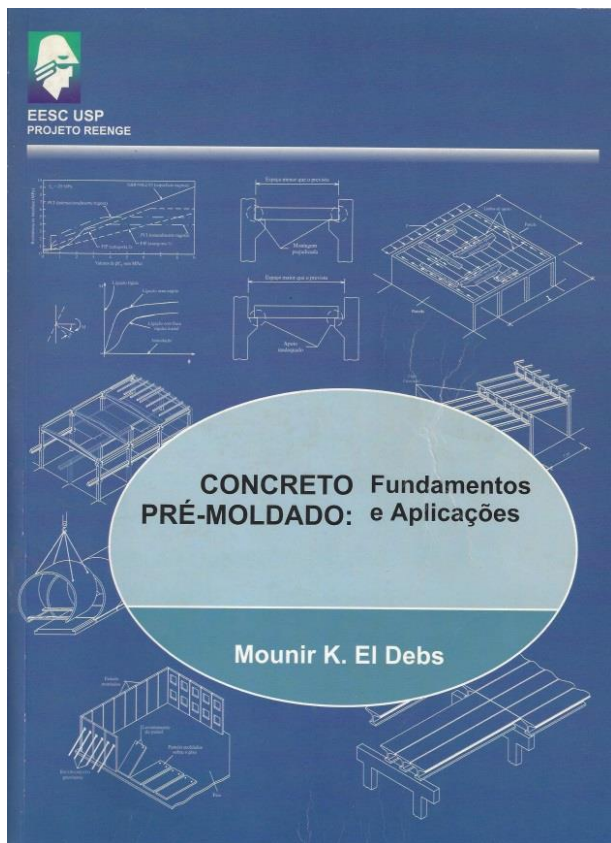




SEMINÁRIO: *Atualização em estruturas e painéis de concreto pré-moldado*

**DESTAQUES DA SEGUNDA EDIÇÃO DO
LIVRO CONCRETO PRÉ-MOLDADO:
FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**

MOUNIR KHALIL EL DEBS



2000



2017

MOTIVAÇÃO

FINALIDADE

Motivar os leitores para a aplicação do concreto pré-moldado, mas sem deixar de alertar para as dificuldades inerentes ao processo. De fato, estas dificuldades fazem que o concreto pré-moldado deva ser encarado com o **“pé no chão”**. Mas por outro lado, deve-se ter o **“olho no futuro”**, pois embora possam existir condições desfavoráveis, não se pode deixar de ter em vista que, à medida que aumenta o desenvolvimento tecnológico e social do país, aumentam as chances de emprego do concreto pré-moldado.

FOCO E ABORDAGEM

PRINCIPAIS MUDANÇAS

Revisão e atualização

Alguns reordenamento

Novos exemplos de aplicações, principalmente nacionais

Incorporação de resultados de pesquisas desenvolvidas junto ao programa de pós-graduação, de forma a disponibilizar os principais resultados para os profissionais envolvidos.

Incorporação resultados dos três eventos *Encontro Nacional Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado*, realizados em 2005(1PPP), 2009 (2PPP) e 2013(3PPP),

ESTRUTURA DA SEGUNDA EDIÇÃO

PARTE I: FUNDAMENTOS

PARTE II: APLICAÇÕES

**PARTE III: ELEMENTOS DE PRODUÇÃO
ESPECIALIZADA**

PARTE IV: ANEXO

ESTRUTURA DA SEGUNDA EDIÇÃO

PARTE I - FUNDAMENTOS

- **INTRODUÇÃO**
- **PRODUÇÃO**
- **PROJETO DOS ELEMENTOS E DAS ESTRUTURAS**
- **LIGAÇÕES**
- **ELEMENTOS COMPOSTOS**
- **TÓPICOS ESPECIAIS**

ESTRUTURA DA SEGUNDA EDIÇÃO

PARTE II - APLICAÇÕES

- **COMPONENTES DE EDIFICAÇÕES**
- **EDIFÍCIOS DE UM PAVIMENTO**
- **EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**
- **COBERTURAS EM CASCAS, FOLHAS POLIÉDRICAS E SIMILARES**
- **PONTES**
- **GALERIAS, CANAIS, MUROS DE ARRIMO E RESERVATÓRIOS**
- **APLICAÇÕES DIVERSAS**

ESTRUTURA DA SEGUNDA EDIÇÃO

PARTE III - ELEMENTOS DE PRODUÇÃO ESPECIALIZADA

- **LAJES FORMADAS POR VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS**
- **LAJES FORMADAS POR PAINÉIS ALVEOLARES**
- **ELEMENTOS ENTERRADOS: TUBOS CIRCULARES E GALERIAS CELULARES**
- **OUTROS ELEMENTOS: ESTACAS, POSTES, DORMENTE E BARREIRAS**

ESTRUTURA DA SEGUNDA EDIÇÃO

PARTE IV - ANEXOS

- **ANEXO A - EXEMPLOS NUMÉRICOS**
- **ANEXO B - PRINCÍPIOS E VALORES DA CONSIDERAÇÃO DA SEGURANÇA DO PCI**
- **ANEXO C - DIMENSIONAMENTO DE APOIOS DE ELASTÔMERO**
- **ANEXO D - ALMOFADAS DE ARGAMASSA MODIFICADA**
- **ANEXO E . LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS: DESENVOLVIMENTO E PESQUISAS**
- **ANEXO F - INTRODUÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO PROTENDIDO COM PRÉ-TRAÇÃO**

PARTE I - FUNDAMENTOS

Cap. I INTRODUÇÃO

I.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

I.2 FORMAS DE APLICAÇÃO DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

I.3 MATERIAIS

I.4 PARTICULARIDADES DO PROJETO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

I.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

I.6 ACENO HISTÓRICO, SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS

I.7 PRINCIPAIS FONTES DE INFORMAÇÕES

DESTAQUES:

Exemplos nacionais



a) Boulevard Shopping (Santos, 2009)



b) Bacharelado ciências e tecnologia –
Natal/RN (Maranhão, 2009)

DESTAQUES

Exemplos nacionais



Figura 07. Pórtico de concreto pré-moldado das linhas urbanas em Belo Horizonte.

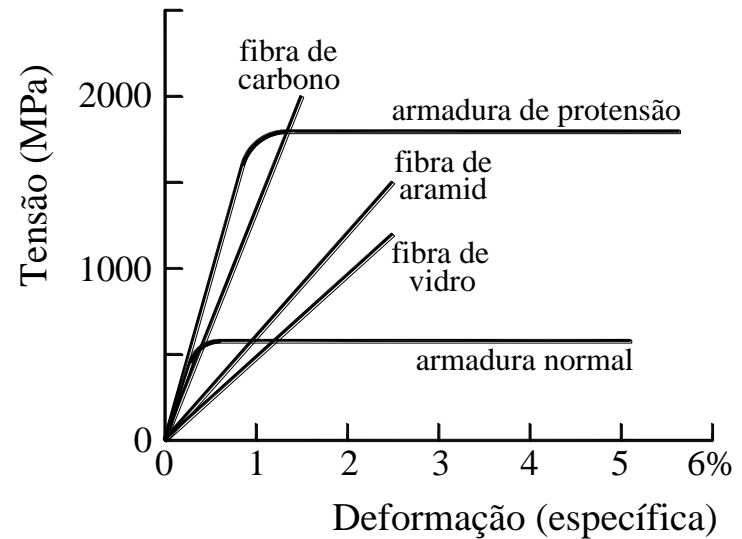


Exemplo de aplicação do concreto pré-moldado em cobertura: terminais rodoviários urbanos de integração do BRT-BH [fonte Rocha, 2014]

DESTAQUES:

I.3 MATERIAIS

Armaduras não metálicas (fiber reinforced polymer: FRP)



curvas *Tensão x Deformação* típicas de armadura não metálica (adaptado de MC-10 (fib, 2013))

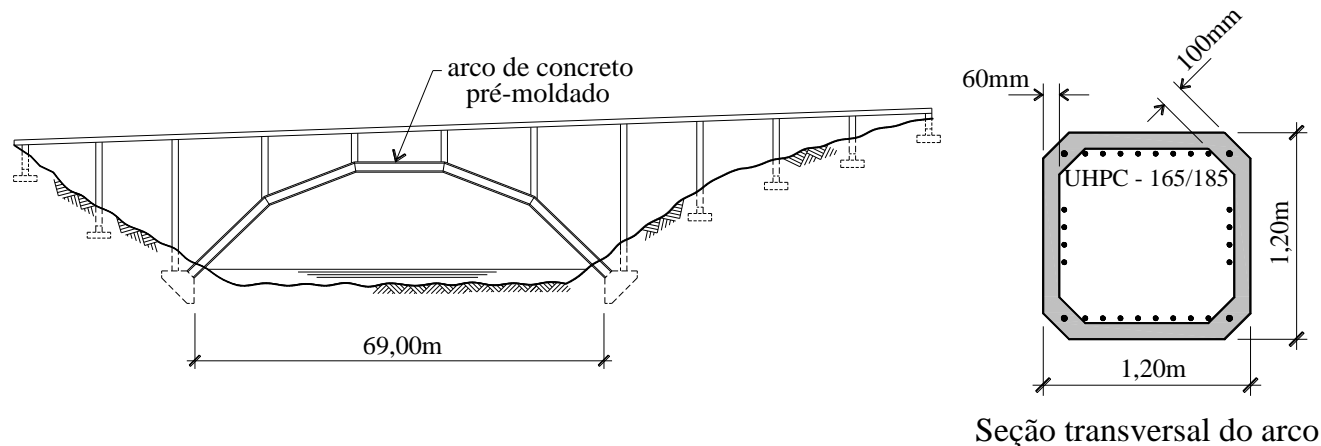
Textile reinforced concrete (TRC), que corresponde a concreto de granulometria fina associado a telas 2D ou 3D de armadura não metálica. Este tipo de associação está bastante próximo do que seria a argamassa armada, em que a armadura de tela metálicas seria substituída por tela de armadura não metálica.

DESTAQUES:

I.3 MATERIAIS

Concreto de altíssimo desempenho (Ultra High Performance Concrete: UHPC).

O UHPC é definido como um composto de material cimentício, com fibras que exibe resistência à compressão acima de 150MPa e resistência à tração, após fissuração, de 5MPa



Exemplo de ponte em arco na Áustria de UHPC [adaptado de Tue (2009)]

DESTAQUES:

I.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Apresenta-se uma discussão das características do CPM para que se possa fazer avaliações que favorecem ou não a utilização do CPM, no âmbito da industrialização da construção, enquadrando-as em:

- a) características relativas ao projeto
- b) características relativas à construção
- c) características relativas ao uso (construção, utilização, manutenção)
- d) características sociais,

DESTAQUES:

I.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

a) características relativas ao projeto



b) Le Saint Jude Residence (cortesia: Stamp Painéis Arquitetônicos)

Exemplos de aplicação de CPM em projetos “mais flexíveis”:

DESTAQUES:

I.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

d) características sociais

Aspectos relacionados com a sustentabilidade

Características do concreto pré-moldado benéficas para a sustentabilidade:

i) **redução do material**, com o emprego de seções transversais ou formas estruturais mais eficientes ou ainda emprego de matérias de alto desempenho, ii) **redução de desperdícios**, na fábrica e na construção, iii) **reciclagem** dos materiais na fabricação do componentes, iv) **possibilidades de reuso** de partes da construção mediante projetos com previsão de desmontabilidade e v) **possibilidade de menor consumo de energia** mediante a incorporação de isolamento, inércia térmica e acabamentos para minimizar a absorção da radiação solar.

DESTAQUES:

I.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

d) características sociais

Perturbação ao meio ambiente

A rapidez da construção é também uma característica importante na minimização das perturbação ao meio ambiente no entorno da construção, como barulho e tráfego.

Exemplo emblemático apresentado no livro, em que o tempo previsto da construção passou 72 dias para 72 horas, conforme apresentado por Trados (2005) no 1PPP.

Neste sentido, merece destaque o programa “Accelerated bridge construction” (ABC) do Departamento de Transporte dos EUA para redução do tempo de construção de pontes

DESTAQUES:

I.6 ACENO HISTÓRICO, SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS

Perspectivas:

matérias

projeto

produção

atender as demandas da sociedade

sustentabilidade

A tendência é que a análise de projetos contemplem cada vez mais critérios de sustentabilidade, o que deve favorecer o emprego do concreto pré-moldado, como por exemplo, a apresentada em Schimidt e Jerebic (2008).

segurança a eventos extremos

PRODUÇÃO

1.1 EXECUÇÃO DOS ELEMENTOS

1.1.1 ATIVIDADES ENVOLVIDAS

1.1.2 PROCESSOS DE EXECUÇÃO

1.1.3 FÔRMAS

1.1.4 TRABALHOS DE ARMAÇÃO E DE PROTENSÃO

1.1.5 COLOCAÇÃO E ADENSAMENTO DO CONCRETO

1.1.6 ACELERAÇÃO DO ENDURECIMENTO E CURA

1.1.7 DESMOLDAGEM

1.1.8 DISPOSITIVOS AUXILIARES PARA O MANUSEIO

1.1.9 TRANSPORTE INTERNO

1.1.10 ARMAZENAMENTO

1.1.11 CONTROLE DE QUALIDADE

1.1.12 ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE EXECUÇÃO

1.2 TRANSPORTE

1.3 MONTAGEM

1.3.1 PLANEJAMENTO E SEGURANÇA

1.3.2 EQUIPAMENTOS

1.3.3 DISPOSITIVOS AUXILIARES

1.3.4 PROCEDIMENTOS GERAIS

DESTAQUES:

Emprego do CAA



Colocação e adensamento do concreto na fabricação de elementos:
a) com concreto vibrado e b) com concreto autoadensável

DESTAQUES:

CONTROLE DE QUALIDADE

Manual para o controle de qualidade para fabricas e fabricação de elementos pré-moldados estruturais do PCI (PCI, 1999): a) inspeção, b) ensaios e c) documentação.

A inspeção pode ser dividida em antes e após a moldagem. Antes da moldagem, merece chamar a atenção de duas verificações pela relação que elas têm com o projeto estrutural: a) o posicionamento da armadura e de insertos metálicos e b) o controle da força de protensão. A inspeção após moldagem englobaria, entre outras, as verificações de dimensões dos elementos, de fissuras, de quebras, de falhas e de acabamentos.

Merece destaque aqui algumas imperfeições, objeto da inspeção pós-moldagem, que fazem parte do boletim 41 da fib sobre o tratamento de imperfeições em elementos estruturais de concreto pré-moldado (fib, 2007): a) acabamentos superficial, b) controle dimensional, c) flechas e contra-flechas e d) fissuração.

INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE (fib). *fib Bulletin 41*: Treatment of imperfections in precast structural elements. (state-of-art report). Switzerland: 2007. 69 p.

PROJETO DOS ELEMENTOS E DAS ESTRUTURAS

2.1 PRINCÍPIOS GERAIS

2.1 FORMA DOS ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

2.2 ELEMENTOS PARA A ANÁLISE ESTRUTURAL

2.4 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO ESTRUTURAL

2.5 TOLERÂNCIAS E FOLGAS

2.6 COBRIMENTO DA ARMADURA

2.7 SITUAÇÕES TRANSITÓRIAS

2.8 ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL

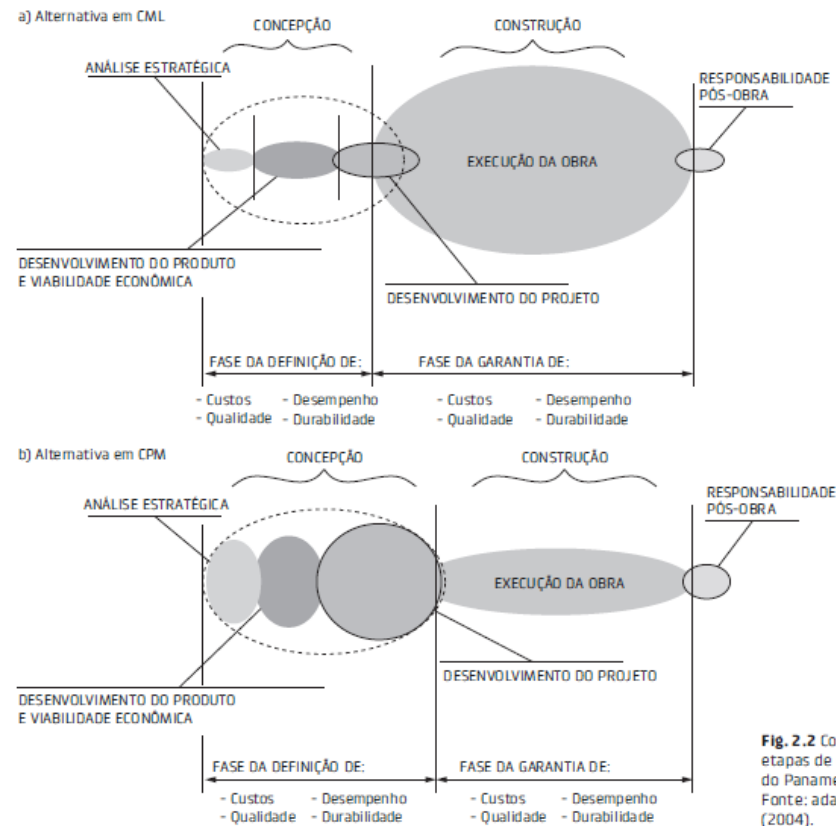
DESTAQUES

2.1 PRINCÍPIOS GERAIS

conceber o projeto da obra visando a utilização do concreto pré-moldado

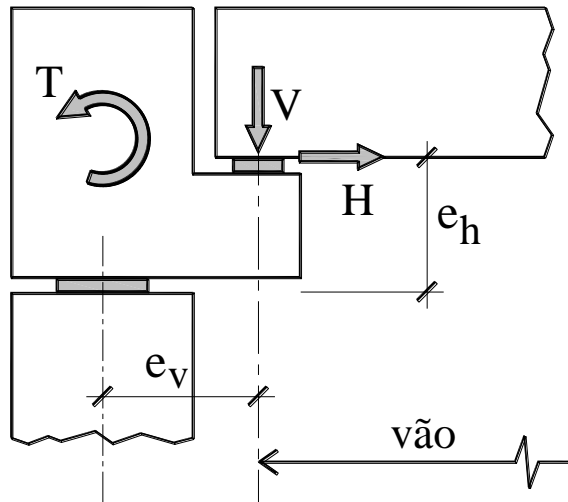
Um exemplo emblemático: Panamericana Park, em São Paulo, SP, (Prelorenzou, 2004).

A previsão para a alternativa em CML era de 6 meses para a concepção e de 30 meses para a construção. Com a alternativa em CPM, a concepção demandou 12 meses e o tempo de construção caiu para 12 meses, com isto houve uma antecipação de receitas em 12 meses.

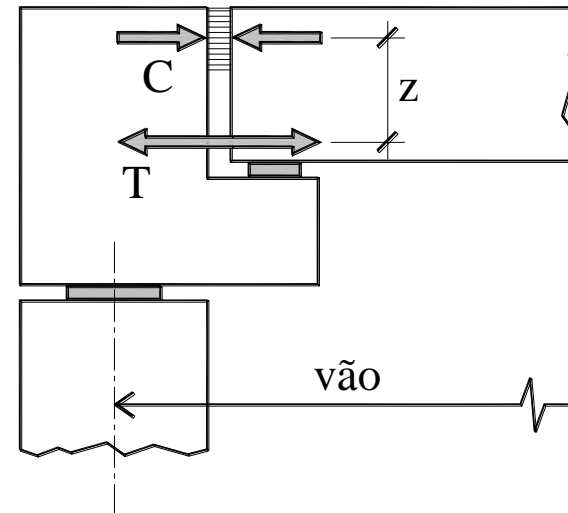


DESTAQUES

2.4 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO ESTRUTURAL



a) Laje simplesmente apoiada



b) Com transferências de binário da laje para viga (depois de efetiva a ligação)

Alternativas de ligação da laje com vigas de bordas

[adaptado do boletim 43 da fib (fib, 2008)]

DESTAQUES

2.8 ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL

Um estudo apresentado por Lins (2013), para situações típicas de estruturas de concreto pré-moldado de múltiplos pavimentos indica, para sistema estrutural de pórtico, o valor do limite com a seguinte expressão:

$$\alpha_{\text{lim}} = \sqrt{0,456\beta(n^{1,11} - 0,43) / n}$$

LINS, F. F. V. *Contribuição à avaliação da estabilidade global e pré-dimensionamento de pórticos planos em concreto pré-moldado.*

Redução da rigidez dos elementos (Não linearidade física)

MARIN, M. C. *Contribuição à análise da estabilidade global de estruturas em concreto pré-moldado de múltiplos pavimentos.* 2009.

LIGAÇÕES

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

3.2 PRINCÍPIOS GERAIS

3.3 ELEMENTOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL

.3.1 TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS LOCALIZADOS

3.3.2 MODELOS PARA ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA

3.3.3 MODELOS NUMÉRICOS E FÍSICOS

3.4 RECOMENDAÇÕES E DETALHES CONSTRUTIVOS

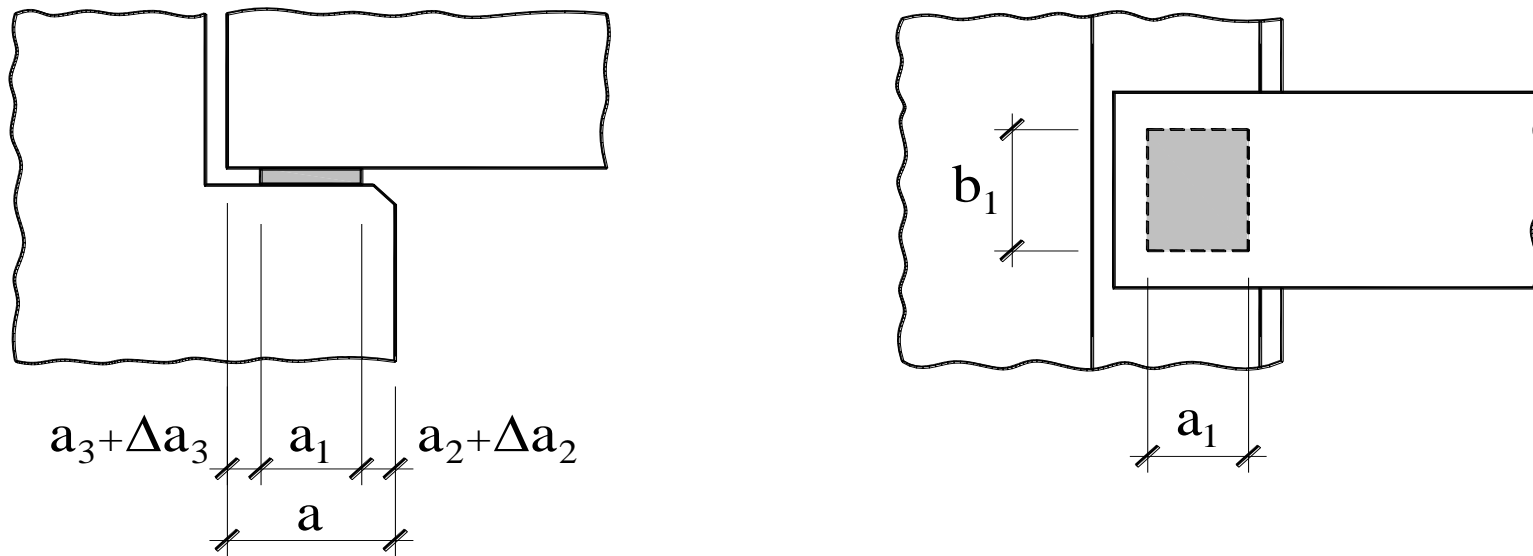
3.4.1 DIRETRIZES PARA O PROJETO E EXECUÇÃO

3.4.1 ANCORAGENS E EMENDAS DE BARRAS

3.4.3 COMPRIMENTOS DE APOIO E DETALHAMENTO DA EXTREMIDADE DOS ELEMENTOS

DESTAQUES

3.4.3 COMPRIMENTOS DE APOIO E DETALHAMENTO DA EXTREMIDADE DOS ELEMENTOS



Definição dos parâmetros relacionados com o cálculo do comprimento de apoio [adaptado de EN 1922-1-1 (ES, 2004)]

LIGAÇÕES (cont.)

3.5 COMPONENTES DAS LIGAÇÕES

3.5.1 CONSOLOS DE CONCRETO

3.5.1 DENTES DE CONCRETO

3.5.3 CONSOLOS E DENTES METÁLICOS

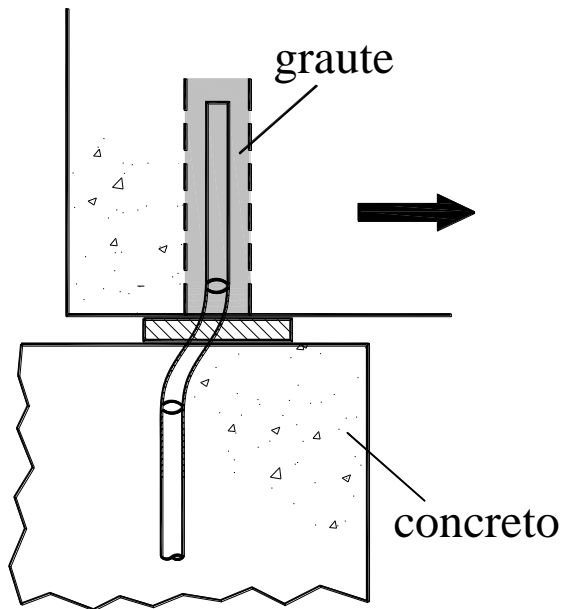
3.5.4 CHUMBADORES SUJEITOS À FORÇA
TRANSVERSAL

3.5.5 APOIOS DE ELEMENTOS FLETIDOS

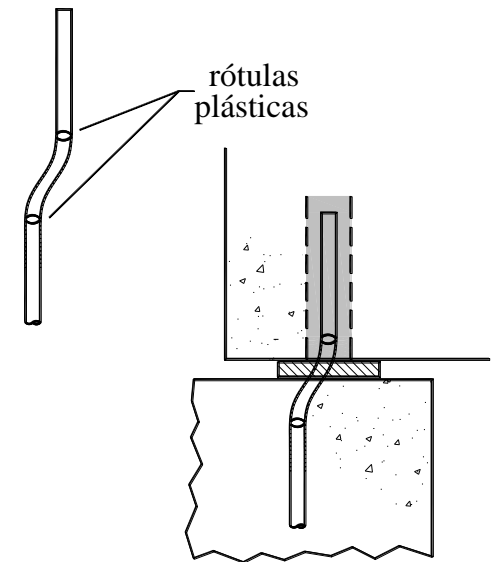
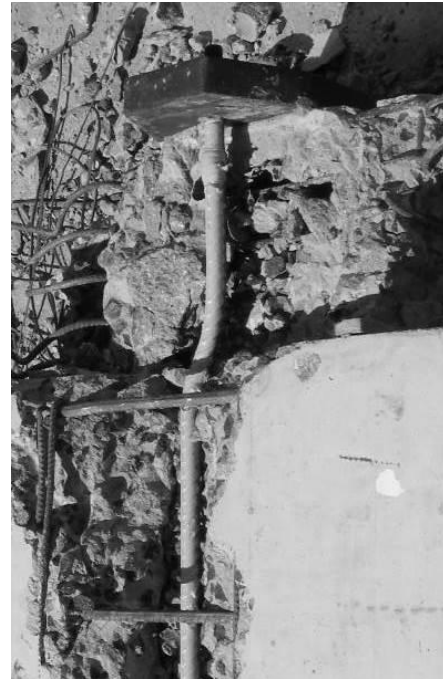
3.5.6 JUNTAS DE ARGAMASSA

DESTAQUES

3.5.4 CHUMBADORES SUJEITOS À FORÇA TRANSVERSAL



Chumbador grauteado em ligações [adaptado do boletim 43 da fib (fib, 2008)].



AGUIAR, E. A. B. *Comportamento de chumbadores grauteados de ligações viga-pilar parcialmente resistentes a momento fletor*. 2010.

LIGAÇÕES (cont.)

3.6 TIPOLOGIA DAS LIGAÇÕES

3.6.1 LIGAÇÕES EM ELEMENTOS TIPO BARRA

3.6.1 LIGAÇÕES EM ELEMENTOS TIPO FOLHA

3.6.3 LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS NÃO

ESTRUTURAIIS COM A ESTRUTURA PRINCIPAL

3.7 ANÁLISE DE ALGUNS TIPOS DE LIGAÇÕES

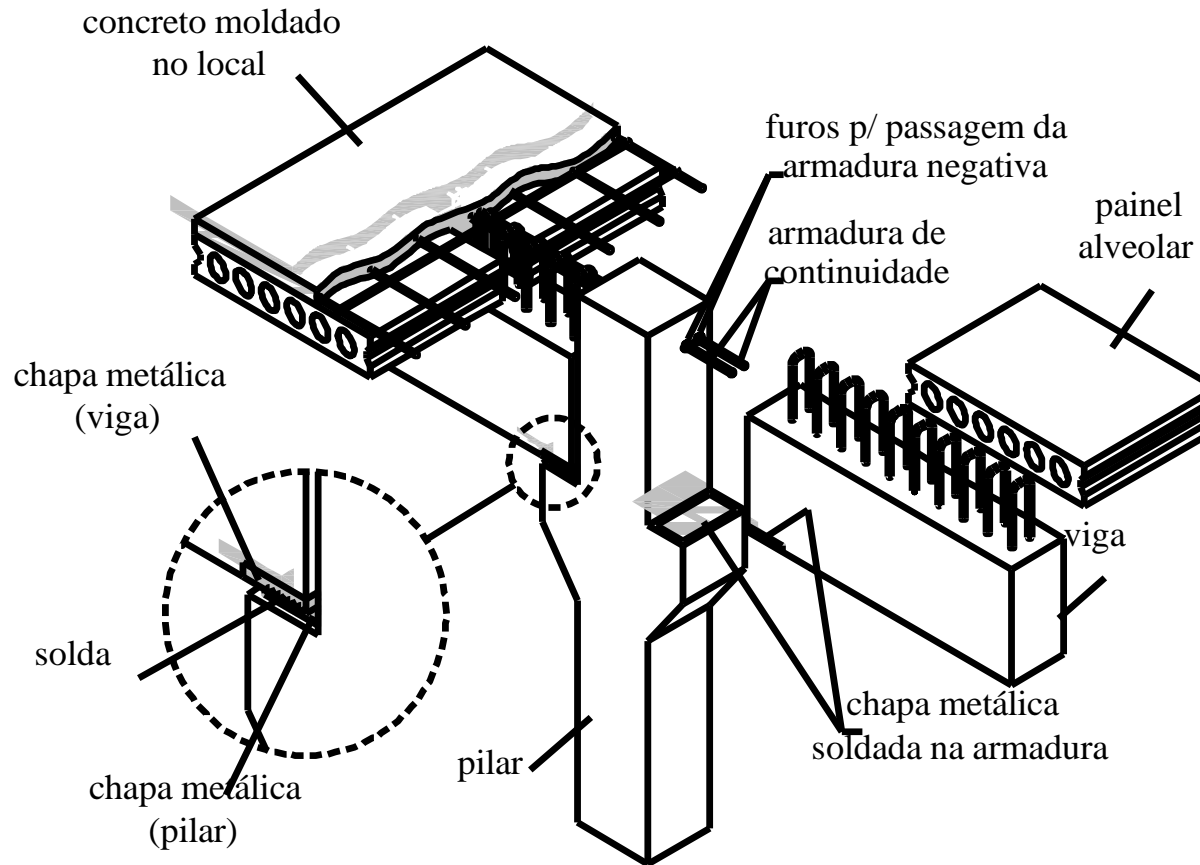
3.7.1 LIGAÇÃO PILAR X FUNDAÇÃO POR MEIO
DE CÁLICE DE FUNDAÇÃO

3.7.1 LIGAÇÃO PILAR X FUNDAÇÃO POR MEIO
DE CHAPA DE BASE

3.7.3 LIGAÇÃO VIGA X PILAR POR MEIO DE
ELASTÔMERO E CHUMBADORES

DESTAQUES

LIGAÇÕES EM ELEMENTOS TIPO BARRA



Exemplo de ligação com combinação dos recursos

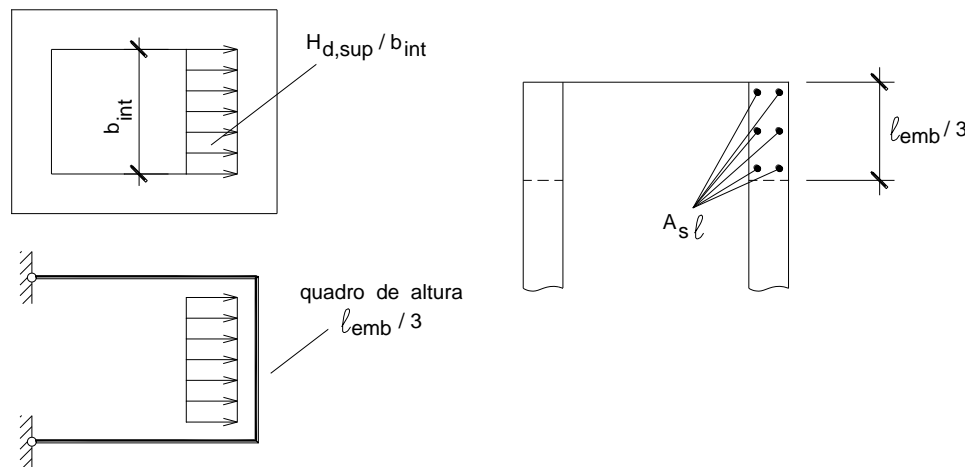
DESTAQUES

LIGAÇÃO PILAR X FUNDAÇÃO POR MEIO DE CÁLICE DE FUNDAÇÃO

Edição de 2000

Cálices com interfaces lisas e rugosas

Cálices com interfaces lisas sem atrito



DESTAQUES

LIGAÇÃO PILAR X FUNDAÇÃO POR MEIO DE CÁLICE DE FUNDAÇÃO

Pesquisa desenvolvidas

CANHA, R. M. F. *Estudo teórico-experimental da ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado*. 2004.

JAGUARIBE JUNIOR, K. B. *Ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado com profundidade de embutimento reduzida*. 2005.

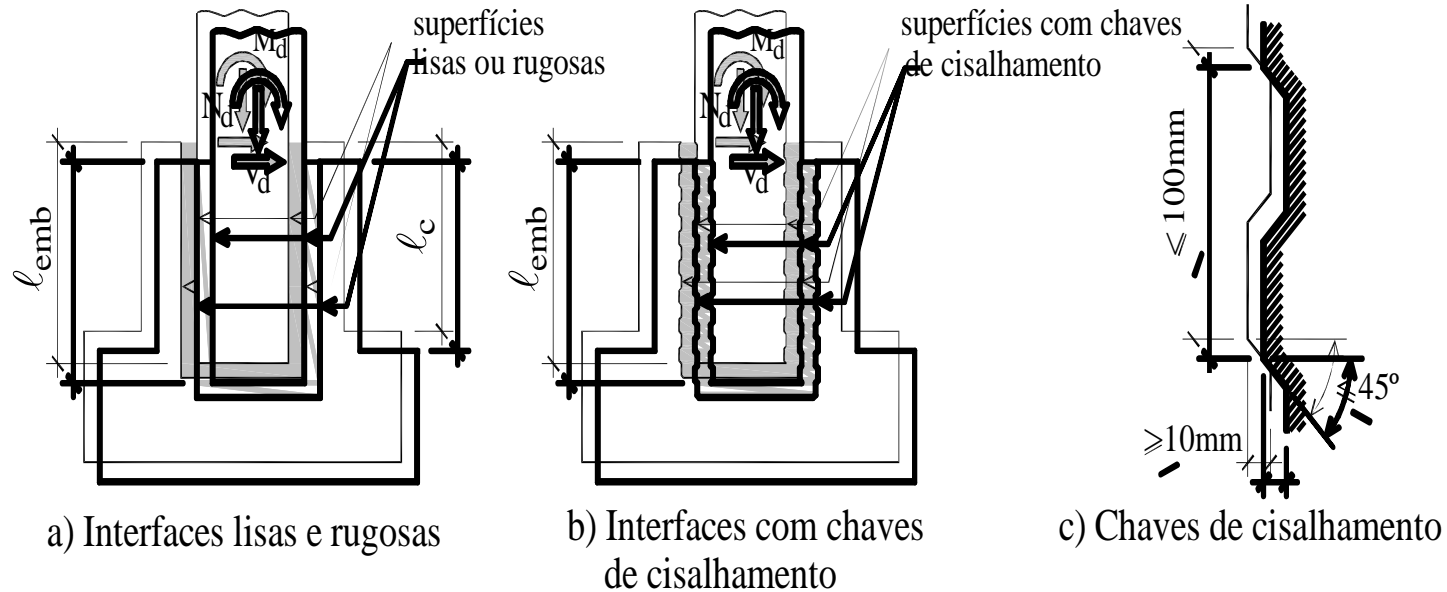
EBELING, E. B. *Análise da base de pilares pré-moldados na ligação com cálice de fundação*. 2006.

NUNES, V. C. P. *Estudo de cálice de fundação com ênfase nos esforços nas paredes transversais do colarinho*. 2009

CAMPOS, G. M. *Recomendações para o projeto de cálices de fundação*. 2010.

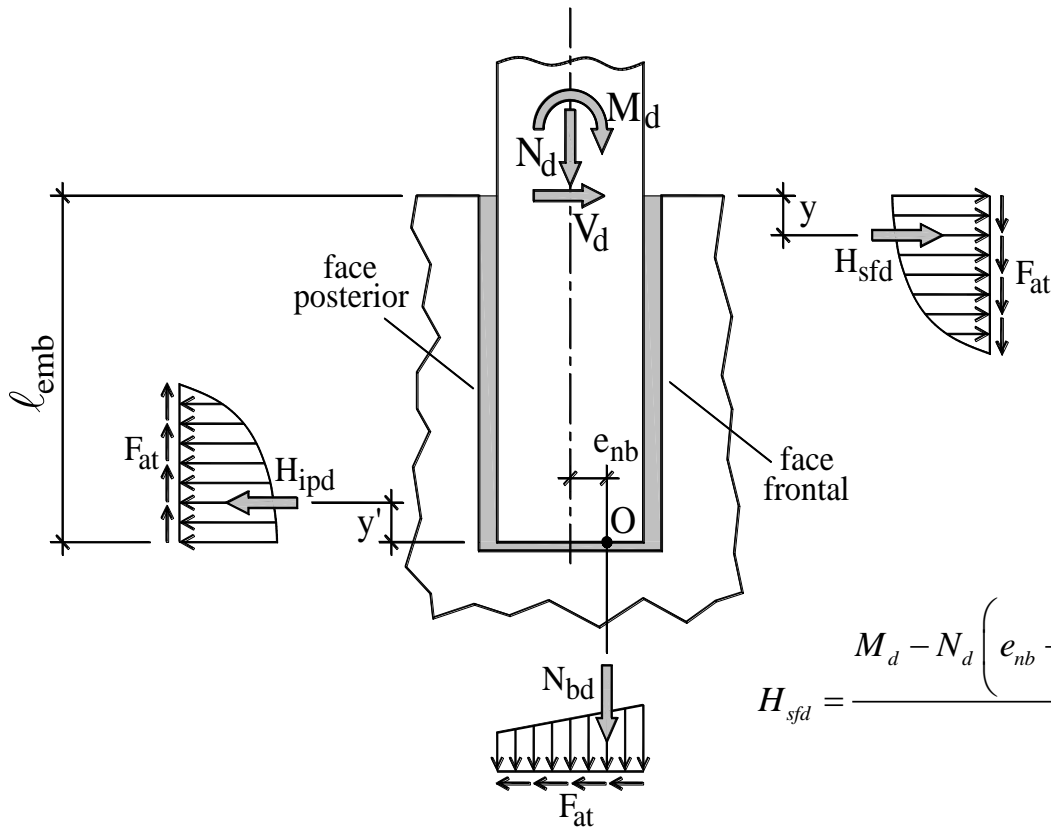


DESTAQUES



Classificação dos cálices e detalhes da chave de cisalhamento

DESTAQUES



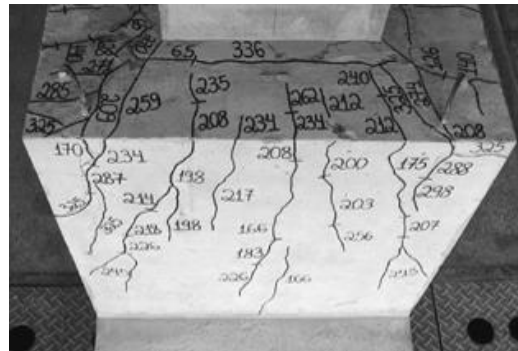
$$H_{sfd} = \frac{M_d - N_d \left(e_{nb} + \frac{\mu y' - \mu^2 (0,5h + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right) + V_d \left(l_{emb} - \frac{y' - \mu (0,5h + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right)}{l_{emb} - y - y' + \mu h}$$

Transferência dos esforços em cálice com interfaces lisas e rugosas com grande excentricidade

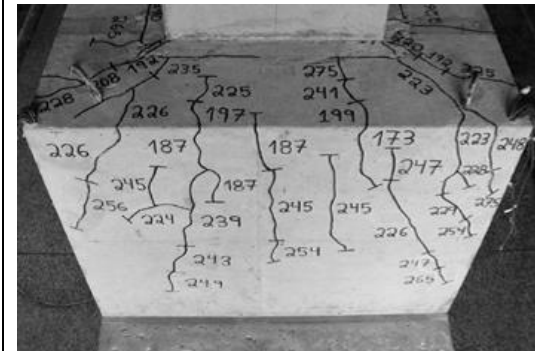
DESTAQUES



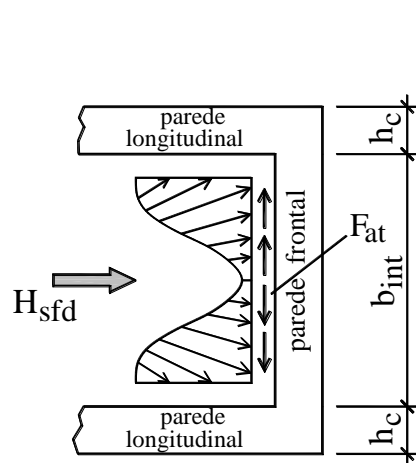
Protótipo 1



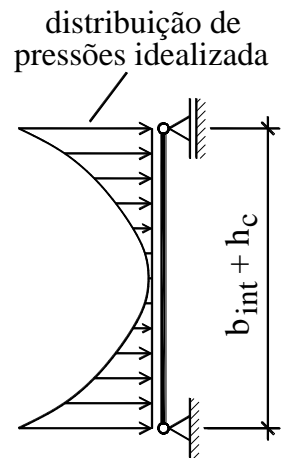
Protótipo 2



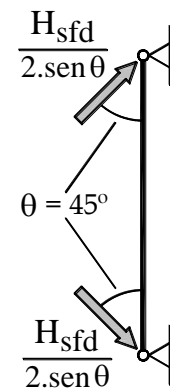
Protótipo 3



a) Distribuições de pressões

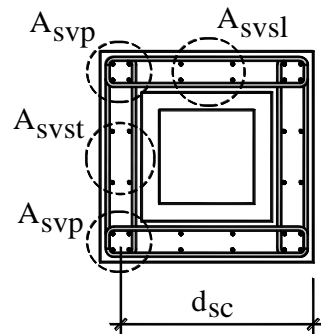
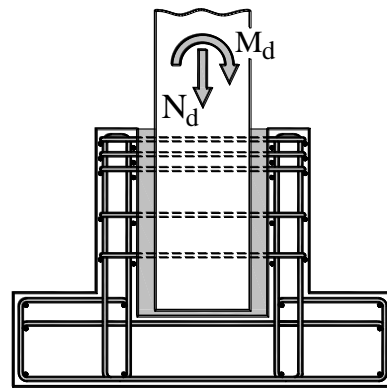


b) Flexão

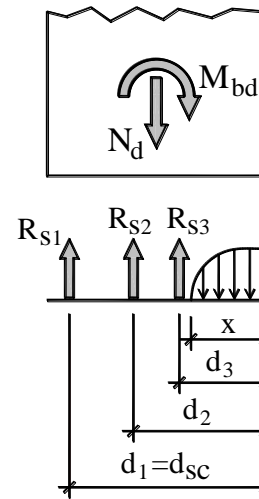


c) Tração

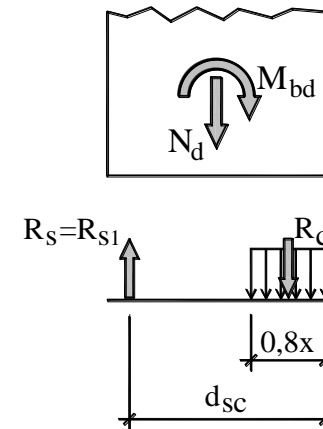
DESTAQUES



a) Seção resistente



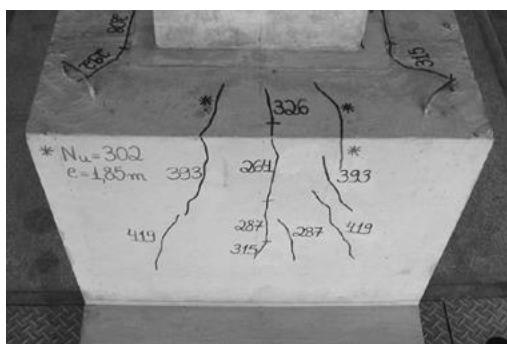
b) Diagrama parabólico retangular de tensões no concreto e armadura em vários níveis



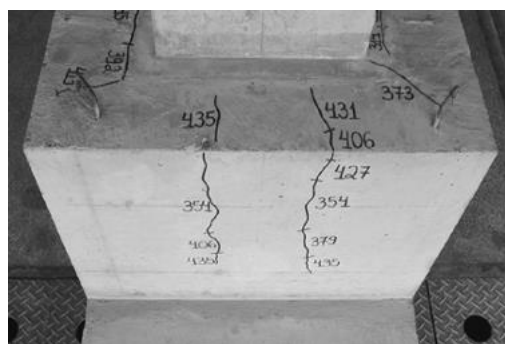
c) Diagrama simplificado e armadura em único nível

Modelo para cálculo da armadura vertical para cálices de interfaces com chaves de cisalhamento

DESTAQUES



Protótipo 1

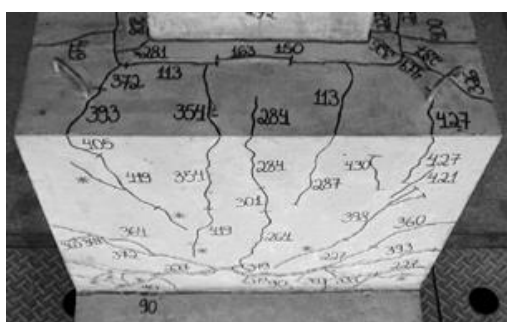


Protótipo 2

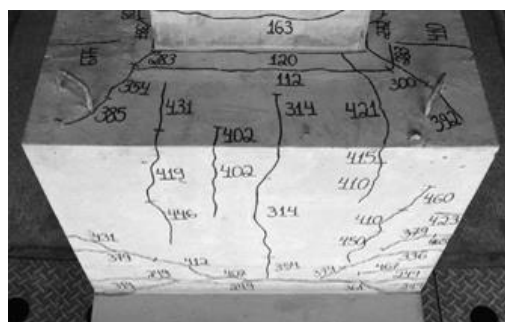


Protótipo 3

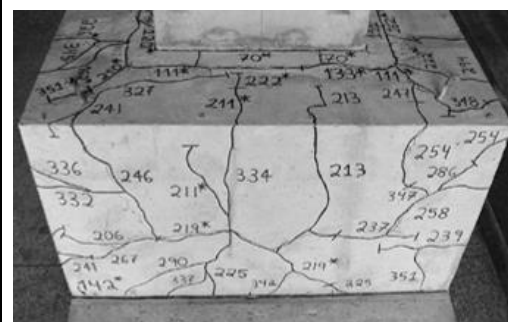
a) Parede frontal



Protótipo 1



Protótipo 2

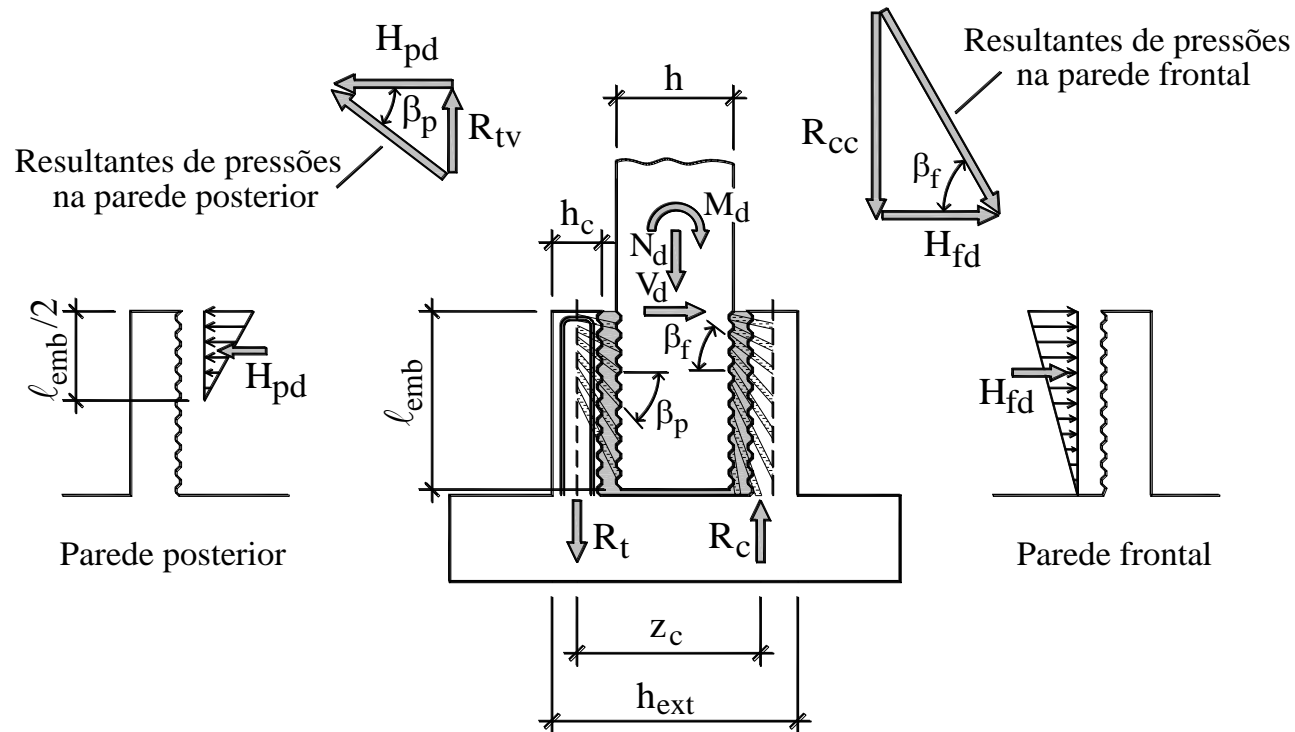


Protótipo 3

b) Parede posterior

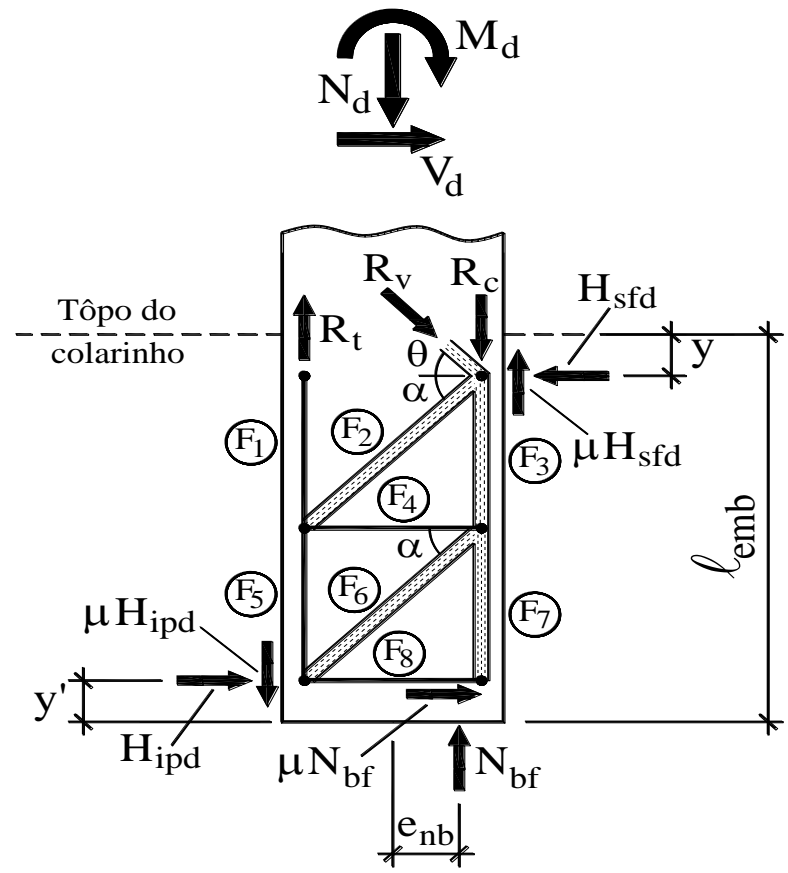
Panorama da fissuração interfaces com chaves de cisalhamento

DESTAQUES



Modelo para calculo para as pressões horizontais em cálices de interfaces com chaves de cisalhamento

DESTAQUES



Modelo para trecho de embutimento de cálices com interfaces lisas e rugosas

ELEMENTOS COMPOSTOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

4.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

4.3 CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE CONCRETO PRÉ-MOLDADO E CONCRETO MOLDADO NO LOCAL EM ELEMENTOS FLETIDOS

4.3.1 CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE DOIS CONCRETOS

4.3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

4.3.3 TENSÕES DE CISALHAMENTO NA INTERFACE EM ELEMENTOS FLETIDOS

4.3.4 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA INTERFACE EM ELEMENTOS FLETIDOS

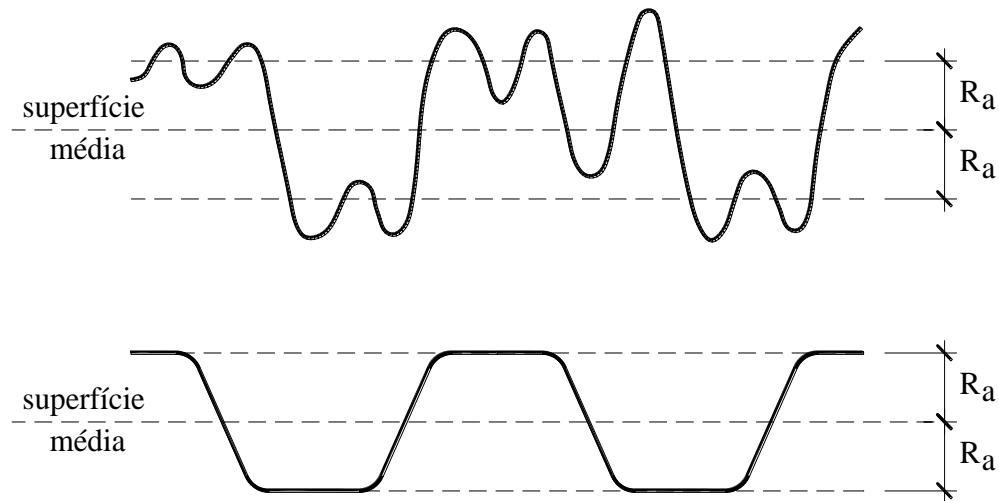
4.3.5 ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS E COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

4.4 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO E EXECUÇÃO

DESTAQUES

COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

MC-10



Exemplo de medidas de rugosidade R_a

Tab. 5.1 Classificação da superfície em função da rugosidade média segundo MC-10 (fib, 2013)

Classificação da superfície	R_a (rugosidade média)
Muito lisa (por ex. obtida com uso de fôrmas metálicas)	Não mensurável
Lisa (por ex, não alisada, fôrma de madeira)	$< 1,5\text{mm}$
Rugosa (por ex jateamento de areia ou de água)	$\geq 1,5\text{mm}$
Muito rugosa (por ex. jatos de água de alta pressão, chaves)	$\geq 3\text{mm}$

DESTAQUES

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA INTERFACE EM ELEMENTOS FLETIDOS

Segundo o MC-10

Caso a) sem armadura na interface (cenário 1)

$$\tau_u = c_a f_{ctd} + \mu \sigma_n \leq 0,5v f_{cd}$$

Caso b) com armadura na interface, particularizado para armadura perpendicular a interface (cenário 2)

$$\tau_u = c_r f_{ck}^{1/3} + \mu \sigma_n + \kappa_1 \rho f_{yd} \mu + \kappa_2 \rho \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \beta_{dc} v f_{cd}$$

DESTAQUES

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS E COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

Tab. 5.9 Comparação das resistências com as parcelas do concreto e da armadura para C-25 e armadura CA-50 (com ρ em % e tensões em MPa)

	Lisa (pouco rugosa)	Rugosa	Muito rugosa
FIP	2,61 $\rho + 0,280 \leq 7,75$ (2,90 $\rho + 0,311 \leq 8,61$)	3,91 $\rho + 0,560 \leq 7,75$ (4,34 $\rho + 0,622 \leq 8,61$)	
PCI		2,25 $\rho + 1,344$ e 3,75 $\rho^{(a)}$ (4,50 $\rho + 2,69$ e 7,50 $\rho^{(a)}$)	
ABNT		3,91 $\rho + 0,385 \leq 4,46$ (7,82 $\rho + 0,750 \leq 8,92$)	
Eurocode	2,61 $\rho + 0,450 \leq 4,82$	3,04 $\rho + 0,579 \leq 4,82$	3,91 $\rho + 0,646 \leq 4,82$
MC-10	2,27 $\rho \leq 3,93$	2,31 $\rho + 0,292 \leq 4,91$	2,53 $\rho + 0,585 \leq 4,91$

Nota: a) corresponde ao modelo de atrito-cisalhamento, a ser utilizado para tensão de cisalhamento maior que 2,58MPa.

OBS: 1) A interface *muito lisa* foi retirada da comparação pois não seria recomendável o seu emprego

2) Os valores da FIP, PCI e ABNT são as resistências conforme a formulação apresentada; entre parênteses, o valor da FIP está dividido por 0,9, que corresponde a uma avaliação da relação z/d , e os valores do PCI e da ABNT estão multiplicados por 2; assim os valores entre parênteses seriam melhores para efeito de comparação, pois a tensão solicitante é calculada com a tensão de referencia, no caso da FIP, e com valores médios, nos casos do PCI e da ABNT.

3) Na resistência pela ABNT só foi considerada a situação com $\rho \geq 0,5\%$

4) Foi utilizado γ_c de 1,4 para a ABNT, Eurocode e MC-10, para que a comparação ficasse mais representativa.

TÓPICOS ESPECIAIS

5.1 COLAPSO PROGRESSIVO

5.1.1 CONCEITUAÇÃO

5.1.1 AÇÕES

5.1.3 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

IMPORTANTE PARA RESISTÊNCIA AO COLAPSO PROGRESSIVO

5.1.4 ESTRATÉGIAS E MÉTODOS PARA COMBATER O COLAPSO PROGRESSIVO

5.1.5 CAMINHOS ALTERNATIVOS DE TRANSFERÊNCIA DE FORÇAS

5.1.6 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO

DESTAQUES

INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE (fib). *fib Bulletin 63: Design of precast concrete structures against accidental actions (guide to good practice)*. Switzerland: 2012.

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS IMPORTANTES PARA RESISTÊNCIA AO COLAPSO PROGRESSIVO

- a) Integridade estrutural.
- b) Redundância.
- c) Continuidade
- d) Reserva de ancoragem.
- e) Ductilidade.
- f) Absorção de energia

DESTAQUES

ESTRATÉGIAS E MÉTODOS PARA COMBATER O COLAPSO PROGRESSIVO

Os edifícios podem ser classificados em classes de consequência:

- a) Classe 1 – consequências limitadas
- b) Classes 2a e 2b – consequência média
- c) Classe 3 – consequência alta

Para reduzir o risco do colapso progressivo são empregados normalmente três procedimentos, que podem ser combinados entre si:

- a) Eliminar ou reduzir o risco da ocorrência de ações anormais.
- b) Prevenir a propagação de uma possível ruína localizada.
- c) Projetar a estrutura ou elementos para suportar as ações anormais.

TÓPICOS ESPECIAIS (cont.)

5.2 ANÁLISE DE ESTRUTURAS COM LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS

5.2.1 CONCEITUAÇÃO

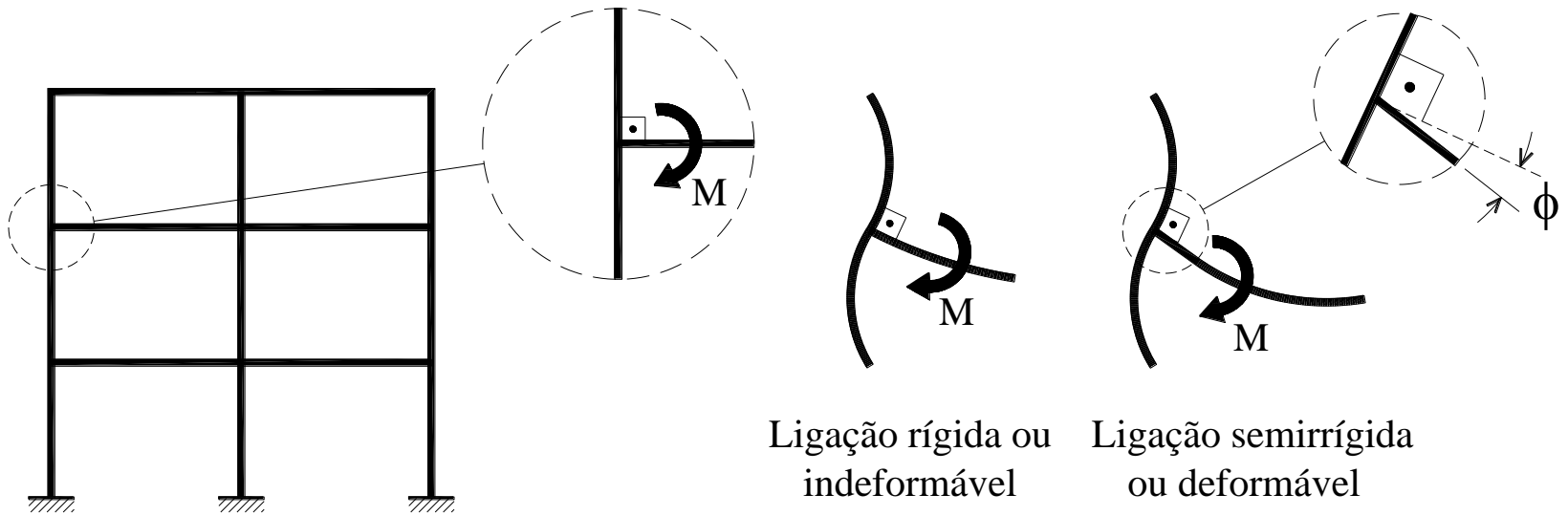
5.2.2 FORMAS DE CONSIDERAR O COMPORTAMENTO SEMIRRÍGIDO

5.2.3 AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ DAS LIGAÇÕES

5.2.4 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO

DESTAQUES

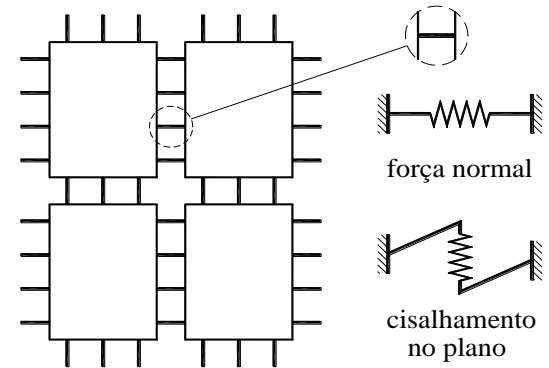
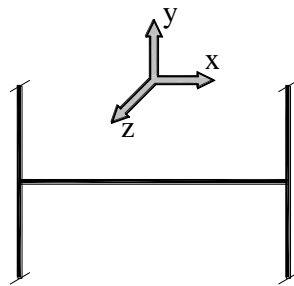
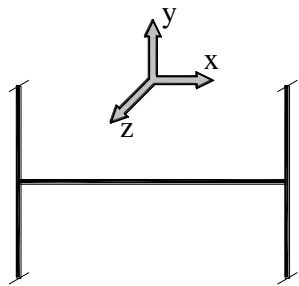
CONCEITUAÇÃO



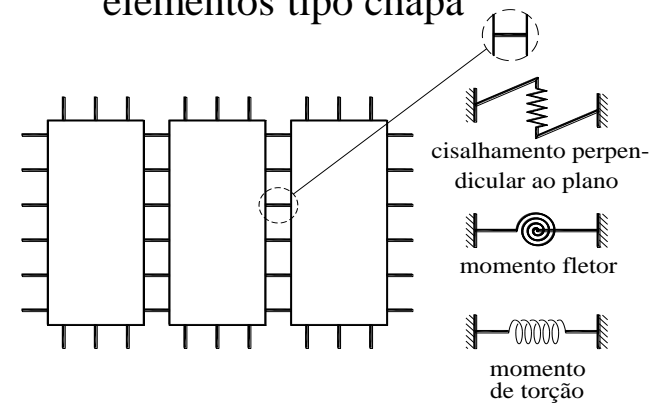
Caracterização de ligação rígida e semirrígida ao momento fletor

DESTAQUES

CONCEITUAÇÃO



Rigidezes das ligações entre elementos tipo chapa



Rigidezes das ligações entre elementos tipo placa

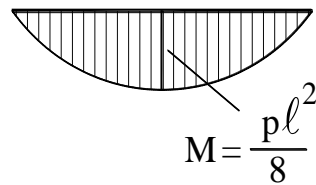
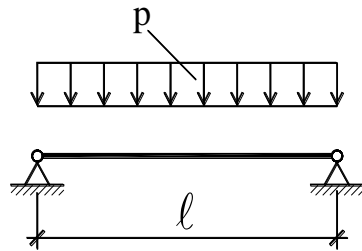


pórtico plano

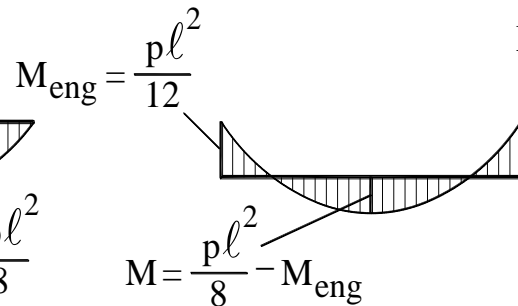
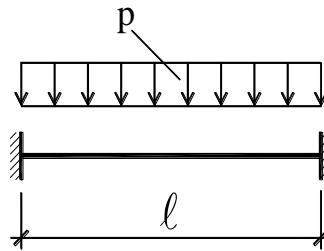


grelha

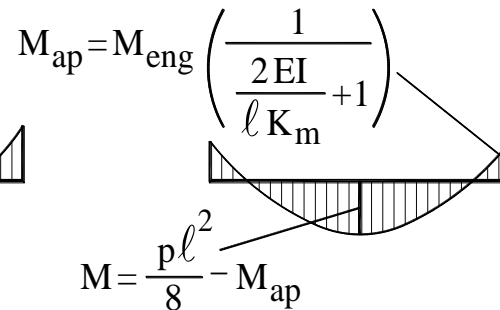
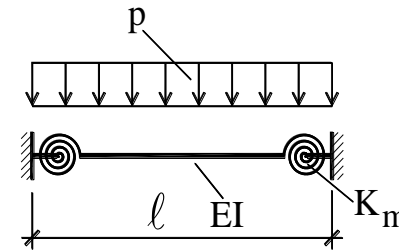
DESTAQUES



Viga bi-apoiada



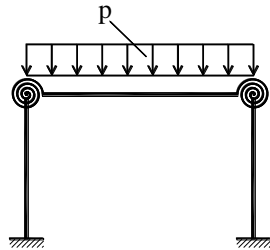
Viga bi-engastada



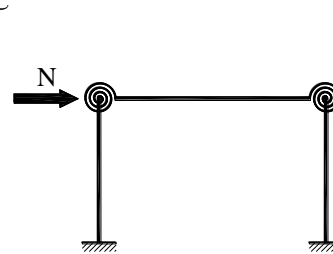
Viga com apoios deformáveis

Variação dos momentos fletores de viga em função da rigidez ao momento fletor das ligações nos apoios

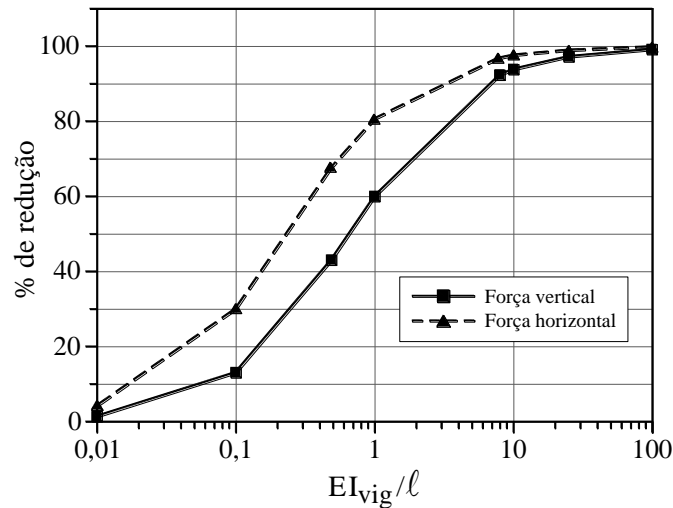
DESTAQUES



a) força vertical unitária uniformemente distribuída



b) força horizontal unitária concentrada no topo do pilar



c) variação da redução dos parâmetros analisados

Variação da redução dos deslocamento e momentos fletores em função da rigidez da ligação

TÓPICOS ESPECIAIS (cont.)

5.3 ESTABILIDADE LATERAL DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

5.3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

5.3.2 SITUAÇÕES DEFINITIVAS

5.3.3 SITUAÇÕES TRANSITÓRIAS

5.3.4 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO

DESTAQUES

KRAHL, P. A. *Instabilidade lateral de vigas pré-moldadas em situações transitórias*. 2014.

Norma/código	Limite de esbeltez	
	Situação definitiva	Situação transitória
Eurocódigo 2: EN1992.1.1 (ES, 2004)	$\ell_{of} h^{1/3} / b_f^{4/3} < 50$ $h / b_f < 2,5$	$\ell_{of} h^{1/3} / b_f^{4/3} < 70$ $h / b_f < 3,5$
MC-10 (fib, 2013) ^(a)	$\ell_{of} h^{1/3} / b_f^{4/3} < 50$	
NBR:9062:2017 (ABNT, 2017)		$\ell_{of} h / b_f^2 \leq 500$ $\ell_{of} / b_f \leq 50$
NBR:6118:2014 (ABNT, 2014) ^(b)	$h / b_f < 2,5$ $\ell_{of} / b_f < 50$	
<p>Onde:</p> <p>ℓ_{of} - vão teórico ou espaçamento entre contraventamentos ou, para o caso da NBR 9062, distância entre as alças de içamento;</p> <p>h- altura da seção;</p> <p>b_f:- largura da mesa comprimida. Para seção retangular trocar b_f por b_w;</p> <p>h_m - distância entre o centro de gravidade da seção e o ponto de apoio;</p> <p>Eliminar a - deslocamento lateral da viga, considerando o peso próprio atuando nessa direção.</p>		
<p>Notas: a) não há distinção entre situação transitória e definitiva, b) na falta informação explicita, está sendo assumido que a recomendação é para situação definitiva</p>		

TÓPICOS ESPECIAIS (cont.)

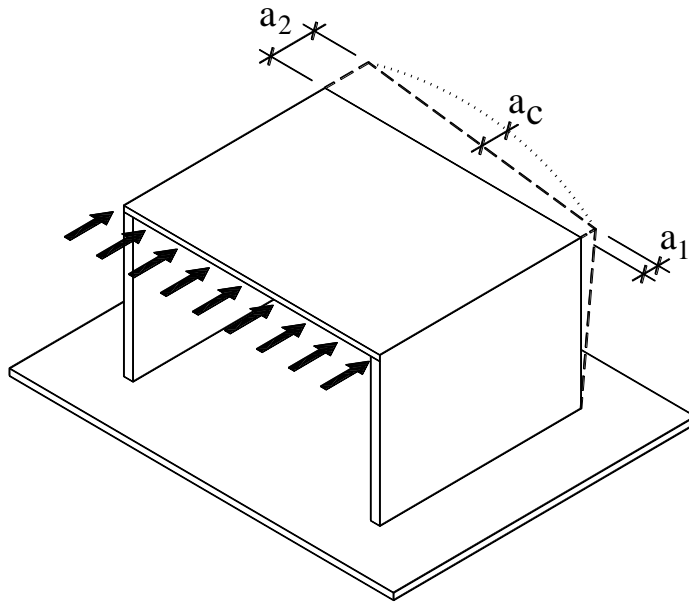
5.4 COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE
PAVIMENTO COMO DIAFRAGMA

5.5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DELGADAS
DE SEÇÃO “L”

5.6 OUTROS TÓPICOS DE INTERESSE

DESTAQUES

5.4 COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE PAVIMENTO COMO DIAFRAGMA



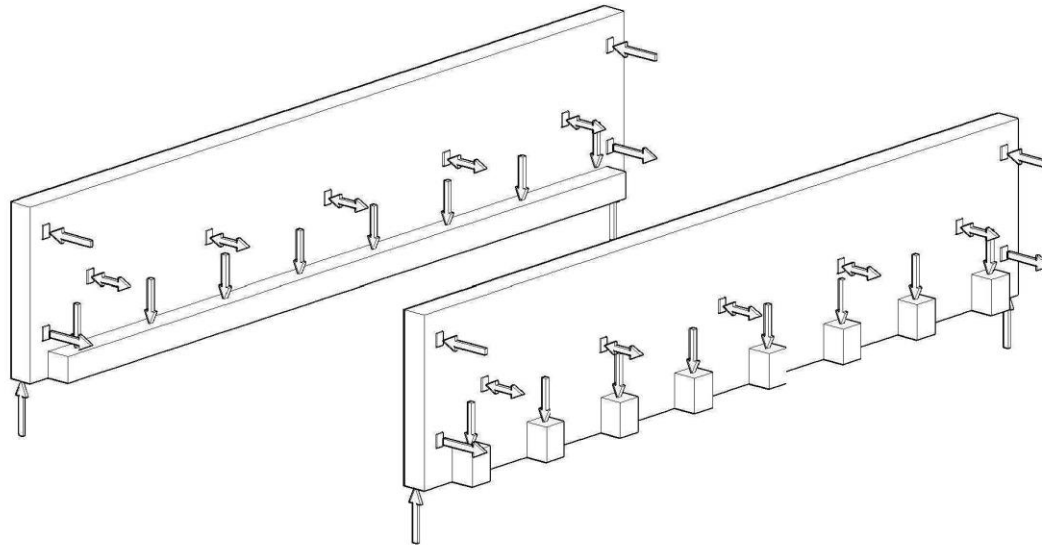
$$a_c \leq 2 \frac{a_1 + a_2}{2} = a_1 + a_2$$

Deformações do pavimento para análise da condição de diafragma rígido ou flexível

DESTAQUES

5.5 DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DELGADAS DE SEÇÃO “L”

PASTORE, M. V. F. *Contribuição ao projeto de vigas delgadas de seção “L” de concreto pré-moldado.* 2015.



Exemplos de formas de vigas delgadas de seção L

PARTE II - APLICAÇÕES

COMPONENTES DE EDIFICAÇÕES

6.1 COMPONENTES DE SISTEMAS DE
ESQUELETO

6.1 COMPONENTES DE SISTEMAS DE
PAVIMENTOS

6.3 COMPONENTES DE SISTEMAS DE
PAREDES

6.4 COMPONENTES DE COBERTURA

6.5 OUTROS COMPONENTES

EDIFÍCIOS DE UM PAVIMENTO

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

7.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE ESQUELETO

7.2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS DE EIXO RETO

7.2.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS COMPOSTOS DE TRECHOS DE EIXO RETO

7.2.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS COM ABERTURA ENTRE OS BANZOS

7.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PAREDE PORTANTE

DESTAQUES

Estaleiro Enseada do Paraguaçu, com vãos atingindo 41m e pilares que chegam a 35m de altura.



Exemplo de aplicação de sistema estrutural com elemento com aberturas entre os banzos (cortesia George Maranhão Engenharia e Consultoria Estrutural)

EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

8.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE ESQUELETO

8.2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS DE EIXO RETO

8.2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS COMPOSTOS DE TRECHOS DE EIXO RETO

8.2.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM PAVIMENTOS SEM VIGAS

8.2.4 SISTEMAS DE PAVIMENTOS

8.2.5 ELEMENTOS DOS SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

8.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PAREDE PORTANTE

8.3.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM GRANDES PAINÉIS DE FACHADA

8.3.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM PAINÉIS DA ALTURA DO ANDAR

8.3.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS COM ELEMENTOS TRIDIMENSIONAIS

8.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS MISTOS

DESTAQUES



Figura 10 – nichos esteiras

Aplicação de CPM em sistemas estruturais com elementos de eixo reto para edifícios de múltiplos pavimentos: Ampliação do aeroporto internacional de Brasília (fonte Tomazoni, 2014)

COBERTURAS EM CASCAS, FOLHAS POLIÉDRICAS E SIMILARES

9.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

9.2 COBERTURAS EM CASCA

9.2.1 CASCAS COM CURVATURA SIMPLES

9.2.2 CASCAS COM DUPLA CURVATURA

9.3 COBERTURA EM FOLHA POLIÉDRICA

9.4 COBERTURAS COM ELEMENTOS LINEARES EM
FORMA DE CASCA OU DE FOLHA
POLIÉDRICA

9.5 COBERTURAS EM PÓRTICOS E ARCOS

9.6 COBERTURA COM CABOS DE AÇO E
ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

DESTAQUES



Aplicação de CPM em folhas poliédricas em ginásio de esportes na Suíça: a) içamento e rotação de elemento pré-moldado b) finalização da montagem do elementos c) construção pronta e d) detalhe da construção pronta (cortesia: Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH, CH-Aarwangen)

PONTES

10.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

10.2 SUPERESTRUTURA

10.2.1 TIPOS DE ELEMENTOS E ARRANJOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL

10.2.2 PARTICULARIDADES RELATIVAS À DIREÇÃO TRANSVERSAL

10.2.3 PARTICULARIDADES RELATIVAS À DIREÇÃO LONGITUDINAL

10.3 INFRAESTRUTURA

10.4 TÓPICOS ADICIONAIS SOBRE O ASSUNTO

10.4.1 PONTES ESCONSAS E PONTES CURVAS

10.4.1 PONTES NÃO RODOVIÁRIAS

10.4.3 ELEMENTOS DE COMPRIMENTO MENOR QUE O VÃO

10.4.4 OUTRAS FORMAS EMPREGADAS

DESTAQUES



Construção de pontes com vigas I (Fonte: Bentes, 2009).

GALERIAS, CANAIS, MUROS DE ARRIMO E RESERVATÓRIOS

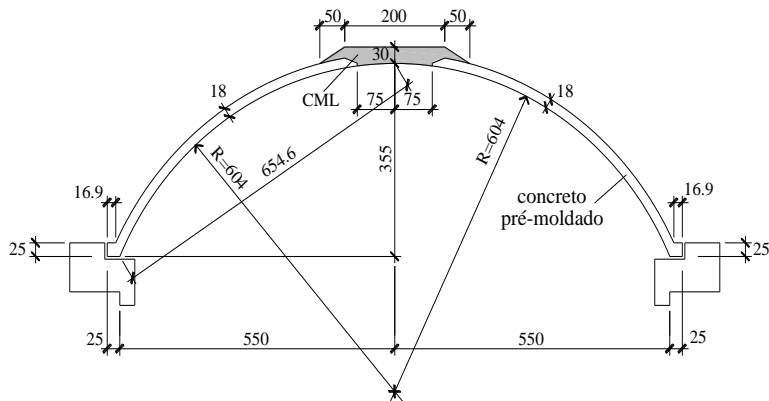
11.1 GALERIAS

11.1 CANAIS DE DRENAGEM

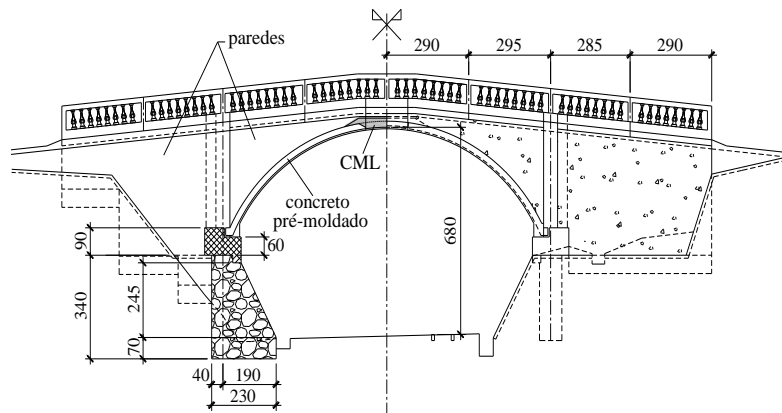
11.3 MUROS DE ARRIMO

11.4 RESERVATÓRIOS

DESTAQUES



Detalhes dos arcos - Elevação (medidas em cm)



Meio corte longitudinal

Meia vista lateral

ELEVAÇÃO GERAL (medidas em cm)



Exemplo de aplicação da proposta construtiva para construção de galerias de seção transversal aberta

APLICAÇÕES DIVERSAS

12.1 ARQUIBANCADAS E ESTÁDIOS

12.2 SILOS

12.3 TORRES

12.4 REVESTIMENTO DE TÚNEIS

12.5 METRÔS E SIMILARES

12.6 OBRAS HIDRÁULICAS

12.7 OBRAS INDUSTRIAIS

12.8 ELEMENTOS COMPLEMENTARES DE ESTRADAS

12.9 CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS

12.10 MOBILIÁRIO URBANO

12.11 CONSTRUÇÕES RURAIS

DESTAQUES



Exemplos de aplicação de CPM em estádios: obras para olimpíadas 2016 (fonte Pré-fabricados viabiliza obras para olimpíadas 2016, 2015)



Exemplo de aplicação torre eólica (fonte Inovação e sustentabilidade caracterizam a adoção de pré-fabricados em segmentos que avançam no país, 2016)

PARTE III - ELEMENTOS DE PRODUÇÃO ESPECIALIZADA

LAJES FORMADAS POR VIGOTAS PRÉ- MOLDADAS

13.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

13.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E
INDICAÇÕES PARA O PROJETO

13.3 PARTICULARIDADES DAS LAJES COM
VIGOTAS TRELIÇADAS

13.4 PARTICULARIDADES DAS LAJES COM
VIGOTAS PROTENDIDAS

13.5 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

DESTAQUES

DROPPA JUNIOR, A. *Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada*. 1999. 177 p.

MAGALHÃES, F. L. *Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada*. 2001. 135 p.

MERLIN, A. J. *Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido*. São Carlos, 2002. 134 p..

MERLIN, A. J. *Análise probabilística do comportamento ao longo do tempo de elementos parcialmente pré-moldados com ênfase em flechas de lajes com armação treliçada*. 2006.

CUNHA, M. O. *Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada*. 2012.

LAJES FORMADAS POR PAINÉIS ALVEOLARES

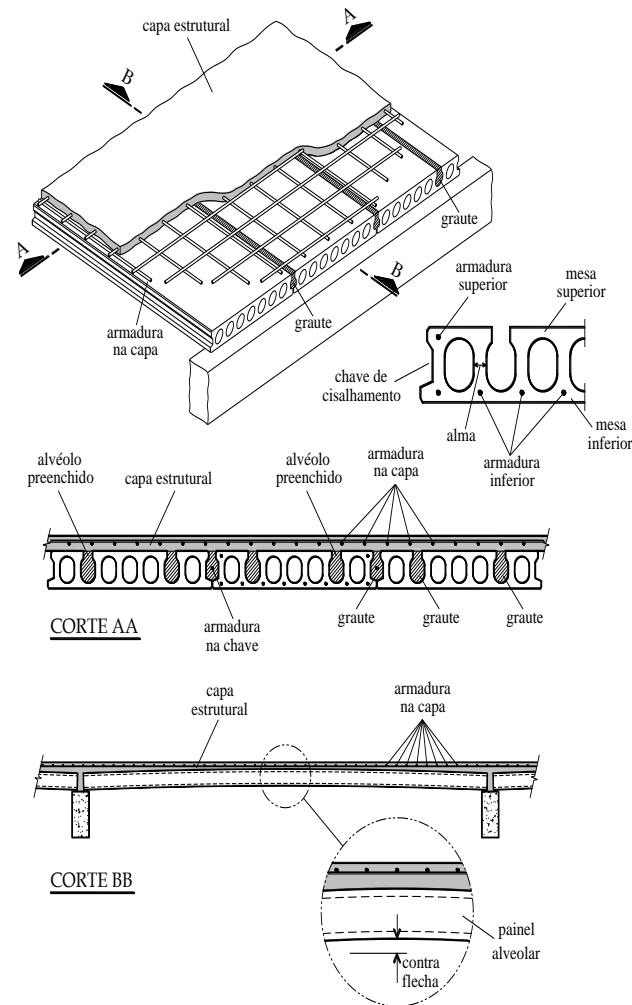
14.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

14.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL E
DIRETRIZES DE PROJETO

14.3 OUTROS ASPECTOS ESPECÍFICOS

DESTAQUES

Nomenclatura do painel alveolar e de sua aplicação em laje



ELEMENTOS ENTERRADOS: TUBOS CIRCULARES E GALERIAS CELULARES

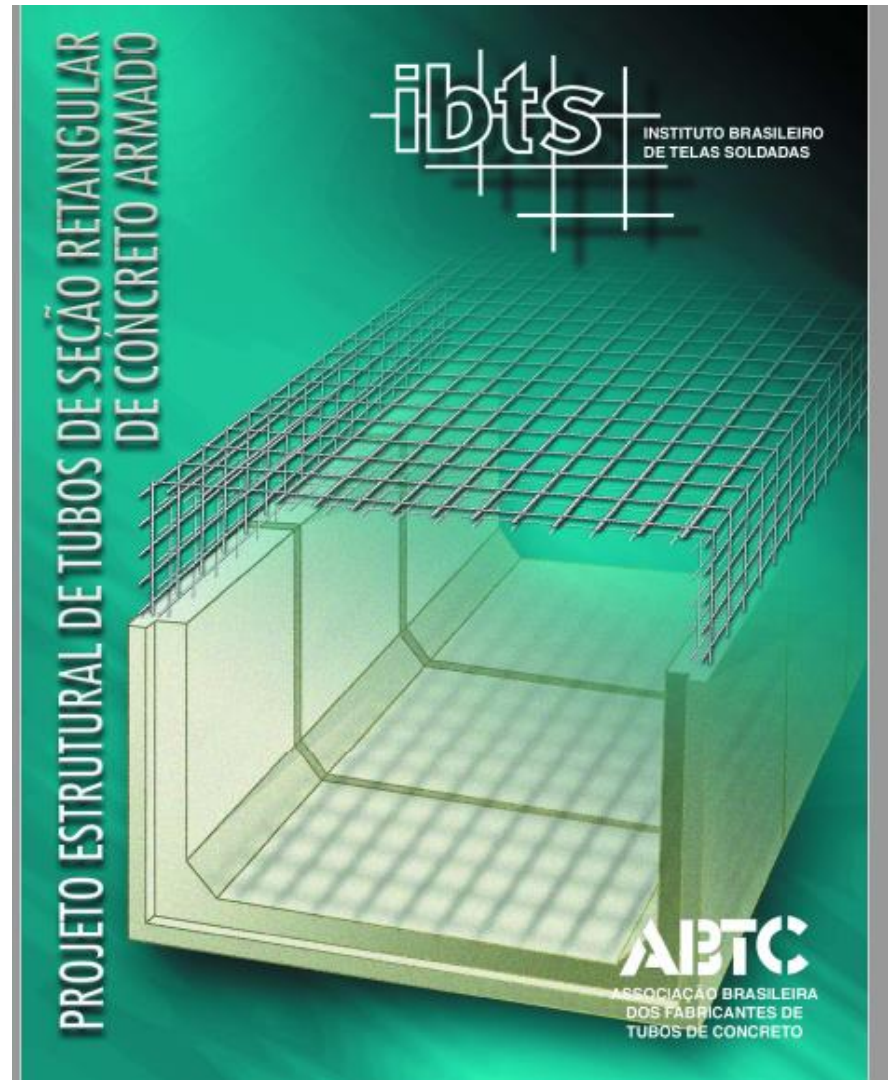
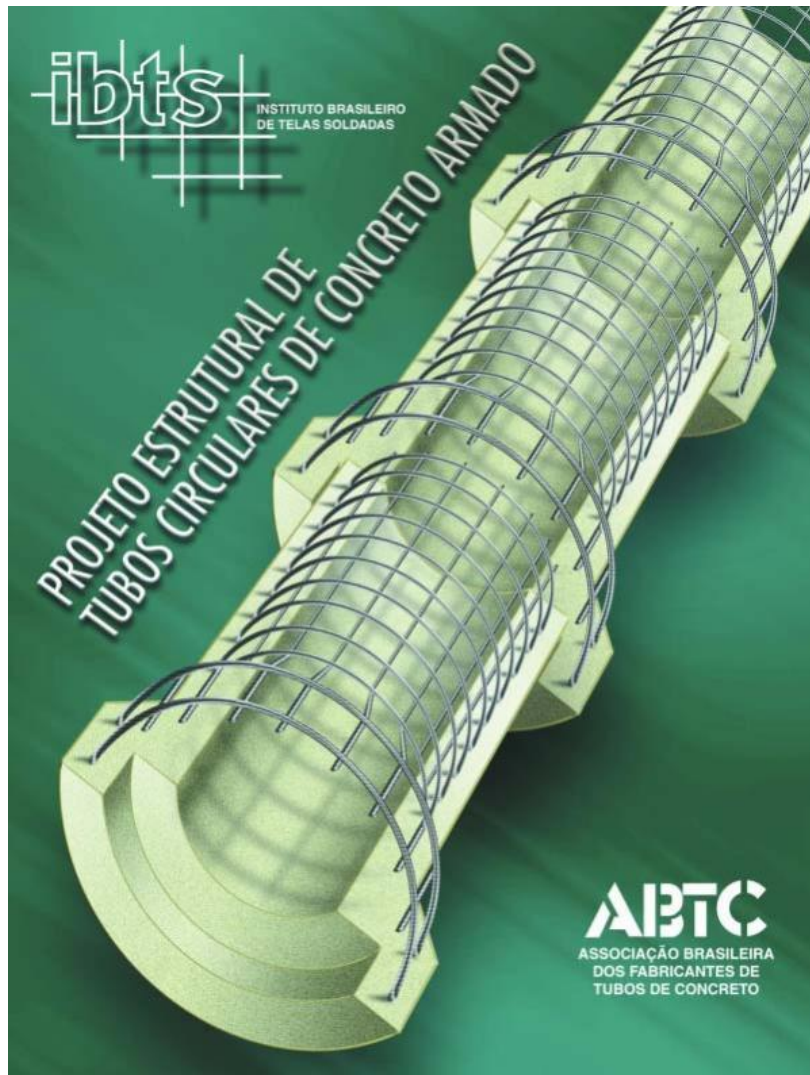
15.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

15.1 TUBOS CIRCULARES

15.3 GALERIAS CELULARES

15.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

DESTAQUES



OUTROS ELEMENTOS: ESTACAS, POSTES, DORMENTE E BARREIRAS

16.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS

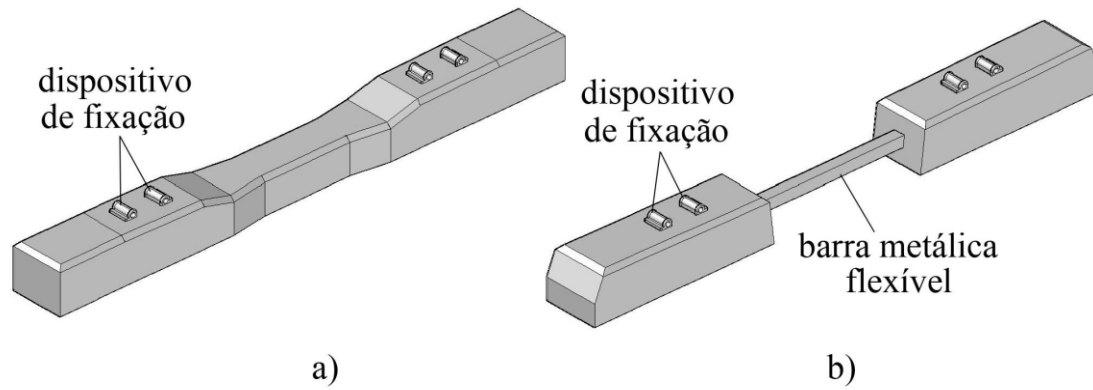
16.2 ESTACAS

16.3 POSTES

16.4 DORMENTES

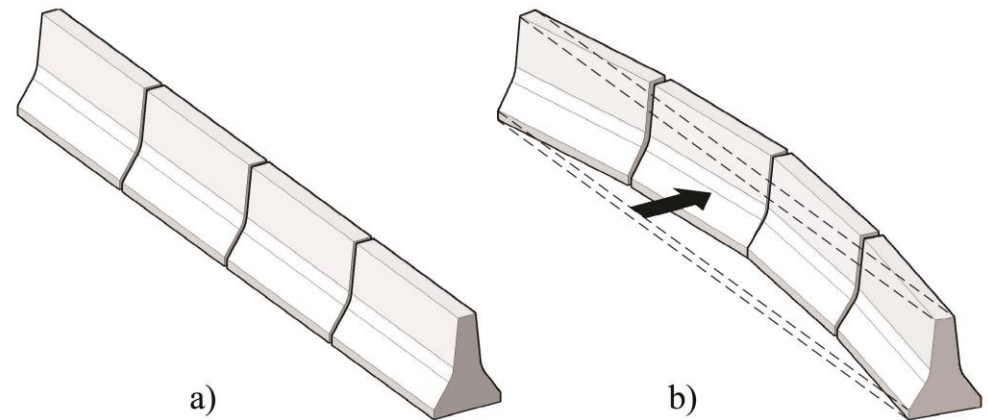
16.5 BARREIRAS DE OBRAS RODOVIÁRIAS

DESTAQUES



Tipos de dormentes de concreto: a) monobloco e b) bi-bloco.

Barreiras de Comportamento semirrígido: a) configuração inicial sem deformação e b) configuração com deformação causada por choque



PARTE IV - ANEXOS

ANEXO A - EXEMPLOS NUMÉRICOS

A.1 TOLERÂNCIAS E FOLGAS

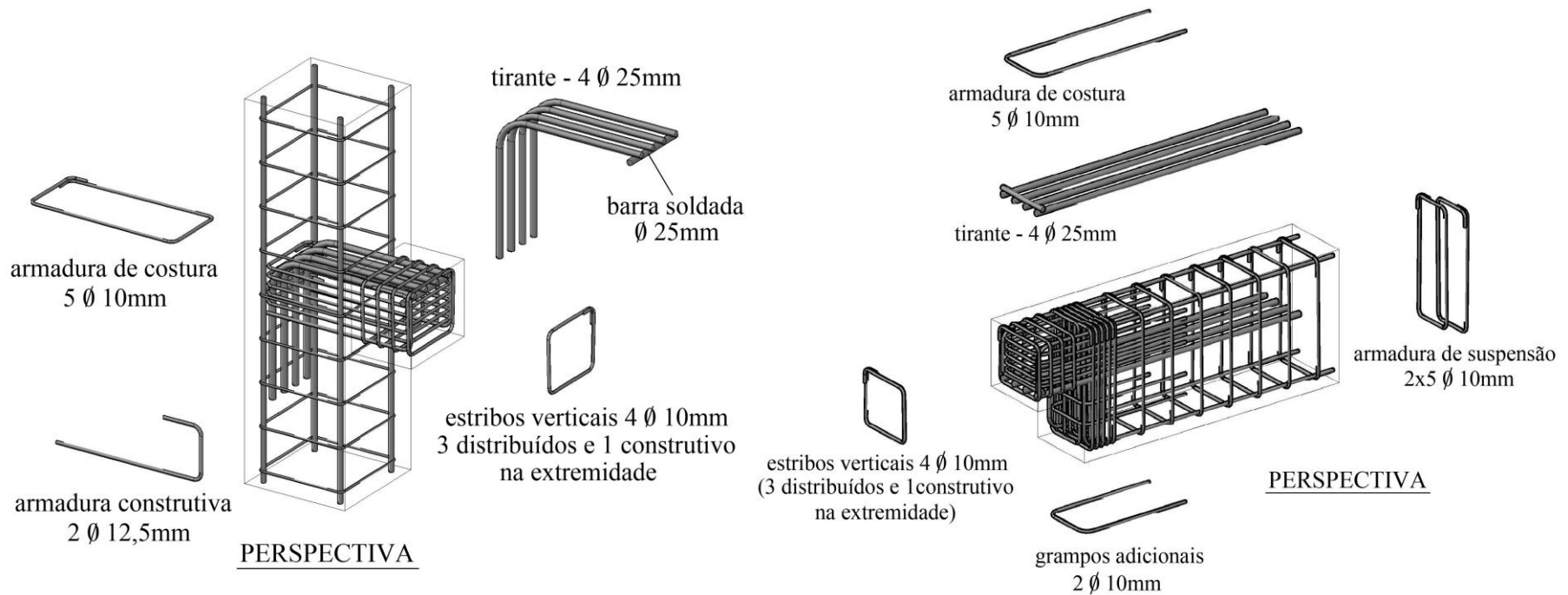
A.1 ESTABILIDADE GLOBAL

A.3 CONSOLO E DENTE DE CONCRETO

A.4 CÁLICE DE FUNDAÇÃO

Os exemplos foram escolhidos para propiciar o cálculo manual, para facilitar a compreensão e procurar fornecer a ordem de grandeza dos valores envolvidos. No entanto, algumas situações podem extrapolar às aplicações reais para poder realçar determinados os aspectos envolvidos, o que se justifica pelo carácter didático dos exemplos

DESTAQUES



Detalhamento da armadura

ANEXO B - PRINCÍPIOS E VALORES DA CONSIDERAÇÃO DA SEGURANÇA DO PCI

ANEXO C - DIMENSIONAMENTO DE APOIOS DE ELASTÔMERO

ANEXO D - ALMOFADAS DE ARGAMASSA MODIFICADA

D.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS

D.1. COMPOSIÇÃO DO MATERIAL

D.3 COMPORTAMENTO EM RELAÇÃO A FORÇA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA

D.4 OUTROS ENSAIOS DA ALMOFADA

D.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

DESTAQUES



a) Moldagem da almofada

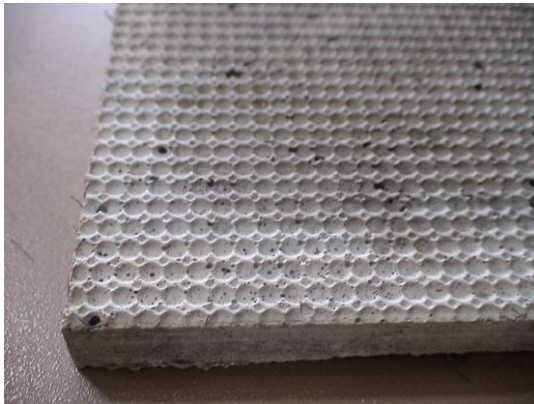


b) Almofada pronta



c) almofada sobre o consolo para apoio da viga

Aplicação almofadas de argamassa modifica (AAM) em apoio de viga de rolamento para ponte rolante de 600kN



ANEXO E . LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS: DESENVOLVIMENTO E PESQUISAS

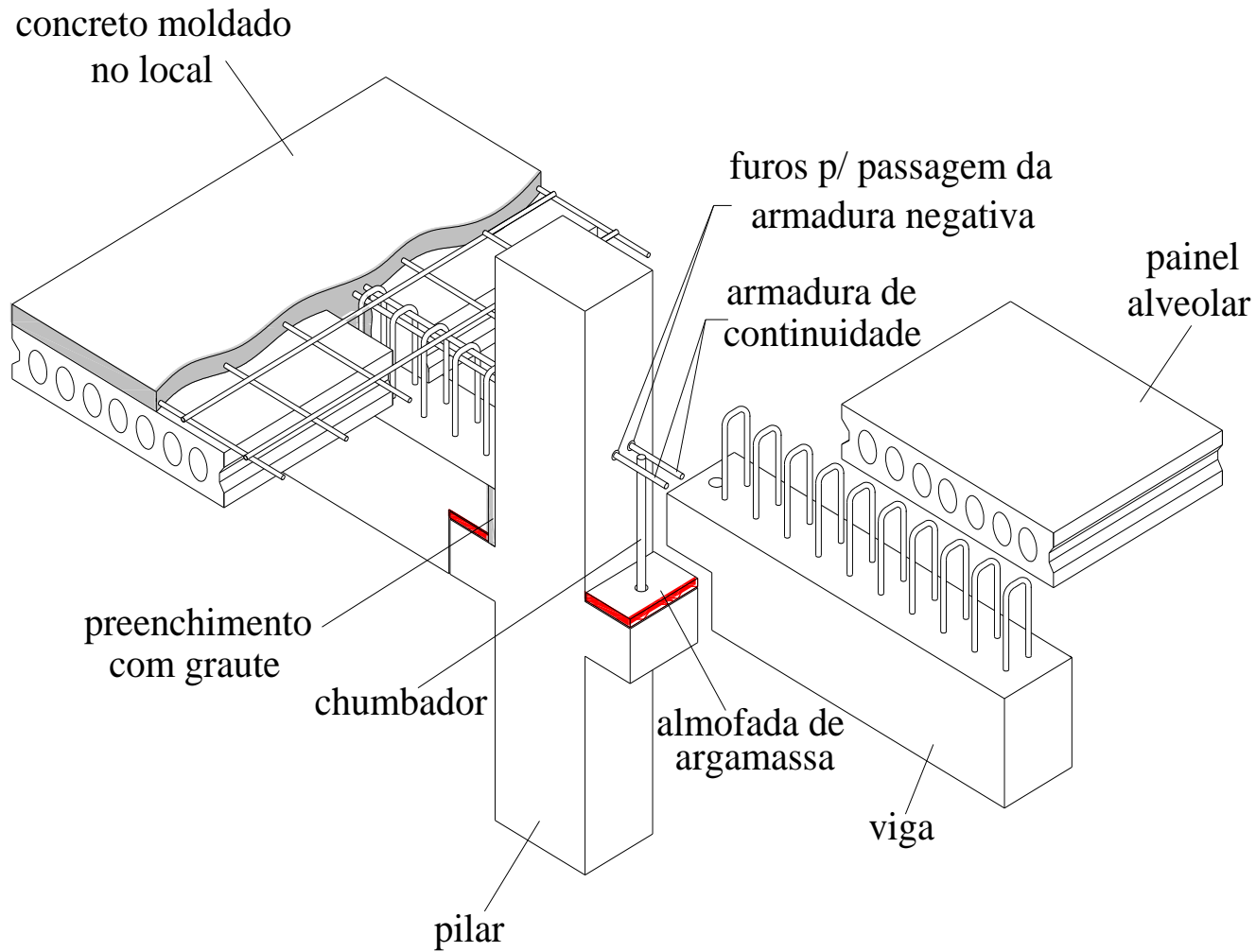
E.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

E.1 LIGAÇÃO CAS (COM ARMADURA SUPERIOR)

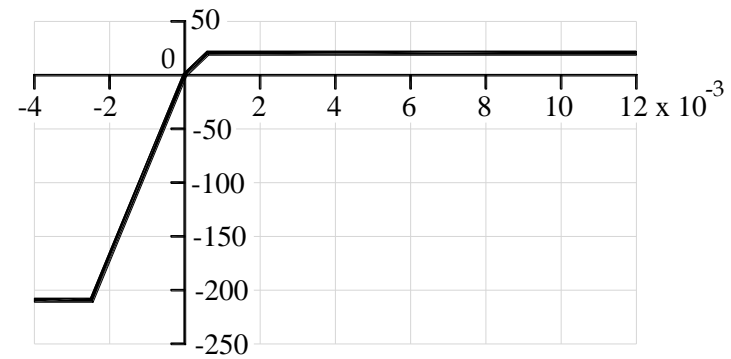
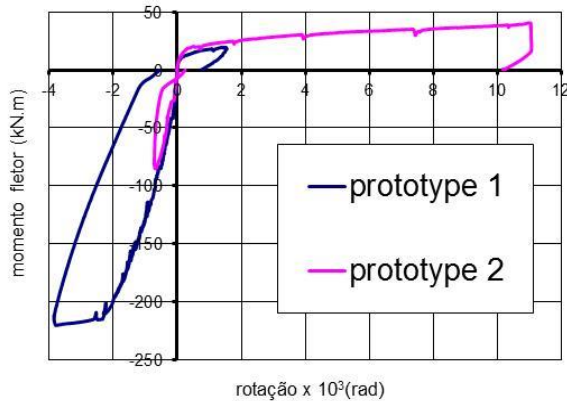
E.3 LIGAÇÃO SAS (SEM ARMADURA SUPERIOR)

E.4 QUADRO SÍNTESE DAS PESQUISAS

DESTAQUES

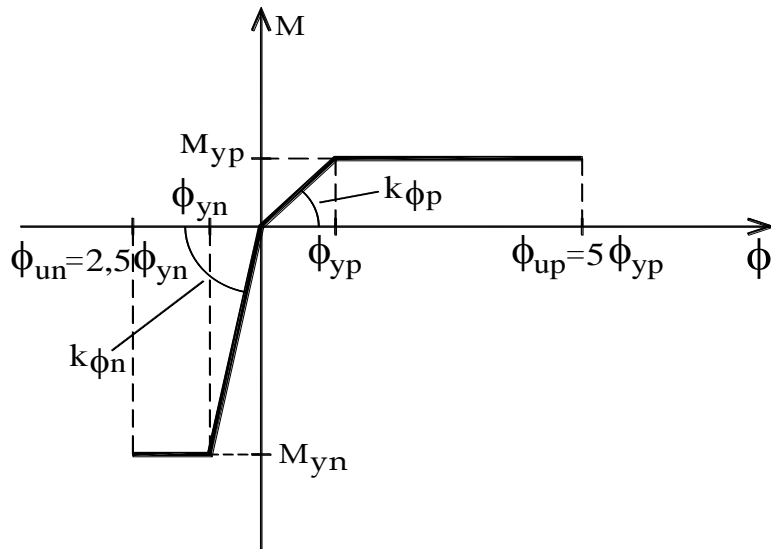


DESTAQUES

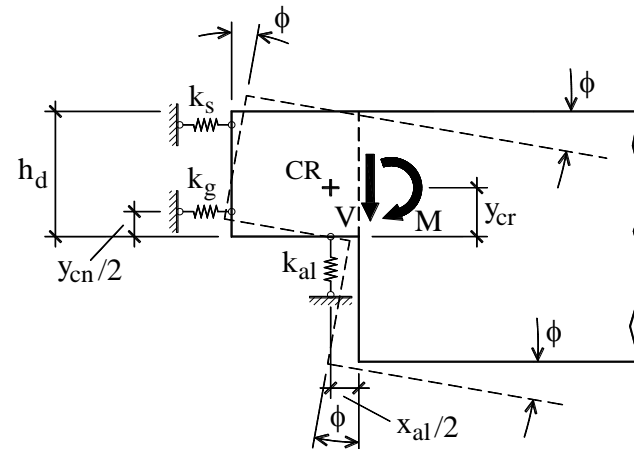


Envoltória das curvas *Momentos fletores x Rotação*

Aproximação bi-linear sugerida para projeto

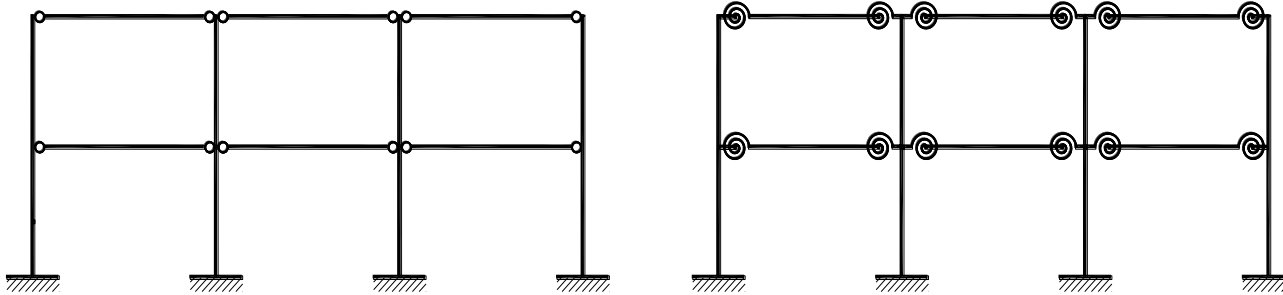


Parâmetros para projeto



Deformação da extremidade da viga e os mecanismos de deformações para momento fletor negativo

DESTAQUES



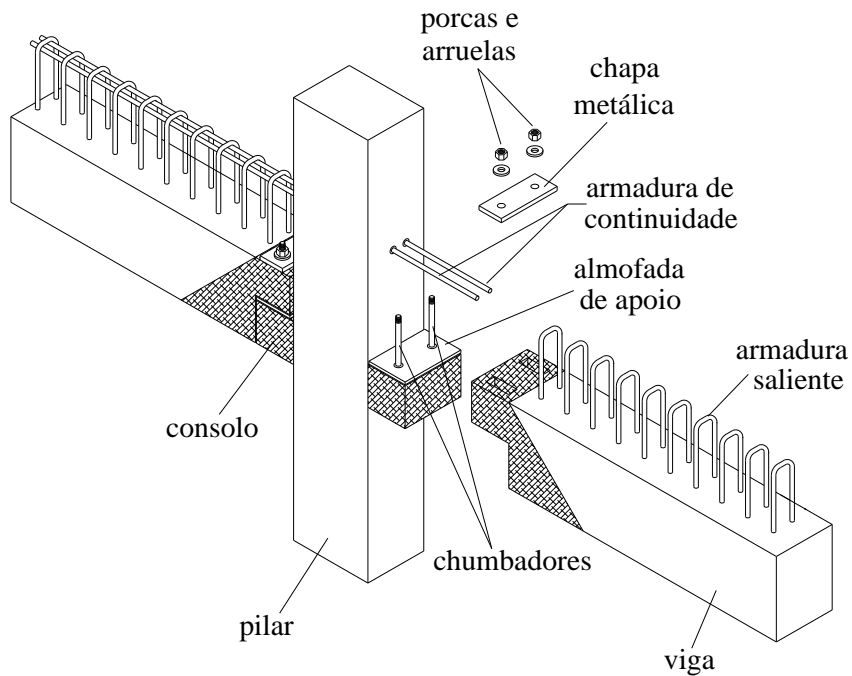
Modelo estrutural a) antes da ligação ser efetivada e b) depois da ligação ser efetivada

Tab. E.03 Resultados com aumento do número de andares

Ligação	n ^(a)	Combinação G+Q+W			Combinação G+W		
		a (mm)	γ_z	$M_b \cdot \gamma_z$ (kN.m)	a (mm)	γ_z	$M_{vig} \gamma_z$ (kN.m)
Articulação	2	29,77	1,19	44,65	29,77	1,12	0
Semirrígida	2	4,07	1,03	18,73	4,07	1,02	3,99
	3	11,30	1,05	33,94	11,30	1,03	8,52
	4	21,81	1,07	49,29	21,81	1,05	13,13
	5	36,30	1,10	66,26	36,30	1,06	17,00

Notas: a) n – número de andares

DESTAQUES



Alternativa com componentes de concreto de alto desempenho moldados em etapa anteriores (Bellucio, 2016)

ANEXO F - INTRODUÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO PROTENDIDO COM PRÉ-TRAÇÃO

F.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

F.2 MATERIAIS E PROCESSOS

F.3 CRITÉRIOS DE PROJETO

F.4 ESTADOS LIMITE SERVIÇOS E

DETERMINAÇÃO DA FORÇA DE PROTENSÃO

F.5 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

F.6 OUTROS ASPECTOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS



Após 17 anos, *Concreto pré-moldado* recebe uma nova edição, reavigorada e ampliada. Traz, oportunamente, a última atualização da principal norma brasileira sobre o assunto, a NBR 9062 – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Além da atualização técnica, no decorrer do período ganharam importância novas questões, como as relacionadas à sustentabilidade, que também foram incorporadas a esta segunda edição.

Se, por um lado, a industrialização da construção e a racionalização da execução de estruturas de concreto tiveram grande impulso nos anos 1960 e 1970, por outro conduziram a uma criticada mesmice arquitetônica. Em razão disso, surge, avançando, um novo concreto pré-moldado, que permite maior flexibilidade e renovação arquitetônica.

As potencialidades do concreto pré-moldado são pouco exploradas no Brasil, apesar do intenso processo de urbanização da população e adensamento das cidades. Esta obra procura motivar os leitores para sua aplicação, rompendo um círculo vicioso: não se constrói porque não se têm insumos tecnológicos (conhecimentos, experiência, equipamentos e dispositivos auxiliares) e não se têm os insumos tecnológicos porque não se constrói.

Com mais de 400 páginas, *Concreto pré-moldado* está dividido em três partes e 17 capítulos, compreendendo desde os fundamentos do concreto pré-moldado e as aplicações em edifícios, pontes e outras construções civis até os elementos de produção especializada. No final são apresentados os anexos, que, entre outros assuntos, incluem exemplos numéricos.

Este livro é direcionado a alunos e profissionais de Engenharia Civil e Arquitetura, com ênfase no projeto das estruturas formadas por elementos pré-moldados.

ISBN 978-85-7975-279-7




Críticas e sugestões: mkdebs@sc.usp.br

AGRADECIMENTOS

Dr. Eng. Augusto Carlos de Vasconcelos



FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA
DO ESTADO DE SÃO PAULO



Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

Patrocínio:

