

Alvenaria estrutural no Brasil: desafios, decisões e impactos das novas normas

Prof. Associado Márcio Roberto Silva Corrêa

Escola de Engenharia de São Carlos

Universidade de São Paulo



Resumo

- Introdução
- Decisões e desafios
- Impactos da nova norma



Decisões e desafios

1ª grande decisão: é viável utilizar a alvenaria estrutural como partido estrutural para a minha edificação?

- Resposta padrão: **depende**
- Regularidade e repetição
- Número de pavimentos
 - Bloco de concreto 14 cm:
1,0 MPa por andar – até 20 pav.
 - Bloco de concreto de 19 cm:
0,75 MPa por andar – teoricamente até 30 pav.



Decisões e desafios

2ª decisão: alvenaria armada ou não-armada

- o que é alvenaria não-armada?
- para que serve a armadura?
 - basicamente para absorver trações
 - no aumento da resistência à compressão é quase desprezível
 - armação de cintas e elementos que contornam aberturas



Decisões e desafios

3º nível de decisão: modulação da alvenaria

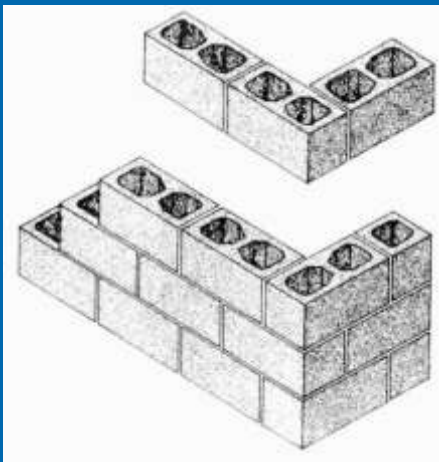
- que dimensões de bloco devo usar?
- posso ter um pé-direito maior em meu embasamento?
 - como viabilizar?
 - é uma boa solução misturar blocos de diferentes espessuras?



Decisões e desafios

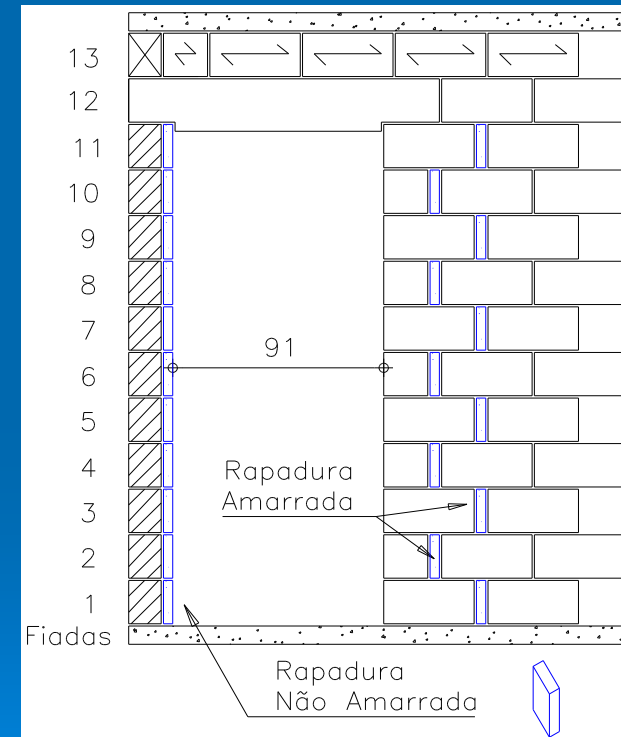
3º nível de decisão: modulação da alvenaria

- devo amarrar diretamente as paredes?



Fonte: Manual ABCI

- é razoável utilizar rapaduras (bolachas) como peças de ajuste dimensional?



Decisões e desafios

4º nível de decisão: técnicas construtivas

- devo embutir as instalações nas paredes de alvenaria?
 - quais eu não posso embutir? fluidos/manutenção
 - se não embutir, que soluções adotar?



Decisões e desafios

4º nível de decisão: técnicas construtivas

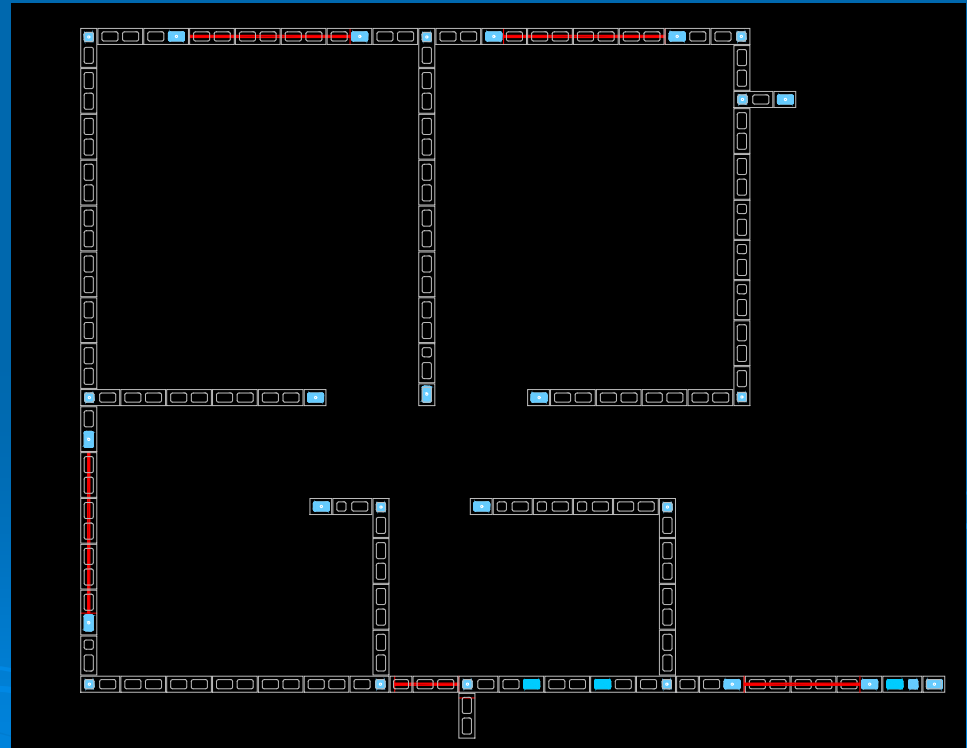
- como deve ser o lançamento dos cordões de argamassa?
- pode ser apenas lateral ou deve ser total?
- posso deixar as juntas verticais sem preencher?
- quais as implicações?



Decisões e desafios

4º nível de decisão: técnicas construtivas

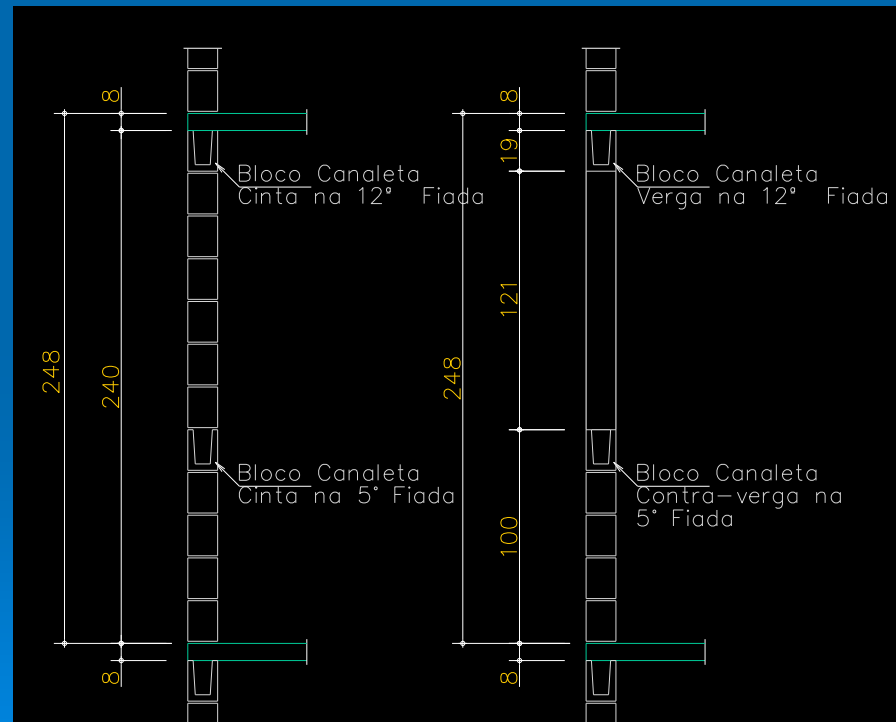
- devo utilizar vergas e contravergas?
- devo lançar armaduras verticais adjacentes às aberturas?
- as vergas e contravergas devem ser pré-moldadas ou moldadas “in loco” ?



Decisões e desafios

4º nível de decisão: técnicas construtivas

- devo utilizar cinta a meia altura nas paredes?
- é possível uma solução racional?



Decisões e desafios

5º nível de decisão: lajes e escadas

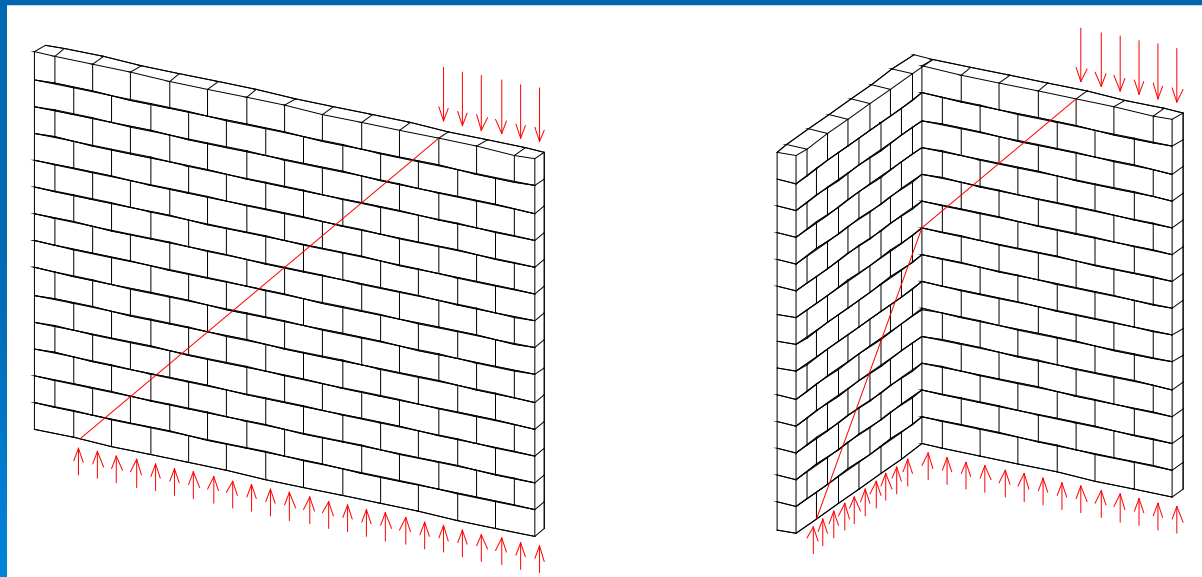
- laje maciça ou laje pré-fabricada?
- posso usar painéis independentes?
 - pode ser vantagem construtiva
 - cuidados com prédios mais altos
- escada moldada “in loco” ou pré-moldada?
- vantagens da utilização de elementos pré-moldados



Decisões e desafios

6º nível de decisão: carregamento vertical

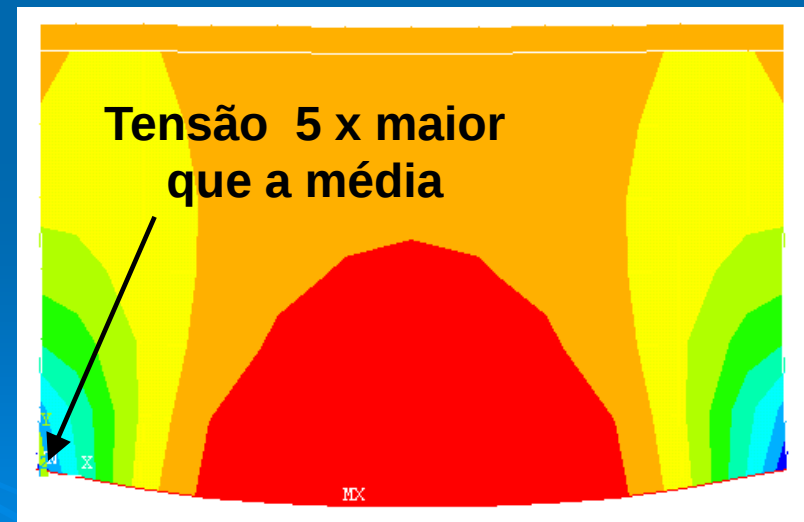
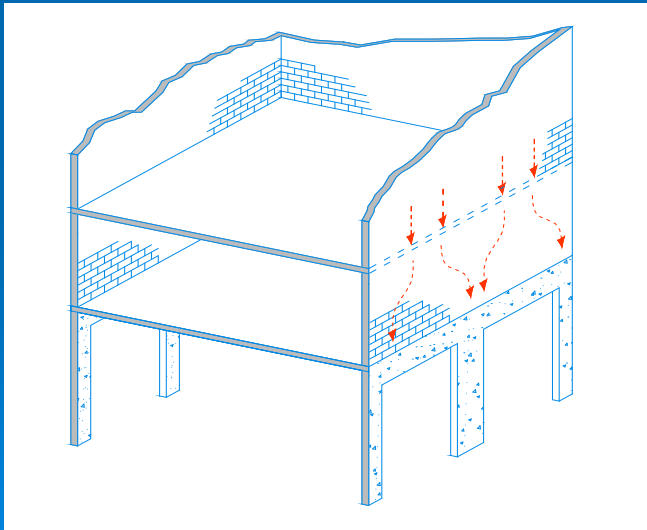
- devo considerar o modelo de paredes isoladas ou de grupo de paredes?
- como isto está conectado ao tipo de amarração de paredes?



Decisões e desafios

6º nível de decisão: carregamento vertical nas transições

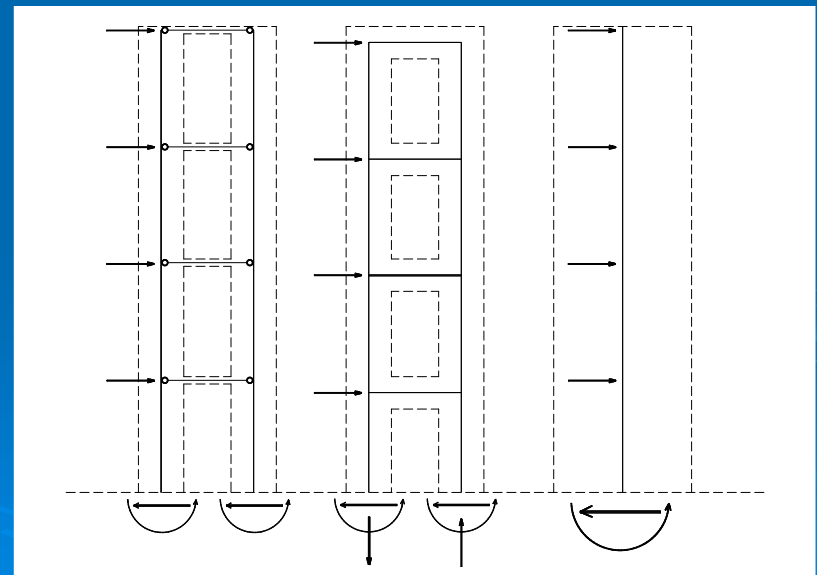
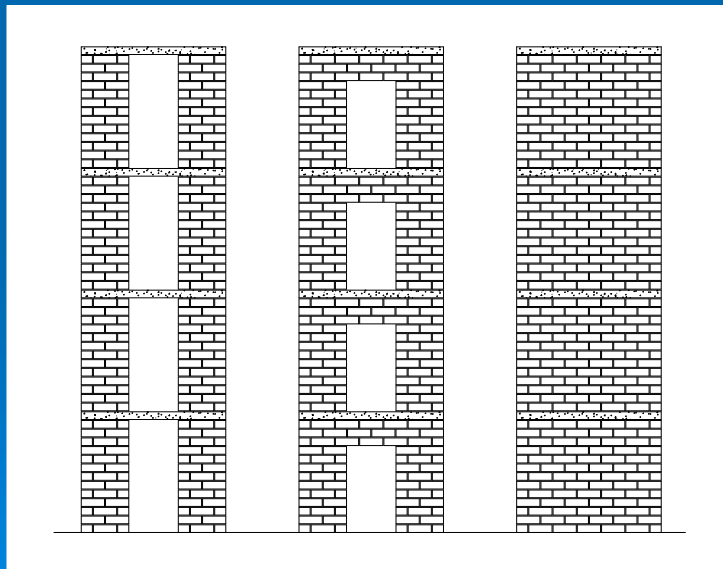
- devo considerar o efeito arco?
- resolve tudo?
- quais as implicações?
- cuidados



Decisões e desafios

7º nível de decisão: carregamento horizontal

- que ações considerar?
- devo considerar o desaprumo?
- como distribuir essas ações?
- como considerar os painéis de contraventamento?



Impactos da nova norma de alvenaria

Situação atual no Brasil

Há normas desatualizadas para alvenaria de blocos de concreto:

- NBR 10837:1989 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto
- NBR 8798:1985 - Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto

Normas para alvenaria de blocos de concreto:
em consulta pública

Normas para alvenaria de blocos cerâmicos
publicadas em março de 2010 : NBR 15812



Impactos da nova norma de alvenaria

Mudança conceitual importante

Introdução da segurança

~~Tensões admissíveis~~



Estados limites

Estados limites – consideração separada de:

Coeficientes de majoração de força

Coeficientes de minoração de resistência

Importante: manutenção do prisma como
corpo de prova da alvenaria



Impactos da nova norma de alvenaria

Cálculo de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos

Sumário

- 1 Escopo
- 2 Referências normativas
- 3 Termos e definições
- 4 Símbolos e termos abreviados
- 5 Requisitos gerais
- 6 Propriedades da alvenaria e de seus componentes
- 7 Segurança e estados limites
- 8 Ações
- 9 Análise Estrutural
- 10 Limites para dimensões, deslocamentos e fissuras
- 11 Dimensionamento
- 12 Disposições construtivas e detalhamento
- Anexo A Dano accidental e colapso progressivo
- Anexo B Alvenaria protendida

Informativos



Impactos da nova norma de alvenaria

Componentes

6.1.3 Graute

A influência na resistência deve ser verificada em laboratório, nas condições de sua utilização.



Fonte: ABCP



Impactos da nova norma de alvenaria

Coeficientes de ponderação de resistências

Tabela 6.2 – Valores de γ_m

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2,0	2,0	1,15
Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,15
Excepcionais	1,5	1,5	1,0

6.3.3 Compressão simples

A resistência característica f_k :

- ensaio de paredes ou
- estimada como 70% do prisma f_{pk}
ou 85% da pequena parede f_{ppk}



Impactos da nova norma de alvenaria

6.3.4 Compressão na flexão

Compressão paralela às juntas de assentamento (~vigas):

- 70% do prisma (se totalmente grauteada)
- 40% do prisma oco (caso contrário)

Tabela 6.4 – Valores característicos da resist. ao cisalhamento (MPa)

Local	Resistência Média de Compressão da Argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	acima de 7,0
Juntas horizontais	$0,10 + 0,5 \sigma = 1,0$	$0,15 + 0,5 \sigma = 1,4$	$0,35 + 0,5 \sigma = 1,7$
Interfaces de paredes com amarração direta	0,35	0,35	0,35

Nota: Quando existirem armaduras de flexão perpendiculares ao plano do cisalhamento e envoltas por graute:

$$f_{vk} = 0,35 + 17,5 \rho \leq 0,7 \text{ MPa}$$

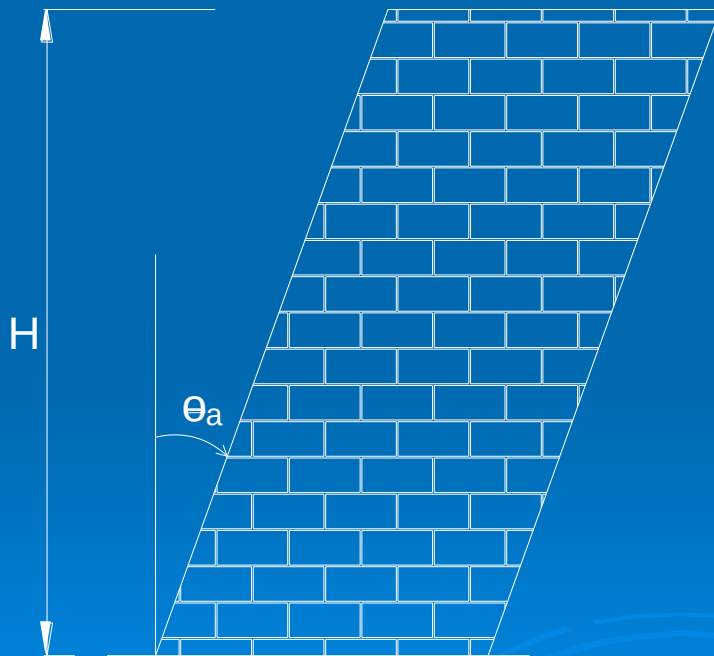


Impactos da nova norma de alvenaria

Ações

Aplica-se NBR8681- Ações e segurança nas estruturas

Desaprumo global



$$\theta_a = \frac{1}{100\sqrt{H}}$$

H é altura total da edificação em metros



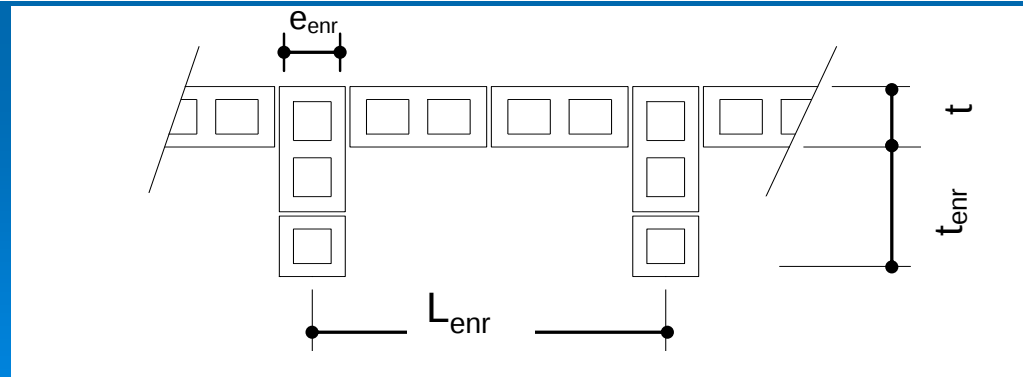
Impactos da nova norma de alvenaria

Análise estrutural

9.2.3.3 Espessura efetiva

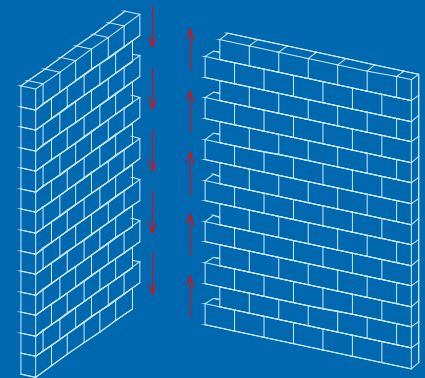
$$t_e = \delta t$$

$L_{\text{enr}} / e_{\text{enr}}$	$t_{\text{enr}} / t = 1$	$t_{\text{enr}} / t = 2$	$t_{\text{enr}} / t = 3$
6	1,0	1,4	2,0
8	1,0	1,3	1,7
10	1,0	1,2	1,4
15	1,0	1,1	1,2
20 ou mais	1,0	1,0	1,0



Impactos da nova norma de alvenaria

Análise estrutural



9.3 Interação dos elementos de alvenaria

9.3.1 Prescrições gerais

A interação de elementos adjacentes deve ser considerada quando houver garantia de que as forças de interação possam se desenvolver entre esses elementos e que haja resistência suficiente na interface para transmiti-las.

O modelo de cálculo adotado deve ser compatível com o processo construtivo.



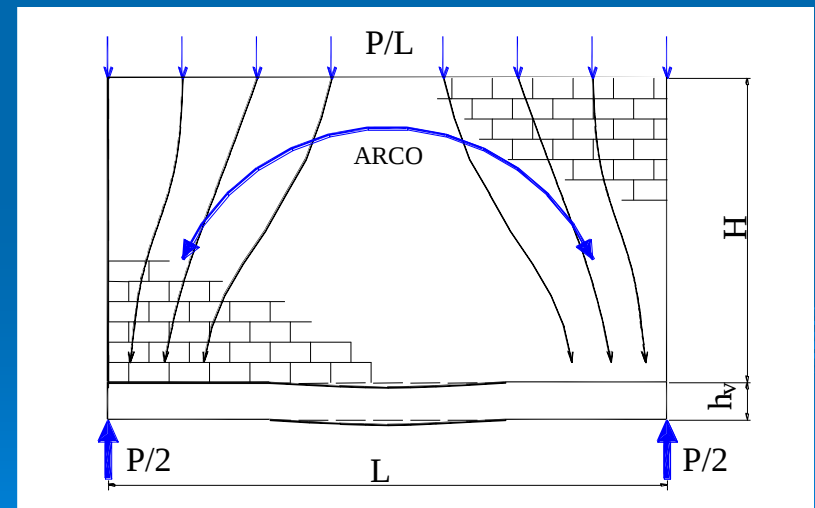
Impactos da nova norma de alvenaria

Análise estrutural

9.4 Interação entre a alvenaria e estruturas de apoio (efeito arco)

São proibidas reduções nos valores a serem adotados como carregamento para estruturas de apoio, baseadas na consideração do efeito arco, sem que sejam considerados todos os aspectos envolvidos nesse fenômeno, inclusive a concentração de tensões que se verifica na alvenaria.

Nota: tendo em vista o risco de ruptura frágil, cuidados especiais devem ser tomados na verificação do cisalhamento nas estruturas de apoio.



Impactos da nova norma de alvenaria

Limites para dimensões, deslocamentos e fissuras

10.1.1 Espessura Efetiva de Paredes

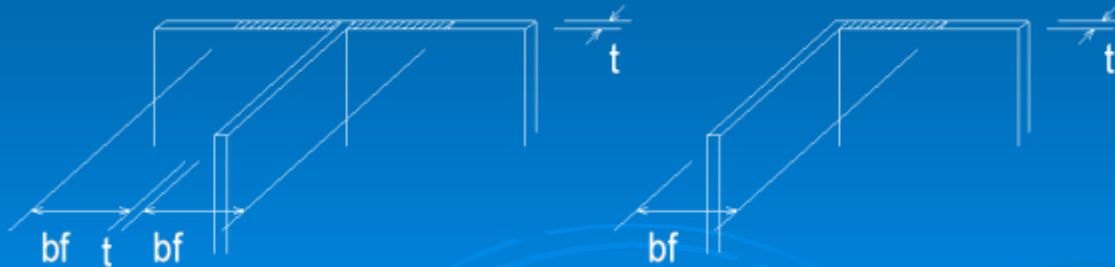
Edificações de mais de dois pavimentos : $t_e \geq 14 \text{ cm}$

10.1.2 Esbeltez máxima ($\lambda = h_e/t_e$)

Elementos estruturais não-armados 24

Elementos estruturais armados 30

10.1.3 Comprimento efetivo de flanges - limite $b_f \leq 6t$



Impactos da nova norma de alvenaria

Dimensionamento

11.2 Dimensionamento da alvenaria à compressão simples

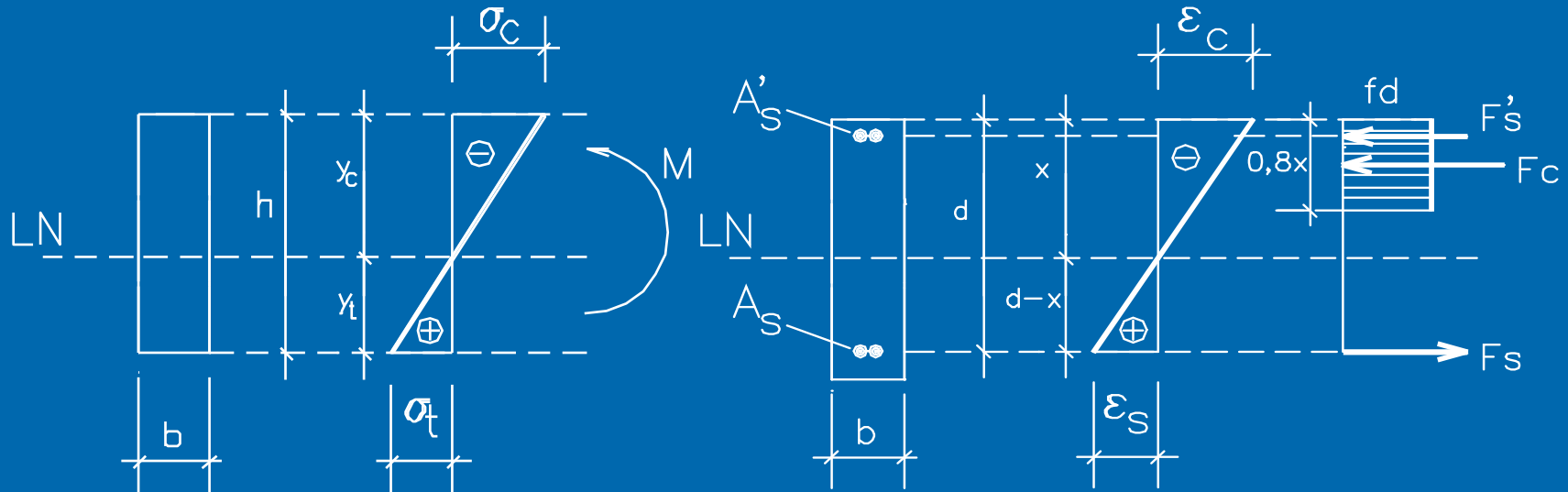
Paredes $N_{rd} = f_d A R$ sendo $R = 1 - (\lambda / 40)^3$

- A - área bruta
- R – mantido
- armadura desprezada
- pilares – redução de 10%



Impactos da nova norma de alvenaria

11.3 Dimensionamento à flexão simples



Elemento não-armado

Elemento armado

Obs $f_s = 0,5 \cdot f_{yd} = 0,5 \cdot f_{yk} / \gamma_m$

Prudência



Impactos da nova norma de alvenaria

11.4 Dimensionamento da alvenaria ao cisalhamento

$$\tau_{wd} = V_d / (b \cdot d) \quad \text{desprezados eventuais flanges}$$

Parcela absorvida pela alvenaria $V_a = f_{vd} \cdot b \cdot d$

Armadura paralela à força cortante atuante

$$A_{sw} = \frac{(V_d - V_a) s}{0,5 f_{yd} d}$$



Impactos da nova norma de alvenaria

11.5 Dimensionamento da alvenaria sob flexo-compressão

Alvenaria não-armada

Superposição: tensões normais lineares devidas ao momento fletor com as tensões uniformes devidas à força normal

Devem satisfazer à inequação:

$$\frac{N_d}{A.R} + \frac{M_d}{W.K} \leq f_d$$

$K=1,5$ (confinamento)



Impactos da nova norma de alvenaria

Alvenaria armada

Elementos curtos ($\lambda \leq 12$)

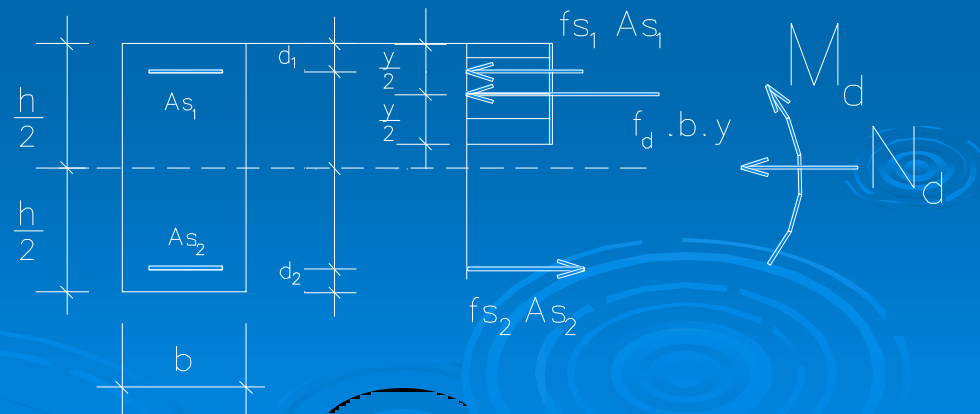
a) Apenas A_s min se

$$e_x \leq 0,5 h \text{ e } N_d \leq N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2e_x)$$

b) Não atendidas as restrições anteriores:

$$M_{Rd} = 0,5 f_d b y (h - y) + f_{s1} A_{s1} (0,5 h - d_1) + f_{s2} A_{s2} (0,5 h - d_2)$$

$$N_{Rd} = f_d b y + f_{s1} A_{s1} - f_{s2} A_{s2}$$



Impactos da nova norma de alvenaria

Alvenaria armada

Elementos esbeltos ($\lambda > 12$)

c) Acrescentar momento de 2ª ordem

$$M_{2d} = \frac{N_d (h_e)^2}{2000t}$$



Impactos da nova norma de alvenaria

Anexo A: Dano accidental e colapso progressivo

Idéia:

- evitar ou reduzir danos accidentais
- evitar o colapso progressivo se o dano accidental ocorrer



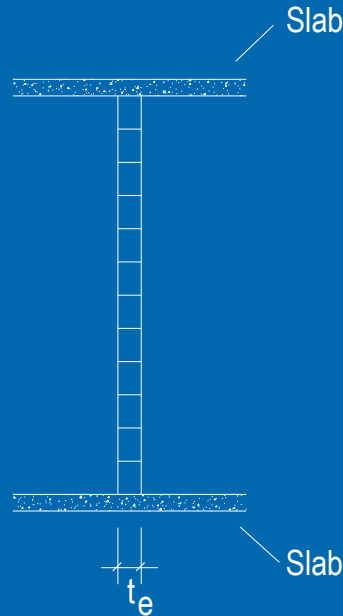
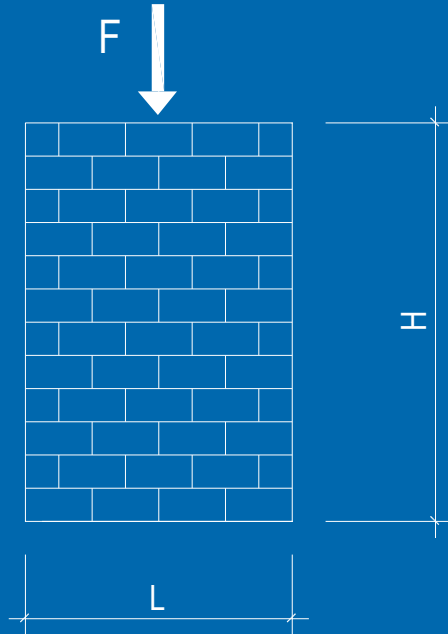
Cuidados, que podem se superpor:

- a) proteção através de estruturas auxiliares
- b) reforço com armaduras construtivas para aumentar a ductilidade
- c) previsão de ruptura de um elemento, computando-se o efeito nos elementos vizinhos



Exemplo

Máxima força característica de compressão segundo normas distintas



$$t_e = 140 \text{ mm}$$

$$L = 1.00 \text{ m}$$

$$H = 2.4 \text{ m, } 2.6 \text{ m and } 2.8 \text{ m}$$

excentricidade = 5% da espessura
80% perm. e 20% variável

$$f_k = 4.7 \text{ N/mm}^2 \quad (f'_m = 8.0 \text{ N/mm}^2)$$

$$F_k = \frac{f_k \cdot A \cdot R}{\gamma_f \cdot \gamma_m}$$

BR, BS 5628 e EC 6 – Estados limites

$$F = 0.25 \cdot f'_m \cdot A \cdot R \quad \text{ACI 530 – Tensões admissíveis (} f'_m \text{ adaptado para corresponder a } f_k \text{)}$$



Exemplo

Valores de γ_f , γ_m e h_e

Par.	BR	ACI 530	EC 6	BS 5628
γ_f	1,4	-	$0,8 \times 1,35 + 0,2 \times 1,50 = 1,38$	$0,8 \times 1,40 + 0,2 \times 1,60 = 1,44$
γ_m	2,0	-	1,7 (produção I; execução A)	2,5 (produção especial and construção especial)
h_e	H	H	0,75H	0,75H

Valores do coeficiente redutor por esbeltez

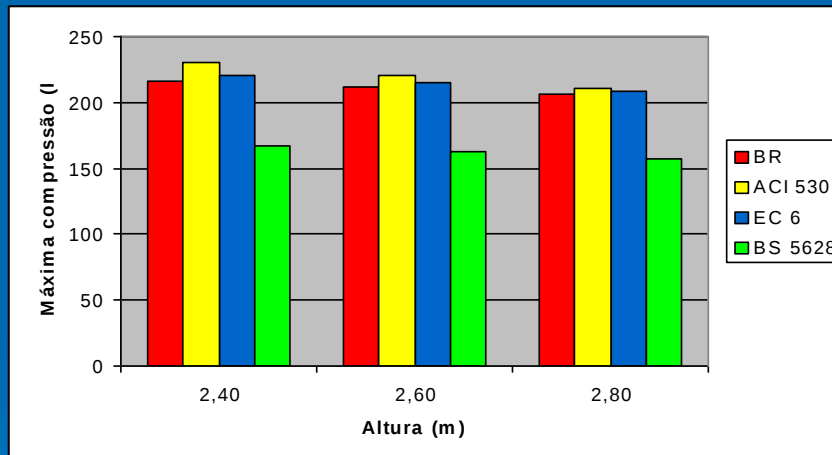
H(m)	BR	ACI 530	EC 6	BS 5628
2,4	0,921	0,820	0,791	0,915
2,6	0,900	0,789	0,771	0,889
2,8	0,875	0,755	0,750	0,861



Exemplo

Máxima força axial característica na parede (kN)

H(m)	BR	ACI 530	EC 6	BS 5628
2.4	216	230	221	167
2.6	212	221	215	163
2.8	206	211	209	157



- BS 5628 é a mais conservadora
- BR semelhante ao EC 6 and aprox. 95% do ACI 530



Impactos da nova norma de alvenaria

2ª parte – Execução e controle de obras

Sumário

1. Escopo
 2. Referências normativas
 3. Definições
 4. Símbolos
 5. Requisitos do sistema de controle
 6. Materiais
 7. Recebimento de materiais
 8. Produção da argamassa de assentamento e do graute
 9. Controle da resistência dos materiais e das alvenarias à compressão axia
 10. Produção da alvenaria
 11. Controle geométrico e aceitação da alvenaria
 12. Controle de aceitação
- Anexo A: Ensaio de compressão de prismas
- Anexo B: Ensaio de compressão de pequenas paredes



Impactos da nova norma de alvenaria

Caracterização prévia:

- Materiais – blocos, argamassa e graute (Normas específicas)
- Alvenaria – número mínimo de cps segundo tabela 1



Tabela 1 – Número mínimo de corpos de prova para os componentes

Tipo de elemento de alvenaria	Número de corpos-de-prova
Prisma	12
Pequena parede	6
Parede	3



Impactos da nova norma de alvenaria

- Os resultados da caracterização prévia podem ser usados pelo construtor no prazo de 180 dias
- O controle de resistências durante a execução depende da probabilidade relativa de ruptura da alvenaria
- As edificações são classificadas como de menor ou maior exigência estrutural
- Em edificações de menor exigência estrutural ($f_{pk} \leq 0,15 f_{bk}$ ou $f_{pk} \leq 0,50 f_{pk,est}$ ) a caracterização prévia é suficiente



Impactos da nova norma de alvenaria

Edificações com maior exigência estrutural

- Controle padrão
- ✓ Cada pavimento constitui um lote
- ✓ Pelo menos 12 prismas (6 ensaiados e 6 de contra-prova)
- Controle otimizado depende do tipo de empreendimento:
 - ✓ Edificação isolada
 - ✓ Conjunto de edificações iguais



Impactos da nova norma de alvenaria

Edificação isolada



- Cada pavimento é um lote
- Primeiro lote: idem padrão
- Demais lotes: o C.V. é usado para fixar o número de CPs do próximo lote
- o número de prismas a serem testados nos pavimentos subsequentes depende do C.V e da razão $f_{pk,projeto} / f_{pk,estimado}$ (próxima tabela)



Impactos da nova norma de alvenaria

Table 2: Número mínimo de prismas a serem ensaiados
(redução de acordo com a probabilidade relativa de ruína)

CV	f _{pk} ,projeto / f _{pk} estimado				
	$\leq 0,15$	$> 0,15 \leq 0,30$	$> 0,30 \leq 0,50$	$> 0,50 \leq 0,75$	$> 0,75$
$> 25 \%$	6	6	6	6	6
$\leq 25 \%$ e $\geq 20 \%$	0	2	4	6	6
$\leq 20 \%$ e $\geq 15 \%$	0	2	2	2	4
$< 15 \%$ e $\geq 10 \%$	0	0	2	2	2
$< 10 \%$	0	0	0	0	0



Impactos da nova norma de alvenaria

Conjunto de edificações iguais

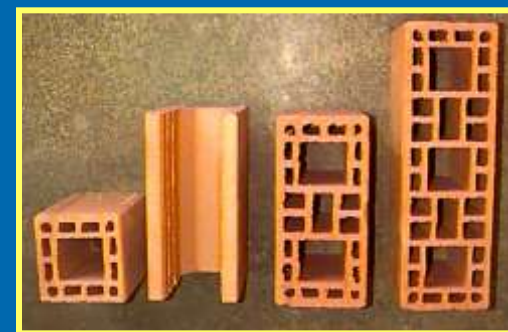


- Primeira edificação: o controle padrão para edificação isolada
- Demais: cada pavimento dos outros edifícios construídos simultaneamente com os mesmos materiais e procedimentos constitui um lote
- o número de ensaios: Tabela 2
- todos os resultados de pavimentos similares podem ser usados para atualizar C.V. e $f_{pk, estimado}$



Impactos da nova norma de alvenaria

- nova caracterização de materiais a cada troca de:
 - ✓ fornecedores
 - ✓ materiais
 - ✓ mão-de-obra (mudança significativa)



- o número mínimo de prismas é resumido na Tabela 3 a seguir



Impactos da nova norma de alvenaria

Tabela 3: Número mínimo de prismas ocos ou cheios
(para mesmos materiais e procedimentos)

Edificação (tipo)		Edificação isolada		Conjunto de edificações iguais executadas simultaneamente
		1º pav.	Demais pavimentos	
Menor exigência estrutural f _{pk} , projeto ≤ 0,15 f _{bk} . ou f _{pk} , projeto ≤ 0,50 f _{pk} , carac.		0	0	0
Maior exigência estrutural	Controle padrão	6	6	6 prismas por pavimento de cada edificação
f _{pk} , projeto > 0,15 f _{bk} , carac. Ou f _{pk} , projeto > 0,50 f _{pk} , carac.	Controle otimiza- do	6	Conforme Tabela 2 f _{pk} , projeto/f _{pk} , est. e CV prismas (<i>f_{pk,est}</i> e CV prismas recalculados com todos os resultados dos pavimentos anteriores)	Conforme Tabela 2 f _{pk} , projeto/f _{pk} , est. e CV prismas (<i>f_{pk,est}</i> e CV prismas recalculados com todos os resultados dos pavimentos anteriores de todas as edificações) Pelo menos uma das edificações deve ter controle de edificação isolada



Impactos da nova norma de alvenaria

Pontos a verificar antes da execução:

- Locação, esquadros e nivelamento da base de assentamento da alvenaria
 - Posicionamento de reforços metálicos e tubulações conforme projeto
 - Limpeza do pavimento: tudo o que possa prejudicar a aderência
 - Limpeza de blocos e peças pré-fabricadas
- Paredes não-estruturais não devem ser amarradas diretamente às paredes estruturais



Impactos da nova norma de alvenaria

Pontos a verificar durante a execução:

- Variação da superfície do pavimento
- Máxima diferença de nível
- Espessura das juntas
- Tolerâncias de prumo
- Alinhamentos



Impactos da nova norma de alvenaria

Tabela 4 – Variáveis de controle na produção da alvenaria

Fator		Tolerância
Junta horizontal	Espessura	$\pm 3 \text{ mm}^a$
	Nível	2 mm/m 10 mm no máximo
Junta vertical	Espessura	$\pm 3 \text{ mm}^a$
	Alinhamento vertical	2 mm/m 10 mm no máximo
Alinhamento da parede	Vertical	$\pm 2 \text{ mm/m}$ $\pm 10 \text{ mm}$ no máximo por piso $\pm 25 \text{ mm}$ na altura total
	Horizontal	$\pm 2 \text{ mm/m}$ $\pm 10 \text{ mm}$ no máximo
Superfície superior das paredes portantes	Variação no nível entre elementos de piso adjacentes	$\pm 1 \text{ mm/m}$
	Variação no nível dentro da largura de cada bloco isoladamente	$\pm 1,5 \text{ mm}$
^a Tolerância referida a juntas de 10 mm de espessura nominal, nos demais casos, considerar $\pm 30 \%$ da espessura correspondente		



Obrigado

