

Alvenaria Estrutural

Evandro Paulo Folletto

Unifacear - Centro Universitário

Curitiba - 2021/2

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Este material é utilizado de forma auxiliar para a disciplina de **Alvenaria estrutural**, ofertada em cursos de graduação em Engenharia Civil, normalmente na segunda metade do curso.

A disciplina será dividida basicamente em três partes:

- vamos estudar o método construtivo em si e suas particularidades;
- vamos estudar os aspectos relacionados ao projeto arquitetônico, em especial a questão de modulação;
- por último, vamos estudar os aspectos relacionados ao projeto estrutural de Alvenaria Estrutural.

Para cursar essa disciplina, é interessante já ter tido contato com as disciplinas de Construção civil, Projeto arquitetônico e Resistência dos materiais/Análise estrutural e Concreto armado.

Normas ABNT

Como eram organizadas as normas antigas:

NBR 15812-1:2010: Alvenaria estrutural-Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos.

NBR 15812-2:2010: Alvenaria estrutural-Blocos cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras.

NBR 15812-3:2017: Alvenaria estrutural-Blocos cerâmicos. Parte 3: Métodos de ensaio.

NBR 15961-1:2011: Alvenaria estrutural-Blocos de concreto. Parte 1: Projeto

NBR 15961-2:2011: Alvenaria estrutural-Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras.

NBR 16522:2016: Alvenaria de blocos de concreto - Métodos de ensaio.

Em 2020 foi publicada a ABNT 16868, sob o título geral **Alvenaria estrutural**, com as seguintes partes:

- parte 1: Projeto;
- parte 2: Execução e controle de obras;
- parte 3: Métodos de ensaio;
- parte 4: Estrutura em situação de incêndio (em elaboração);
- parte 5: Projeto para ações sísmicas (em elaboração).

Alvenaria estrutural no Brasil

Conforme Mohamad (2020), no Brasil a alvenaria estrutural surgiu como uma técnica de construção apenas no final da década de 1960, antes disso, era empregado apenas conhecimento empírico a respeito do assunto, consequência da inexistência de regulamentos que fixassem critérios de dimensionamento e segurança dos elementos estruturas.

Alvenaria Estrutural em blocos de concreto no Brasil:

Em 1966 - conjunto habitacional Central Park Lapa, 4 pavimentos - São Paulo (SP).

Em 1970 - Edifício Muriti, 16 pavimentos, alvenaria armada - São José dos Campos (SP);

Em 1972 - conjunto habitacional Central Park Lapa, 12 andares, alvenaria armada - São Paulo (SP);

Em 1977 - Edifício Jardim Prudência, 9 pavimentos, alvenaria não armada - São Paulo (SP);

Década de 1990 - Edifício Solar dos Alcântaras, 21 pavimentos, alvenaria armada - São Paulo (SP).

Conceito estrutural básico

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), o principal conceito estrutural ligado à utilização da alvenaria estrutural é a transmissão de ações através de tensões de compressão. Nos dias atuais, é possível admitir determinadas peças com tensões de tração, porém, estas devem se restringir a pontos específicos da estrutura e não apresentar valores elevados, sob pena da construção ser economicamente inviável (apesar de tecnicamente possível).

Para vencer vãos, arcos foram muito utilizados ao longo da história:



Aspectos técnicos e econômicos

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a utilização da alvenaria estrutural, para edifícios residenciais, parte de uma concepção bastante interessante que é a de transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura. Dessa forma, pode-se evitar a necessidade da existência dos pilares e vigas que dão suporte a uma estrutura convencional.

Assim, a alvenaria passa a ter a dupla função:

- **servir de vedação;**
- **servir de suporte para a edificação.**

Tais funções fazem necessário que a alvenaria tenha sua resistência perfeitamente controlada, garantindo a segurança da edificação. Essa necessidade demanda a utilização de materiais mais caros e também uma execução mais cuidadosa, aumentando o seu custo de produção em relação à alvenaria de vedação.

Principais parâmetros a serem considerados para a adoção do sistema

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a alvenaria estrutural não é adequada para qualquer tipo de edificação. Para que seja economicamente viável sua adoção, é necessário que se atente para alguns detalhes importantes:

a) altura da edificação: a alvenaria estrutural é adequada a edifícios de no máximo 15 ou 16 pavimentos, acima disso, a resistência à compressão dos blocos não permite a construção sem grauteamentos generalizados, prejudicamento e economia.

b) arranjo arquitetônico: é importante se considerar a densidade de paredes estruturais por m^2 de pavimento. Um valor razoável é que haja de 0,5 a 0,7 m de paredes estruturais por m^2 de pavimento. Dentro desses limites, a densidade de paredes pode ser considerada usual e as condições para seu dimensionamento também refletirão essa condição.

c) tipo de uso: para edifícios comerciais ou residenciais de alto padrão, onde seja necessária a utilização de vãos grandes, alvenaria estrutural normalmente não é adequado, sendo sua utilização mais adequada a edifícios residenciais de padrão médio ou baixo, onde os ambientes, e também os vãos, são relativamente pequenos.

Pontos positivos do sistema

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), as principais características que podem apresentar vantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais de concreto armado são:

a) economia de fôrmas: a utilização de fôrmas se restringe às necessárias a concretagem da laje.

b) redução nos revestimentos: pela qualidade dos blocos e pelo maior controle na execução.

c) redução nos desperdícios de material e mão de obra: como as paredes não admitem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para a colocação de instalações hidráulicas e elétricas, é uma importante causa da eliminação de desperdícios.

d) redução do número de especialidades: deixam de ser necessários armadores e carpinteiros.

e) flexibilidade no ritmo de execução da obra: se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado.

Destes, a principal vantagem é uma maior racionalidade do sistema executivo, reduzindo-se o consumo de materiais e desperdícios.

Pontos negativos do sistema

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), algumas desvantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais em concreto armado são:

a) dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso: como as paredes possuem função estrutural, na maioria das situações, não é possível adaptações significativas no arranjo arquitetônico.

b) interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações: a manutenção do módulo afeta de forma direta o projeto arquitetônico e a impossibilidade de se furar paredes, sem um controle cuidadoso desses furos, condiciona os projetos de instalações elétricas e hidráulicas.

c) necessidade de uma mão-de-obra bem qualificada: a alvenaria estrutural exige uma mão-de-obra qualificada e apta a fazer uso de instrumentos adequados para sua execução, necessitando de treinamento prévio da equipe contratada para sua execução. Caso contrário, os riscos de falhas que comprometam a segurança da edificação crescem sensivelmente. A desvantagem da impossibilidade de efetuar modificações na arquitetura original é um importante inibidor de vendas e até mesmo um fator que pode comprometer a segurança de uma edificação durante a sua vida útil.

1 Introdução

2 Componentes da alvenaria estrutural

3 Modulação

4 Dimensionamento

- Ações na análise estrutural
- Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
- Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
- Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento

5 Carregamento horizontal

- Estruturas de contraventamento
- Ação do vento
- Efeito de desaprumo
- Parâmetro de instabilidade α
- Coeficiente γ_z

6 Referências

Componente e elemento

Se faz necessário estabelecer a diferença entre os termos "componente" e "elemento":

Componente:

Conforme o item 3.9 da ABNT NBR 16868-1, componente é a menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Os principais componentes são: bloco ou tijolo, junta de argamassa, graute e armadura.

Elemento:

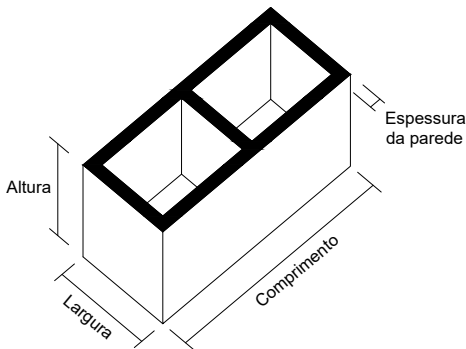
Conforme o item 3.12 da ABNT NBR 16868-1, elemento é uma parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes. Como exemplo de elementos podem ser citados: paredes, pilares, cintas, vergas, etc.

Definições

Bloco (item 3.7 NBR 16868-1): componente básico da alvenaria com altura maior ou igual a 115mm, podendo ser vazado, perfurado ou maciço.

Tijolo (item 3.30 NBR 16868-1): componente básico da alvenaria com altura menor que 115mm, podendo ser perfurado ou maciço.

Bloco vazado de concreto simples (item 3.1 NBR 6136): componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cujas áreas líquidas é igual ou inferior a 75% da área bruta:



Fonte: adaptado da ABNT NBR 6136.

Resistência - blocos de concreto

A ABNT NBR 6136, classifica os blocos em classes A, B e C. Para blocos com função estrutural, tem-se como resistências:

Classe A:

$$f_{bk} \geq 8,0 \text{ MPa} \quad (1)$$

Classe B:

$$4,0 \leq f_{bk} < 8,0 \text{ MPa} \quad (2)$$

Classe C:

$$f_{bk} \geq 3,0 \text{ MPa} \quad (3)$$

Observações 5.3.1 a 5.3.5 da ABNT NBR 6136:

- para aplicação abaixo do nível do solo, devem ser utilizados blocos classe A.
- blocos com largura de 65mm têm seu uso restrito para alvenarias sem função estrutural.
- permite-se o uso de blocos com função estrutural classe C, sendo:
 - com largura de 90 mm, para edificações de no máximo um pavimento.
 - com largura de 115 mm, para edificações de no máximo dois pavimentos.
 - com larguras de 140 mm e 190 mm para edificações de até cinco pavimentos.

Resistência - blocos de cerâmica

A ABNT NBR 15270-1, traz uma maior variação de desenhos de blocos, tendo, por exemplo, blocos com paredes vazadas. Para consultar todas essas opções, pode-se verificar a Tabela 2 da ABNT NBR 15270-1. O bloco cerâmico que possui as mesmas características do bloco de concreto, mostrado no slide "Definições", possui as seguintes características:

Classe EST40:

$$f_{bk} \geq 4,0 \text{ MPa} \quad (4)$$

Classe EST60:

$$f_{bk} \geq 6,0 \text{ MPa} \quad (5)$$

Classe EST80:

$$f_{bk} \geq 8,0 \text{ MPa} \quad (6)$$

Conforme o item 4.3 da ABNT NBR 15270-1, a classificação EST indica uso estrutural. A número que segue essa indicação representa a resistência do bloco em quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm^2), aproximando 1 kgf/cm^2 igual a 0,1 MPa.

Espessuras mínimas - blocos de concreto

Conforme o item 5.1.2 da ABNT NBR 6136, a espessura mínima de qualquer parede de bloco deve atender os valores indicados na tabela abaixo:

Classe	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais (mm)	Paredes transversais	
			Paredes ^a (mm)	Espessura equivalente ^b (mm/m)
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

^a - média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

^b - soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (mm), dividida pelo comprimento nominal do bloco (m).

Espessuras mínimas - blocos cerâmicos

Como já mencionado, a ABNT NBR 15270-1 especifica as dimensões mínimas para vários desenhos de blocos cerâmicos. O bloco cerâmico que possui as mesmas características do bloco de concreto, mostrado no slide "Definições", possui os seguintes valores mínimos para as dimensões das paredes:

- para blocos EST40:

- espessura das paredes externas: 15 mm.
- espessura das paredes internas: 15 mm.

- para blocos EST60:

- espessura das paredes externas: 18 mm.
- espessura das paredes internas: 18 mm.

- para blocos EST80:

- espessura das paredes externas: 20 mm.
- espessura das paredes internas: 20 mm.

Argamassa

Ramalho e Corrêa (2003), a argamassa de assentamento possui as funções:

- solidarizar as unidades;
- transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria;
- absorver pequenas deformações;
- prevenir a entrada de água e de vento nas edificações.

Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções.

Para o projetista é necessário o conhecimento da resistência média à compressão da argamassa, uma vez que a NBR 16868-1 especifica diferentes valores de tensão admissível à tração e ao cisalhamento para a alvenaria em função desse parâmetro.

Conforme o 6.1.2 da ABNT NBR 16868-1, para evitar risco de fissuras, recomenda-se especificar a resistência à compressão da argamassa limitada a 1,5 vez da resistência característica especificada para o bloco.

Graute

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), o graute é um concreto com agregados de pequena dimensão e relativamente fluido, eventualmente necessário para o preenchimento dos vazios dos blocos. Sua função é aumentar a área da seção transversal das unidades ou solidarizar os blocos com eventuais armaduras posicionadas nos seus vazios. Assim, pode-se aumentar a capacidade alvenaria à compressão ou permitir que as armaduras colocadas combatam tensões de tração que a alvenaria por si só não resistiria.

Considera-se que o conjunto bloco, graute e eventualmente armadura trabalhe monoliticamente, de maneira análoga ao que ocorre com o concreto armado. Para isso, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco, de modo a formar um conjunto único. A NBR 16868-1 sugere resistência mínima característica do graute de 15 MPa.

Armaduras

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), as barras de aço utilizadas em alvenaria são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, porém sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria.

Ensaio

A ABNT NBR 16868-3 trata dos ensaios relacionados à Alvenaria estrutural.

Determinação da resistência à compressão de paredes: conforme o item 4.2.1 da ABNT NBR 16868-3, não sendo praticável reproduzir as paredes nas suas dimensões reais, admite-se como sendo corpos de prova representativos aqueles que tenham por dimensões mínimas $1,20 \text{ m} \times 2,60 \text{ m}$ (largura x altura).

Determinação da resistência à compressão de pequenas paredes: conforme o item 5.2.2.1 da ABNT NBR 16868-3, recomenda-se que o corpo de prova tenha no mínimo comprimento equivalente a dois blocos e altura (H) equivalente a cinco vezes a espessura do bloco, não inferior a 70 cm. O número de fiadas ao longo da altura deve ser ímpar.

Determinação da resistência à compressão de prismas: conforme o item 6.2.2 da ABNT NBR 16868-3, cada corpo de prova é um prisma oco ou cheio, constituído de dois blocos principais sobrepostos e uma junta de assentamento. No caso de tijolos, o prisma deve ser constituído de quatro tijolos sobrepostos e três juntas de assentamento, de forma que a altura do prisma seja pelo menos o dobro da largura do tijolo. Os blocos e tijolos devem ser íntegros e isentos de defeitos.

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 **Modulação**
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Modulação

Conforme o item 4.1 da ABNT NBR 15873, a unidade de medida fundamental na coordenação modular é o módulo básico representado pela letra M. Seu valor é $1 M = 100 \text{ mm}$.

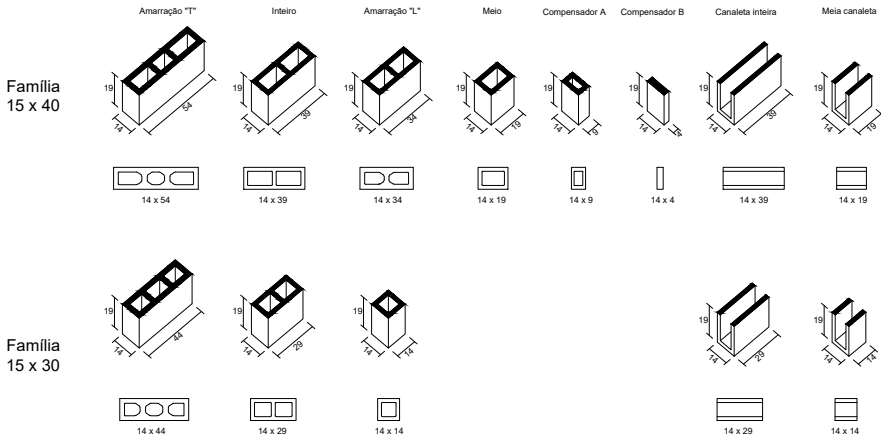
Conforme o item 4.4 da ABNT NBR 15873, no projeto e na construção de edificações coordenadas modularmente, empregam-se sistemas de referência modulares para posicionar elementos, componentes e conjuntos modulares.

Um sistema de referência modular é um sistema geométrico constituído por n planos ortogonais, dispostos nas três dimensões, de modo que a distância entre os planos paralelos seja sempre igual ao módulo básico de 100 mm ou a um multimódulo. Assim, o sistema de referência define espaços geométricos que são necessariamente modulares.

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a modulação é um procedimento absolutamente fundamental para que uma edificação em alvenaria estrutural possa resultar econômica e racional. Se as dimensões de uma edificação não forem moduladas, como os blocos não devem ser cortados, os enchimentos resultantes certamente levarão a um custo maior e uma racionalidade menor para a obra em questão.

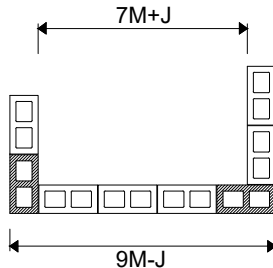
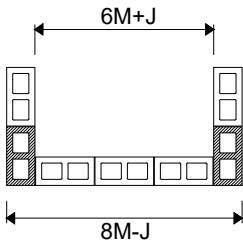
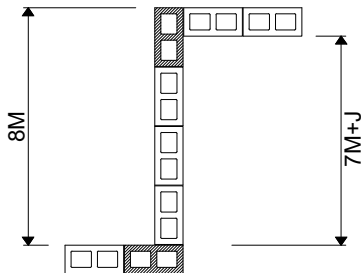
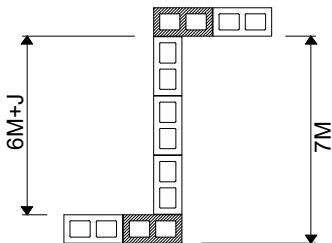
Blocos

A ABNT NBR 6136 traz as dimensões das famílias de blocos de concreto simples para serem utilizados na construção em alvenaria estrutural. A imagem abaixo mostra duas destas famílias de blocos:



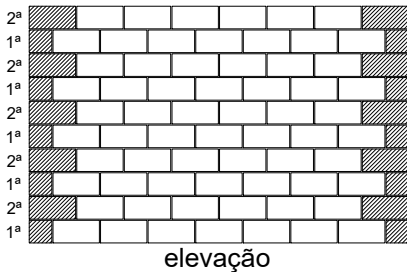
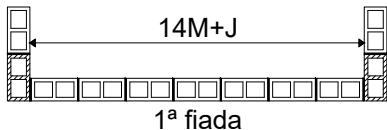
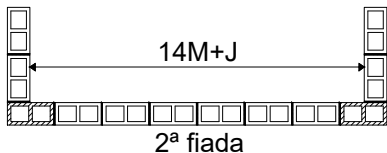
Já ABNT NBR 15270-1 traz as dimensões das famílias de blocos cerâmicos para construção em alvenaria estrutural.

A imagem abaixo mostra medidas de paredes:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Os conceitos vistos, nos permitem desenhar uma parede de alvenaria estrutural, utilizando blocos onde a largura é igual ao módulo:



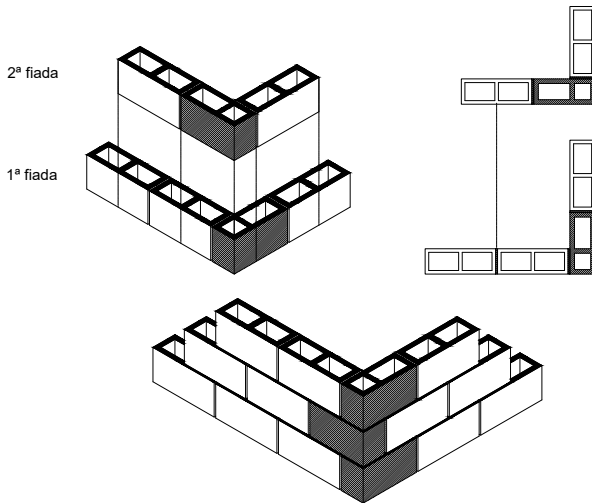
Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Nota-se que não é necessária a utilização de nenhum bloco especial. Tal situação poderia ser obtida utilizando, por exemplo, blocos $14 \times 19 \times 29$, neste caso o módulo seria de 15cm, e a cota indicada seria:

$$14 \cdot M + J = 14 \cdot 15 + 1 = 421$$

Cantos - módulo e largura diferentes

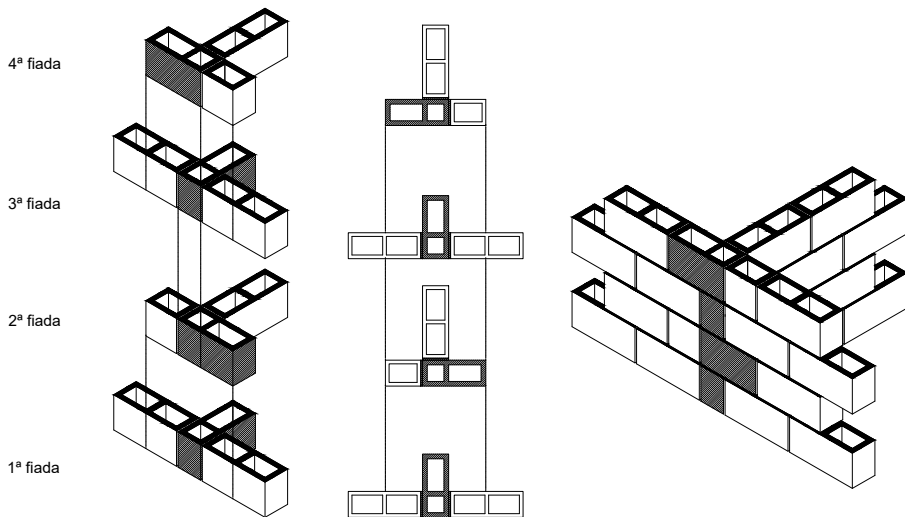
Para solucionar o problema mostrado no slide anterior, faz-se a utilização de blocos especiais. A imagem abaixo mostra uma situação em que é adotado um bloco especial (bloco hachurado), por exemplo, o bloco $14 \times 19 \times 34$:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Bordas - módulo e largura diferentes

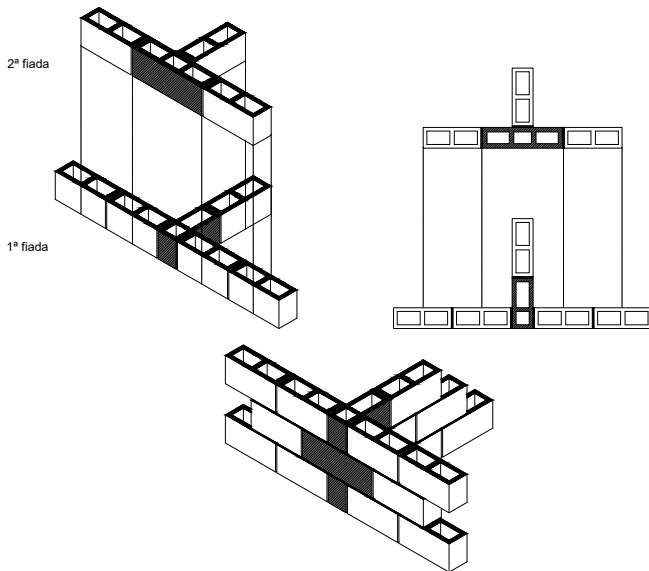
Para o caso das bordas, a solução é a utilização de blocos especiais:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Bordas - módulo e largura diferentes

A imagem abaixo mostra a utilização de um bloco especial (ex.: $14 \times 19 \times 54$):



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Modulação vertical

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a modulação vertical pode ser feita de duas formas:

a) aplicação da distância modular é aplicada de piso a teto:

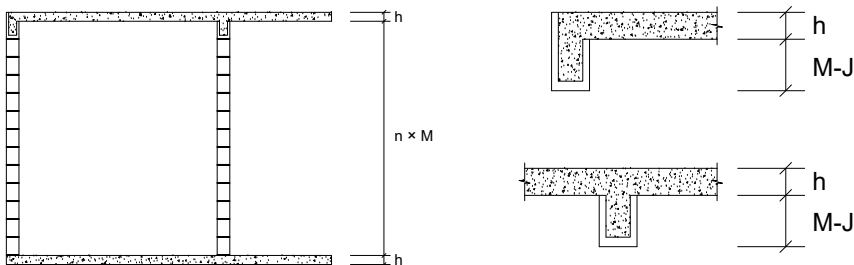
Neste caso, as paredes de extremidades terminarão com um bloco J que tem uma das suas laterais com uma altura maior que a convencional, de modo a acomodar a altura da laje. Já as paredes internas terão sua última fiada composta por blocos canaleta comuns. Em casos em que não se pretenda ou não se possa utilizar blocos J, mesmo nas paredes externas poderão ser utilizados apenas blocos canaleta convencionais, realizando-se a concretagem da laje com uma fôrma auxiliar convenientemente posicionada.

b) aplicação da distância modular de piso a piso:

Nesse caso, a última fiada das paredes externas será formada por blocos J com uma das suas laterais com altura menor que a convencional, de forma a também propiciar a acomodação da espessura da laje. Já as paredes internas apresentarão, em sua última fiada, blocos compensadores, para permitir o ajuste da distância de piso a teto que não estará modulada.

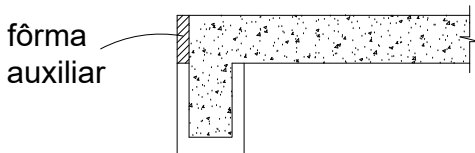
Modulação vertical - piso a teto

A imagem abaixo mostra a utilização de modulação vertical de piso a teto:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

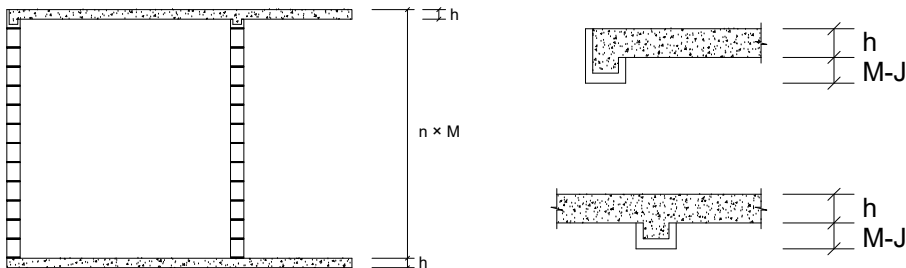
A imagem abaixo mostra uma alternativa para não necessitar de bloco J na parede externa:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Modulação vertical - piso a piso

A imagem abaixo mostra a utilização de modulação vertical de piso a piso:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

Este procedimento pode ser interessante quando o fabricante de blocos não puder fornecer blocos J e não se desejar fazer a concretagem utilizando-se fôrmas auxiliares. Os blocos canaleta comuns poderão ser cortados no canteiro, por meio de uma ferramenta adequada, permitindo que os blocos J e os compensadores possam ser obtidos com relativa facilidade

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento**
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Nomenclaturas

Grande parte das nomenclaturas utilizadas para as mais diferentes resistências estão listadas abaixo:

f_d - resistência de cálculo à compressão simples da alvenaria;

f_k - resistência característica à compressão simples da alvenaria;

f_{pd} - tensão nominal no cabo de protensão;

f_{pk} - resistência característica de compressão simples do prisma;

f_{ppk} - resistência característica de compressão simples da pequena parede;

f_{tk} - resistência característica de tração na flexão;

f_{td} - resistência de cálculo de tração na flexão;

f_{vk} - resistência característica ao cisalhamento;

f_{vd} - resistência de cálculo ao cisalhamento da alvenaria;

f_{bk} - resistência característica do bloco.

Ações a considerar

Conforme o item 8.2 da ABNT NBR 16868-1, na análise estrutural deve ser considerar a influência de todas as ações que possam produzir efeitos signitivos para a segurança da estrutura, levando-se em conta os possíveis estados-limite últimos e os de serviço. As ações classificam-se em:

a) ações permanentes: ações que apresentam valores com pequena variação em torno de sua média durante praticamente toda a vida da estrutura. Para o caso do peso próprio, podem se utilizar os seguintes valores para o peso específico da alvenaria, sem revestimentos:

- 14 kN/m^3 : alvenaria de blocos de concreto vazados;
- 12 kN/m^3 : alvenaria de blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas;
- 14 kN/m^3 : alvenaria de blocos cerâmicos vazados com paredes maciças;
- 18 kN/m^3 : alvenaria de tijolos maciços.

b) ações variáveis: ações que apresentam variação significativa em torno de sua média durante toda a vida da estrutura. Por exemplo:

- cargas acidentais: decorrentes do uso da edificação (ver ABNT NBR 6120).
- vento: devem ser consideradas de acordo com a ABNT NBR 6123.

c) ações excepcionais: ações decorrentes de explosões, impactos, incêndios, etc.

Valores de cálculo

Conforme o item 8.8.3 da ABNT NBR 16868-1, os valores de cálculo F_d são obtidos por meio dos valores representativos, multiplicados por coeficientes de ponderação, que, para os casos mais comuns são dados por:

Categoria da ação	Tipo de estrutura	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Permanentes	Edificações Tipo 1 ^a e pontes em geral	1,35	0,9
	Edificações Tipo 2 ^b	1,4	0,9
Variáveis	Edificações Tipo 1 ^a e pontes em geral	1,5	-
	Edificações Tipo 2 ^b	1,4	-

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

As observações ^a e ^b que aparecem na tabela são:

^a Edificações Tipo 1 são aquelas em que as cargas acidentais superam 5 kN/m^2 .

^b Edificações Tipo 2 são aquelas em que as cargas acidentais não superam 5 kN/m^2 .

Combinações de ações

Conforme o item 8.9.1 da ABNT NBT 16868-1, para cada tipo de carregamento, devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis para o dimensionamento das partes de uma estrutura. As ações permanentes devem ser sempre consideradas e as ações variáveis devem ser consideradas apenas quando produzirem efeitos desfavoráveis para a segurança.

As combinações últimas para cargas permanentes e variáveis são obtidas por:

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{G,k} + \gamma_q \cdot (F_{Q1,k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}) \quad (9)$$

onde:

F_d - valor de cálculo para a combinação última;

γ_g - ponderador das ações permanentes;

$F_{G,k}$ - valor característico das ações permanentes;

γ_q - ponderador das ações variáveis;

$F_{Q1,k}$ - valor característico da ação considerada principal;

$\psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}$ - valores característicos reduzidos das demais ações variáveis.

Devem ser avaliadas todas as combinações, obtendo-se o maior F_d , alternando as ações variáveis consideradas como principal e secundária.

Valores reduzidos de ações variáveis

Conforme o item 8.8.2 da ABNT NBR 16868-1, considerando que é muito baixa a probabilidade de que duas ou mais ações variáveis de naturezas diferentes ocorram com seus valores característicos de maneira simultânea, podem ser especificados os valores reduzidos para essas ações.

Para o caso de verificações de estados-limites últimos, esses valores são $\psi_0 \cdot F_k$.

Os valores de ψ_0 , para os casos mais comuns são:

Ações	Edificações	ψ_0
Cargas acidentais em edifícios	Edifícios residenciais	0,5
	Edifícios comercial	0,7
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8
Vento	Edificações em geral	0,6

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

Altura efetiva das paredes

Conforme o item 9.4.1 da ABNT NBT 16868-1, a altura efetiva de uma parede deve ser:

a) para casos em que não haja travamento lateral transversal à parede:

- à altura da parede, se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das suas extremidades superior e inferior;
- ao dobro da altura, se uma extremidade for livre e se houver travamento que restrinja conjuntamente o deslocamento horizontal e a rotação na outra extremidade superior ou inferior.

b) para casos em que haja travamento lateral transversal à parede:

$$h_e \leq \begin{cases} \alpha_v \cdot h \\ 0,7 \cdot \sqrt{\alpha_v \cdot \alpha_h \cdot h \cdot l} \end{cases} \quad (10)$$

onde:

h - altura do painel;

l - largura do painel;

α_v - coeficiente de esbeltez vertical:

= 1,0 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das suas duas extremidades superior e inferior;

= 2,5 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais em uma das extremidade superior ou inferior.

α_h - coeficiente de esbeltez horizontal:

= 1,0 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das suas duas extremidades esquerda e direita;

= 2,5 se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais em uma das extremidades esquerda ou direita;

As paredes de travamento devem ter:

- comprimento mínimo (calculado descontando a espessura da parede sendo travada) igual a 1/5 da altura da parede sendo travada;
- no mínimo a mesma espessura da parede sendo travada;
- travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das suas extremidades superior e inferior.

Espessura efetiva

Conforme o item 9.4.2 da ABNT NBT 16868-1, a espessura efetiva (t_e) de uma parede sem enrijecedores corresponde à sua espessura (t), não sendo considerados os revestimentos.

A espessura efetiva de uma parede com enrijecedores regularmente espaçados deve ser calculada de acordo com a expressão:

$$t_e = \delta \cdot t \quad (11)$$

onde:

t_e - espessura efetiva da paredes;

δ - coeficiente calculado de acordo com a tabela abaixo;

t - espessura da parede na região entre os enrijecedores.

l_{enr}/e_{enr}	$t_{enr}/t = 1$	$t_{enr}/t = 2$	$t_{enr}/t = 3$
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

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

Espessura efetiva

As variáveis apresentadas na tabela anterior são:

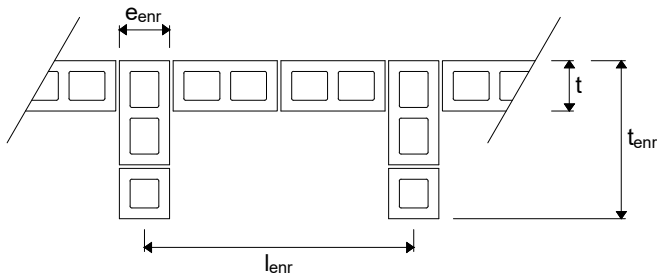
l_{enr} - espaçamento entre os eixos de enrijecedores adjacentes;

e_{enr} - espessura dos enrijecedores;

t_{enr} - comprimento dos enrijecedores;

t - espessura da parede.

A imagem abaixo auxilia na visualização das variáveis:



Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

A espessura efetiva é utilizada apenas para o cálculo do índice de esbeltez da parede, conforme expressão (15), e não pode ser utilizada para o cálculo da área da seção resistente quando a parede apresentar enrijecedores.

Resistências

Conforme o item 6.2.2.1 da NBR 16868-1, a resistência de cálculo é obtida pela resistência característica dividida pelo coeficiente de ponderação das resistências.

Conforme o item 6.2.2.2 da NBR 16868-1, os valores de γ_m para verificação no estado-limite último (ELU) estão indicados na tabela abaixo:

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

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

Para verificações do ELS, deve ser utilizado o valor de $\gamma_m = 1,0$.

Resistências - tração na flexão

Conforme o item 6.2.2.5 da ABNT NBR 16868-1, permite-se a consideração da resistência à tração da alvenaria sob flexão, segundo os valores característicos especificados na tabela abaixo, válida para assentamento com juntas verticais preenchidas.

Resistência média a compressão da argamassa	f_{tk} (MPa)	
	Direção da tração perpendicular à fiada	Direção da tração paralela à fiada
Entre 1,5 e 3,4 MPa	0,10	0,20
Entre 3,5 e 7,0 MPa	0,20	0,40
Acima de 7,0 MPa	0,25	0,50

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

Resistências - cisalhamento

Conforme o item 6.2.2.6 da ABNT NBR 16868-1, as resistências características ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes são os valores apresentados na tabela abaixo, em função da faixa de resistência da argamassa. Os valores são para assentamento com juntas verticais preenchidas durante o assentamento.

Resistência média a compressão da argamassa	f_{vk} (MPa)
Entre 1,5 e 3,4 MPa	$0,10 + 0,5 \cdot \sigma \leq 1,0$
Entre 3,5 e 7,0 MPa	$0,15 + 0,5 \cdot \sigma \leq 1,4$
Acima de 7,0 MPa	$0,35 + 0,5 \cdot \sigma \leq 1,7$

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

σ é a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente igual a 0,9 (ação favorável).

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - **Dimensionamento da alvenaria à compressão simples**
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Resistência de cálculo em paredes e pilares não armados

Conforme o item 11.2.1 da ABNT NBR 16868-1, em paredes e pilares de alvenaria estrutural, o esforço resistente de cálculo é:

- **para paredes:**

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R \quad (12)$$

- **para pilares:**

$$N_{rd} = 0,9 \cdot f_d \cdot A \cdot R \quad (13)$$

onde:

N_{rd} - força normal resistente de cálculo;

f_d - resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

A - área da seção resistente;

R - coeficiente redutor devido à esbeltez da parede, dado por:

$$R = \left[1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 \right] \quad (14)$$

onde λ é o índice de esbeltez, dado por:

$$\lambda = \frac{h_e}{t_e} \quad (15)$$

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - **Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão**
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Resistência de cálculo em paredes e pilares não armados

Conforme o item 11.5.2 da ABNT NBR 16868-1, para o dimensionamento de elementos de alvenaria submetidos à flexocompressão, as tensões normais de compressão devem satisfazer:

$$\frac{N_d}{A \cdot R} + \frac{M_d}{W \cdot K} \leq f_d \quad (16)$$

onde:

N_d - força normal de cálculo;

M_d - momento fletor solicitante de cálculo;

f_d - resistência à compressão de cálculo de alvenaria;

A - área da seção resistente;

W - mínimo módulo de resistência à flexão da seção resistente;

R - coeficiente redutor devido à esbeltez do elemento;

K - fator que ajusta a resistência à compressão na flexão. Para regiões não grauteada, o valor é de 1,5, e, para regiões de alvenaria grauteada, é de 2,0.

Para o caso de extremidades não serem travadas por flange, o valor de K deve ser multiplicado por R . No caso de existir tensão de tração, seu valor máximo fica limitado à resistência de tração de cálculo da alvenaria f_{td} .

Limite do índice de esbeltez

Conforme o item 10.1.2 da ABNT NBR 16868-1, os limites para o índice de esbeltez são dados por:

- Paredes e pilares não armados:

$$\lambda_{lim} = 24 \quad (17)$$

Em casos de construções habitacionais térreas, admitem-se paredes não armadas com índice de esbeltez menor ou igual a 30, desde que o coeficiente ponderador da resistência da alvenaria seja considerado igual a $\gamma_m = 3,0$.

- Paredes e pilares armados:

$$\lambda_{lim} = 30 \quad (18)$$

Deve-se respeitar as armaduras mínimas.

- **Paredes muito esbeltas:** sem limites, desde que seja seguido o que prescreve o Anexo C da ABNT NBR 16868-1.

Resistência bloco

Conforme o item 6.2.2.3 da ABNT NBR 16868-1, a resistência característica à compressão simples da alvenaria f_k deve ser determinada com base no ensaio de paredes.

No caso de alvenaria de blocos de 19cm de altura e junta de argamassa de 1cm, esse valor pode ser estimado como:

$$f_k = 0,7 \cdot f_{pk} \quad (19)$$

ou:

$$f_k = 0,85 \cdot f_{ppk} \quad (20)$$

onde:

f_{pk} - resistência característica de compressão simples de prisma;

f_{ppk} - resistência característica de compressão simples da pequena parede.

As resistências características de paredes ou prismas devem ser determinadas de acordo com as especificações da ABNT NBR 16868-3.

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Verificação da segurança

A tensão de cisalhamento de cálculo, τ_{vd} , não pode superar a resistência de cálculo obtida a partir dos valores característicos da resistência ao cisalhamento, f_{vk} , ou seja:

$$\tau_{vd} \leq \frac{f_{fk}}{\gamma_m} \quad (21)$$

Conforme o item 11.4.1 da ABNT NBR 16868-1, a tensão de cisalhamento deve ser calculada conforme:

- para peças de alvenaria não armada:

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b \cdot h} \quad (22)$$

- para peças de alvenaria armada:

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b \cdot d} \quad (23)$$

1 Introdução

2 Componentes da alvenaria estrutural

3 Modulação

4 Dimensionamento

- Ações na análise estrutural
- Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
- Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
- Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento

5 Carregamento horizontal

- Estruturas de contraventamento
- Ação do vento
- Efeito de desaprumo
- Parâmetro de instabilidade α
- Coeficiente γ_z

6 Referências

Introdução

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), supõe que as ações horizontais sejam distribuídas aos painéis de contraventamento pelas lajes dos pavimentos. Para tal, as lajes são usualmente consideradas como diafragmas rígidos em seu próprio plano. Nesse caso, deve-se tomar muito cuidado para que essa suposição seja respeitada quando da definição do processo construtivo da edificação. Lajes pré-moldadas devem ser utilizadas com restrições, em especial para edifícios acima de cinco ou seis pavimentos, quando as ações horizontais tornam-se mais significativas. Mas, mesmo abaixo desse limite, seria interessante se utilizar lajes pré-moldadas com capa de concreto moldado in loco, onde armaduras podem ser adicionadas em duas direções ortogonais. Somente deste modo se pode admitir que haverá um razoável travamento dos painéis que fazem parte da estrutura de contraventamento. Em todo caso, lajes moldadas in loco são mais adequadas quando existe a necessidade de se considerar a existência de um diafragma.

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Distribuição das ações para contraventamentos simétricos

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), em contraventamentos simétricos em relação ao vento, haverá apenas translação dos pavimentos.

Considerar paredes de forma isolada é um procedimento de distribuição de ações horizontais que pode ser simples e eficiente. Cada painel assume um quinhão de carga proporcional à sua rigidez, ou, para painéis de rigidez constante ao longo da altura, proporcional ao seu momento de inércia.

Dessa forma, pode-se definir a soma de todas as inércias:

$$\sum I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (24)$$

A rigidez relativa de cada painel será:

$$R_i = I_i / \sum I \quad (25)$$

A ação em cada painel pode ser obtida fazendo:

$$F_i = F_{tot} \cdot R_i \quad (26)$$

As tensões devidas ao momento fletor podem ser encontradas utilizando-se a expressão:

$$\sigma = M/W \quad (27)$$

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armada à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Determinação das forças estáticas devidas ao vento

Conforme o item 4.2 da ABNT NBR 6123, a pressão dinâmica é dada por:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (28)$$

Sendo q dado em N/m^2 e V_k em m/s .

Na expressão (28):

V_k - velocidade característica do vento, dada por:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (29)$$

onde:

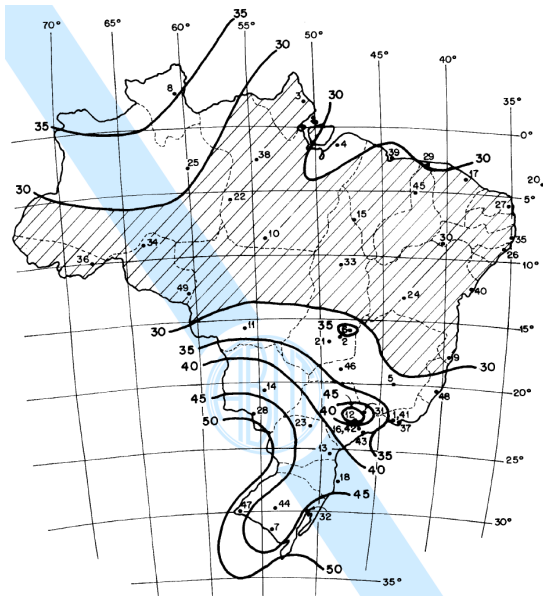
V_0 - velocidade básica do vento, adequada ao local onde a estrutura será construída. Conforme o item 5.1 da NBR 6123, é a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano. No slide seguinte é mostrado o gráfico das isopletas das velocidades básicas no Brasil.

S_1 - fator topográfico;

S_2 - fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 - fator estatístico.

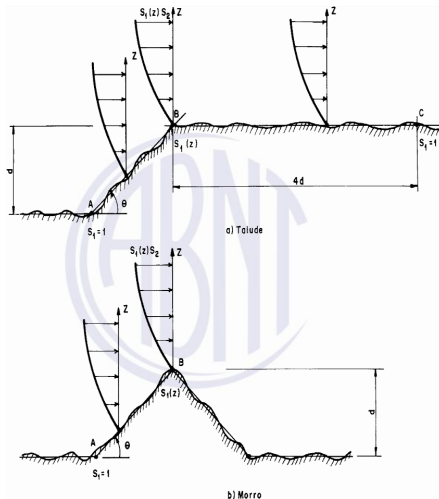
Mapa das isopletas



Fonte: ABNT NBR 6118.

Fator topográfico S_1

Os valores para o fator topográfico S_1 estão no item 5.2 da ABNT NBR 6123. Para terrenos planos ou fracamente acidentados, $S_1 = 1,0$; para vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção, $S_1 = 0,9$.



Fonte: ABNT NBR 6118.

Fator topográfico S_1

Para taludes e morros (ver imagem no slide anterior):

- para os pontos A (morros) e nos pontos A e C (taludes):

$$S_1 = 1,0 \quad (30)$$

- no ponto B para $\theta \leq 3^\circ$:

$$S_1(z) = 1,0 \quad (31)$$

- no ponto B para $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$:

$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot \text{tg}(\theta - 3) \geq 1 \quad (32)$$

- no ponto B para $\theta \geq 45^\circ$:

$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot 0,31 \geq 1 \quad (33)$$

onde:

z - altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;

d - diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro;

θ - inclinação média do talude ou escosta do morro. Para valores de θ não indicado acima, interpolar linearmente.

Rugosidade do terreno:

Categoria I: superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente, como:

- mar calmo;
- lagos e rios;
- pântanos sem vegetação.

Categoria II: terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas, como:

- zonas costeiras planas;
- pântanos com vegetação rala;
- campos de aviação;
- pradarias e charnecas;
- fazendas sem sebes ou muros.

Categoria III: terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas, como:

- granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos;
- fazendas com sebes e/ou muros;

- subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

Categoria IV: terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada, como:

- zonas de parques e bosques com muitas árvores;
- cidades pequenas e seus arredores;
- subúrbios densamente construídos de grandes cidades;
- áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

Categoria V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados, como:

- florestas com árvores altas, de copas isoladas;
- centros de grandes cidades;
- complexos industriais bem desenvolvidos.

Dimensões da edificação:

Classe A: edificações cuja maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m;

Classe B: edificações ou partes de edificações cuja maior dimensão horizontal ou vertical tenha entre 20 e 50 m;

Classe C: edificações ou parte de edificações em que uma dimensão horizontal ou vertical exceda 50 m.

Fator S_2

O fator S_2 , para uma dada altura z acima do nível geral é:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (z/10)^p \quad (34)$$

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,1
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

O fator de rajada F_r é sempre o correspondente à categoria II.

Fator S_3

Conforme o item 5.4 da ABNT NBR 6123, o fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Fonte: adaptado da ABNT NBR 16868-1.

Determinação das forças estáticas devidas ao vento

Conforme o item 4.2.3 da ABNT NBR 6123, a componente da força global na direção do vento, força de arrasto F_a é obtida por:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (35)$$

onde:

q - pressão dinâmica do vento.

A_e - área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento;

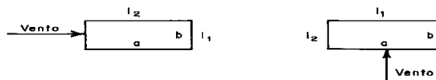
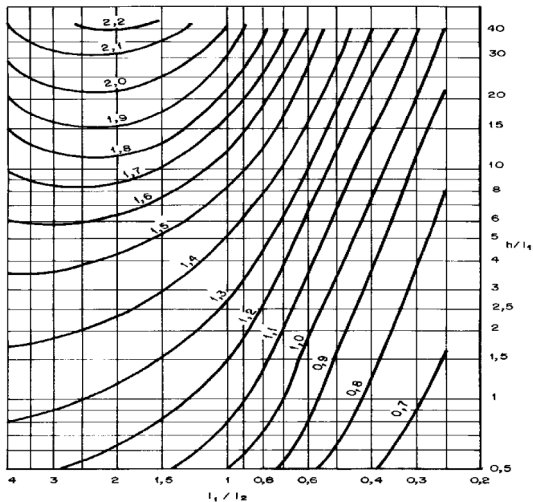
C_a - coeficiente de arrasto.

O valor de C_a , depende do vento ser de baixa ou alta turbulência.

Conforme o item 6.5.2 da ABNT NBR 6123, uma edificação pode ser considerada em vento de alta turbulência quando sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças, estendendo-se estas, na direção e no sentido do vento incidente, a uma distância mínima de:

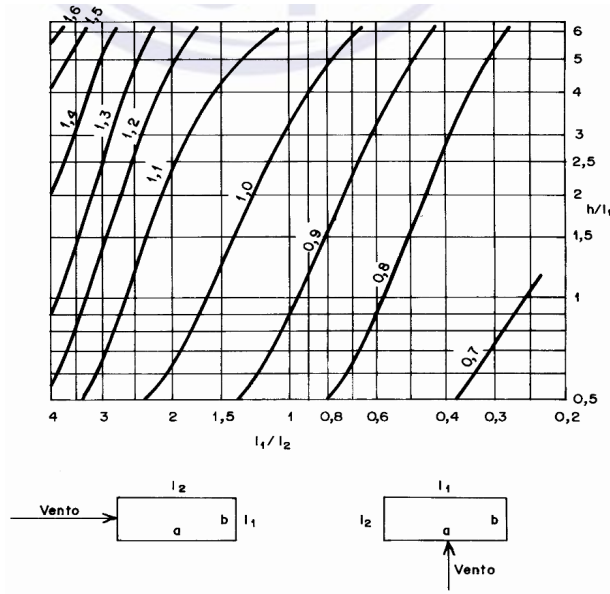
- 500 m, para uma edificação de até 40 m de altura;
- 1000 m, para uma edificação de até 55 m de altura;
- 2000 m, para uma edificação de até 70m de altura;
- 3000 m, para uma edificação de até 80 m de altura.

Coeficiente de arrasto C_a - vento de baixa turbulência



Fonte: ABNT NBR 6118.

Coeficiente de arrasto C_a - vento de alta turbulência

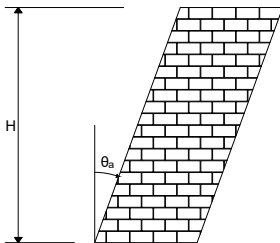


Fonte: ABNT NBR 6118.

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armada à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - **Efeito de desaprumo**
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Desaprumo

Conforme o item 8.3.2.2 da ABNT 16868-1, para edifícios de andares múltiplos, deve ser considerado um desaprumo global, pelo ângulo de desaprumo θ_a , em radianos, conforme imagem que segue:



Fonte: adaptado de ABNT NBR 16868-1.

O ângulo de desaprumo é calculado conforme:

$$\theta_a = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} \leq \frac{1}{40 \cdot H} \quad (36)$$

onde:

H - altura total da edificação, expressa em metros (m).

Desaprumo

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), através do ângulo θ_a , pode-se determinar uma ação horizontal equivalente, a ser aplicada ao nível de cada pavimento, através de:

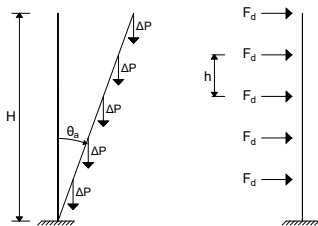
$$F_d = \Delta P \cdot \theta_a \quad (37)$$

em que:

F_d - força horizontal equivalente ao desaprumo;

ΔP - peso total do pavimento considerado.

Essas forças (indicadas na imagem abaixo) podem ser simplesmente somadas à ação dos ventos, permitindo que a consideração desse efeito seja feita de forma simples e segura:



Fonte: adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - **Parâmetro de instabilidade α**
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Conforme o item 15.5.2 da NBR 6118, uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade α for menor que o valor α_1 , conforme a expressão:

$$\alpha = H_{tot} \cdot \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (38)$$

onde:

$$\alpha_1 = \begin{cases} n \leq 3 \rightarrow 0,2 + 0,1n \\ n \geq 4 \rightarrow 0,6 \end{cases}$$

onde:

n - número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

H_{tot} - altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

N_k - o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$E_{cs} I_c$ - representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs} I_c$ de um pilar equivalente de seção constante. ▶

O valor de I_c deve ser calculado considerando as seções brutas dos pilares.

A rigidez do pilar equivalente deve ser determinada da seguinte forma:

- calcular o deslocamento do topo da estrutura de contraventamento, sob a ação do carregamento horizontal na direção considerada;
- calcular a rigidez de um pilar equivalente de seção constante, engastado na base e livre no topo, de mesma altura H_{tot} , tal que, sob a ação do mesmo carregamento, sofra o mesmo deslocamento no topo.

O valor-limite $\alpha_1 = 0,6$ prescrito para $n \geq 4$ é, em geral, aplicável às estruturas usuais de edifícios.

Para associações de pilares-parede e para pórticos associados a pilares-parede, adotar $\alpha_1 = 0,6$.

No caso de contraventamento constituído exclusivamente por pilares-parede, adotar $\alpha_1 = 0,7$.

Quando só houver pórticos, adotar $\alpha_1 = 0,5$.

- 1 Introdução
- 2 Componentes da alvenaria estrutural
- 3 Modulação
- 4 Dimensionamento
 - Ações na análise estrutural
 - Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
 - Dimensionamento da alvenaria não armada à flexocompressão
 - Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento
- 5 Carregamento horizontal
 - Estruturas de contraventamento
 - Ação do vento
 - Efeito de desaprumo
 - Parâmetro de instabilidade α
 - Coeficiente γ_z
- 6 Referências

Conforme o item 15.5.3 da NBR 6118, o coeficiente γ_z de avaliação da importância dos esforços de segunda ordem globais é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de 1ª ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez dados na NLF aproximada. O valor de γ_z para cada combinação de carregamento é dado pela expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (39)$$

onde:

$M_{1,tot,d}$ - é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ - é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

A estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição $\gamma_z \leq 1,1$

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a vantagem do γ_z é que o parâmetro é um bom estimador do acréscimo de segunda ordem até, pelo menos, o valor 1,20. Assim sendo, pode-se, obtido um valor entre 1,10 e 1,20, utilizar o próprio parâmetro como multiplicador de esforços de primeira ordem para a obtenção dos de segunda ordem, ou seja:

$$M_2 = \gamma_z \cdot M_1 \quad (40)$$

onde:

M_1 - esforço de 1ª ordem;

M_2 - esforço de 2ª ordem;

γ_z - parâmetro com valor entre 1,1 e 1,2.

1 Introdução

2 Componentes da alvenaria estrutural

3 Modulação

4 Dimensionamento

- Ações na análise estrutural
- Dimensionamento da alvenaria à compressão simples
- Dimensionamento da alvenaria não armadas à flexocompressão
- Dimensionamento de alvenaria submetida ao cisalhamento

5 Carregamento horizontal

- Estruturas de contraventamento
- Ação do vento
- Efeito de desaprumo
- Parâmetro de instabilidade α
- Coeficiente γ_z

6 Referências

Referências citadas e consultadas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-1:**

Alvenaria estrutural. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-2:**

Alvenaria estrutural. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-3:**

Alvenaria estrutural. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:** Blocos

vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1:**

Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2:**

Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

Referências citadas e consultadas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873:**

Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:**

projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120:**

cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** Forças

devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural:** materiais, projeto e desempenho. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2020.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2003.