

ALVENARIA ESTRUTURAL

PROCESSO CONSTRUTIVO RACIONALIZADO

Curso de extensão - Área de Ciências Exatas e Tecnológicas

Período: de 15 a 31/05/2007
Carga horária: 20h

Professor:
Cristiano Richter, M.Sc.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
2 PRINCÍPIOS DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ALVENARIA ESTRUTURAL.....	07
2.1 Tipos de alvenaria.....	09
2.2 Paredes como elementos estruturais.....	10
3 UNIDADES DE ALVENARIA.....	11
3.1 Tipos de unidades de alvenaria.....	11
3.1.1 <i>Quanto à natureza do material.....</i>	<i>11</i>
3.1.2 <i>Quanto à função.....</i>	<i>12</i>
3.1.3 <i>Quanto às dimensões.....</i>	<i>12</i>
3.2 Unidades cerâmicas.....	13
3.3 Unidades de concreto.....	14
3.4 Unidades de sílico-calcário.....	15
3.5 Argamassa de assentamento.....	16
3.5.1 <i>Funções da argamassa.....</i>	<i>16</i>
3.5.2 <i>Propriedades da argamassa.....</i>	<i>17</i>
3.5.2.1 <i>Argamassas no estado fresco.....</i>	<i>17</i>
3.5.2.2 <i>Argamassas no estado endurecido.....</i>	<i>18</i>
3.5.3 <i>Tipos de argamassa.....</i>	<i>20</i>
3.5.4 <i>Juntas de argamassa.....</i>	<i>21</i>
3.6 Graute.....	23
4 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA ALVENARIA.....	24
5 PROJETOS.....	27
5.1 Coordenação de projetos.....	28
5.2 Projeto Arquitetônico.....	29
5.2.1 <i>Condicionantes do projeto.....</i>	<i>30</i>
5.2.2 <i>Simplificação do projeto.....</i>	<i>30</i>
5.2.3 <i>Simetria.....</i>	<i>31</i>
5.2.4 <i>Modulação.....</i>	<i>31</i>
5.2.5 <i>Amarração das paredes.....</i>	<i>33</i>
5.2.6 <i>Juntas de controle ou de movimentação.....</i>	<i>34</i>

5.2.7 lajes.....	36
5.2.8 Vergas e contra-vergas.....	36
5.2.9 Cintas de respaldo.....	37
5.3 Projeto Executivo.....	37
5.3.1 Planta baixa.....	38
5.3.2 Elevação das paredes.....	39
5.3.3 Detalhes construtivos.....	40
5.4 Projeto hidrosanitário.....	41
5.5 Projeto elétrico.....	42
5.6 Projetos complementares.....	43
6 EXECUÇÃO DE OBRAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL.....	44
6.1 Ferramentas e equipamentos.....	44
6.2 Marcação da alvenaria.....	45
6.3 Elevação das paredes.....	46
7 CONTROLE TECNOLÓGICO.....	50
7.1 Controle de recebimento (ou de aceitação) de materiais e componentes.....	50
7.2 Controle de aceitação da alvenaria.....	52
7.3 Controle de produção de paredes estruturais e da estrutura do edifício.....	53
8 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL.....	54
8.1 Mecanismos de formação das fissuras em alvenaria.....	54
8.2 Classificação das fissuras em alvenaria.....	55
8.3 Configurações típicas das fissuras de alvenaria estrutural.....	56
8.3.1 Fissuras causadas por variação de temperatura.....	56
8.3.2 Fissuras causadas por excessivo carregamento de compressão.....	59
8.3.3 Fissuras causadas por retração.....	60
8.3.4 Fissuras causadas por recalque de fundações.....	63
8.3.5 Fissuras causadas por reações químicas.....	65
9 REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria é um material de construção tradicional que tem sido usado há milhares de anos (DUARTE, 1999). Segundo o mesmo autor, as edificações em alvenaria estão entre as construções que têm maior aceitação pelo homem, não somente hoje, como também nas civilizações antigas.

Segundo Hendry (2002), a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de construção civil por volta do século XVII quando os princípios de estatística foram aplicados para a investigação da estabilidade de arcos e domos. Embora no período entre os séculos 19 e 20 tivessem sido realizados testes de resistência dos elementos da alvenaria estrutural em vários países, ainda se elaborava o projeto de alvenaria estrutural de acordo com métodos empíricos de cálculo, apresentando, assim, grandes limitações (HENDRY, 2002).

Nesta época (entre os séculos 19 e 20), edifícios em alvenaria estrutural foram construídos com espessuras excessivas de paredes (HENDRY, 2002), como por exemplo o edifício Monadnock em Chicago, que se tornou um símbolo da moderna alvenaria estrutural, mesmo com suas paredes da base de 1,80m (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Este edifício foi considerado na época como limite dimensional máximo para estruturas de alvenaria calculadas pelos métodos empíricos (ABCI, 1990). Acredita-se que se este edifício fosse dimensionado pelos procedimentos utilizados atualmente, com os mesmos materiais, esta espessura seria inferior a 30cm (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

A perda de espaço e baixa velocidade de construção evidenciam a baixa aceitação de edifícios altos em alvenaria portante na época frente à emergente alternativa de estruturas de concreto armado (HENDRY, 2002). Assim, os edifícios em alvenaria estrutural tiveram pouca aplicação durante um período de 50 anos (HENDRY, 2002).

Somente na década de 50 houve novamente um aumento no interesse pela construção de edifícios em alvenaria estrutural (HENDRY, 2002), pois a segunda guerra mundial (1939 – 1945) causou uma escassez dos materiais de construção na Europa, principalmente do aço. Assim, nesta época foram construídos alguns edifícios em alvenarias estruturais,

principalmente na Suíça, pela inexistência de indústrias de aço na região (HENDRY, 2002). Segundo Ramalho e Corrêa (2003), um edifício construído em 1950 na Basiléia, Suíça, com 13 pavimentos foi um marco importante na história da alvenaria estrutural, pois suas paredes internas foram reduzidas à espessura de 15cm e as paredes externas a 37,5cm de espessura.

Nas décadas seguintes (60 e 70) o interesse pela alvenaria estrutural avançou para outros países da Europa, como, por exemplo, a Inglaterra, onde foram construídos diversos edifícios em alvenaria estrutural promovidos principalmente por programas públicos (HENDRY, 2002).

No Brasil, a alvenaria estrutural é utilizada desde o início do século XVII. Entretanto, a alvenaria estrutural com blocos estruturais, encarada como um processo construtivo voltado para a obtenção de edifícios mais econômicos e racionais, demorou muito a encontrar seu espaço (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A partir da década de 70 no Brasil, a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de engenharia, através do projeto estrutural baseado em princípios validados cientificamente (RAMALHO; CORRÊA, 2003) e da execução com critérios mais bem definidos. Segundo os mesmos autores, apesar de sua chegada tardia, o processo construtivo de alvenaria estrutural acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edifícios residenciais e também industriais.

Após anos de adaptação e desenvolvimento no país, esta tecnologia construtiva foi consolidada na década de 80, através da normalização oficial consistente e razoavelmente ampla (SABATTINI, 2003). Um exemplo da aplicação intensa da alvenaria estrutural no Brasil são os empreendimentos habitacionais de baixa renda, que vem sendo desenvolvidos no Brasil em grande escala. Somente no estado do Rio Grande do Sul, segundo um levantamento realizado em maio de 2006 pela CAIXA/RS, o processo construtivo de alvenaria estrutural foi utilizado em 76% destes empreendimentos concluídos no estado. Até a data deste levantamento, todos os empreendimentos em execução se utilizavam deste processo construtivo.

Observa-se que a tendência de utilização deste processo construtivo é crescente. Atualmente inúmeros empreendimentos são lançados com esta tecnologia construtiva racional como um meio de alcançar uma redução dos custos dos empreendimentos sem perder em qualidade.

2 PRINCÍPIOS DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as paredes atuam como a própria estrutura da edificação e têm a função de resistir às cargas verticais, bem como às cargas laterais. As cargas verticais são devidas ao peso próprio da estrutura e às cargas de ocupação. As cargas laterais, por sua vez, originam-se da ação do vento e/ou do desaprumo. Estas são absorvidas pelas lajes e transmitidas às paredes estruturais paralelas à direção do esforço lateral (ROMAN, et al., 2005).

Uma parede de alvenaria pode suportar pesadas cargas verticais. No entanto, quando esta for submetida a cargas laterais paralelas ou perpendiculares ao seu plano, pode romper devido aos esforços de tração que eventualmente venham a aparecer. O grande desafio do projetista estrutural consiste, portanto, em minimizar ou em evitar tensões de trações que possam vir a aparecer (ROMAN, et al., 2005).

Assim, diferente das estruturas lineares e reticuladas dos sistemas de concreto armado, aço ou madeira (figura 01-a), no sistema de alvenaria estrutural a estrutura é laminar (figura 01-b). Neste caso, a alvenaria estrutural necessita de procedimentos de cálculo diferentes dos tomados em outros tipos de estruturas. Por serem diferentes, com filosofias distintas, o projetista e o construtor não devem conceber soluções com base em conhecimentos e procedimentos aplicáveis ao concreto armado. Devem pensar alvenaria estrutural (SANTOS, 1988).

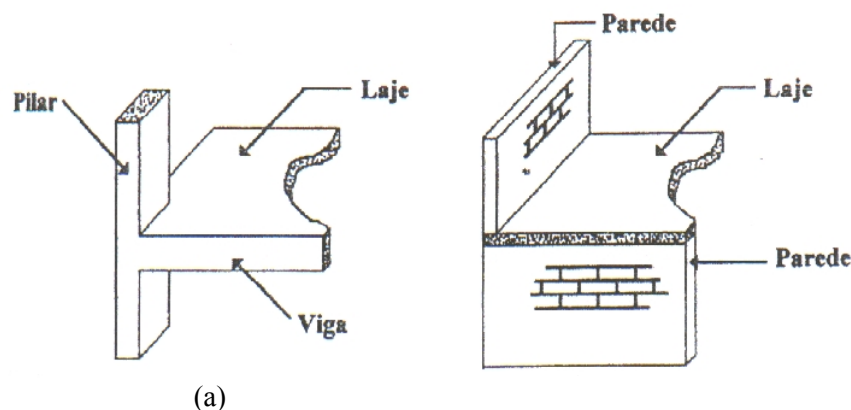


Figura 01: (a) estrutura linear (reticuladas) e (b) estrutura laminar

Na alvenaria estrutural, pela dupla função de vedação e de resistência que seus elementos básicos (paredes) desempenham nas edificações, o subsistema estrutural confunde-se com o próprio processo construtivo (SANTOS, 1988).

A base de projetos em Alvenaria Estrutural se assenta no princípio de que a alvenaria pode suportar grandes tensões de compressão, mas pequenas tensões de tração. Todo momento fletor, que, sem pré-compressão causa tração, deve ser evitado. Logo, aumentando a compressão, diminui-se a possibilidade de aparecimento de esforços de tração na alvenaria (SANTOS, 1988).

As formas de se otimizar o projeto estrutural são diversas. Para conferir estabilidade estrutural à edificação, com menor custo de materiais e mão de obra, pode-se aumentar a inércia das paredes, se necessário, ou com um projeto arquitetônico em que ocorre a distribuição das paredes de forma que cada uma atue como elemento enrijecedor e estabilizador de outra.

Deve-se desenvolver um projeto arquitetônico capaz de atender tanto às exigências estruturais quanto às funcionais a que se destina o prédio. As escadas, poço de elevadores e de condução de eletrodutos são importantes para a obtenção de rigidez lateral, como por exemplo (SANTOS, 1988).

A forma e a distribuição das paredes estruturais de um edifício dependerá da função a que ele se destina e das condições do local da edificação. Existe grande variedade de arranjos possíveis, que, de maneira geral, diferem entre si na definição das paredes que deverão suportar as cargas verticais e horizontais. Os principais tipos de arranjo de paredes em alvenaria são apresentados na figura 02.

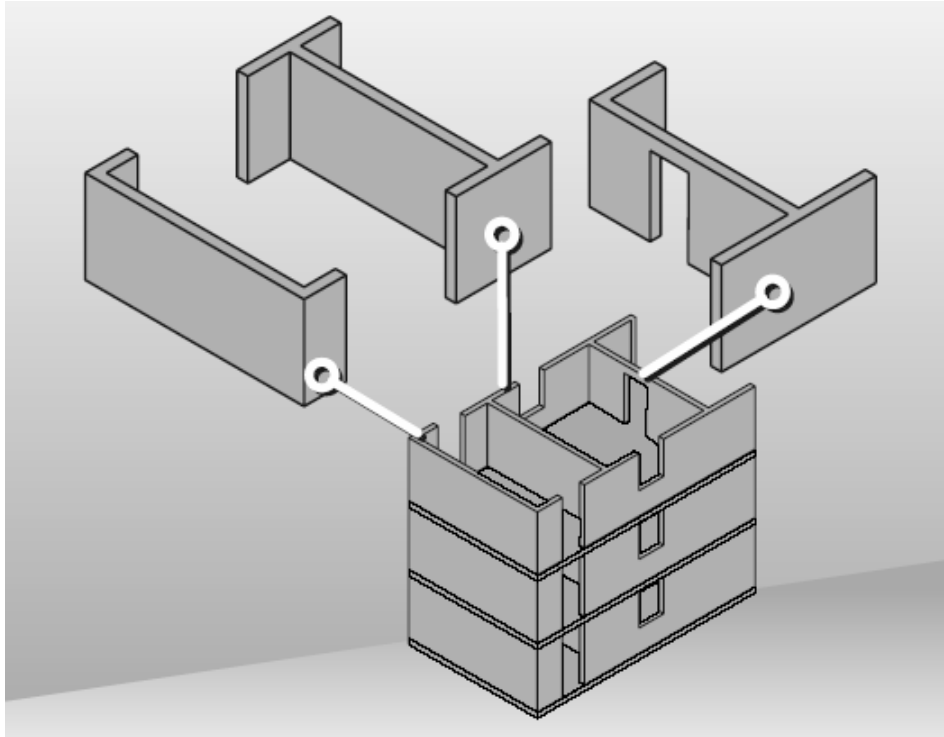


Figura 02: tipos de arranjos de paredes (ROMAN, et al., 2005)

Outro princípio fundamental do processo construtivo de alvenaria estrutural é a indispensável interligação entre os vários projetos complementares, para que um não interfira nos outros, o que reverteria em prejuízo para o produto final. A ação da racionalização na fase de execução dos empreendimentos torna-se efetiva quando for aplicada coerentemente com um projeto desenvolvido segundo os mesmos princípios (ROMAN, et al., 2005).

2.1 Tipos de alvenaria

Condicionada à função das armaduras, a alvenaria estrutural pode se subdividir em:

- a) **Alvenaria Estrutural não armada:** quando os reforços de aço (barras, fios e telas) ocorrem apenas por finalidades construtivas. As armaduras não são consideradas na absorção dos esforços, mas são importantes para dar ductilidade à estrutura e evitar ou diminuir a fissuração em pontos de concentração de tensões. Além disso, as armaduras podem colaborar para a segurança contra cargas não previsíveis, podendo impedir o colapso progressivo.

- b) **Alvenaria Estrutural Armada:** quando a alvenaria é reforçada devido à exigências estruturais. Neste caso, a alvenaria possui armaduras colocadas em alguns vazados dos blocos, devidamente envolvidas por graute, para absorver os esforços calculados, além das armaduras construtivas e de amarração.
- c) **Alvenaria Estrutural parcialmente armada:** quando parte da estrutura tem paredes com armaduras para resistir aos esforços calculados, além das armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, sendo as paredes restantes consideradas não armadas.
- d) **Alvenaria Estrutural protendida:** Esta forma de alvenaria é reforçada por uma armadura ativa (pré-tensionada), que submete a alvenaria a esforços de compressão. Difundida na Inglaterra, ainda não é utilizada no Brasil.

2.2 Paredes como elementos estruturais

As paredes são os elementos estruturais da alvenaria. São definidos como elemento laminar vertical apoiado de modo contínuo em toda a sua base, com comprimento maior que cinco vezes a espessura. De acordo com a função estrutural que exercem, as paredes são definidas como:

- a) **Paredes de vedação:** são aquelas que resistem apenas o próprio peso e tem função de separação de ambientes internos ou de fechamento externo. Não tem nenhuma responsabilidade estrutural.
- b) **Paredes estruturais:** têm a função de resistir todas as cargas verticais, de peso próprio e acidental aplicadas sobre elas.
- c) **Paredes de contraventamento:** são as paredes estruturais projetadas para suportarem as cargas horizontais, originadas especialmente pela ação dos ventos, paralelas ao seu plano.
- d) **Paredes enrijecedoras:** têm a função de enrijecerem as paredes estruturais contra a flambagem.
- e) **Pilares de alvenaria:** são todos os elementos estruturais em que as secções retangulares, utilizadas no cálculo do esforço resistente, possuem relação de lados inferior ou igual a cinco.

3 UNIDADES DE ALVENARIA

Os materiais usados para alvenaria estrutural são as unidades de alvenaria, vazadas ou maciças, as argamassas e o graute. A resistência final da alvenaria, bem como outras características fundamentais são dependentes da composição entre estes materiais.

O comportamento dos diferentes materiais ao formarem a parede pode variar muito, dependendo de vários fatores, tais como o tipo e a geometria da unidade, os componentes da argamassa, a resistência do graute, dentre outros. Entender o comportamento estrutural das paredes de alvenaria em função dos materiais utilizados é de fundamental importância, tanto na etapa de projeto quanto na de execução. A especificação incorreta dos mesmos pode levar à ocorrência de patologias ou, mesmo, de colapso da estrutura. Da mesma forma, também a falta de cuidado no processo de construção, seja pelo uso de unidades inadequadas, seja pela mistura incorreta das argamassas e grautes, pode causar danos à estrutura.

3.1 Tipos de unidades de alvenaria

As unidades de alvenaria (tijolos e blocos) mais utilizadas no Brasil podem ser divididas basicamente quanto a sua natureza, sua função e quanto a suas dimensões (ROMAN, et al., 2005).

3.1.1 *Quanto à natureza do material*

- a) **Cerâmico:** unidades fabricadas a partir de uma mistura de argila, normalmente moldadas por extrusão.
- b) **Concreto:** unidades produzidas a partir de uma mistura de cimento, areia e brita, moldadas por vibro-prensagem.
- c) **Sílico-calcário:** unidades compostas por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal e areia quartzosa, moldadas por prensagem e curadas por vapor a alta pressão.

- d) **Solo-cimento:** unidades constituídas por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento, água e, eventualmente, aditivos em proporções que atendam às exigências da NBR 8491/1984 (tijolo maciço de solo-cimento).

3.1.2 Quanto à função

- a) **Vedação:** são tijolos e blocos projetados para resistirem apenas às cargas devidas ao peso próprio e a pequenas cargas de ocupação.
- b) **Estruturais:** são tijolos maciços e blocos projetados para serem assentados com os furos na vertical e que têm a finalidade de resistir a cargas verticais, bem como a seu peso próprio. Diferentes formatos de unidades foram desenvolvidos com o objetivo de se ajustarem a uma função específica, como por exemplo os blocos canaletas (utilizado para a confecção de vergas e contravergas pré-moldadas e para vigas de cintamento); blocos hidráulico/elétrico (acomodam as tubulações de água, de energia elétrica, de gás, dentre outras instalações); e, bloco J (utilizado para cintamento de paredes externas e concretagem de lajes moldadas in loco).

3.1.3 Quanto às dimensões

Segundo a Norma Brasileira, as dimensões das unidades de alvenaria podem ser classificadas em nominais e reais. As dimensões reais são as efetivadas pela fabricação. As dimensões nominais são as reais, acrescidas de 1 (um) cm para a argamassa e as especificadas pelo fabricante. A norma especifica várias dimensões de unidades e admite que outras dimensões podem ser utilizadas, desde que previamente acordadas entre o fabricante e o consumidor.

Do ponto de vista estrutural, as unidades de alvenaria são fundamentais para que a parede desenvolva as características mecânicas adequadas à sua segurança, especialmente em relação à resistência à compressão. **Além de resistência à compressão adequada ao carregamento a que a parede estará submetida nas condições de uso, a unidade de alvenaria deverá apresentar também baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional.**

A qualidade das unidades de alvenaria fabricadas no Brasil, para todos os tipos de materiais, é bastante variada, existindo produtos de alta qualidade, frutos de processos de fabricação modernos e produtos de qualidade bastante duvidosa. Estes últimos são geralmente fabricados por cerâmicas e fábricas de blocos de concreto bastante rudimentares, que, além de utilizarem matéria prima de má qualidade, não exercem controle adequado de produção. É importante que o projetista e o executor de edificações em alvenaria estrutural sejam bastante cuidadosos no momento de definirem a unidade de alvenaria a ser utilizada, estabelecendo formas de controle de qualidade da mesma, quanto às características físicas e mecânicas dela.

3.2 Unidades cerâmicas

O ingrediente básico das unidades cerâmicas é a argila. A argila é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária ou não calcária. No primeiro caso, a argila, quando cozida, produz um bloco ou tijolo de cor amarelada. A não calcária contém de 2 a 10% de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos dependendo da quantidade do óxido de ferro.

A argila apropriada para a fabricação de blocos e tijolos deve ter plasticidade quando misturada com água, de tal maneira que possa ser moldada; deve ter suficiente resistência à tração para manter o formato depois de moldada; enfim, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas.

Todas as propriedades físicas dos materiais cerâmicos são influenciadas pela composição da matéria prima usada e pelo processo de fabricação. Encontram-se unidades com resistências baixas, em torno de 3 MPa, e outras de elevadas resistências, que podem atingir mais de 100 MPa.

A norma brasileira NBR 7171, de novembro de 1994, divide as unidades cerâmicas em dois tipos: tijolo e bloco. O tijolo possui todas as faces plenas de material, enquanto que o bloco apresenta furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm.

A figura 03 apresenta os principais blocos cerâmicos produzidos por uma indústria cerâmica do estado do Rio Grande do Sul.

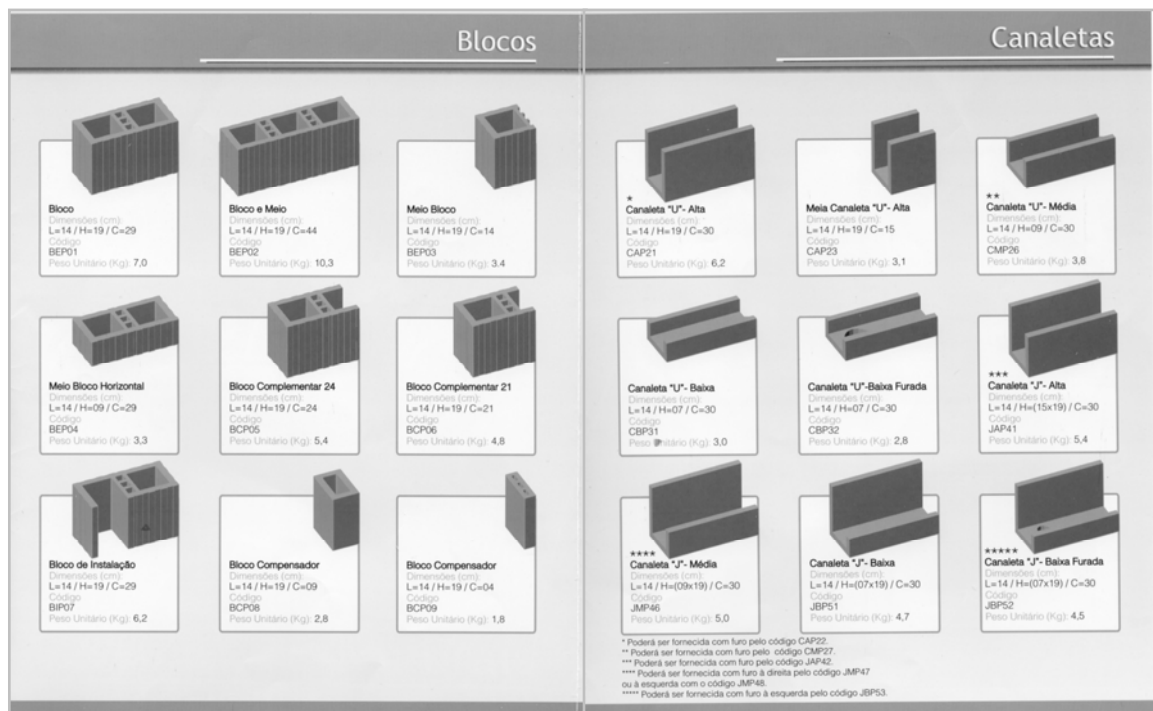


Figura 03: tipos de blocos cerâmicos

3.3 Unidades de concreto

Os blocos de concreto são unidades de alvenaria fabricadas a partir de uma mistura de cimento, agregados (areia e brita) e água. A mistura é introduzida em máquina de moldar, onde, através de uma combinação de pressão e vibração, se produz os blocos. A cura destes é produzida comumente com algum tipo de aquecimento, no intuito de acelerá-la. Os processos de fabricação e cura dos blocos devem assegurar a obtenção de um concreto suficientemente compacto (slump = zero) e homogêneo.

São fabricados vários tipos e tamanhos de blocos, com diferentes funções, os quais seguem as modulações de 15 cm ou de 20 cm, conforme a malha modular definida no projeto. A figura 04 apresenta os tipos de blocos de concreto mais fabricados no Brasil.

Os blocos comumente utilizados apresentam resistência à compressão de 4,5Mpa a 12Mpa, podendo apresentar, em casos especiais, resistências de até 20Mpa. A NBR 6136/1994 divide os blocos de concreto em classes de resistência mínima à compressão. **Para uso estrutural, os**

blocos de concreto devem apresentar resistência mínima de 4,5 MPa, conforme especificação da Norma.

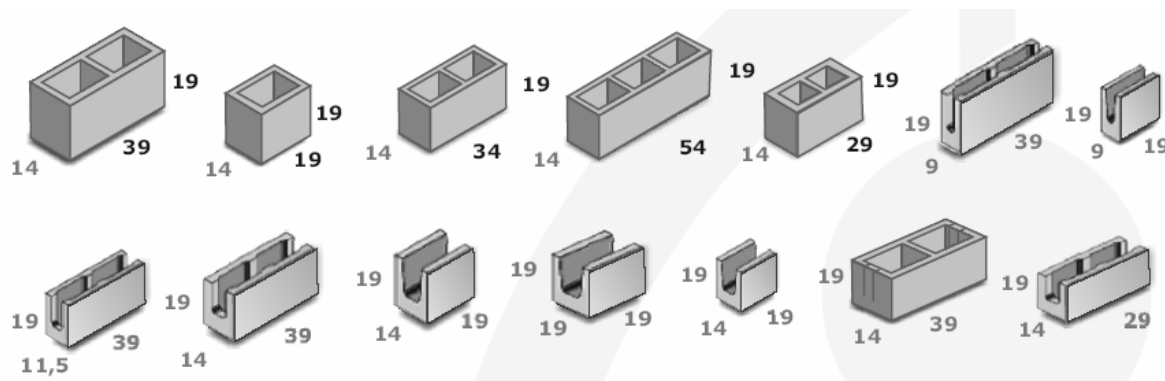


Figura 04: tipos de blocos de concreto

3.4 Unidades de sílico-calcário

Os tijolos e blocos sílico-calcário são unidades de alvenaria compostas por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal e areia quartzosa moldadas por prensagem e curadas por vapor de pressão.

As principais características das unidades sílico-calcário são a sua boa resistência, durabilidade e grande uniformidade dimensional. A resistência à compressão varia internacionalmente entre 14 e 60Mpa. No Brasil, as unidades fabricadas apresentam resistências de 6 a 20Mpa e não são comumente utilizadas. A figura 04 apresenta três exemplos de blocos de sílico-calcários.

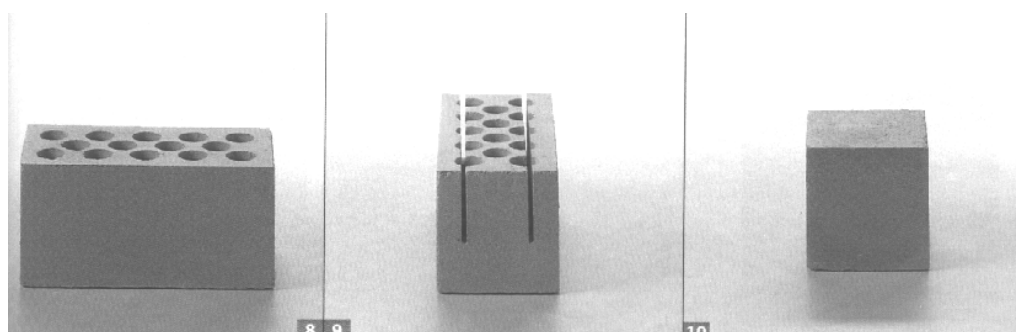


Figura 04: tipos de blocos de sílico-calcário

3.5 Argamassa de assentamento

A argamassa é material composto por um ou mais aglomerantes (cimento e cal), por um agregado miúdo (areia) e água suficiente para produzir uma mistura plástica de boa trabalhabilidade. Em alvenaria estrutural, usam-se, comumente, cimento e cal como aglomerantes, e a areia como agregado. Nos últimos anos tem crescido a oferta de argamassas industrializadas, feitas à base de cimento, areia e aditivos plastificantes.

3.5.1 Funções da argamassa

Estruturalmente, a principal função da argamassa é a transferência uniforme das tensões entre os tijolos e os blocos, compensando as irregularidades e as variações dimensionais dos mesmos. Além disto, deve unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistirem aos esforços laterais.

É importante ressaltar que, embora as argamassas de assentamento sejam compostas, na essência, pelos mesmos elementos constituintes do concreto, eles têm funções e empregos bastante distintos. Assim, não é correto utilizar procedimentos iguais aos de produção de concreto para produzir argamassas de qualidade.

Enquanto para o concreto o objetivo final é obter a maior resistência à compressão com o menor custo, para as argamassas o importante é que sejam aptas a transferir as tensões de maneira uniforme entre os blocos. Além disso, ao contrário do concreto, a argamassa não deve ser curada. Não somente pela dificuldade de executar tal operação, mas também e principalmente porque o processo de cura umedeceria as unidades de alvenaria. Isto causaria deformações de expansão e contração que prejudicariam a integridade da alvenaria, especialmente de blocos de concreto.

A argamassa é assentada sobre materiais cujas superfícies são absorventes e, além disso, fica exposta aos efeitos da evaporação. Esta capacidade de sucção das unidades de alvenaria é necessária para que haja integração com a argamassa e o conseqüente desenvolvimento de

aderência na interface dos materiais. Entretanto, se essa absorção passa de certos limites, a unidade pode absorver água indispensável à hidratação do cimento.

3.5.2 Propriedades da argamassa

3.5.2.1 Argamassas no estado fresco

A principal propriedade da argamassa no estado fresco é a **trabalhabilidade**. A trabalhabilidade é uma propriedade de difícil definição, tanto que não existe um método direto para medi-la. Em geral se mede a fluidez da argamassa. A fluidez, ou consistência pode ser definida como a porcentagem do aumento de diâmetro da base de um tronco de cone de argamassa depois de submetida a 30 impactos sucessivos em uma mesa vibratória padrão. Uma argamassa de boa trabalhabilidade apresenta fluidez entre 115 e 150 %. Entretanto, a medição de fluidez nem sempre é indicativa de boa trabalhabilidade. Misturas ásperas e destituídas de coesão, mesmo com fluidez nesta faixa, produzem argamassas inadequadas para uso em alvenaria.

A trabalhabilidade depende da combinação de vários fatores, destacando-se a qualidade do agregado, a quantidade de água usada, a consistência, a capacidade de retenção de água da argamassa, o tempo decorrido da preparação, a adesão e a fluidez.

No processo de assentamento, parte da água existente na argamassa flui em direção ao bloco em virtude das forças capilares que se formam nas proximidades da superfície de contato entre os dois materiais, e uma outra parte pode evaporar, especialmente em clima quente. A pasta, na medida em que perde água, vai se tornando menos consistente, podendo acontecer que esteja muito seca quando for assentada a próxima fiada de blocos. Por isso, é necessário que a argamassa possa conservar, no estado fresco, a consistência inicial quando submetida a solicitações que provoquem perda de água de amassamento.

Outra propriedade importante das argamassas no estado fresco é a **retentividade de água**. Retentividade é a capacidade da argamassa de reter água contra a sucção do bloco. Se o bloco for muito poroso e retirar muito rapidamente a água da argamassa, não haverá líquido suficiente para a completa hidratação do cimento. Isso resulta em uma fraca ligação entre o

bloco e a argamassa. Além disso, o endurecimento muito rápido da argamassa, pela perda de água, impede o assentamento correto da fiada seguinte.

A má retentividade de água pode ser resultante de uma má granulometria do agregado, agregados muito grandes, mistura insuficiente ou escolha errada do tipo de cimento. A argamassa ideal é aquela que apresentar alto índice de retenção de água que está associada a tensão superficial da pasta/aglomerante, logo quanto maior a superfície específica do constituinte maior a retenção de água.

A cal é um excelente retentor de água porque cede aos poucos para a hidratação do cimento mantendo a plasticidade inicial por um período maior e confere resiliência no estado endurecido a parede. Caso a argamassa for industrializada e sem cal, há a necessidade de conter um aditivo que apresente a propriedade de reter água para a hidratação do cimento.

O endurecimento é a função da hidratação, ou seja, da reação química entre o cimento e a água. Se o endurecimento for muito rápido, causará problemas no assentamento dos blocos e no acabamento das juntas, mas se for muito lento, causará atraso na construção pela espera que se fará necessária para a continuação do trabalho.

Temperaturas muito altas tendem a acelerar o endurecimento. Inversamente, clima muito frio retarda o endurecimento. Uma mistura mais homogênea espalha melhor o cimento facilitando o contato com a água e, conseqüentemente, acelera o processo de endurecimento. Cabe salientar que, em condições normais, o tempo entre a mistura e o uso da argamassa não deve exceder duas horas e meia.

3.5.2.2 Argamassas no estado endurecido

Para as argamassas no estado endurecido, uma das propriedades mais importantes é a **aderência**. Esta depende não só de uma argamassa adequada, mas também das características da interface da unidade de alvenaria. É, portanto, uma combinação do grau de contato entre a argamassa e a unidade e da adesão da pasta de cimento à superfície do bloco ou do tijolo.

A resistência de aderência é a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se.

Os fatores que influenciam o grau de contato e a adesão são a trabalhabilidade da argamassa, a retentividade, a taxa de absorção inicial do bloco, a mão de obra, a quantidade de cimento na mistura, a textura da superfície do bloco, o conteúdo de umidade do bloco, temperatura e umidade relativa do ar.

A aderência ótima é obtida com a máxima quantidade de água possível compatível com a consistência desejada, mesmo que caia a resistência à compressão face ao aumento do fator água/cimento.

Resistência de aderência é a capacidade de a interface do bloco com a argamassa absorver tensões tangenciais de cisalhamento e normais de tração, sem que haja ruptura. As variações de temperatura e umidade, assim como as cargas horizontais devidas ao vento, produzem tensões na interface que podem levar à redução da resistência de aderência. A propriedade que define a manutenção da capacidade de aderência entre a argamassa e a unidade ao longo do tempo é chamada durabilidade.

As principais propriedades da alvenaria que são prejudicadas pela falta de aderência são a resistência ao cisalhamento, tração e flexão reduzindo a durabilidade e aumentando a possibilidade à penetração de chuvas nas paredes de alvenaria estrutural.

As paredes de alvenaria estrutural estão sujeitas a variações térmicas, higroscópicas e pequenos recalques durante sua vida útil. A **resiliência** é a capacidade que a argamassa, no estado endurecido, de deformar-se sem romper macroscopicamente. Isto é, pelas ações que a alvenaria está sujeita, pode ocorrer microfissuras que não são prejudiciais às propriedades da alvenaria.

A resiliência está relacionada com o módulo de deformação longitudinal da argamassa. Quanto menor o módulo de deformação menor será a resistência, ocorrendo mais fissuras nas juntas de argamassa, porém com menores aberturas. Argamassas fortes podem originar em menor número de fissuras, mas a abertura maior (perceptível), as quais poderão permitir a penetração de água da chuva, comprometendo a durabilidade da alvenaria.

Outra importante propriedade da argamassa é a **resistência à compressão**. Esta propriedade depende do tipo e da quantidade de cimento usada na mistura. Importa saber que uma grande resistência à compressão da argamassa não é necessariamente sinônimo de melhor solução estrutural. A argamassa deve ser resistente o suficiente para suportar os esforços aos quais a parede será submetida. Contudo ela não deve exceder a resistência dos tijolos ou dos blocos da parede, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer, devido a expansões térmicas ou a outros movimentos da parede, ocorram na junta. Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima de argamassa. Um aumento desta resistência não aumentará, proporcionalmente, a resistência da parede.

3.5.3 Tipos de argamassa

O tipo de argamassa a ser usado depende principalmente da função que a parede vai exercer, das condições de exposição da parede e do tipo de tijolo ou de bloco que será utilizado. Quando se pensa no uso das alvenarias como elementos estruturais, tende-se a especificar o uso de argamassas com alto consumo de cimento e com grande resistência à compressão. Na verdade, nem sempre uma argamassa mais resistente é a mais indicada.

A argamassa é um adesivo que integra as unidades de alvenaria. Deve, portanto, ser resistente, durável, impedir a penetração de água, ser resiliente, econômica e com boa trabalhabilidade. As especificações e os requisitos para o uso de argamassas altamente resistentes podem prejudicar as propriedades desejáveis citadas acima. Não é interessante que uma argamassa tenha grande resistência à compressão em prejuízo da aderência e/ou da trabalhabilidade. Também não é aceitável que uma argamassa tenha elevado consumo de cimento, alta resistência à compressão e características de retração que causem fissuras de separação na interface entre a junta e a unidade, resultando num caminho próprio para a penetração de umidade.

Assim, o traço da argamassa utilizada no assentamento dos blocos, tanto da primeira fiada quanto das elevações da alvenaria, deve ser estabelecido em função das diferentes exigências de aderência, impermeabilidade da junta, poder de retenção de água, plasticidade requerida para o assentamento, módulo de deformação da argamassa, entre outras (THOMAZ; HELENE, 2000).

A resistência à compressão da argamassa de assentamento deve ser estabelecida a partir das necessidades da estrutura em questão e de ensaios de prismas ocos e cheios (THOMAZ; HELENE, 2000). A ASTM (1987) recomenda os traços indicados na tabela 05.

Tabela 01: traços recomendados para argamassa de assentamento

Tipo de argamassa	Traço em volume			Resistência média aos 28 dias (MPa)
	cimento	Cal hidratada	areia	
M	1	0,25	2,8 a 3,8	17,2
S	1	0,25 a 0,5	2,8 a 4,5	12,4
N	1	0,5 a 1,25	3,4 a 6,8	5,2
O	1	1,25 a 2,5	5,0 a 10,5	2,4
K	1	2,5 a 4,0	7,9 a 15,0	0,5

Fonte: ASTM (1987).

Os traços indicados da tabela 01 são apenas referenciais, sendo necessário o ajuste do traço em função das características dos materiais disponíveis. A norma ASTM (1987) recomenda que a aplicação das argamassas tipo “M” ou “S” - de maior resistência - seja reservada para situações especiais, como arrimos, embasamentos em contato com o solo, dentre outros.

Atualmente, o mercado dispõe de argamassas de assentamento industrializadas ou pré-dosadas, fornecidas a granel, para as quais são válidas todas as indicações anteriores. Segundo Thomaz e Helene (2000), algumas argamassas são dosadas sem a introdução de cal hidratada, compensando-se essa ausência com a introdução de aditivos plastificantes, incorporadores de ar e retentores de água, sendo que os resultados finais, em termos de aderência, módulo de deformação e outros requisitos, devem ser os mesmos.

3.5.4 Juntas de argamassa

As juntas de assentamento em amarração facilitam a redistribuição de tensões provenientes de cargas verticais ou introduzidas por deformações estruturais e movimentações higrotérmicas. As juntas a prumo não propiciam o espalhamento das tensões, tendendo as paredes a trabalharem como uma sucessão de “pilaretes”. As paredes devem ser projetadas com blocos contra-fiados,

ou seja, com defasagem de meio bloco entre fiadas sucessivas, embora sobreposições não inferiores a um terço do bloco sejam aceitáveis (THOMAZ; HELENE, 2000).

A ausência de argamassa nas juntas verticais (“juntas secas”) repercute na resistência ao cisalhamento da alvenaria, à resistência ao fogo, ao desempenho termoacústico, à resistência a cargas laterais e à capacidade de redistribuição das tensões desenvolvidas nas paredes. Santos (2001) corrobora com esta proposição argumentando que “o não preenchimento de juntas verticais com argamassa indica, claramente, que esta pratica não contribui para a melhoria do desempenho estrutural das edificações em alvenaria”. Segundo Roman et al. (1999), “o não-preenchimento das juntas verticais tem pouco efeito na resistência à compressão, mas afeta a resistência à flexão e ao cisalhamento da parede”. Sendo assim, não se recomenda em nenhuma circunstância a adoção de “juntas secas” nas alvenarias estruturais (THOMAZ; HELENE, 2000).

Quanto à espessura, as juntas de assentamento de argamassa devem ser, preferencialmente, de 1cm com preenchimento longitudinal¹ total em forma de cordões de argamassa, tanto horizontal quanto verticalmente (SAHLIN, 1971; HENDRY, 1981; SANTOS, 1998). Segundo Sahlin (1971), a resistência à compressão da alvenaria diminui em aproximadamente 15% para cada aumento de 3mm da espessura da junta, em relação a uma junta ideal de 10mm. A NBR8798 (ABNT, 1985) especifica a espessura dos cordões de argamassa em 10mm com tolerância de 3mm para mais ou para menos, proibindo-se calços de qualquer natureza.

3.6 Graute

Na NBR8798 (ABNT, 1985), define-se graute como o elemento para preenchimento dos vazios dos blocos e canaletas para solidarização da armadura a estes componentes e aumento de capacidade portante, composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir trabalhabilidade e retenção de água de hidratação à mistura. Segundo esta norma brasileira, o graute é considerado fino quando o agregado graúdo possui

¹ O preenchimento transversal da junta de assentamento de argamassa fica a critério do projetista, em função das solicitações previstas no cálculo estrutural da edificação.

dimensão máxima inferior ou igual a 4,8mm e grosso quando o agregado graúdo possui dimensão superior a 4,8mm.

De acordo com Arantes e Cavalheiro (2004), o grauteamento de paredes de alvenaria estrutural não armada tem se mostrado uma prática adotada por alguns calculistas com o objetivo de aumentar a capacidade de carga da alvenaria. Os mesmos autores concluem que mesmo em alvenarias de blocos cerâmicos é viável a técnica de grauteamento dos vazados dos blocos com o objetivo de aumentar a resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural.

Sabbatini (2003) comenta ainda que o graute de preenchimento dos vazados verticais nas tipologias de alvenaria estrutural tem as funções de permitir que a armadura trabalhe conjuntamente com a alvenaria, quando solicitada, aumentar a resistência à compressão localizada da parede e impedir a corrosão da armadura. A dosagem, a especificação das características do graute e sua localização devem ser de responsabilidade do projetista estrutural.

Usualmente, o graute para alvenaria é composto de uma mistura de cimento e agregado, devendo estes possuir módulo de finura em torno de 4 (areias grossas). O graute é composto dos mesmos materiais usados para produzir concreto convencional. As diferenças estão no tamanho do agregado graúdo (mais fino, 100% passando na peneira 12,5 mm) e na relação água/cimento.

Como se deseja uma elevada trabalhabilidade, o concreto deve ser bastante fluido. O ensaio de *slump* deve mostrar um abatimento entre 10 e 14 cm. A relação água/cimento deve estar entre 0,8 e 1,1 dependendo do módulo de finura da areia. A fixação do *slump* nesta faixa dependerá fundamentalmente da taxa de absorção inicial das unidades e da dimensão dos alvéolos. Quanto mais absorventes forem as unidades e menores forem seus alvéolos, maior deverá ser o *slump* da mistura. Ao se colocar o graute na alvenaria, estas retiram grande parte do excesso de água, deixando o mesmo com uma relação água/cimento final entre 0,5 e 0,6.

A norma inglesa BS 5628 especifica que o graute deve ter a mesma resistência à compressão na área líquida do bloco. Este valor de resistência otimiza o desempenho estrutural da parede.

4 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA ALVENARIA

A Alvenaria Estrutural pode ser considerada como um sistema formado por materiais distintos que interagem para responder às cargas às quais são solicitados durante a sua vida útil. O comportamento do conjunto depende não somente da qualidade de cada material empregado, mas também e principalmente das interações físico-químicas que se processam entre os mesmos. Dessa forma, o desempenho estrutural de paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de testes com paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados. Do ponto de vista estrutural, as principais propriedades mecânicas que devem apresentar as paredes de alvenaria são a resistência à compressão, à tração, à flexão, ou ao cisalhamento. De todas essas propriedades, a mais importante é a resistência à compressão, porque, geralmente, as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais, de características compressivas, muito mais intensos que os carregamentos horizontais.

A alvenaria estrutural, como todo o material frágil, tem boa resistência à compressão e baixa resistência à tração. Quando o projetista prever a existência de tração, deve buscar soluções que minimizem ao máximo esse tipo de tensão. As normas nacional e internacionais, destinadas ao cálculo da alvenaria estrutural, não recomendam a admissão de tensões de tração, permitindo apenas a consideração de valores muito pequenos. Cada diferente combinação dos materiais para alvenaria responde com um fator de eficiência próprio. Esse fator de eficiência da alvenaria é dado pela razão entre a resistência dos prismas e a resistência da unidade. Trabalhos experimentais realizados por pesquisadores de vários países mostraram que o fator de eficiência pode variar entre 10 e 70 % para materiais cerâmicos e entre 50 e 90 % para blocos de concreto. Esta variabilidade comprova a importância da realização de ensaios antes da utilização dos materiais em prédios de alvenaria estrutural.

Alguns cuidados devem ser tomados em obra para que a alvenaria tenha o desempenho e a resistência estimada. A resistência dos elementos de alvenaria (paredes, por exemplo) depende de uma série de fatores. Esses, podem ser divididos em dois grupos. O primeiro relacionado com a resistência básica da alvenaria, a qual inclui as características físicas e mecânicas dos materiais empregados e a técnica construtiva utilizada na construção. E o segundo grupo

decorrem da concepção dos elementos da alvenaria, como, por exemplo, a taxa de esbeltez, a excentricidade do carregamento, dentre outros. Alguns destes fatores se destacam, tais como:

- a) **Resistência do bloco:** a resistência à compressão do bloco é função da matéria-prima empregada, do processo de fabricação, da forma e do tamanho, sendo o bloco o elemento de maior influência na resistência final da alvenaria;
- b) **Geometria da unidade:** de maneira geral, quanto maior a altura do bloco em relação à espessura da junta, maior a resistência da parede. O bloco deve ainda ter as dimensões mais homogêneas possíveis e suas superfícies devem ser planas e sem fissuras. Com isto evitam-se juntas de concentração de tensões que podem ocasionar a ruptura da parede;
- c) **Resistência da argamassa:** a influência da resistência à compressão da argamassa aumenta com o aumento da qualidade do bloco e, conseqüentemente, aumento das tensões admissíveis. As propriedades mecânicas do material de assentamento são muito importantes para a resistência à compressão da alvenaria, visto que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação entre junta e unidade;
- d) **Espessura da junta:** diversas pesquisas indicam que a espessura ótima para as juntas de alvenaria, tanto horizontais como verticais, é de **1cm**. Valores menores, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não conseguiria absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades.
- e) **Técnica construtiva e qualidade da mão de obra:** a resistência da alvenaria depende não só da escolha adequada do material utilizado, mas também de fatores decorrentes dos procedimentos construtivos adotados. Estes procedimentos podem ser a técnica construtiva e a qualidade da mão-de-obra empregada. A mão de obra tem grande influência na qualidade da alvenaria. A falta de treinamento e motivação pode trazer prejuízos ao desenvolvimento dos serviços. Os problemas mais comuns nas construções de alvenaria, relacionados com a mão de obra são:

- **Preenchimento das juntas inadequado:** as juntas horizontais devem ser completamente preenchidas. Juntas incompletas podem reduzir a resistência da alvenaria em até 33%. O não preenchimento das juntas verticais tem pouco efeito na resistência à compressão, mas afeta a resistência à flexão e ao cisalhamento. A espessura das juntas deve ser controlada. Quando a mão de obra não é adequada, é comum que as juntas sejam mais grossas do que o desejável, pois estas facilitam o processo de assentamento das unidades e aumentam a produtividade.
- **Exposição a condições climáticas adversas logo após o assentamento:** perda excessiva de umidade por evaporação em clima quente pode impedir a hidratação completa do cimento, ocasionando redução na resistência da argamassa.
- **Ferramentas inadequadas:** a utilização de ferramentas inadequadas durante o assentamento da alvenaria podem refletir em alvenarias desaprumadas, sem esquadro e fora de nível. Paredes fora de prumo, com reentrâncias ou não alinhadas com as paredes inferiores ou superiores, produzem cargas excêntricas com conseqüente redução da resistência. Um defeito de 12 a 20mm implica num enfraquecimento da parede entre 13 a 15%. Paredes aprumadas, niveladas e em esquadro são necessárias para o bom desempenho da alvenaria estrutural.
- **Ritmo da construção acelerado:** quando se constrói em um ritmo exagerado, pode-se estar assentando um número excessivo de fiadas sobre uma argamassa que ainda não tenha adquirido uma resistência adequada à compressão gerando deformações.

5 PROJETOS

Alguns conceitos adotados em projeto são fundamentais para o desempenho adequado da alvenaria estrutural. Ao se optar pelo processo construtivo de alvenaria estrutural, deve-se preparar o projeto desde o início da concepção do mesmo, a fim de otimizar as imensas vantagens do sistema. Procedimentos comuns na construção tradicional, principalmente com relação à desvinculação dos projetos complementares, devem ser evitados.

Assim, no anteprojeto devem ser definidas as paredes estruturais e de vedação e os tipos de blocos a serem utilizados. Esta escolha é importante para a modulação do projeto. Com a modulação não há necessidade de ajustes na obra, refletidas em quebras de blocos para a adequação das dimensões. Nesta etapa deve também ser definido o tipo de laje a ser utilizada.

Depois de concluído o anteprojeto, deve-se elaborar os projetos complementares (hidráulico, elétrico, dentre outros). É importante que os responsáveis pelos projetos tenham em mãos o anteprojeto com todas as informações relevantes e sejam coordenados por um profissional responsável pelo projeto global. Desta forma, serão ajustadas as interferências de um projeto sobre o outro, como, por exemplo, passagens de eletrodutos por paredes estruturais.

Dispondo-se de todos os projetos complementares, devem-se preparar os projetos executivos, com o detalhamento das elevações das paredes internas e externas.

5.1 Coordenação de projetos

A coordenação dos projetos eleva a qualidade do projeto global e, conseqüentemente, melhora a qualidade da construção. Muitas medidas de racionalização e praticamente todas as medidas de controle da qualidade dependem de uma clara especificação na sua fase de concepção. Não é possível controlar uma atividade ou produto, se suas características não se encontram definidas. Da mesma forma, a execução somente poderá ser planejada de forma eficiente se o projeto apresentar todas as informações necessárias para o planejamento.

O processo construtivo de alvenaria estrutural deve ser concebido, sempre que possível, a partir da coordenação dos projetos. Os principais objetivos da coordenação são:

- a) Promover a integração entre os participantes do projeto, garantindo a comunicação e a troca de informações entre os integrantes e as diversas etapas do empreendimento;
- b) Controlar as etapas de desenvolvimento do projeto, de forma que este seja executado conforme as especificações e requisitos previamente definidos (custos, prazos, especificações técnicas);
- c) Coordenar o processo de forma a solucionar as interferências entre as partes do projeto elaborado pelos distintos projetistas;
- d) Garantir a coerência entre o produto projetado e o modo de produção, com especial atenção para a tecnologia do processo construtivo utilizado.

A implantação de um sistema de coordenação de projetos aumenta a confiabilidade do processo e diminui as incertezas em todas as atividades, principalmente na execução. Por esta razão, recomenda-se que o projetista busque a integração dos diversos projetos. Os principais requisitos necessários para uma perfeita coordenação dos projetos são:

- a) Definição clara dos objetivos e parâmetros a serem repassados aos diversos profissionais como requisitos do projeto;
- b) Definição clara de todas as partes que constituem os projetos, bem como o seu conteúdo;
- c) Definição e padronização da forma de apresentação das informações (padronização da representação gráfica);
- d) Criação de uma sistemática de avaliação e retroalimentação dos problemas enfrentados durante a execução dos projetos, de forma a aumentar o aprendizado da tecnologia da empresa através da experiência;

- e) Integração intensa entre projeto e obra, inclusive durante a execução do empreendimento, de forma a dar suporte a possíveis alterações a serem realizadas;
- f) Definir antecipadamente a quem caberá o detalhamento executivo de cada projeto complementar.

5.2 Projeto Arquitetônico

Com todos os condicionantes em mãos, expostos anteriormente, pode-se iniciar a fase de elaboração do projeto arquitetônico. Para projetar uma edificação em alvenaria estrutural, o projetista deve pensar nos princípios do processo, devido às suas particularidades.

Além das condicionantes usuais, geralmente provenientes dos códigos de obra municipais, um projeto em alvenaria estrutural impõe restrições específicas aos projetistas. Entre essas, destacam-se as seguintes restrições estruturais:

- A limitação no número de pavimentos que é possível alcançar por efeito dos limites dos materiais disponíveis no mercado;
- O arranjo espacial das paredes e a necessidade de amarração entre os elementos;
- As limitações quanto à existência de transição para estruturas em pilotis no térreo ou em subsolos;
- A impossibilidade de remoção posterior de paredes estruturais.

O projeto arquitetônico é quem estabelece o partido geral do edifício, e, assim, condiciona o desenvolvimento de todos os demais. Por este motivo, o sucesso do empreendimento dependerá da cuidadosa elaboração deste projeto, pois influenciará todos os demais. Caso o partido arquitetônico não seja adequado, será muito difícil compensá-lo através de medidas tomadas nos projetos complementares ou intervenções na obra.

Os principais fundamentos do projeto arquitetônico, para edificações de alvenaria estrutural, são: (a) verificar condicionantes do projeto; (b) objetivar o máximo de simetria; (c) utilizar modulação; (d) compatibilizar os projetos arquitetônicos com o estrutural e com os de instalações; (e) prever os pontos de passagem dos shafts para as tubulações. Em caso de não ser possível o uso destes; (f) prever as paredes que podem funcionar como vedação, utilizando-as para passagem de tubulações; (g) apresentar os detalhes construtivos de forma clara e objetiva; e, (h) usar escalas diferentes para planta e detalhes. Apresentar detalhes em escalas adequadas.

5.2.1 Condicionantes do projeto

Os principais fatores condicionantes do projeto são o arranjo arquitetônico, a coordenação dimensional, a otimização do funcionamento estrutural da alvenaria e a racionalização do projeto e da produção.

São também importantes as necessidades dos clientes, os custos (incluindo aqueles de utilização e de tempo de execução), os requisitos de desempenho e os aspectos de segurança e de confiabilidade.

A dificuldade de remoção de paredes, que limita a flexibilidade do processo construtivo em alvenaria estrutural, pode ser também satisfatoriamente resolvida. O projetista estrutural, trabalhando em conjunto com o arquiteto, pode especificar paredes passíveis de serem eliminadas.

5.2.2 Simplificação do projeto

A simplificação do projeto é uma das principais formas de melhorar a construtibilidade. Para se obter um projeto simplificado, recomenda-se considerar os seguintes aspectos:

- Utilizar o menor número de tipos diferentes de componentes possíveis;
- Utilizar materiais facilmente encontrados no mercado, com tamanho e configuração padrões;

- Concentrar atenção nas juntas entre os componentes e entre os elementos construtivos;
- Priorizar prumo, nível e esquadro (evitar projetos angulados, inclinações e superfícies curvas);
- Usar grandes componentes, para que cubram grandes áreas, volumes, metragens lineares, não esquecendo, entretanto, de limitar seu tamanho para não dificultar o manuseio.

5.2.3 Simetria

O projetista deve procurar um equilíbrio na distribuição das paredes resistentes por toda a área da planta. Caso contrário, os carregamentos podem concentrar-se em uma determinada região do edifício. Esta concentração, pode levar a necessidade de utilização de materiais com resistências diferenciadas ou do grauteamento de determinadas paredes, o que não é recomendável em relação ao custo e a construtibilidade.

O projetista deve buscar distribuir igualmente as paredes estruturais em ambas as direções, para garantir a estabilidade do edifício em relação às cargas horizontais. Também devido às cargas horizontais, é importante a criação de plantas as mais simétricas possíveis para diminuir o surgimento de tensões devido à torção.

5.2.4 Modulação

A coordenação modular cumpre um importante papel na obtenção da qualidade da alvenaria estrutural. Entende-se por coordenação modular² um sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base num módulo de referência predeterminado, compatibiliza e organiza

² A NBR 5706 (ABNT, 1982) cita que “a coordenação modular é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto por meio de um reticulado espacial modular de referência”. Em se tratando de alvenaria estrutural, a NBR 5718 (ABNT, 1982) define a alvenaria modular como a alvenaria projetada e executada de acordo com o reticulado modular de referência, conceito fundamental para obras que se utilizem deste processo construtivo.

tanto a aplicação racional de técnicas construtivas, como o uso de elementos em projeto e obra, sem sofrer modificações (LUCINI, 2001).

No Brasil, segundo Zechmeister (2005), a coordenação modular é muitas vezes simplificada pela coordenação dimensional, também chamada de modulação. Segundo a mesma autora, a modulação da alvenaria tem como base as dimensões das unidades da alvenaria. Segundo Roman et al. (1999), a modulação é um dos fundamentos do projeto arquitetônico em alvenaria estrutural. O arquiteto deve trabalhar desde os primeiros traços sobre uma malha modular.

O módulo de referência está relacionado com a unidade (bloco) a ser utilizada na construção da edificação. Uma unidade será sempre definida por três dimensões padrões – comprimento, largura e altura. O comprimento e a largura definem o módulo horizontal (ou módulo em planta), enquanto a altura define o módulo vertical a ser adotado nas elevações das paredes. Para se racionalizar o projeto é importante que o comprimento e a largura sejam iguais ou múltiplos, de maneira que efetivamente se possa ter um único módulo em planta, simplificando a amarração das paredes.

A coordenação modular deve ser estendida à maioria dos projetos da edificação. Estes, devem ser integrados entre si (DUARTE, 1999).

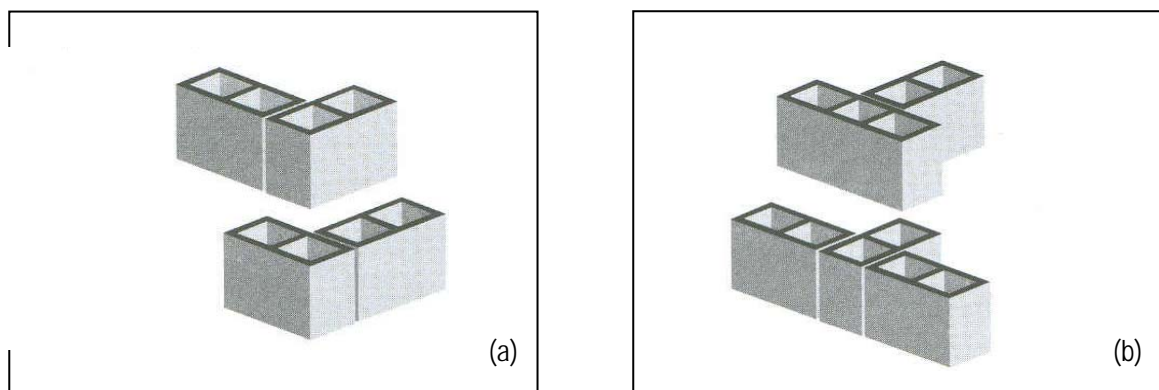
A coordenação modular pode representar acréscimos de produtividade de cerca de 10%. Consegue-se evitar cortes e outros trabalhos de ajuste no canteiro que representariam perda de tempo, material e mão de obra. Além disso, os projetos arquitetônicos, estruturais e de instalação devem ser compatibilizados, bem como deve-se ter um adequado controle da execução das juntas (SANTOS, 1998).

Na prática, diversos parâmetros construtivos nos obrigam a acomodar algumas dimensões. As lajes, por exemplo, têm sua espessura determinada pelo seu dimensionamento econômico que raramente coincide com o módulo. Nessas condições a preocupação de modulação vertical se restringirá à medida de piso a teto, tomando-se o cuidado de utilizar uma espessura constante de laje em todo o pavimento a fim de se obter um único nível de respaldo na última fiada e um único nível de saída para a primeira fiada do andar superior.

5.2.5 Amarração das paredes

A modulação da alvenaria exige o estudo paralelo da forma de amarração das unidades de alvenaria, nas interseções de paredes (CAVALHEIRO, 1998). Assim, deve constar no projeto de execução o tipo de amarração das paredes a serem utilizadas.

A união das paredes estruturais deve ser realizada preferencialmente por interpenetração (SABBATINI, 2003) com os blocos contra-fiados. A figura 05 apresenta dois tipos desta amarração, “L” e “T”, com blocos de largura e comprimento de iguais unidades base de modulação.



Fonte: Adaptado de Ramalho e Corrêa (2003).

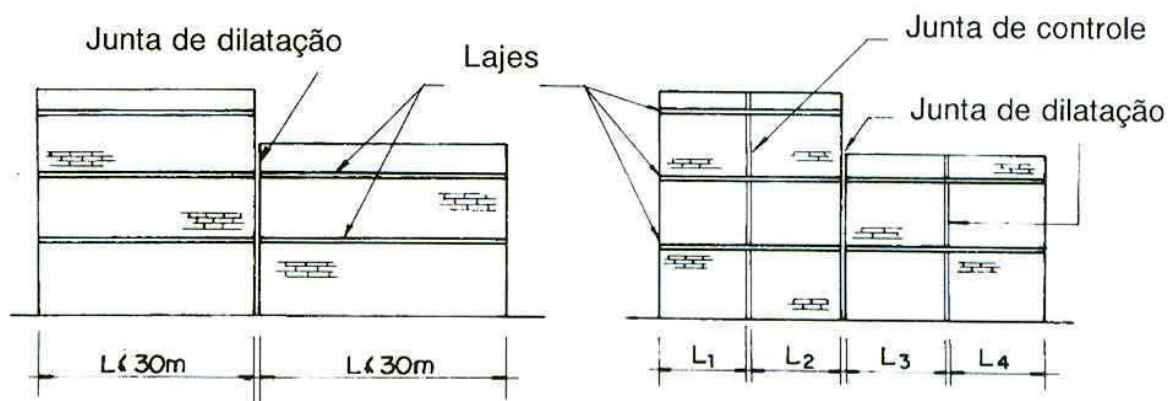
Figura 05: exemplos de amarração por interpenetração - (a) tipo “L” e (b) tipo “T”

Caso este tipo de união não seja possível, admite-se a união por reforço metálico, desde que seja eficiente para evitar fissuras e permita a distribuição de esforços entre as paredes. Para estas uniões são possíveis duas soluções: telas de aço galvanizadas eletrosoldadas ou estiradas, posicionada nas juntas de argamassa, ou grampos metálicos em “U” imersos em pilaretes totalmente grauteados, obtidos pelo preenchimento completo dos vazios contíguos (SABBATINI, 2003).

5.2.6 Juntas de controle ou de movimentação

Nos edifícios com estrutura aporricada de concreto armado o uso de juntas de dilatação é usual, mas o mesmo não ocorre com as juntas de controle, recomendadas em edifícios de alvenaria estrutural. As juntas de controle ou de movimentação se diferem das juntas de dilatação, pois são verticais e existentes somente nas paredes de alvenaria, não necessitando interromper lajes ou vigas sobre as quais as paredes estão construídas (DUARTE, 1999).

Segundo Vilató e Franco (1998), as juntas de controle têm por função limitar as dimensões dos painéis de alvenaria com o objetivo de eliminar elevadas concentrações de tensões devido às deformações intrínsecas do mesmo. A figura 06 apresenta de maneira esquemática as juntas de dilatação e de controle, evidenciando suas principais diferenças.



Fonte: Duarte (1999).

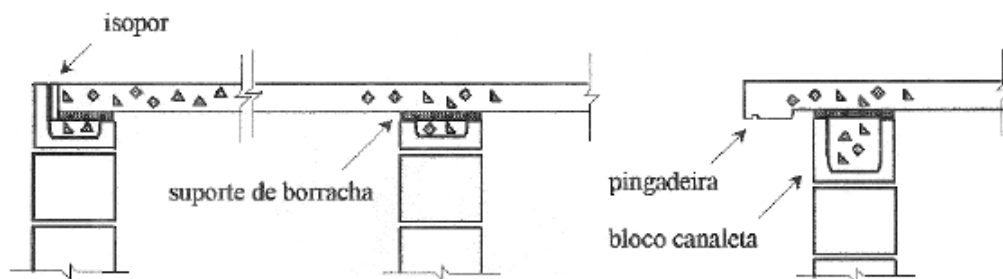
Figura 06: representação esquemática da diferença entre juntas de dilatação e juntas de controle

As distâncias máximas (representadas na figura 06 como L1, L2, L3 e L4) são variáveis nas juntas de controle em função da altura das paredes e dos tipos de unidades utilizados (DUARTE, 1999). Segundo o mesmo autor, as juntas de controle ou movimentação podem ser classificadas de três tipos:

- a) **Juntas de contração ou retração:** são juntas utilizadas na alvenaria para acomodar movimentos devido à retração das paredes. As juntas podem ser construídas com argamassa fraca, de baixo módulo de elasticidade, pois a maior parcela da

movimentação ocorre logo após o assentamento dos blocos devido à perda de umidade. Todavia, para dar estanqueidade às juntas, deve-se considerar que uma parcela substancial da retração também se estende ao longo do tempo, acrescida pelas movimentações causadas pelas variações de temperatura.

- b) **Juntas de expansão:** são necessárias para alvenaria de blocos ou tijolos cerâmicos não revestidas com argamassa na face externa. As juntas de expansão são utilizadas para acomodar às expansões do material cerâmico pela incorporação da umidade da chuva na face externa da parede. São juntas que se fecham e devem ser construídas com material flexível e elástico para evitar seu esmagamento. Esta junta não é necessária se as paredes forem revestidas externamente, pois a absorção de umidade pela alvenaria cerâmica pode ser bastante reduzida pela utilização de revestimento externo de argamassa.
- c) **Juntas horizontais (ou deslizantes):** são juntas empregadas nas uniões de lajes com paredes para permitir que as deformações e movimentações das lajes não transmitam esforços para as paredes nas quais estão apoiadas. Recomenda-se o emprego destas em todos os pavimentos nas edificações de alvenaria estrutural, especialmente nos apoios das lajes nos últimos pavimentos, onde os efeitos da movimentação por variações de temperatura e retração são maiores. A figura 07 apresenta um exemplo da utilização desta junta deslizante.



Fonte: Vilató e Franco (1998).

Figura 07: juntas deslizantes entre as paredes e a lajes de cobertura

5.2.7 *lajes*

O sistema em alvenaria estrutural é um sistema laminar, já que tanto as paredes estruturais como as lajes atuam como lâminas (DUARTE, 1999). As lajes devem ser projetadas e executadas considerando não apenas o desempenho estrutural, mas os efeitos de suas deformações (SABBATINI, 2003).

As lajes podem ser moldadas no local, parcialmente pré-fabricadas ou totalmente pré-fabricadas. No entanto, qualquer um destes casos impõe a adoção de execução prévia da cinta de respaldo. Segundo Duarte (1999), as lajes maciças armadas nas duas direções são as mais indicadas pela rigidez que conferem na distribuição das pressões devidas ao vento e cargas verticais. O mesmo autor argumenta ainda que, como apóiam em mais de duas paredes, possuem o benefício adicional de apresentar maior resistência no caso de uma parede resistente de apoio seja retirada pelo usuário da edificação.

As lajes de cobertura podem se movimentar por efeito de deformações térmicas. Esta movimentação pode ocasionar manifestações patológicas caso não se adote algumas medidas preventivas, tais como a inserção de juntas de movimentação horizontal ou a adoção de apoios deslizantes (neoprene, teflon, manta asfáltica, camada dupla de manta de PVC, dentre outros) entre a interface da laje de cobertura com a alvenaria (THOMAZ; HELENE, 2000). Os mesmos autores comentam que outros cuidados podem minimizar a ocorrência de problemas nesta situação, tais como a ventilação dos áticos, a isolamento térmica das lajes, juntas de dilatação das lajes de cobertura e outros detalhes técnicos pertinentes a cada edificação.

5.2.8 *Vergas e contra-vergas*

Devem ser introduzidas vergas e contra-vergas, detalhadas no projeto executivo (SABBATINI, 2003). Considera-se verga o elemento estrutural colocado sobre os vãos de aberturas não maiores do que 1,20m, com finalidade de transmitir cargas verticais para os trechos adjacentes ao vão (SANTOS, 1998). O mesmo autor comenta que, para vãos maiores do que 1,20m, deve-se considerar o elemento estrutural como uma viga, dimensionado para suportar as cargas verticais e transmiti-las para as paredes ou pilares. Este conceito é arbitrário, tendo em vista que

podem existir componentes para vãos menores que 1,20m submetidos a cargas elevadas, para os quais é necessário o seu dimensionamento.

As contra-vergas são os elementos estruturais colocados sob o vão das aberturas, com finalidade de absorver tensões de tração. Segundo Sabbatini (2003), as contra-vergas devem ultrapassar a lateral do vão em pelo menos “d/5” ou 30cm (o mais rigoroso dos dois), sendo “d” o comprimento do vão.

5.2.9 Cintas de respaldo

Segundo a NBR8798 (ABNT, 1985), cinta é o elemento estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes ou às vergas dos vãos de aberturas, com a finalidade de transmitir cargas uniformes à parede que lhe dá apoio ou ainda servir de travamento e amarração.

Este elemento estrutural é considerado fundamental³ para obras em alvenaria estrutural (SABBATINI, 2003). Segundo o mesmo autor, a cinta pode ser executada com blocos especiais⁴ tipo canaleta e deve preceder a montagem das formas de laje ou do posicionamento das peças pré-fabricadas (quando a laje incorporar elementos pré-fabricados).

5.3 Projeto Executivo

Para obter o máximo de vantagens teóricas que o processo construtivo de alvenaria estrutural proporciona, é imprescindível a elaboração de um projeto executivo. Este é composto de desenhos, dos detalhes e das informações necessárias à realização dos serviços de execução das alvenarias. A utilização apenas dos projetos arquitetônicos e estruturais pode causar problemas de entendimento da obra. Porque estes não apresentam uma série de informações necessárias à

³ Segundo a NBR10837 (1989), devem ser previstas cintas contínuas em todas as paredes externas e internas solidárias com as lajes e que absorvem as cargas horizontais (a carga do vento e empuxos, por exemplo). As cintas devem ser previstas sob as lajes e devem ser unidas às lajes ou às vergas de janelas.

⁴ Os fabricantes dos elementos produzem diversos blocos especiais que servem para execução de componentes como as vergas, contra-vergas e cintas. Os mais usuais nas edificações dos estudos empíricos são o bloco “U” (alto e baixo), bloco “J” (alta, média e baixa) e o bloco instalação. A posição e localização destes blocos são detalhadas juntamente com o projeto executivo das elevações das paredes.

execução das alvenarias, o que acarreta, no canteiro, a tomada de várias decisões sem planejamento prévio. Em muitos casos, esta situação pode criar problemas para a qualidade e produtividade dos serviços.

É através deste projeto que se faz a integração entre as soluções criadas para a obra pelos projetistas e a aplicação destas. Deve ser verificado se as intenções dos projetistas podem ser claramente interpretadas na obra. A falta de detalhes e a ambigüidade na interpretação das informações do projeto podem criar vários problemas, tais como: o atraso nos prazos, retrabalhos para correção de erros e diminuição da produtividade.

Na elaboração dos projetos executivos pode-se antecipar e prevenir uma série de problemas, que podem ser resolvidos numa fase em que alterações são pouco significativas no aumento dos custos. Além do mais, a utilização destes projetos leva a um aumento significativo no nível de racionalização do produto.

Para a apresentação de um projeto executivo, deve-se elaborar: (a) planta baixa; (b) cortes e elevações; (c) informações técnicas dos materiais a serem utilizados; (d) detalhes padronizados de amarrações e de ligações parede/pilar; (e) detalhes de vergas e contra-vergas; (f) detalhes de passagens de tubulações e localização de pontos elétricos e hidráulicos; e, (g) detalhes especiais (pontos a serem grauteados, amarrações com ferros, dentre outros).

5.3.1 Planta baixa

A planta baixa no projeto executivo deve indicar as paredes sem revestimento. Devem ser representadas plantas da primeira e segunda fiada (moduladas), tipos de blocos a serem usados para cada parede, representação dos pontos de graute.

Deve ser preparada para facilitar a marcação da obra. Assim, as medidas das distâncias devem ser acumuladas e feitas a partir de um ponto de referência até a face interna de cada parede (figura 08). Pode ser utilizada a planta de modulação da primeira fiada. A quantidade dos componentes necessários por pavimento também é uma informação importante que deve ser informada.

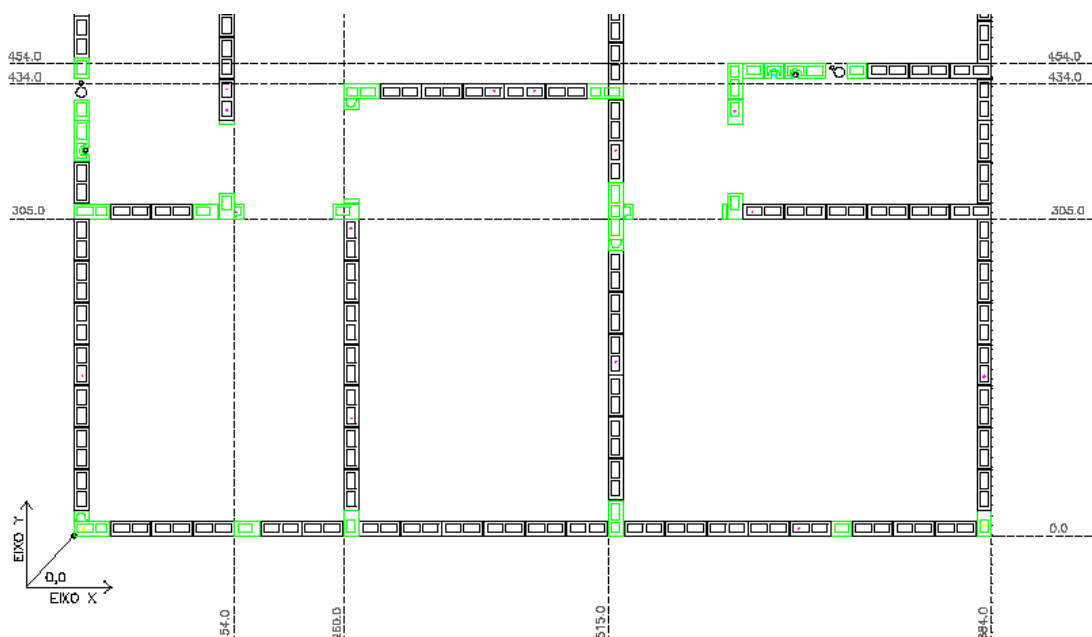


Figura 08: exemplo de planta baixa da primeira fiada com a marcação através de cotas acumuladas

5.3.2 Elevação das paredes

As elevações das paredes ou paginações devem indicar a posição dos blocos especiais (instalações elétricas ou hidráulicas), locais de descida das prumadas de luz e água, amarração entre as paredes, detalhamentos sobre a ferragem necessária. Igualmente devem ser mostradas as posições dos quadros de distribuição das instalações elétricas e sua solução estrutural. Também devem ser representadas as aberturas (portas e janelas), localizando as vergas, contra-vergas e/ou blocos canaletas.

Tanto a primeira fiada como as elevações das paredes devem ser desenhadas em escalas não inferiores a 1:50. Para facilitar a leitura em obra é recomendável que estes desenhos sejam feitos em escala 1:25. A figura 09 mostra um exemplo de uma planta de elevação.

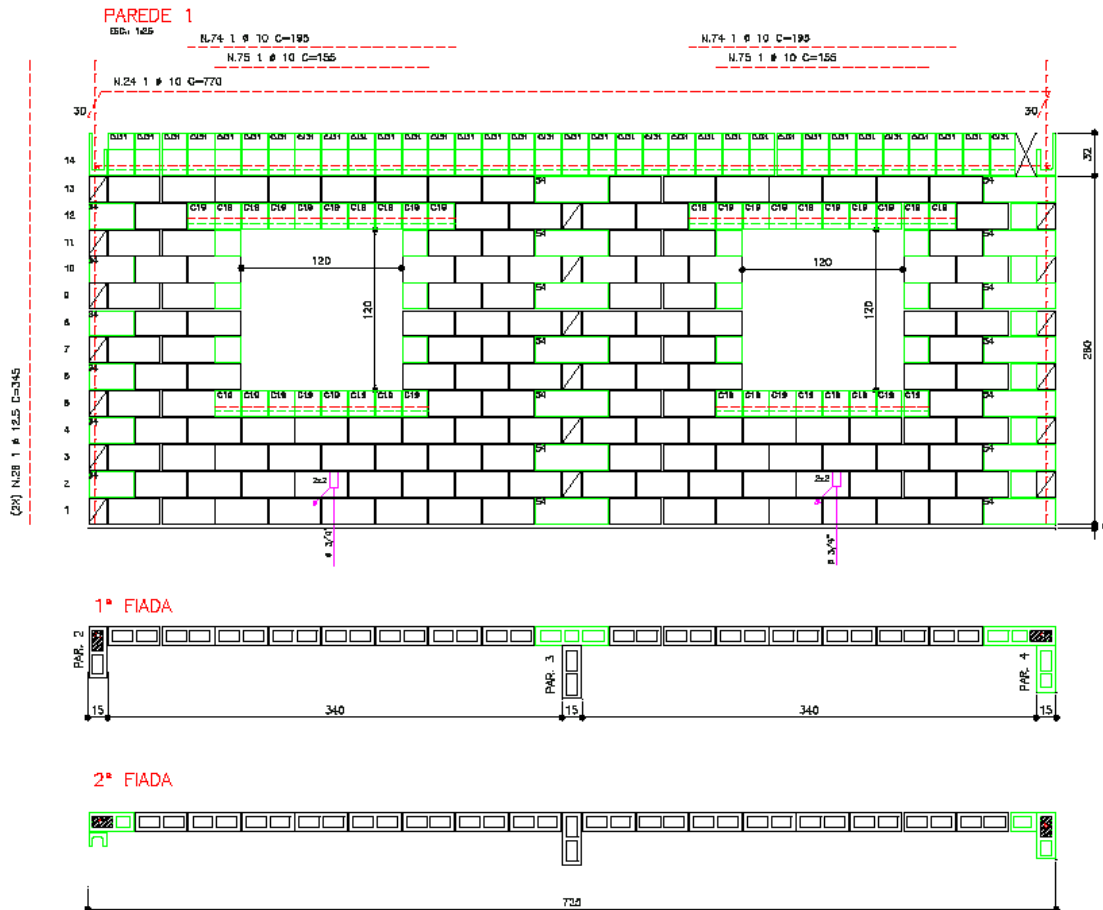


Figura 09: exemplo da elevação (ou paginação) da parede 1 de uma edificação de alvenaria estrutural

5.3.3 Detalhes construtivos

Devem ser fornecidos os detalhes construtivos que não estejam definidos nas plantas baixas e de paginações. Os detalhes que aparecem com maior frequência podem ser fornecidos em um caderno de detalhes padronizados para evitar a repetição dos mesmos nas várias plantas.

Além do que foi descrito acima, o projeto executivo pode conter também o projeto de laje, peças pré-moldadas de concreto armado, a localização dos equipamentos (escantilhões, por exemplo) e, ainda, o *layout* do canteiro.

5.4 Projeto hidrosanitário

Para definir o projeto hidráulico, o projetista deverá interagir com o projetista arquitetônico, a fim de evitar interferência sobre os demais projetos.

Deve-se utilizar, sempre que possível, a passagem das tubulações verticais pelos *shafts*. A figura 10 apresenta quatro exemplos da utilização de *shafts*.

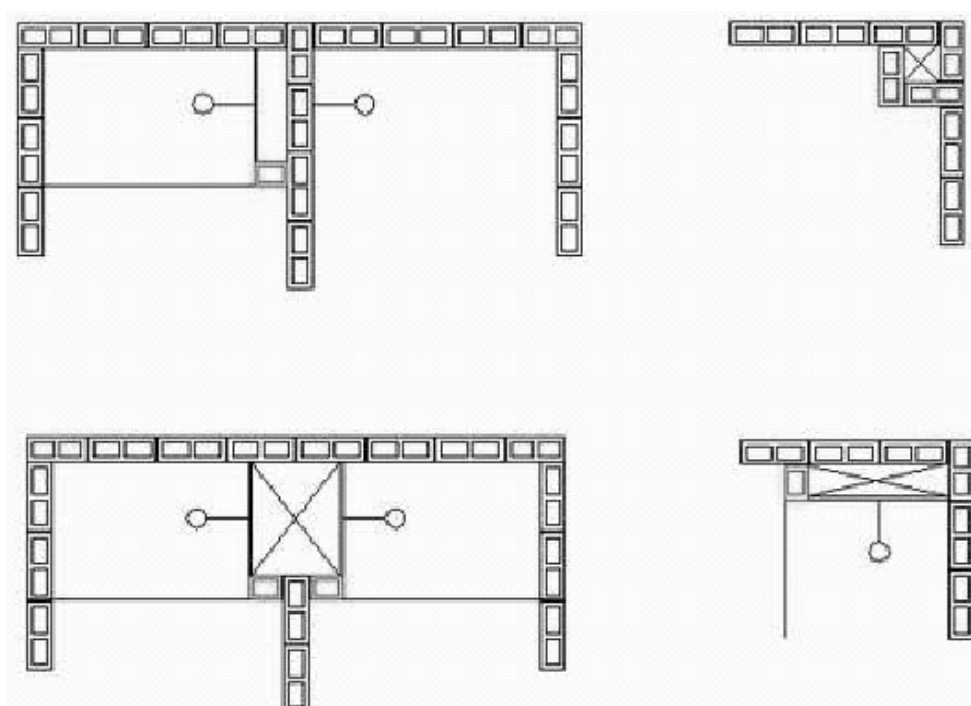


Figura 10: exemplo da utilização de shafts para passagem de tubulações verticais hidrosanitárias

No caso de o projeto arquitetônico apresentar solução em que uma parede seja comum a todas as áreas com instalações hidráulicas, pode-se utilizar o recurso de fazer as ligações das mesmas às prumadas dispostas externamente e rentes à parede. O fechamento poderá ser com outra parede de painel removível (parcial ou totalmente), o que facilitará a manutenção. Esta solução permite trabalhar com kits pré-fabricados e fazer inspeções na instalação sem necessidade de se remover o acabamento. Todo o trecho horizontal da instalação deverá ser projetado para passar entre a laje do teto e o forro.

Os trechos verticais de água fria e quente para torneiras e chuveiros deverão passar horizontalmente entre o forro e o teto até ao ponto donde deverão descer na vertical pelos furos dos blocos. A descida pelos furos dos blocos não deve ser encorajada. Deve-se sempre recomendar o recurso a shafts ou a paredes hidráulicas. No caso de passagem por dentro de paredes estruturais, ela deve efetuar-se em blocos especiais, com o aval do projetista estrutural e em trechos muito pequenos. Além disso, deve-se tomar o cuidado de não solidarizar os dutos com a estrutura em nenhum ponto. Em paredes estruturais, os cortes horizontais devem ser evitados. Sempre que houver paredes não estruturais, estas devem ser preferenciais para a passagem dos canos que tiverem de ser embutidos. Importa salientar que eventuais necessidades de cortes para manutenção em caso de vazamento poderão atingir a integridade das paredes e alterar a função estrutural delas.

5.5 Projeto elétrico

Para definir o projeto elétrico o projetista também deve interagir com o arquiteto.

Os eletrodutos embutidos deverão passar pelos blocos vazados. É importante observar que, no processo construtivo em alvenaria estrutural, as caixas de tomadas e interruptores podem ser previamente instaladas em blocos cortados que por sua vez serão assentados durante a execução da alvenaria. Com alternativa, pode-se colocar o bloco cortado com espaço para caixa que é posteriormente chumbada ao mesmo.

A posição e dimensão dos quadros de distribuição de energia, nos diversos pavimentos, deverão ser previamente definidas e especificadas no projeto executivo. Da mesma forma, este deve ser o procedimento com as caixas de interruptores e de tomadas.

As caixas para quadros de distribuição e caixa de passagem devem ser projetadas em dimensões que evitem cortes nas alvenarias para sua perfeita acomodação. O projetista estrutural deverá ser informado das dimensões e posições dos quadros de distribuição para que detalhe o reforço necessário na abertura para não prejudicar a integridade estrutural da parede.

5.6 Projetos complementares

Os demais projetos complementares devem seguir os mesmos conceitos dos utilizados para os projetos hidrosanitário e elétrico. Os projetos complementares são diversos, dependendo do tipo e do uso da edificação. Dentre os mais comuns estão: (a) telefone; (b) interfone; (c) antena de TV; (d) gás central; (e) PPCI; dentre outros. A figura 11 mostra um exemplo de uma planta da primeira fiada com detalhe das instalações da cozinha.

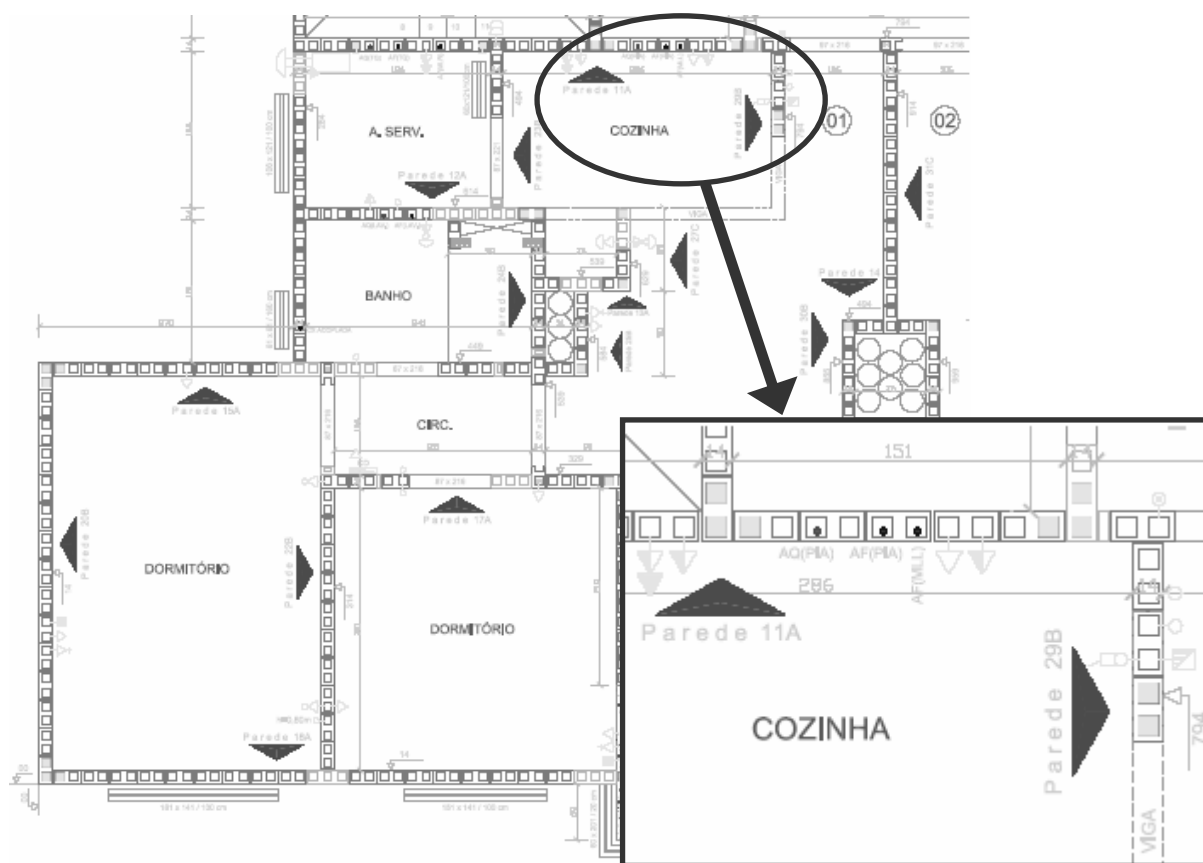


Figura 11: exemplo de uma planta da primeira fiada com detalhe das instalações da cozinha

6 EXECUÇÃO DE OBRAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

A construção de edifícios em alvenaria estrutural deve ser realizada de acordo com técnicas específicas para garantir a qualidade das edificações quanto à confiabilidade e durabilidade (SABBATINI, 2003). Segundo o mesmo autor, são muitos os fatores a serem consideradas, mas que alguns se destacam pela importância em relação à qualidade da alvenaria estrutural.

6.1 Ferramentas e equipamentos

Além das ferramentas e equipamentos utilizados usualmente na construção civil, há alguns que são específicos para o modo de construir em alvenaria estrutural, como, por exemplo, as ferramentas para assentamento de blocos: palheta, canaleta ou bisnaga (tabela 02).

Tabela 02: ferramentas e equipamentos utilizados na execução de edificações em alvenaria estrutural (adaptado de ABCP, 2004)

Ferramentas e Equipamentos	Uso na execução de alvenaria estrutural	
	Serviços de marcação	Serviços de elevação
Colher de pedreiro	x	x
Palheta, Canaleta ou bisnaga		x
Esticador de linha	x	x
Fio traçador de linha	x	
Caixote para argamassa e suporte	x	x
Trena de 5m e 30m	x	x
Nível à laser	x	
Régua prumo/nível $\geq 1,20m$	x	x
Esquadro (60x80x100)cm	x	
Escantilhão ou régua de marcação	x	x
Carrinho especial - transporte blocos	x	x
Andaimes		x
EPI's	x	x

Recomenda-se a utilização da colher de pedreiro para espalhar a argamassa para o assentamento dos blocos da primeira fiada, aplicar a argamassa de assentamento nas juntas transversais e para a retirar o excesso de argamassa da parede após o assentamento dos blocos. Já a palheta, canaleta ou bisnaga, utiliza-se para distribuir os cordões de argamassa nas juntas longitudinais

de assentamento dos blocos. Cabe salientar que, indiferente da ferramenta utilizada, os cordões de argamassa (horizontais e verticais) devem ser executados de acordo com o projeto.

Quanto ao caixote para argamassa – chamada usualmente de “maseira” – e seu suporte, recomenda-se que as paredes do caixote sejam perpendiculares entre si para possibilitar o emprego das ferramentas específicas de assentamento da alvenaria (palheta e canaleta). O caixote não deve ser de material poroso que permita a perda da água da argamassa - madeira, por exemplo – perdendo assim, suas propriedades (ABCP, 2004). Recomenda-se que o suporte do caixote tenha rodas para facilitar o deslocamento dos profissionais sem a necessidade do auxílio do servente.

Para obter precisão geométrica na execução das paredes, recomenda-se que o nível seja à laser, utilizado principalmente para nivelar com maior precisão as lajes; a régua de prumo e nível deve ter comprimento maior ou igual a 1,20m, utilizada para nivelar e prumar as fiadas de blocos durante o assentamento; e o esquadro deve ter medidas mínimas de 60cm x 80cm x 100cm, utilizado principalmente para medir os esquadros das peças durante a marcação da primeira fiada de blocos (ABCP, 2004).

6.2 Marcação da alvenaria

A marcação da alvenaria exerce um papel fundamental na resistência, nivelamento, esquadro e planeza das alvenarias (SANTOS, 1998). A primeira fiada é referência para a elevação das fiadas superiores num mesmo pavimento e também para a primeira fiada do andar imediatamente superior (ABCP, 2004). Para execução da primeira fiada é necessário ter em mãos o projeto de execução da primeira fiada.

Anterior à etapa de marcação propriamente dita, deve-se verificar o esquadro e o nivelamento da laje. O assentamento da primeira fiada somente pode ser realizado sobre bases de concreto niveladas⁵ e após 16 horas do término da concretagem da laje (SABBATINI, 2003). O mesmo

⁵ Segundo a NBR8798 (1995) a base para o assentamento da alvenaria deve ser executada plana e em nível, exigindo-se discrepância do plano horizontal inferior a 0,5cm em 2,0m.

autor não recomenda a execução de alvenaria diretamente sobre baldrame, sem que o piso térreo (base de concreto) esteja executado.

6.3 Elevação das paredes

A execução da elevação da alvenaria é uma das etapas mais importantes da construção de uma edificação em alvenaria estrutural, Assim, garantir a qualidade da execução do levante da alvenaria é um passo fundamental para garantir a qualidade intrínseca da edificação, no que diz respeito a conformidade, confiabilidade, desempenho e durabilidade.

Para atingir tais padrões de qualidade, a elevação da alvenaria deve ser realizada de forma racionalizada. Para isto é necessário que se compreenda as etapas que constituem esta atividade. A figura 12 representa em forma esquemática a seqüência de execução da alvenaria.

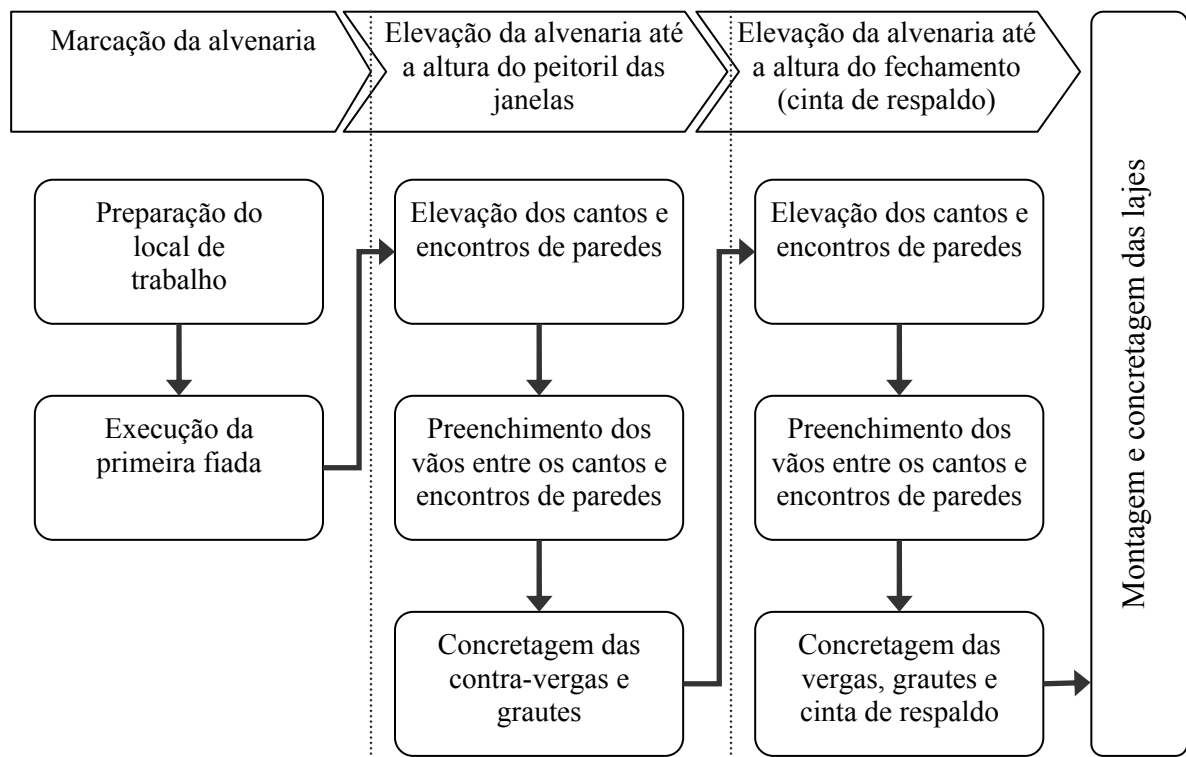


Figura 12: seqüência de execução da elevação da alvenaria

A seqüência de execução da alvenaria é dividida em três etapas (figura 12). Primeiramente é realizada a marcação da alvenaria, constituída da preparação do local de trabalho (limpeza e verificação das condições da laje receber a alvenaria) e execução da primeira fiada. Após a marcação, inicia-se a elevação da alvenaria pelas amarrações de cantos e encontros de paredes para posterior preenchimento dos vãos. A concretagem das contra-vergas e preenchimento dos grautes devem ser realizadas juntamente com o levante da alvenaria. Por último, repete-se a seqüência de elevação da etapa anterior, mas da altura do peitoril das janelas até a altura do fechamento e finaliza-se com a concretagem da cinta de respaldo. Após a concretagem da cinta, inicia-se a montagem e concretagem das lajes.

Esta seqüência de execução de elevação da alvenaria é importante, pois favorece algumas situações. Uma delas é que, na elevação dos cantos se tem a amarração do tipo “castelinho”, havendo a interpenetração dos blocos contra-fiados (SABBATINI, 2003). Se os cantos e encontros de paredes forem executados na posição correta e aprumados, o fechamento é realizado com o auxílio de uma linha entre as extremidades. Assim, caso se utilize corretamente do prumo, nível e esquadro, espera-se que a parede fique dentro dos limites toleráveis dos padrões especificados. Em algumas situações específicas não se consegue executar a elevação nesta seqüência – levante de “castelinho” dos cantos, por exemplo – assim, deve-se prever em projeto uma solução para esta situação – junta a prumo com amarração através de grampos, por exemplo (SABBATINI, 2003).

Segundo Thomaz e Helene (2000), deve-se dar especial atenção nesta etapa para o controle do prumo das paredes, espessura e nivelamento das fiadas. Independentemente do processo, a argamassa de assentamento sempre deve ser aplicada em todas as paredes dos blocos para formação da junta horizontal e em dois cordões verticais nos bordos de uma das extremidades do bloco para a formação da junta vertical (SABBATINI, 2003). O bloco será conduzido à sua posição definitiva mediante uma pressão aplicada para baixo e para o lado, atingindo-se a espessura desejada das juntas ($10\text{mm} \pm 3\text{mm}$), conforme NBR8798 (ABNT, 1985) e eliminando a argamassa em excesso.

Sabbatini (2003) apresenta algumas recomendações fundamentais durante a execução:

- a) O assentamento não pode ser realizado sob chuva. No caso de interrupção dos serviços por causa da chuva, a alvenaria recém executada deve ser protegida, para que os vazados não fiquem cheios de água.
- b) A alvenaria de blocos de concreto não pode ser molhada durante a etapa de assentamento. Neste caso a argamassa de assentamento deve ter retenção de água suficiente para evitar a molhagem. A alvenaria cerâmica pode ser umedecida para facilitar o assentamento.
- c) As paredes de alvenaria devem ser executadas com blocos inteiros. Não deve cortar ou quebrar blocos para obtenção de “peças de ajuste”. Pode-se utilizar peças pré-fabricadas e pré-moldadas, desde que previstas no projeto de produção e obtidas mediante condições controladas.
- d) Na construção de edifícios em alvenaria estrutural não se recomenda “esconder na massa” as imprecisões e erros na execução das paredes, como é comum na construção tradicional. Ou seja, a execução deve ser realizada com as tolerâncias e a precisão especificada de modo que a qualidade final do edifício seja obtida na execução da estrutura. Para isto é essencial que se utilize mão de obra treinada e especializada e que se adote um completo programa de controle de qualidade de execução (de aceitação, sob condições específicas, de cada etapa construtiva).
- e) As instalações devem ser todas em dutos embutidos nas paredes de alvenaria, nos vazados dos blocos. Pode-se fazer cortes de paredes para embutimento de pequenos trechos de tubulação, desde que previsto em projeto.
- f) As prumadas elétricas e hidráulicas não podem estar embutidas nas paredes de alvenaria estrutural, devendo ser, preferencialmente, embutidas em shafts verticais, especificadamente projetados para esta finalidade.

- g) Todos os cortes em paredes - para embutimento de trechos de ramais das instalações, para alojar quadros e caixas de eletricidade ou outra finalidade - somente podem ser realizados com ferramenta de corte elétrica precisa.
- h) Recomenda-se ainda que o corte posterior a elevação da alvenaria de vãos com área maior que a área de três blocos ou comprimento superior a 1,5 vez o comprimento do bloco de paredes estruturais. O embutimento de aparelhos de ar condicionado, por exemplo, em paredes estruturais deve ser previsto em projeto.

Além destas recomendações, a execução correta do graute quando especificado é essencial para o desempenho estrutural da alvenaria estrutural (SABBATINI, 2003). Na alvenaria cerâmica é essencial molhar os blocos previamente para que a retração hidráulica excessiva não prejudique o desempenho esperado (SABBATINI, 2003). O mesmo autor, em conformidade com a NBR8798 (ABNT, 1985), recomenda alguns pontos essenciais na técnica de grauteamento vertical dos vazados dos blocos:

- a) Os vazados dos blocos devem estar sem rebarba de argamassa; ou seja, recomenda-se a retirada do excesso de argamassa no interior dos septos
- b) Limpeza dos furos através de janelas de inspeção (chamadas de janelas de pé de pilar);
- c) Lançamento do graute com altura limitada de meio pé-direito a cada vez.
- d) Vibração preferencialmente manual;
- e) Prazo mínimo de grauteamento de 24 horas após a execução da alvenaria; e
- f) Continuidade da amarração dos blocos.

7 CONTROLE TECNOLÓGICO

A obtenção da qualidade especificada em projeto é garantida por algumas ações de controle durante o processo de construção. Segundo Sabbatini (2003), o conjunto de todas estas ações é denominado de controle tecnológico da construção. Isto é válido para qualquer tipologia estrutural e, portanto, é uma exigência essencial na produção de edifícios em alvenaria estrutural.

Os controles fundamentais para garantia do desempenho estrutural, citados em Sabbatini (2003) e de acordo com a NBR8798 (ABNT, 1985), são:

- a) Controle de recebimento (ou de aceitação) de materiais e componentes: blocos estruturais; concreto estrutural; graute de enchimento e argamassa de assentamento;
- b) Controle de aceitação da alvenaria: na terminologia da NBR8798 (ABNT, 1985) este controle é denominado de controle de aceitação de componentes (item 6.1.2 da norma).
- c) Controle de produção (ou de processo) de paredes estruturais e da estrutura do edifício: na terminologia da NBR8798 (ABNT, 1985) é denominado de controle de produção de componentes (item 5.1.3 da norma).

7.1 Controle de recebimento (ou de aceitação) de materiais e componentes

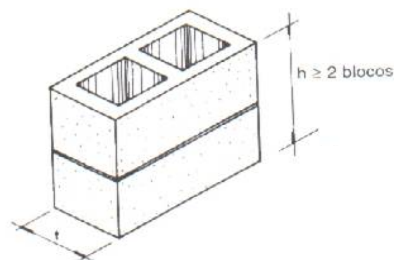
O controle de recebimento (ou de aceitação) dos blocos estruturais, concreto estrutural, graute de enchimento e da argamassa de assentamento devem ser realizados ao longo de toda a execução da alvenaria estrutural. Sabbatini (2003) recomenda o controle dos seguintes itens:

- a) Blocos estruturais: deve-se realizar o controle da resistência à compressão característica dos blocos de concreto e cerâmico, coeficiente de variação da resistência à compressão dos blocos e características dimensionais e geométricas dos blocos, conforme normas vigentes.

- b) Argamassa de assentamento: deve-se realizar o controle de uniformidade de produção pela dispersão dos resultados de resistência à compressão axial. Esta dispersão deve ser avaliada pelo coeficiente de variação (valor, em porcentagem, da divisão do desvio padrão pela resistência média de um conjunto de corpos-de-prova). O limite superior admitido – ensaio da argamassa segundo a NBR7215 (ABNT, 1996a) – é de $CV \leq 20\%$, em uma produção contínua por longos ou curtos períodos.
- c) Graute de enchimento: recomenda-se o controle de uniformidade de produção do graute. Este é verificado indiretamente através dos ensaios de prismas cheios (vide controle de aceitação da alvenaria). Segundo a NBR8798 (ABNT, 1985), o parâmetro de controle deve ser a resistência à compressão, obtida pelo ensaio de corpos-de-prova cilíndricos.
- d) Concreto estrutural: o controle deve ser realizado da mesma forma de edificações aporticadas em concreto armado. Tais procedimentos são descritos na NBR6118 (ABNT, 2003b), inclusive a definição dos lotes.

7.2 Controle de aceitação da alvenaria

Segundo a NBR8798 (ABNT, 1985), o parâmetro de aceitação do componente parede deve ser a resistência à compressão, medida no ensaio de prismas ocos (figura 13) e cheios, conforme a NBR8215 (ABNT, 1983b).



Fonte: Duarte (1999)

Figura 13: prisma oco de alvenaria

Ao se mensurar a resistência de corpos-de-prova de alvenaria (prismas ocos e cheios) moldados no canteiro de obras, avalia-se concomitantemente as características dos blocos, das argamassas de assentamento e do graute de enchimento; como também a influência da mão de obra e as condições ambientais locais. Segundo Sabbatini (2003), este método de ensaio é aceito internacionalmente como o mais completo e, quando bem conduzida, o mais conclusivo sobre o desempenho estrutural de estruturas em alvenaria.

Os procedimentos para realização dos ensaios de prismas constam na NBR8215 (ABNT, 1983b). Os critérios para seleção da amostra e de aceitação (ou rejeição) são de acordo com a NBR8798 (ABNT, 1985), conforme segue.

- a) Amostragem: a estrutura deve ser dividida em lotes de preferência constituídos de argamassa, grautes e blocos de mesmos lotes. Cada lote deve corresponder no máximo a uma semana de produção, ou um andar, ou 200m² de área construída, ou 500m² de parede, prevalecendo a menor quantidade. A amostra representativa do lote de prismas deve constituir-se de no mínimo seis exemplares. Cada exemplar deve constituir-se de um ou mais prismas, preparados aleatoriamente durante a execução do correspondente lote, utilizando-se os mesmos operadores, equipamentos, argamassa e graute.
- b) Aceitação e rejeição: Para aceitação ou rejeição de um lote deve-se observar na integra o procedimento descrito no item 6.1.2.2 da norma NBR8798 (1985). O lote será aceito se $f_{pk,est} \geq f_{pk}$, onde f_{pk} é a resistência característica de projeto, constante no projeto estrutural, mas não menor do que 2,5MPa, para o prisma oco e não menor do que 4,0MPa, para o prisma cheio.

7.3 Controle de produção de paredes estruturais e da estrutura do edifício

Segundo a NBR8798 (ABNT, 1985), o objetivo do controle de produção é avaliar uma ou mais propriedades do elemento ou componente produzido a intervir no processo de produção para manter essa(s) propriedade(s) dentro dos limites considerados satisfatórios. Este controle está intimamente ligado à conformidade com as especificações.

As especificações mais importantes para esta avaliação são, segundo Sabbatini (2003), o prumo, a planicidade, a posição e a perfeição geométrica dos vãos das paredes e o nivelamento dos referenciais de horizontalidade (peitoris e fiadas de apoio das lajes), pois, em conjunto, dão uma medida da qualidade de execução dos serviços.

Para Thomaz e Helene (2000), os controles da execução das alvenarias estruturais devem compreender a qualidade dos componentes de alvenaria (integridade, regularidade dimensional e resistência mecânica), controles geométricos (posicionamento de vãos, verticalidade das ombreiras, prumo e planeza das paredes, nível, espessura e preenchimento das juntas), bitola e disposição de armaduras verticais e horizontais, compactação dos grauteamentos e preenchimento de cintas, vergas e contra-vergas, posicionamento de eletrodutos e caixas de luz, dentre outros. Os mesmos autores comentam que se deve dar especial atenção ao controle do prumo das paredes, espessura e nivelamento das fiadas.

Salienta-se que nem todos os itens de controle e verificação são passíveis de controles dimensionais. Nestes casos, adotar critérios de conformidade são mais difíceis. A NBR8798 (ABNT, 1985) recomenda algumas tolerâncias dimensionais, apresentadas na tabela 03.

Tabela 03: tolerâncias dimensionais

Fator		Tolerância
Junta horizontal	Espessura	$\pm 3\text{mm}$
	Nível	$\pm 2\text{mm} / \text{m}$ e $\pm 10\text{mm}$ no máximo
Junta vertical	Espessura	$\pm 3\text{mm}$
	Alinhamento vertical	$\pm 2\text{mm} / \text{mm}$ e $\pm 10\text{mm}$ no máximo
Alinhamento da parede	Vertical (tolerância máx.25mm na altura máxima da edificação)	$\pm 2\text{mm}/\text{m}$ e $\pm 10\text{mm}$ no máximo por piso
	Horizontal	$\pm 2\text{mm} / \text{m}$ e $\pm 10\text{mm}$ no máximo
Superfície superior das paredes portantes	Variação no nível entre elementos de piso adjacentes	$\pm 1\text{mm} / \text{m}$
	Variação no nível dentro da largura de cada bloco isoladamente	$\pm 1,5\text{mm}$

Fonte: Tabela 5 - NBR 8798 (ABNT, 1985)

8 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

As construções antigas em alvenaria caracterizavam-se por possuírem paredes espessas com baixo módulo de deformação e asseguravam baixos níveis de tensões de serviço e grande massa e inércia, fazendo com que deformações e deslocamentos nos materiais devido à contrações e dilatações de origem térmica e hidráulica gerassem tensões de compressão, tração e cisalhamento inferiores às que os materiais estavam aptos a resistir (DUARTE, 1998). Nos dias atuais, as alvenarias evoluíram para lâminas consideravelmente delgadas (THOMAZ e HELENE, 2000), mais leves e econômicas com alto módulo de deformação e suscetíveis de movimentações causadas por variações de temperatura e umidade. Segundo Duarte (1998) a utilização cada vez maior de novos materiais e técnicas construtivas em substituição ao sistema tradicional de construção tem tornado mais freqüente os defeitos nas edificações.

Neste contexto, na alvenaria estrutural, assim como outros processos construtivos, tem sido identificadas manifestações patológicas. Algumas destas manifestações já são amplamente conhecidas por pesquisadores, projetistas e construtores. A principal delas e a mais observada pelos leigos são as fissuras (THOMAZ, 1988; DUARTE, 1998). Segundo Sahlin (1971), estas fissuras são causadas principalmente pelos movimentos diferenciais entre os componentes (ou materiais) constituintes das edificações.

8.1 Mecanismos de formação das fissuras em alvenaria

As fissuras em alvenaria são originadas quando as cargas atuantes excedem a capacidade resistente da estrutura solicitada (ELDRIDGE, 1982). São causadas por tensões de tração que ocorrem na direção ortogonal à direção do esforço de tração atuante (DUARTE, 1998). Segundo este último autor, as tensões de tração podem ser causadas por esforços de compressão agindo em direção ortogonal, por esforços de cisalhamento ou por tração direta.

Dependendo das condições de contorno, as fissuras podem se tornar visíveis a aproximadamente 50% da carga última da compressão atingida (DUARTE, 1998). As fissuras com aberturas menores do que 0,1mm são insignificantes do ponto de vista da durabilidade,

pois são de baixa permeabilidade à chuva dirigida pela pressão do vento (DUARTE, 1998). De acordo com o mesmo autor, até o limite desta espessura está a grande maioria das fissuras chamadas de capilares.

As formas de manifestações das fissuras de alvenaria são diversas. Manifestam-se em paredes de alvenaria sob forma de fissuras de direção predominantemente vertical, horizontal ou inclinada (ELDRIDGE, 1982).

8.2 Classificação das fissuras em alvenaria

Segundo alguns autores (BIDWELL, 1977; RAINER, 1983; KAMINETZKY, 1985; THOMAZ, 1989; DUARTE, 1998), as fissuras em paredes de alvenaria podem ser classificadas de acordo com diferentes critérios, tais como: a abertura, a atividade, a forma, as causas, a direção, as tensões envolvidas, o tipo, dentre outras.

A classificação segundo a abertura das fissuras em alvenaria é divergente entre alguns autores. Segundo Bidwell (1977), as fissuras podem ser classificadas em finas (<1,5mm), médias (1,5mm a 10mm) e largas (>10mm). Rainer (1983) classifica como muito leves fissuras com abertura inferior a 1mm, leves de 1mm a 5mm, moderadas de 5mm a 15mm e severas superiores a 15mm. Kaminetzky (1985) propõe uma classificação como aberturas negligíveis (<0,1mm), muito leves (0,1 a 0,4mm), leve (0,8 a 3,2mm), moderada (3,2 a 12,7mm), extensiva (12,7 a 25,4mm) ou muito extensiva (>25,4mm).

Segundo Duarte (1998) as fissuras podem ser classificadas de acordo com sua atividade, sendo ativas ou inativas. As fissuras ativas são aquelas que apresentam variações de abertura durante um determinado tempo. Estas fissuras podem apresentar um movimento cíclico (devido à variações de temperatura, por exemplo) ou crescente (recalques de fundações, por exemplo). Já as fissuras inativas (ou estabilizadas) não apresentam variações de aberturas ou no seu comprimento ao longo do tempo.

A classificação segundo a causa das fissuras é, talvez, a melhor maneira de encontrar a sua solução (DUARTE, 1998). Esta classificação é muito semelhante nos trabalhos desenvolvidos

por Duarte (1998) e Thomaz (1989). Ambos são adequados para o estudo das fissuras em alvenaria porque demonstram a equivalência entre as causas e as formas de manifestação patológicas (MAGALHÃES, 2004).

8.3 Configurações típicas das fissuras de alvenaria estrutural

8.3.1 Fissuras causadas por variação de temperatura

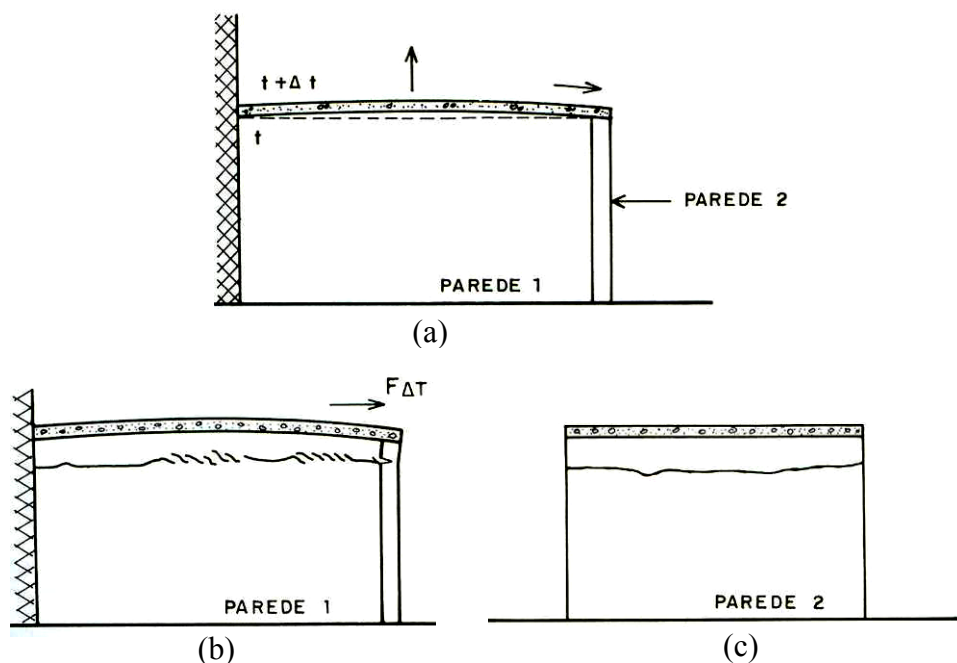
Os movimentos de contração e dilatação que ocorrem nas edificações devido a variações de temperatura, sazonais e diárias, geram tensões que poderão ocasionar fissuras, caso tais movimentos sejam restringidos pelos vínculos entre os elementos e componentes de uma construção (THOMAZ, 1988). Thomaz (1988) comenta que as movimentações térmicas estão relacionadas com as propriedades físicas dos materiais e com a intensidade das variações da temperatura e que as mesmas podem surgir por movimentações diferenciadas entre materiais distintos de um mesmo componente, entre componentes distintos e entre regiões distintas de um mesmo material.

A amplitude e a taxa de variação da temperatura de um componente dependem, além da intensidade da radiação (direta e difusa), das seguintes propriedades dos materiais ou de sua superfície: absorvância, emitância, condutância térmica superficial, calor específico, massa específica e coeficiente de condutibilidade térmica (THOMAZ, 1988). A temperatura da superfície do componente, exposto à radiação solar, pode ser estimada a partir da temperatura do ar e da cor desta superfície (LATTA, 1970 apud THOMAZ, 1988), podendo-se analisar a intensidade das movimentações em função dos limites extremos de temperatura a que estará submetido o componente e em função do coeficiente de dilatação térmica linear dos seus materiais constituintes (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1979).

Estes coeficientes de dilatação térmica oscilam para diferentes materiais. A alvenaria de tijolos cerâmicos, por exemplo, movimenta-se (contração ou dilatação) diferentemente da laje em concreto. Estas movimentações devem ser previstas na construção de edificações pela restrição de movimentos ou juntas que diminuam tais movimentações.

Segundo Duarte (1998), áreas mais ensolaradas, como as coberturas e as paredes externas, são mais suscetíveis ao surgimento de fissuras, pois a variação de temperatura é maior. Alguns tipos de fissuras causadas por variação térmica ocorrem com relativa frequência em edifícios de alvenaria (THOMAZ, 1988, IOSHIMOTO, 1988; DUARTE, 1998, THOMAZ, 2000), tanto estrutural como de vedação.

Thomaz (1988) comenta que as fissuras mais comuns em edifícios de alvenaria portante são as fissuras horizontais (figura 14 - b e c), devido a movimentações térmicas da laje de cobertura (figura 14 - a). Este caso, segundo o mesmo autor, ocorre mesmo em lajes sombreadas por telhado, no caso da proteção térmica da laje ser insuficiente ou se não tiver sido adotado nenhum detalhe construtivo especial na interface entre as lajes e as paredes de alvenaria.

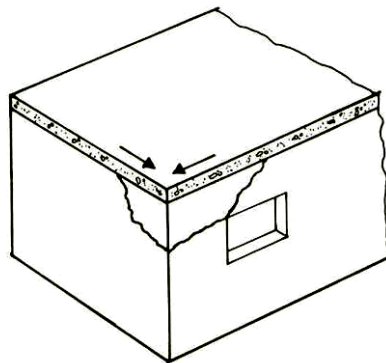


Fonte: Thomaz (2000).

Figura 14: (a) movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação da temperatura; (b) e (c) fissuras típicas presentes no topo da parede ao comprimento da laje

Thomaz (2000) salienta que, em função das dimensões da laje e da natureza dos materiais constituintes das paredes, nem sempre se observa configurações tão típicas como as fissuras apresentadas na figura 14 – b e c – embora estas sejam comumente encontradas.

Por outro lado, nas lajes de cobertura sobre paredes muito longas, enfraquecidas por aberturas, as fissuras têm direção horizontal ao longo das paredes externas maiores, inclinando-se aproximadamente à 45° nas paredes transversais em direção à laje de teto (DUARTE, 1998). Este tipo de manifestação tende a ser mais visível nas extremidades do edifício, conforme figura 15.



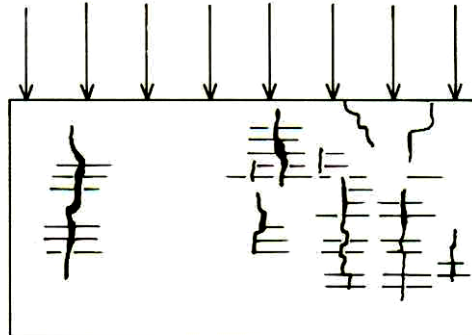
Fonte: Thomaz (2000).

Figura 15: fissuras de cisalhamento provocadas por expansão térmica da laje de cobertura

Além das fissuras citadas e comentadas, a dilatação térmica da laje introduz tensões horizontais de tração na alvenaria ocasionando fissuras verticais nas paredes (DUARTE, 1998). O mesmo autor comenta que, neste caso, como as tensões de tração são maiores no topo da parede, a fissura possui maior abertura na ligação com a laje, reduzindo a abertura na medida em que desce pela parede.

8.3.2 Fissuras causadas por excessivo carregamento de compressão

As fissuras decorrentes de excessivo carregamento de compressão são geralmente verticais (SAHLIN, 1971). Segundo Duarte (1998), estas fissuras são decorrentes de esforços transversais de tração induzidos nos tijolos pelo atrito da superfície da junta de argamassa com a face maior dos tijolos. Ao ser comprimida a argamassa geralmente se deforma mais do que os tijolos, tendendo a expandir lateralmente e transmitindo tração lateral aos tijolos. Estes esforços laterais de tração são os responsáveis pelas fissuras verticais (DUARTE, 1998). A figura 16 ilustra este tipo de fissuras.



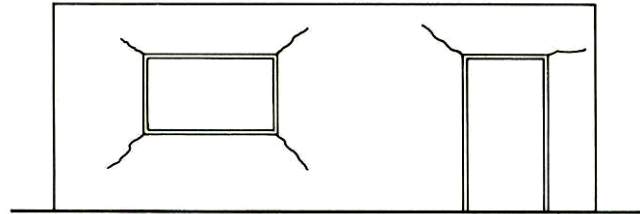
Fonte: Thomaz (2000).

Figura 16: fissuras verticais de alvenaria causadas por excessivo carregamento vertical

Thomaz (1988) aponta os seguintes fatores como intervenientes na resistência final da alvenaria a esforços de compressão:

- a) A resistência da alvenaria é inversamente proporcional à quantidade de juntas de assentamento;
- b) Elementos assentados com juntas em amarração produzem alvenarias com resistência significativamente superior àquelas onde os componentes são assentados com juntas verticais aprumadas;
- c) A resistência da parede não varia linearmente com a resistência do elemento de alvenaria e nem com a resistência da argamassa de assentamento;
- d) De forma geral, as fissuras em alvenaria carregadas axialmente começam a surgir muito antes de serem atingidas as cargas-limite de ruptura.

Um fator importante neste tipo de fissuração é a presença de aberturas de portas e janelas nas paredes estruturais, em cujos vértices ocorrem acentuadas concentrações de tensões (THOMAZ, 1988). Procura-se combater estas fissuras com a utilização de vergas e contra-vergas. Segundo Thomaz (1988), as fissuras nos contornos destas aberturas podem assumir diversas configurações, sendo a situação mais comum apresentada na figura 17.



Fonte: Thomaz (2000).

Figura 17: fissuras típicas nos cantos das aberturas, sob atuação de sobrecarga

8.3.3 Fissuras causadas por retração

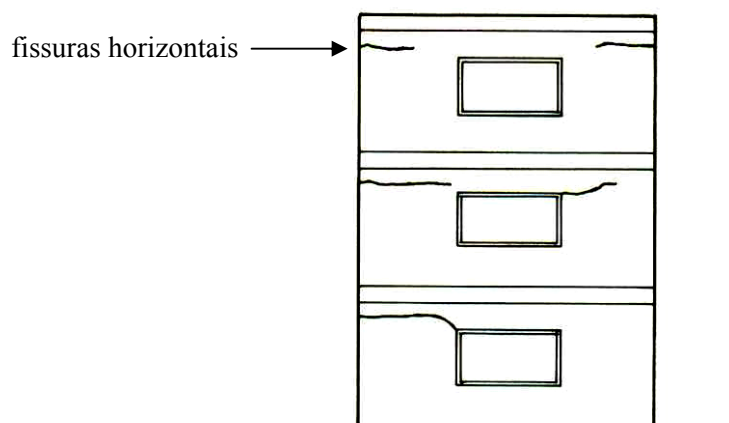
A retração é um fenômeno físico que ocorre com os materiais de base cimentícia, no qual, o volume inicialmente ocupado pelo material no estado plástico diminui de acordo com as condições de umidade do sistema e a evolução da matriz de cimento (SCARTEZINI, 2002). O mecanismo de retração é causado, principalmente, pela perda de água que não está quimicamente associada no interior do concreto (DUARTE, 1998). Paredes localizadas nos últimos pavimentos dos edifícios são mais susceptíveis de serem atingidas pela retração das lajes, pois a contração se associa com movimentações causadas por variações térmicas (DUARTE, 1998).

Nas argamassas de assentamento, segundo Duarte (1998), a pequena retração que pode ocorrer nas juntas horizontais é fortemente restringida pelo cisalhamento com os tijolos. A retração da argamassa é influenciada pela relação água/cimento, pela finura da areia (quanto mais fina for a areia maior a quantidade de água necessária para envolver os grãos) e pelo uso de incorporadores de ar (DUARTE, 1998). Esta retração pode vir a provocar fissuras na própria argamassa, prejudicando a aderência, principalmente em blocos de concreto.

Segundo Thomaz (2000), em função da trabalhabilidade necessária, os concretos e argamassas normalmente são preparados com água em excesso, o que vem a acentuar a retração. O mesmo autor cita três formas de retração que ocorrem em produtos preparados com cimento no estado endurecido ou em processo de endurecimento, ou seja:

- a) Retração química: a reação química entre o cimento e a água se dá com redução de volume; devido às grandes forças interiores de coesão, a água combinada quimicamente (22 a 32%) sofre uma contração de cerca de 25% de seu volume original.
- b) Retração por secagem: a quantidade excedente de água, empregada na preparação do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente; tal evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica da massa, produzindo a redução de seu volume.
- c) Retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio; esta reação é acompanhada de uma redução de volume, gerando a chamada retração por carbonatação.

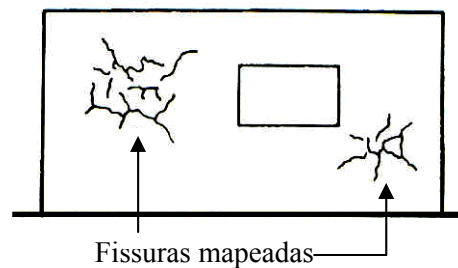
Os mecanismos de formação e configuração de fissuras provocadas por retração são diversos. Dentre os mais comuns em alvenaria estrutural se destacam as fissuras horizontais, segundo Sahlin (1971), oriundas da contração das lajes, aparecendo principalmente nos últimos pavimentos como também em pavimentos intermediários. Este tipo de fissura se manifesta principalmente logo abaixo da laje ou nos cantos superiores de caixilhos, conforme representado na figura 18.



Fonte: Thomaz (2000).

Figura 18: fissuras em paredes externas, causadas pela retração de lajes

Outro tipo de configuração são fissuras causadas pela retração da argamassa de revestimentos, chamadas de fissuras mapeadas, conforme representado na figura 19.



Fonte: Thomaz (2000).

Figura 19: fissuras mapeadas, causadas pela retração da argamassa de revestimento

Segundo Thomaz (2000), a retração das argamassas aumenta com o consumo de aglomerante, com a porcentagem de finos existentes na mistura e com o teor de água de amassamento. Além destes fatores, diversos outros influenciam na formação de fissuras mapeadas: aderência com a base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada, rápida perda de água durante o endurecimento por ação intensiva de ventilação e/ou insolação, dentre outros.

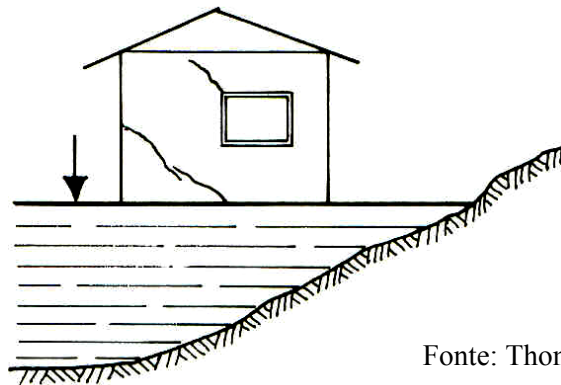
Este tipo de manifestação patológica, segundo Cincotto (1991), pode-se distribuir em toda a superfície de revestimento em monocamadas e ocorrer o deslocamento do revestimento em placas (fácil degradação). Segundo a mesma autora, o reparo deve ser feito pela renovação da pintura ou pela própria renovação do revestimento.

8.3.4 Fissuras causadas por recalque de fundações

As construções têm comportamento distinto frente aos recalques do solo (DUARTE, 1998), sendo que, de maneira geral, as fissuras provocadas por recalques diferenciados são inclinadas (THOMAZ, 2000). Segundo Duarte (1998), edifícios em alvenaria são construções rígidas e de difícil acomodação de deformações devido à posição e geometria das paredes de alvenaria (placas verticais). O mesmo autor comenta que esta grande rigidez auxilia na distribuição das pressões no solo de forma mais homogênea, mas, por outro lado, como a resistência à flexão e

ao cisalhamento da alvenaria é baixa, as paredes são susceptíveis de fissuras frente a pequenas deformações.

Para edifícios uniformemente carregados, o Centre Scientifique et Technique de la Construction (1983) apud Thomaz (2000) aponta diversos fatores que podem conduzir aos recalques diferenciados e, conseqüentemente, à fissuração do edifício. As figuras 20 e 21 – a, b, c e d - ilustram alguns destes casos.

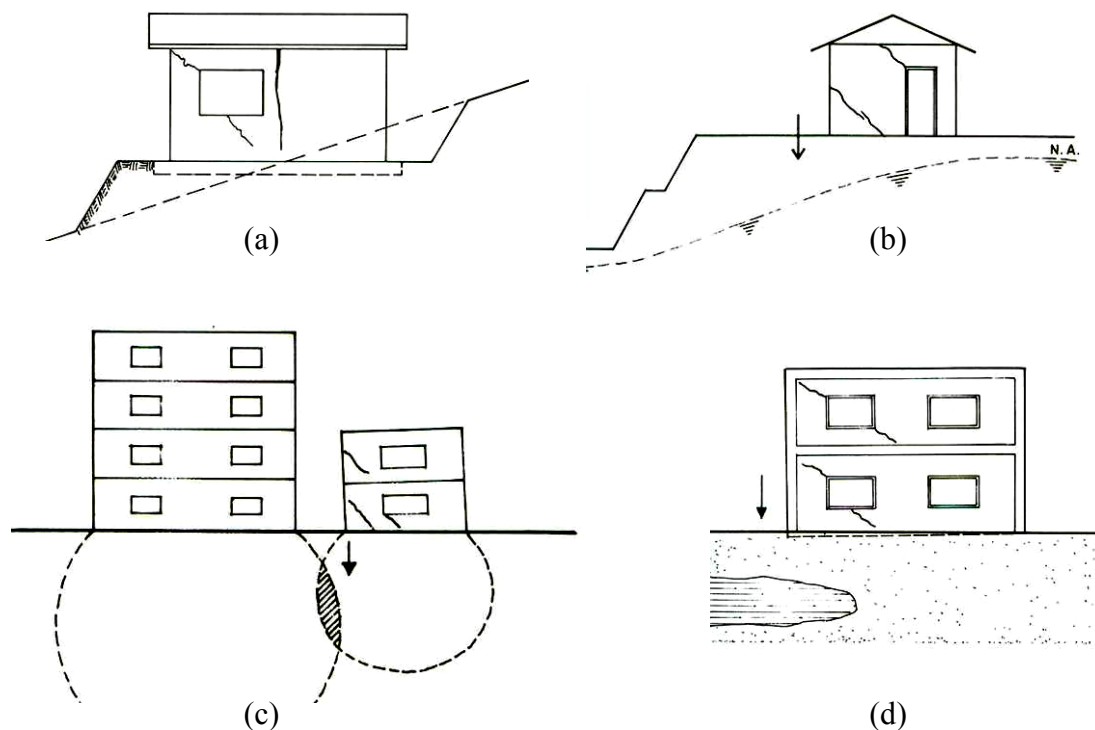


Fonte: Thomaz (2000).

Figura 20: fissuras oriundas de recalque diferenciado, por consolidações distintas do aterro carregado

Segundo Duarte (1998), é difícil estimar teoricamente os recalques diferenciais possíveis em uma edificação, enquanto os recalques totais, por outro lado, podem ser estimados através do conhecimento das características do solo e através de provas-de-carga. Para efeitos de projeto, uma vez estimado o recalque total, dependendo das características do edifício e do tipo de solo, o recalque diferencial pode ser estimado como uma fração do recalque total, já que as tensões transmitidas ao solo não são homogêneas e o solo pode apresentar alterações (DUARTE, 1998).

As fissuras causadas por recalques de fundações tendem a se localizar próximas ao primeiro pavimento da edificação (DUARTE, 1998). Entretanto, dependendo da gravidade do recalque e do tipo de construção, o grau de fissuração nos pavimentos superiores pode ser quase tão intenso quanto no primeiro pavimento (figuras 21 – c e d).



Fonte: Thomaz (2000).

Figura 21: fissuras oriundas de recalque das fundações

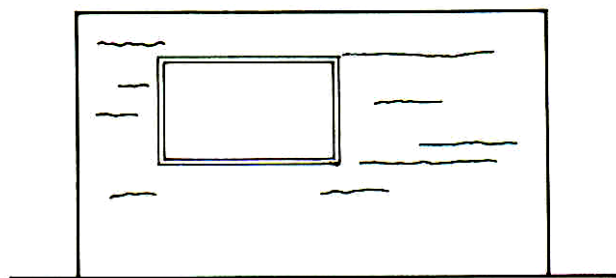
Segundo Thomaz (2000), outros fatores causadores de fissuras oriundas de recalque das fundações são: fundações assentadas sobre seções de corte e aterro (figura 21 –a); recalque diferenciado por rebaixamento do lençol freático em função de corte na lateral inclinada do terreno (figura 21 – b); recalque diferenciado no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior (figura 21 – c); e, recalque diferenciado por falta de homogeneidade do solo (figura 21 – d).

Além das fissuras inclinadas oriundas de recalques de fundações apresentadas, Duarte (1998) comenta ainda sobre o surgimento de fissuras verticais nas paredes de alvenaria. Estas normalmente são devido às aberturas das mesmas transmitirem ao solo diferentes tensões de compressão. Segundo o mesmo autor, as aberturas constituem locais onde a rigidez das paredes é alterada aumentando a sensibilidade frente aos recalques diferenciais.

8.3.5 Fissuras causadas por reações químicas

Os materiais de construção são susceptíveis de deteriorização pela ação de substâncias químicas (THOMAZ, 2000), sendo assim, devem ser estáveis quimicamente ao longo do tempo, principalmente quando em contato com a água (DUARTE, 1998). As alterações de umidade dos materiais porosos provocam variações dimensionais nos elementos e componentes da edificação, estas podem ser de dois tipos: reversíveis ou irreversíveis (THOMAZ, 1999). Além disso, os materiais contêm com frequência excesso de sais solúveis ou reativos por falta de qualidade no processo de fabricação (DUARTE, 1998). O mesmo autor comenta que estes sais, quando em presença de umidade, podem sofrer reações expansivas durante o processo de cristalização com o aumento de volume provocando fissuras nas paredes, e muitas vezes o descolamento do revestimento.

Este tipo de fissuras se agrava em meios altamente agressivos, como atmosferas industriais com alta concentração de poluentes. Visto que não há este ambiente nos estudos empíricos realizados neste trabalho, não é analisado em profundidade os mecanismos de formação destas fissuras. Cabe salientar somente dois tipos de fissuras causadas por alterações químicas dos materiais de construção: a hidratação retardada de cales (figura 22) e ataque por sulfatos (figura 23).



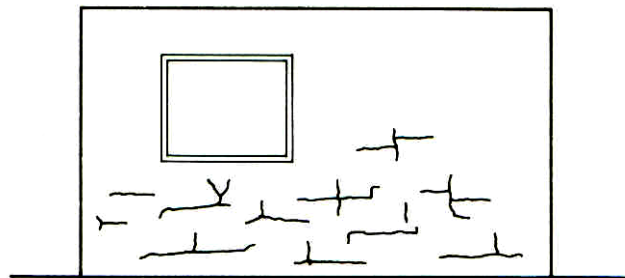
Fonte: Thomaz (2000).

Figura 22: fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento

A expansão das argamassas de assentamento mistas de cal após sua aplicação pode causar fissuras horizontais (figura 22), principalmente nas fachadas externas com incidência de umidade por infiltração de chuvas (DUARTE, 1998) e preferencialmente nas proximidades dos topos das paredes, onde são menores os esforços de compressão oriundos do peso próprio da edificação (THOMAZ,

2000). Este processo pode ocorrer durante a hidratação da cal virgem, principalmente da cal dolomítica, quando a reação de hidratação não se processa totalmente, vindo a ocorrer de forma muito lenta na parede após a aplicação da argamassa. A hidratação do óxido de magnésio pode ocorrer de forma simultânea à carbonatação da cal, causando um aumento de volume na direção vertical ao longo de uma junta horizontal de argamassa de assentamento (CINCOTTO, 1991).

Dentre os sais solúveis, os sulfatos são os que mais reagem com o C3A (aluminato tricálcico) do cimento Portland contido na argamassa, provocando o aumento predominante na junta de assentamento horizontal (DUARTE,1998). Este aumento provoca inicialmente uma expansão geral da alvenaria, sendo que em casos mais extremos poderá ocorrer uma progressiva desintegração das juntas de argamassa (THOMAZ, 2000). A figura 23 ilustra as fissuras típicas deste ataque de sulfatos.



Fonte: Thomaz (2000).

Figura 23: fissuras na argamassa de revestimento provenientes do ataque de sulfatos

Segundo Thomaz (2000), nas argamassas revestidas, as fissuras por ataques de sulfatos são semelhantes àquelas que ocorrem pela retração da argamassa de revestimento, porém, em três aspectos fundamentais:

- a) Apresentam aberturas mais pronunciadas;
- b) Acompanham aproximadamente as juntas de assentamento horizontais e verticais;
- c) Aparecem quase sempre acompanhadas de eflorescências.

9 REFERÊNCIAS

ABCI. Associação Brasileira da Construção Industrializada. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo: Edição ABCI/Projeto/PW, 1990. 280p.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Práticas recomendadas de alvenaria com blocos de concreto: PR-1, PR-2, PR-3, PR4 e PR-5**. 2004. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 18 out 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006a.

_____. **NBR12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **NBR13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR15270-3**: Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR ISO 9000**: Sistemas de Gestão da Qualidade. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR7215**: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996a.

_____. **NBR NM67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996b.

_____. **NBR NM101**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1996c.

_____. **NBR5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994a.

- _____. **NBR6136:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Especificação. Rio de Janeiro, 1994b.
- _____. **NBR7171:** Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992a.
- _____. **NBR7184:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992b.
- _____. **NBR10837:** Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.
- _____. **NBR8798:** Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.
- _____. **NBR6461:** Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR8215:** Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR5718:** Alvenaria Modular - Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.** ASTM C 270-86b. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1987.
- ARANTES, C.A; CAVALHEIRO, O.P. **Influência do graute na alvenaria estrutural de blocos vazados cerâmicos.** Jornada sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo Mendoza. Argentina. 10p. 2004.
- CAVALHEIRO, O. P. **Curso básico de alvenaria estrutural.** Santa Maria: UFSM, notas de aula. 1998.
- CAVALHEIRO, O. P., ROMAN, H. R., SINHA, B. P., PEDRESCHI, R. F. **Curso Internacional de Alvenaria Estrutural – Notas de Aula.** Universidade Federal de Santa Maria – RS, ago.1997. 145p.
- CINCOTTO, M.A. Patologia das Argamassas de Revestimentos: Análise e Recomendações. **Tecnologia das Edificações.** São Paulo: Pini, 1991.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado - Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1988. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, p.79, 1999.

- DUARTE, R.B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação.** Porto Alegre, 1998. CIENTEC - Boletim técnico n.25.
- ELDRIDGE, H.J. **Construcción, defectos comunes.** Barcelona: Gustavo Gili, 1982.
- FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** São Paulo: 1992. 319p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo.
- FRANCO, L. S. **Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural.** São Paulo: EPUSP, Boletim técnico. 17p. 1993.
- HENDRY, A. W. **Structural brickwork.** London: MacMillan, 1981. 209p.
- HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe.** Prog. Struct. Eng. Mater. 2002; 4:291–300. University of Edinburgh, Scotland.
- IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.** Publicação IPT n. 156. 84 p. 1998.
- IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais.** PINI, São Paulo, 1998. Tecnologia das edificações – divulgação tecnológica – IPT.
- LUCINI, Hugo C. **Manual técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias.** São Paulo: Ed. Pini, 2001.
- NCMA. NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION. **Inspection and testing of concrete masonry construction.** NCMA Publication Number TR 156A. Herndon, VA, EUA. 192p. 2005.
- RAMALHO, M.A.; CORRÊA.M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo, Pini. 2003.
- RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- ROMAN, H. R., et al. **Curso de alvenaria estrutural para funcionários da CAIXA.** Santa Catarina: UFSC, apostila. 2005.
- ROMAN, H. R. Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenarias de vedação e estrutural. In: Simpósio de desempenho de materiais e componentes de construção civil, 3., 1991, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis: Editora, 1991.
- ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.
-

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria estrutural.** São Paulo: UPUSP, Boletim técnico. 1986.

SABBATINI, F.H. **Alvenaria Estrutural – Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: Requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal.** Caixa Econômica Federal, Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. Março, 2003.

SAHLIN, S. **Structural masonry.** NJ: Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 289p. 1974.

SANTOS, A.; FORMOSO, C.T.; TOOKEY, J.E. Expanding the meaning of standardisation within construction processes. **The TQM Magazine**, V.14, n.1. pp.25-33. 2002.

SANTOS, F.A. **Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural.** Florianópolis, 2001. 154p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, L.A. **Diretrizes para elaboração de planos de qualidade em empreendimentos da construção civil.** São Paulo, 2003. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTOS, M.D.F. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuições ao uso.** Santa Maria, 1998. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria.

SCARTEZINI, L.M.B. **Influência do tipo de preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca.** Goiânia, 2002. 262p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás.

SINHA, B.P. **Development and potential of structural masonry.** Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Ed. Lourenço & H. Sousa. Porto, 2002.

THOMAZ, E. **Trincas em edificações: causas e mecanismos de formação.** São Paulo: IPT/DEd - USP, Boletim técnico. 6p. 1988.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação em edifícios.** São Paulo: UPUSP, Boletim técnico. 31p. 2000.

VILATÓ, R.R.; FRANCO, L.S. **As juntas de movimentação na alvenaria estrutural.** São Paulo: UPUSP, Boletim técnico. 11p. 1998.

Zechmeister, D. **Estudo para a padronização das dimensões das unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular.** Porto Alegre, 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio grande do Sul.