

DEFORMAÇÕES ESTRUTURAIS E RESISTÊNCIA DAS ALVENARIAS DE VEDAÇÃO

MASSETTO, Leonardo Tolaine

Escola Politécnica da USP - Av. Prof. Almeida Prado, trav.2 - PCC
CEP 05508-900, São Paulo, SP Fone: 818-5422 Email: ltmassetto@pcc.usp.br

SABBATINI, Fernando Henrique

Escola Politécnica da USP - Av. Prof. Almeida Prado, trav.2 - PCC
CEP 05508-900, São Paulo, SP Fone: 818-5793 Email: fhsabba@pcc.usp.br

RESUMO

Muitas das patologias presentes nos edifícios de múltiplos pavimentos pode ter origem na interação da estruturas de concreto armado com as alvenarias de vedação. Neste artigo discute-se as origens e as implicações dessas deformações, mostrando os limites estipulados na normalização de vários países. Mostra-se, também, os resultados de um estudo experimental que verificou a resistência à compressão simples de componentes e paredinhas para sete tipos de blocos de alvenaria para vedação.

ABSTRACT

Some of buildings pathologies can be origin in the interaction of reinforced concrete structure with non structural masonry. This paper shows the concrete structures deformations causes and implications showing the deformations limits adopted in various countries. The results of an experimental study is showed. It was test the compressive strength of masonry units and wallets.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a tradição construtiva baseia-se na construção de edifícios com estruturas de concreto armado e vedações em alvenarias de blocos e tijolos - cerâmicos ou de concreto. Patologias relacionadas com as vedações verticais nos edifícios construídos recentemente, sobretudo nas últimas duas décadas, vêm ocorrendo de forma sistemática, a ponto de hoje serem consideradas como um grave problema setorial.

O entendimento das características e do comportamento das alvenarias de vedação torna-se importante para a resolução desses problemas. Tanto no Brasil como no resto do mundo, as pesquisas focadas nas alvenarias estruturais são numerosas mas ainda pouco se conhece a respeito das alvenarias utilizadas como vedações.

1.1 Justificativa e Objetivos

As patologias relacionadas com fissuras, trincas ou até mesmo a ruptura das paredes de vedação podem estar ligadas ao aumento imprevisto das solicitações que atuam sobre as alvenarias. Isso ocorre, na maioria dos casos, em virtude das deformações e dos deslocamentos excessivos das estruturas, calculados segundo limites fixados por normas, que acabam induzindo esforços para os elementos de vedação acima dos suportados.

Novos valores máximos permitidos para as deformações estruturais precisam ser fixados mas ainda não existe consenso entre entidades e pesquisadores sobre qual o modelo de previsão e cálculo das deformações deve ser utilizado, bem como dos valores referenciais recomendados.

Além disso, os valores das resistências das alvenarias de vedação ainda não são conhecidos embora sejam importantes parâmetros de desempenho estrutural das paredes. A proposta de investigação das características resistentes das alvenarias de vedação é bastante abrangente e carece de muita pesquisa. É atual, e sem dúvida traz à sociedade respostas ainda desconhecidas sobre um material há tempos empregado nas construções.

Os objetivos deste trabalho são:

- Rever o estado da arte dos aspectos relacionados às deformações das estruturas dos edifícios de múltiplos pavimentos e da interação existente entre as vedações verticais e as estruturas de concreto;
- Estudar as características de resistência à compressão simples das alvenarias de vedação por meio de uma investigação experimental em laboratório, avaliando, através de ensaios de componentes e paredinhas, a resistência à compressão simples de sete tipos diferentes de blocos para vedação - quatro blocos cerâmicos, dois blocos de concreto e um bloco de concreto celular autoclavado comercializados no estado de São Paulo;

1.2. Metodologia e Estruturação

Este trabalho inicia-se com uma abordagem teórica, onde se revisa o estado da arte e explora-se a interação existente entre os elementos estruturais e as alvenarias de vedação. São apresentados os principais aspectos relativos à capacidade resistente das alvenarias e os mecanismos pelos quais efeitos internos e externos podem solicitar as paredes. Apresenta-se, também, uma compilação quantitativa dos limites de deformação e fissuração fixados por diversas entidades normativas mundiais.

Na segunda parte, expõe-se os resultados de um trabalho prático realizado com as alvenarias. Estudou-se a resistência à compressão simples por meio de dois tipos de configurações experimentais: ensaios com componentes e o ensaios com paredinhas. Deve-se salientar que dois programas experimentais anteriores ao aqui descrito, cujos resultados estão apresentados em MASSETTO; SABBATINI (1998), serviram para elucidar dúvidas sobre as diferentes configurações dos ensaios, além de fornecer dados para a delimitação os sete tipos de componentes estudados nesta pesquisa.

2. DEFORMAÇÕES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Quando uma estrutura está solicitada por forças, seus membros sofrem deformações - ou pequenas mudanças na forma - e, como consequência, pontos internos à estrutura deslocam-se para novas posições. Dessa forma, para que se possa conhecer os deslocamentos deve-se, primeiramente, compreender as deformações que os produzem (GERE; WEAVER Jr., 1981). Um esforço aplicado a um elemento induz uma deformação e, do mesmo modo, uma deformação tende a induzir um esforço. O estudo da relação entre as solicitações e as deformações norteia os parâmetros de cálculo nos projetos estruturais. A capacidade resistente dos materiais deve garantir a estabilidade da edificação frente aos esforços solicitantes.

2.1 As Causas das Deformações

Para as edificações, segundo PFEFFERMANN (1968), as causas mais comuns das deformações são:

- Deformações decorrentes da variação da umidade: todos os materiais de construção apresentam aumento ou diminuição do volume pela variação de umidade e para alguns materiais e sob certas condições.
- Deformações decorrentes da variação da temperatura: tais deformações, podem induzir esforços não previstos nas demais partes da estrutura ou mesmo em outros componentes solicitando-os de forma diferente daquela que se previu, originando problemas. GENSERT; BRETNAL (1988) afirmam: “As deformações volumicas nas alvenarias podem ter sentidos opostos às deformações da estrutura ou componentes individuais, originando esforços que podem se acumular e ultrapassar a capacidade resistente da alvenaria”.
- Movimentações nas fundações e vibrações: são deslocamentos que induzem esforços muitas vezes não previstos nos cálculos das estruturas. Da mesma maneira que nos outros casos já descritos, a estrutura como um todo, a fim de se manter em equilíbrio estático, tende a amenizar esses deslocamentos opondo-se a eles e dessa reação aparecem esforços. GRIMM (1988) explica que também existem as fissuras com origem em vibrações internas ou externas à estrutura. As vibrações dos edifícios são, em sua maioria, causadas por fontes internas ao edifício - como as máquinas dos elevadores, bombas, equipamentos - e pelas pessoas - andando, correndo, pulando. Fontes externas ao edifício, como tráfego, metrô, explosões, ventos fortes ou escavações também podem afetar a edificação. Vibrações relativamente pequenas, mesmo quando dentro de limites recomendados, podem adicionar sobrecargas e ocasionar trincas inesperadas em alvenarias.
- Retração e deformações lentas do concreto: a retração é o encolhimento do concreto não carregado, ao longo do seu endurecimento e as deformações lentas podem ser definidas como sendo o aumento, ao longo do tempo, das deformações relativas sob tensões permanentes. A fluência e a retração são dois aspectos de um só fenômeno físico, bastante complexo, dependente de vários parâmetros (SANTOS, 1983). THOMÁZ (1998-a) cita que o cálculo exato das deformações que ocorrerão nos componentes estruturais é tarefa praticamente impossível de ser realizada devido aos inúmeros fatores intervenientes, tais como a posição exata da linha neutra após a fissuração do concreto e a variação do módulo de deformação do concreto com o passar do tempo. O ACI (1981) explica que as condições climáticas durante e após a construção afetarão diretamente as deformações lentas e a retração do concreto. Elementos curados e mantidos sob temperaturas médias e níveis de umidade altos poderão ter reduções nas deformações quando comparados com aqueles expostos a climas excessivamente quentes e secos.

2.2 A Interação entre as Vedações Verticais e a Estrutura

Quando se faz referência ao termo alvenaria de vedação, admite-se que a parede atua somente como vedo. Nos edifícios multipavimentos, a alvenaria está limitada por um pórtico estrutural que atua como elemento resistente frente a maioria das solicitações. Dessa forma, as alvenarias de vedação, em tese, não devem contribuir como suporte frente aos esforços solicitantes do edifício, apenas resistindo às cargas acidentais, como vento - para as paredes externas - e choques ocasionais, além de seu próprio peso.

Mas, dependendo do tipo da fixação - utiliza-se, também, o termo encunhamento - pode-se alterar as condições de trabalho das paredes. O papel passivo da alvenaria de vedação, que por hipótese não deve contribuir para a resistência global, torna-se falso e o incremento dos deslocamentos do pórtico resistente resulta no aumento dos esforços repassados às vedações verticais que passam, então, a atuar como contraventamento. “A alvenaria é confinada e comprimida pela estrutura e movimentações com origem nos esforços de vento causam uma sobrecarga nas estruturas suficiente para causar fissuras e trincas nas vedações” (GENSERT; BRETNALL, 1988).

A tecnologia construtiva tradicional, nas últimas décadas, começou ser radicalmente modificada pelas empresas construtoras brasileiras por contingências relacionadas à sobrevivência e manutenção de atividades. O mercado tornou-se muito mais competitivo e o investimento na racionalização da produção tornou-se vital. “A ocorrência de danos tornou-se cada vez mais freqüente, à medida que as construções foram abandonando certas práticas construtivas tradicionais, sem que se prestasse atenção na importância que tais práticas tinham para a segurança das estruturas. De modo geral, as alterações mais importantes foram representadas pelo aumento significativo dos vãos de vigas e lajes, pelo aumento das aberturas nas alvenarias, pela substituição das alvenarias maciças por outros materiais, inclusive materiais leves, pela colocação de alvenarias diretamente sobre lajes sem estarem suportadas diretamente por vigas” (FUSCO, 1993).

2.3 Valores Limites para os Deslocamentos

Expostos os problemas decorrentes da interação existente entre as alvenarias de vedação e as estruturas de concreto, resta saber quais as soluções encontradas nos diversos países para estas questões. Com base nas inúmeras referências bibliográficas consultadas, percebe-se que a quase totalidade dos países procura limitar os deslocamentos estruturais em seus códigos e normas técnicas. Além disso, são recomendados inúmeros detalhes construtivos concebidos para evitar o aparecimento de tensões induzidas pela estrutura nas alvenarias de vedação.

GALAMBOS; ELLINGWOOD (1986) comentam que o projeto estrutural dos edifícios precisa contemplar os limites de utilização e enumeram alguns problemas relacionados com as deformações excessivas: a) danos locais a elementos não estruturais por efeito de carregamento, pela variação de temperatura, pela retração ou deformação lenta do concreto; b) deslocamentos visualmente perceptíveis causando desconforto ao usuário; c) interferência no funcionamento de móveis ou equipamentos como elevadores ou portas de correr.

Estes mesmos autores mostram o efeito dos deslocamentos estruturais sobre alguns elementos. Os valores dos deslocamentos são expressos como uma porcentagem do tamanho do vão livre (L) e a flecha máxima indicada refere-se à medida no meio do vão. A Tabela 1 mostra essas comparações.

CLARKE; NEVILLE; HOUGHTON-EVANS (1974) observam que a construção moderna utiliza materiais mais frágeis e elementos estruturais mais esbeltos e, deste modo, limites de deformação mais complexos são necessários no lugar de regras práticas simples. “Fica claro que os critérios tradicionais para a limitação das deformações estruturais já não mais apresentam respostas adequadas para as novas situações de concepção frente aos sistemas de vedações verticais disponíveis” (FRANCO, 1998).

Tabela 1 - Problemas relacionados às flechas (GALLAMBOS; ELLINGWOOD, 1986)

| Limite para a flecha | Comportamento frente à não observância dos limites |
|-----------------------------|---|
| L / 300 | fissuras em paredes armadas, danos em pisos e tetos |
| L / 200 a L / 300 | Desconforto visual, danos a elementos de vedação leves |
| L / 100 a L / 200 | graves danos aos acabamentos |

STEWART (1996) fez um estudo sobre a implicação das deformações estruturais sobre alguns elementos utilizados nos edifícios. Em seu trabalho, ele também apresenta resumo dos limites de deformação em vários países, mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites de deformação nas normas mundiais (STEWART, 1996)

| Tipo de elemento: | | Deformação considerada: | |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Todos os elementos | | Deformações de longa duração | |
| ISO 4356 ("bases" 1977) | BS 8110 ("structural" 1985) | AS 3600 ("concrete" 1994) | ACI 318 ("building" 1989) |
| L / 300 | L / 250 ^a | L / 250 | --- |
| Tipo de elemento: | | Deformação considerada: | |
| Peças que suportam elem. não estruturais | | Deformações de longa duração. | |
| ISO 4356 ("bases" 1977) | BS 8110 ("structural" 1985) | AS 3600 ("concrete" 1994) | ACI 318 ("building" 1989) |
| L / 300 a L / 500 | L / 500 ^{a,b} | L / 500 | L / 480 |
| ^a para L > 10 m , a deformação deve ser multiplicada por (10 / comprimento do vão) | | | |
| ^b ou 20 mm (utilizar sempre o menor valor) | | | |

TORRICELLI (1997), cita que a norma italiana de 1996, referente aos edifícios com estruturas metálicas, de concreto armado ou protendido, prescreve a flecha máxima instantânea permitida em L / 1000 e o deslocamento máximo permitido para tempo infinito em L / 500.

THOMAZ (1998-b) afirma que as flechas dos componentes estruturais devem ser limitadas ou detalhes construtivos apropriados devem ser previstos, principalmente para que não sejam introduzidas elevadas tensões de cisalhamento nas paredes de fechamento. Este autor apresenta um quadro com as limitações de flechas, reproduzido na Tabela 3.

A adoção de limites para as deformações estruturais máximas, em conjunto com medidas construtivas que objetivem a desvinculação da alvenaria com os elementos estruturais são os procedimentos utilizados em todo o mundo para se evitar os problemas relacionados à ruptura das vedações verticais. Os modelos utilizados para a determinação das deformações lentas e da retração variam muito - de considerações empíricas simples à modelos complexos - e assumem uma série de hipóteses que podem diferir das condições existentes e das técnicas praticadas no canteiro de obra.

O conhecimento da capacidade resistente das alvenarias de vedação torna-se necessário para que se possa avaliar o desempenho da vedação vertical. No Brasil, ainda não existem valores acerca da maioria das propriedades físicas das alvenarias. Deve-se observar que não existe uma norma brasileira a respeito de alvenarias de vedação, mas

apenas uma norma sobre blocos e tijolos, que classifica os componentes segundo níveis de resistência.

Tabela 3 - Flechas máximas admissíveis propostas pelo CSTC (THOMAZ,1998-b)

| Natureza do componente | | Flecha |
|---|---|----------|
| Alvenaria ou painéis pré-fabricados apoiados Sobre viga ou laje | parede com aberturas | L / 1000 |
| | parede sem aberturas | L / 500 |
| | parede com abert., detalhes apropriados | L / 500 |
| Caixilhos envidraçados sob vigas ou lajes | sem possibilidade de acomodação | L / 1000 |
| | com possibilidade de acomodação | L / 500 |

3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

Nesta etapa foram efetuados ensaios de resistência à compressão simples em componentes e em paredinhas. Foram escolhidos sete diferentes tipos de componentes:

- quatro tipos de blocos cerâmicos: sendo dois tipos de dimensões 14x25x25 (cm) assentados com furos na direção horizontal, um tipo de bloco cerâmico de 9x19x19 (cm) assentado com furo na horizontal e um tipo de bloco cerâmico de dimensões 14x19x39 (cm) assentado com os furos na vertical);
- dois tipos de blocos de concreto: sendo ambos de 14x19x39 (cm) assentado com furos na vertical. Um deles com dois furos e o outro com três furos;
- um tipo de bloco de concreto celular autoclavado: maciço. Originalmente estes blocos tinham dimensões de 10x30x60 (cm) mas por serem grandes demais para serem colocados na prensa, foram seccionados nas dimensões de 10x19x39 (cm).

Para o ensaio de componentes foram utilizados 6 corpos de prova para cada tipo de bloco ensaiado. Para os ensaios de paredinhas foram utilizados 12 corpos de prova para cada tipologia.

O tipo de capeamento foi definido como sendo de pasta de enxofre para os ensaios de componentes. Foram utilizados moldes metálicos de seção retangular ajustáveis para a geometria das peças. No momento dos ensaios, os corpos de prova encontravam-se capeados com enxofre há, no mínimo, 24 horas. A velocidade de aplicação do carregamento foi regulada conforme recomendações da ASTM C67.

Para o capeamento das paredinhas, foi utilizada uma camada de argamassa (a mesma utilizada para o assentamento). No momento do ensaio foram colocadas duas placa de *softboard* (de espessura de 14mm cada) entre a paredinha (já capeada com argamassa) e os pratos da prensa.

Como diretriz básica, foram confeccionadas paredinhas formadas por dois elementos de base e três fiadas de altura. O preenchimento das juntas verticais e horizontais no assentamento dos componentes foi executada com “bisnaga” pois, além de permitir melhor uniformidade no preenchimento, essa é uma prática que está se consolidando na cidade de São Paulo.

A espessura média das juntas variou de 0,8mm a 1,3mm. A argamassa de assentamento foi a mesma para todas as paredinhas: argamassa industrializada da marca Serrana, do

tipo F11. As paredinhas foram executadas com as juntas verticais amarradas, defasadas de meio bloco.

A seguir, na Tabela 4, apresenta-se os resultados da etapa experimental. Para os ensaios de componentes e paredinhas são mostrados as tensões médias de ruptura (em MPa) e o coeficiente de variação (em %) que é a relação entre o desvio padrão e a média da amostra. Na última coluna apresenta-se a relação entre a resistência da parede e do componente, conhecida como fator de eficiência (FE).

Tabela 4 - Resultados Experimentais

| Componentes e Dimensões | | Componentes | | Paredinhas | | FE |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|-----|------------|-----|-----|
| | | Mpa | CV | Mpa | CV | |
| Cerâmicos | Fabr A 14x25x25 furos horizontais | 3,68 | 19% | 0,88 | 14% | 24% |
| | Fabr B 14x25x25 furos horizontais | 2,12 | 28% | 0,66 | 18% | 31% |
| | Fabr B 9x19x19 furos horizontais | 3,25 | 17% | 0,99 | 17% | 30% |
| | Fabr C 14x19x39 furos verticais | 13,52 | 11% | 2,95 | 10% | 22% |
| Concreto | Fabr D 14x19x39 furos verticais | 7,63 | 4% | 3,12 | 7% | 41% |
| | Fabr E 14x19x39 furos verticais | 3,15 | 54% | 1,39 | 33% | 44% |
| BCCA | Fabr F 14x19x39 maciço | 2,55 | 16% | 2,27 | 11% | 89% |

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira consideração importante vem da análise do levantamento bibliográfico mostrado na primeira parte do trabalho. Percebe-se claramente que as deformações das estruturas de concreto armado são fontes potenciais de indução de esforços nas alvenarias de vedação. Os códigos normativos de todos os países procuram limitar estas deformações embora os procedimentos para o cálculo sejam diferentes. Das tabelas apresentadas pode-se dizer que limites na faixa de $L/500$ são os mais recomendados para garantir o desempenho das vedações verticais frente às cargas induzidas das estruturas.

Mas a técnica construtiva utilizada na maioria das obras brasileiras parece não dispor de meios para fazer a dissociação das vedações com a estrutura. Desse modo, o desempenho mecânico das paredes somente é conseguido pela resistência das mesmas, ou seja, as alvenarias, quando executadas dentro das técnicas atuais (onde há previsão da camada de encunhamento nas paredes) precisa dispor de uma resistência mínima.

A parte experimental deste trabalho foi desenvolvida para que se pudesse fazer uma primeira análise da resistência à compressão simples das alvenarias de vedação.

Como conclusões da etapa experimental, pode-se perceber que a simples consideração da resistência dos componentes é uma forma errada de se prever a resistência das paredes pois, ao se analisar os fatores de eficiência, percebe-se que para os componentes cerâmicos, a resistência das paredinhas é, em média, cerca de 25% da resistência dos componentes. Para os componentes de concreto, este número sobe para 40%, e para o concreto celular autoclavado, por ser um componente maciço, este número chega perto dos 90%.

A resistência à compressão das paredinhas de componentes assentados com os furos na direção horizontal não chega a 1MPa, embora todos os componentes apresentem resistência acima de 2,5MPa no ensaio de componentes.

Os resultados aqui apresentados são apenas uma parte da pesquisa de mestrado do autor, que se encontra em andamento e pretende estudar um pouco mais profundamente a resistência das paredes de alvenaria de vedação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - **ACI Manual of concrete practice. Part 3 -** Use of concrete in buildings. Design, specification and related topics. Allowable deflections. ACI Committee 435.3R. Detroit, 1981.
- CLARKE, C.V.; NEVILLE A. M.; HOGHTON-EVANS, W. Deflection - Problems and treatment in various countries **In: SYMPOSIUM ON DEFLECTIONS OF STRUCTURES.** American Concrete Institute, ACI Publication SP-43. San Francisco, April, 1974, p.129-71
- FRANCO, Luis S. O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais **In: TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - SEMINÁRIO: VEDAÇÕES VERTICAIS. Anais.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. p 95-112. Julho, 1998.
- FUSCO, Péricles B. **Patologia da concepção estrutural:** Danos por efeitos de segunda ordem em edifícios altos, um exemplo. São Paulo, EPUSP, 1993. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, BT/PEF/9308).
- GALAMBOS, Theodore U; ELLINGWOOD, Bruce Serviceability limit states: deflection. **Journal of Structural Engineering, ASCE.** v.112, n.1, January, 1986, p. 67-84.
- GERE, James M.; WEAVER Jr., Willian **Análise de estruturas reticuladas.** Ed. Guanabara Dois. Rio de Janeiro, 1981, 443p.
- GRIMM, Clayford T. Masonry cracks: a review of the literature **In: Masonry: materials, design, construction & maintenance, ASTM STP 992.** Harry A. Harris, Eds. American Society for Testing and Materials, 1988, p 257-80.
- MASSETTO, Leonardo T.; SABBATINI, Fernando H. de edifícios **In: VII ENCONTRO CONSTRUÍDO - ENTAC 98. Anais.** Florianópolis. p 254-58. Abril, 1998.
- PFEFFERMANN; O. **Les fissures dans les constructions conséquence de phénomènes physiques naturels.** Centre Scientifique et Technique de la Construction. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics. Série technique générale de la construction. n° 250. Octobre, 1968.
- SANTOS, Lauro M. **Cálculo de concreto armado segundo a nova NB-1 e o CEB.** São Paulo, 1983.
- THOMAZ, Ercio As causas de fissuras. **Revista Técnica,** n.36, p.44-9, set/out 1998-b.
- THOMAZ, Ercio Prevenção e recuperação de fissuras em alvenaria. **Revista Técnica,** n.37, p.48-52, nov/dez 1998-a.
- TORRICELLI, M. C. **Il manuale delle pareti in elementi forati di laterizio.** Edizioni Laterservice, 388 p, Roma, 1997.