

# IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

## VI CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE

PORTO ALEGRE - RS - BRASIL  
21 A 24 DE OUTUBRO DE 1997

### ANAIS VOLUME 1

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º. Andar  
90035-190 - Porto Alegre - RS - Brasil  
Fones: +55 (51) 316-3333 / 316-3538  
Fax: +55 (51) 316-3999  
E-mail: conpat97@vortex.ufrgs.br





## FISSURAS EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL SOB LAJES DE COBERTURA DE EDIFÍCIOS

Admir Basso ; Marcio A. Ramalho ; Márcio R. S. Corrêa  
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

### RESUMO

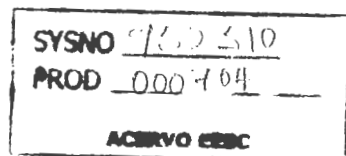
Uma das patologias mais comuns em edifícios de alvenaria estrutural é o estado de fissuração que ocorre nas paredes do último pavimento, logo abaixo da laje de cobertura. A ocorrência está relacionada, de forma preponderante, com a dilatação da laje por efeitos térmicos. Este trabalho trata exatamente desse tema e inicialmente é feita a caracterização do problema, sendo logo após apresentados os principais tipos de fissuras encontradas. Em seguida são discutidas as ações térmicas atuantes sobre as lajes, levando-se em consideração uma série de fatores que têm influência marcante no desenvolvimento do fenômeno. Por fim, são discutidas algumas possíveis soluções para o problema, no que se refere a providências de natureza estrutural e de isolamento térmico da laje de cobertura.

### 1 - INTRODUÇÃO

O problema de fissuras junto à laje de cobertura em edifícios de alvenaria estrutural é muito comum e precisa ser bem equacionado para que esse sistema construtivo, de grande viabilidade econômica, possa ser considerado tecnicamente viável. Mesmo que essas fissuras não comprometam a segurança da edificação, os prejuízos advindos da sua existência, tanto em relação a infiltrações como simplesmente estéticos, são difíceis de serem reparados. Pode-se afirmar que, quanto à utilização, essas ocorrências são inaceitáveis.

### 2 - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O processo de fissuração que ocorre nas paredes estruturais que servem de apoio para a laje de cobertura de uma edificação depende, basicamente, dos seguintes fatores, THOMAZ(1989): diferença entre parâmetros ( como módulo de elasticidade e coeficiente de dilatação térmica ) dos materiais que compõem a laje e as paredes; diferentes solicitações por



ações térmicas a que estão, em geral, submetidas a laje e as paredes; vinculação que as paredes impõem à movimentação da laje.

Dos três fatores apresentados, o primeiro não pode ser evitado e estará presente em todas as edificações, sendo entretanto um fator de importância secundária. Já o segundo e o terceiro, os de ação preponderante, podem ter, pelo menos parcialmente, sua atuação minimizada. Essa intervenção é imprescindível para que o fenômeno da fissuração seja controlado e isso pode ser conseguido principalmente através de dois tipos de providências : redução da desigualdade entre as ações térmicas atuantes na laje e nas paredes; redução da vinculação entre as paredes e a laje, ou pelo menos uma definição do plano de escorregamento conveniente.

De fato, é muito difícil evitar completamente deslocamentos relativos entre a laje de cobertura e as paredes que lhe dão suporte. Se essa tendência está presente, em maior ou menor grau, na grande maioria dos casos, a questão fundamental é atuar de modo a se conseguir uma redução dos problemas dela advindos.

Deve-se observar a necessidade de garantir a ligação vertical desses dois elementos estruturais, para que as ações verticais atuantes na laje, inclusive peso próprio, possam ser transmitidas às paredes que lhe servem de apoio. Entretanto, a presença de vinculação horizontal entre os citados elementos estruturais é que permite que a laje, ao tentar dilatar ou contrair por ação térmica, induza o aparecimento de forças horizontais nas paredes a que se encontra ligada. Se as paredes não oferecessem nenhum impedimento, mesmo que parcial, à deformação da laje submetida à ação térmica, elas não estariam solicitadas quando essa deformação ocorresse. Entretanto não é esse o caso e essa solicitação pode ocorrer em níveis não suportáveis pela alvenaria que então fissura. Ideal seria a ligação desses elementos estruturais, sem nenhuma possibilidade de interação horizontal, ou seja, com interface perfeitamente lisa, que permitisse o deslocamento horizontal relativo sem impedimentos.

O problema do aparecimento das fissuras está relacionado à deficiência de resistência ao cisalhamento que pode ocorrer nas alvenarias posicionadas logo abaixo dos pavimentos de cobertura. Esse fato pode ser entendido analisando-se o fenômeno com base no critério de Coulomb, que é com certeza mais apropriado para aplicação ao material alvenaria, conforme HENDRY(1981), HENDRY, SINHA e DAVIES(1981), ROMAN e SINHA(1994), do que o critério de Tresca ( cisalhamento máximo ) atualmente adotado pela NB1228(1989). Segundo o critério de Coulomb a resistência ao cisalhamento está associada a uma aderência inicial e à compressão vertical. Nas paredes abaixo da cobertura tem-se a pior conjugação de fatores com relação ao fenômeno em estudo: elas estão sujeitas às menores compressões, por suportarem apenas a própria cobertura, enquanto a laje que nelas se apoia está sujeita à maior solicitação térmica, por se tratar do topo da edificação.

### 3 - AÇÃO TÉRMICA

A quantidade de radiação solar incidente sobre as superfícies do edifício varia ao longo do ano em função do movimento de translação da Terra. Varia também ao longo do dia em função do movimento de rotação. Esta variação faz com que a temperatura dos vários elementos que compõem as fachadas e as coberturas sofram uma oscilação cíclica. A radiação solar irá produzir uma variação da temperatura dos elementos da fachada que é função da quantidade de radiação absorvida. A radiação absorvida é variável em cada elemento pois depende da cor da superfície.

A radiação absorvida será transformada em calor que irá alterar a temperatura dos componentes da fachada e da cobertura. Esta variação da temperatura produzirá solicitações

térmicas que acarretarão modificações dimensionais. As variações dimensionais são resultantes da dilatação e contração que todo material apresenta quando está submetido a uma oscilação térmica.

A magnitude dessa movimentação vai depender das características físicas dos materiais, do gradiente de temperatura e da frequência com que ocorre esta variação. Dessa forma a movimentação que, os vários elementos e componentes de uma fachada ou de uma cobertura experimentarão, são diferenciados.

A cobertura é a superfície de um edifício que mais está exposta à radiação solar. Desta forma a variação térmica nos elementos que compõem a cobertura são mais expressivas. A ação da radiação solar sobre a telha, irá transmitir-se para os outros componentes da cobertura, inclusive para a laje.

A ação da temperatura sobre a laje tem dois efeitos básicos : provoca variações dimensionais no plano da laje, comportamento de membrana; e curvaturas da superfície da laje, comportamento de placa. As ações correspondentes ao comportamento de placa não são significativas quando comparadas aos de membrana, conforme descrito por BASSO E CORRÊA (1993).

#### 4 - TIPOS DE FISSURAS

As fissuras quando causadas pela movimentação da laje por dilatação térmica têm algumas características que podem ser destacadas.

Em primeiro lugar, quanto às paredes que têm maior tendência de fissurar, pode-se afirmar que são aquelas que se encontram localizadas nas posições mais afastadas das regiões centrais do pavimento. Isto se deve ao fato de que quando a laje se dilata ou se contrai, como um todo, os deslocamentos de seus pontos serão maiores nas bordas, conforme se ilustra na figura 4.1(a). Nas regiões centrais dos pavimentos esses deslocamentos serão quase nulos, reduzindo-se significativamente a tendência ao cisalhamento das paredes que se encontram sob essa região.

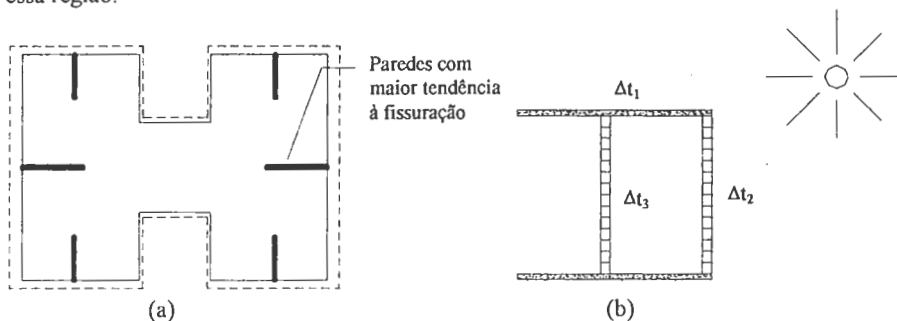


Figura 4.1 - Deslocamentos das lajes e paredes com maior tendência à fissuração

Outro fato importante é que existe uma maior tendência de fissuração das paredes que chegam de topo na fachada, conforme também se destaca na figura 4.1(a) . Pode-se compreender o fato observando-se que a diferença de solicitação térmica é muito maior entre a laje e uma parede interna do que entre a laje e uma parede de fachada. Neste último caso, apesar da alvenaria e da laje terem diferentes características de deformabilidade, há que se

observar que as paredes de fachada estão submetidas a variações de temperaturas semelhantes às da laje de cobertura, de acordo com o apresentado na figura 4.1(b).

Um terceiro ponto a se destacar, de grande importância, refere-se às configurações geométricas das fissuras. Como, em geral, o bloco é muito mais resistente que as juntas de argamassa que o envolvem, a tendência é de fissuração da argamassa. Isso leva a dois tipos básicos de fissuras possíveis. O primeiro é constituído por fissuras horizontais, acompanhando uma junta de assentamento, predominantemente localizadas no topo da parede, próximas à laje. O segundo tipo é constituído por fissuras que acompanham juntas verticais e horizontais alternadas, produzindo um desenho inclinado em forma de escada. Essas configurações básicas estão ilustradas na figura 4.2.

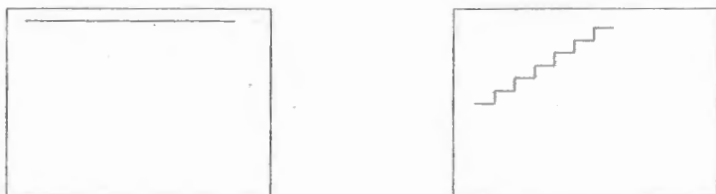


Figura 4.2 - Tipos básicos de fissuras

Cabe observar que não há como prever com exatidão o local em que essas fissuras poderão aparecer, bem como a sua caracterização como exclusiva de um dos dois tipos básicos assinalados. Isto se deve à variabilidade das propriedades dos materiais componentes da alvenaria. É muito comum, por exemplo, observarem-se fissuras onde se pode notar a combinação dos tipos básicos citados ou a bifurcação da linha de fissuração.

## 5 - MODELAGEM MATEMÁTICA DO FENÔMENO

Devido à grande complexidade do problema não é simples produzir um modelo que possa incorporar de maneira confiável todas as variáveis envolvidas no fenômeno. Há problemas de modelagem da laje, sua ligação com a alvenaria e comportamento da alvenaria em si. Cabe ressaltar que tanto no contato dos elementos estruturais, como na caracterização da alvenaria há inúmeras não-linearidades envolvidas, anisotropias, além das dificuldades de estimativa da abertura das fissuras.

Diante dessas dificuldades e tendo-se em vista o reduzido conhecimento do fenômeno é razoável adotar-se modelo simplificado, em especial com viabilidade de aplicação em projetos. Esse modelo tem como hipóteses básicas : os materiais são admitidos em comportamento elástico-linear; a ligação entre laje e as paredes é tal que não há possibilidade de deslizamento relativo entre esses elementos estruturais, ou seja, a pior condição em termos de solicitação; e o critério de resistência é o da máxima tensão de cisalhamento, razoável para baixas compressões.

Assim, se o contato entre a laje e a parede se dá em um determinado comprimento cujo ponto médio dista  $L$  do eixo do pavimento que não se movimenta (eixo de simetria, por exemplo) pode-se estimar o deslocamento médio do topo da parede por:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (1)$$

onde  $\alpha$  é o coeficiente de dilatação térmica do concreto armado  
 $\Delta T$  é a variação de temperatura da superfície média da laje

Dividindo-se  $\Delta L$  pelo pé-direito do pavimento (H) tem-se uma boa aproximação para a distorção média a que a parede estará submetida (vide fig. 5.1). Assim

$$\gamma \cong \Delta L / H \quad (2)$$

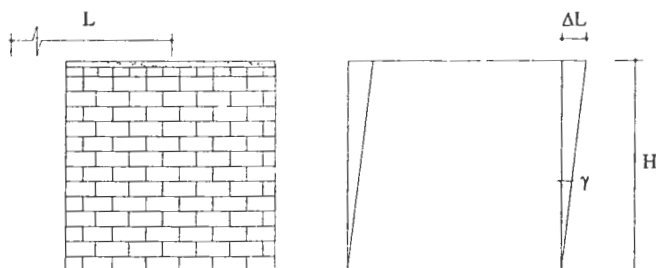


Fig. 5.1 - Modelo simplificado para estimativa do cisalhamento

Multiplmando-se o módulo de elasticidade transversal da alvenaria (  $G$  ) pela distorção estima-se a tensão de cisalhamento que é imposta à parede pela movimentação da laje, ou seja

$$\tau = G \alpha L \Delta T / H \quad (3)$$

Essa tensão deve ser inferior ao valor da tensão de cisalhamento admissível. Para a alvenaria não-armada a NB1228(1989) fornece como tensão admissível de cisalhamento: 0,15MPa, para resistência à compressão da argamassa entre 5 e 12 MPa .

Pode-se perceber, com algumas simulações simples, que para os vãos normalmente praticados e as soluções usualmente adotadas para os telhados, é de suma importância que se adicionem providências no sentido de minimizar os efeitos da ação térmica.

## 6 - SOLUÇÕES

### 6.1 - Minimização das Causas

Basicamente, três principais providências podem ser adotadas para a minimização da irradiação de ondas longas de calor que atingem com maior intensidade a laje da cobertura. Duas dessas ações pressupõem a existência de um telhado de proteção à laje. São elas: redução da absorção do calor pelo telhado que protege a laje pela coloração correta das telhas; existência de uma ventilação adequada entre as telhas e a laje. A terceira providência pode ser adotada se houver ou não um telhado sobre a laje e trata-se do isolamento térmico da laje. É evidente que as mencionadas providências podem, e normalmente devem, ser utilizadas simultaneamente, de forma a garantir uma maior eficiência na solução do problema.

A primeira providência, a que trata de se dar uma cor adequada ao telhado é fácil de ser executada e traz benefícios sensíveis para a absorção de calor pelas telhas e conseqüente irradiação para a laje. As cores claras são as que possibilitam a menor absorção do calor solar.

Entretanto, além da cor clara, a telha deverá ter um acabamento que não possibilite a formação de fungos, que escurecem as telhas e por consequência aumentam a absorção da radiação solar. Claro que o tipo de telha utilizada também influi de forma considerável na evolução do problema.

A segunda solução, que consiste em se providenciar uma ventilação adequada para a camada de ar que separa a telha da laje de cobertura, é também bastante eficiente. A renovação dessa camada, através da ventilação, diminui a quantidade de calor irradiada para a laje. Assim, quanto maiores as aberturas providenciadas, melhores as condições de ventilação e portanto mais eficiente a solução adotada. O fechamento da cobertura por platibandas é uma solução construtiva que deveria ser evitada pois dificulta a ventilação da cobertura. Entretanto, por razões arquitetônicas, é muito comum e nesse caso será interessante que sejam mantidas aberturas, normalmente venezianas fixas, de forma que o ar possa circular com certa liberdade. Se também essa solução não puder ser executada, resta a ventilação através das próprias telhas, se bem que muito menos eficiente.

A terceira providência, que se refere ao isolamento térmico da laje através de camadas isolantes, é provavelmente a mais eficiente, podendo ainda ser utilizada em lajes de cobertura protegidas ou não por telhas. Se o telhado não existir, as soluções aqui recomendadas deve ser acrescentada uma camada de impermeabilização. Para as amplitudes térmicas verificadas na grande maioria das cidades brasileiras, estudos elaborados por BASSO ET AL (1990) indicam que três soluções podem ser consideradas de boa eficiência. Elas não devem ser aplicadas diretamente sobre a laje, mas sobre uma camada de argamassa de regularização com uma espessura de 1 a 2 cm. A primeira alternativa, mostrada na figura 6.1(a), consiste na utilização de uma camada de 10 cm de concreto celular moldado "in loco". Entre o concreto celular e a regularização, deve-se dispor duas folhas de papel betumado, para criar uma superfície de escorregamento. A segunda alternativa, que se mostra na figura 6.1(b), é formada por uma camada de poliestireno extrudado de 2,5 cm. Sobre o poliestireno, deve-se dispor uma camada de argamassa de proteção de 1 a 2 cm de espessura. A terceira solução, bastante semelhante à segunda, é apresentada na figura 6.1(c). Trata-se de substituir a camada de poliestireno extrudado por duas camadas de poliestireno expandido de 2,5 cm de espessura cada. As camadas de poliestireno devem ser coladas, tomando-se o cuidado de defasar as juntas das placas, mantendo a camada de argamassa de proteção. Para as três soluções apresentadas, deve-se utilizar, painéis com o material isolante, concreto celular e poliestireno extrudado ou expandido, de no máximo 4 m x 4m. Entre esses painéis deve-se prever uma junta de 2 cm, a ser preenchida com emulsão asfáltica e areia na proporção 1 : 3.

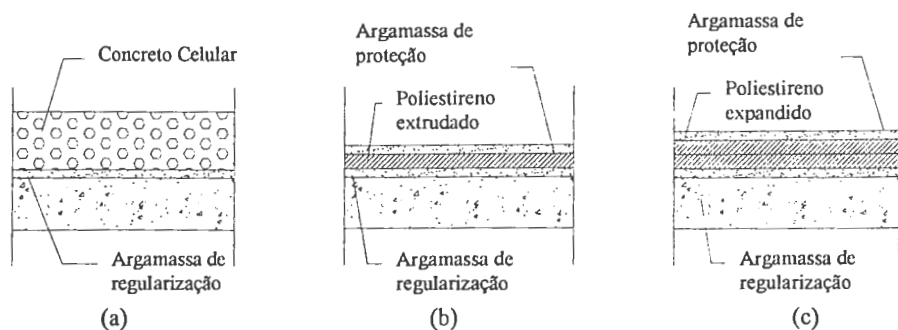


Figura 6.1 - Isolamento térmico da laje de cobertura

## 6.2 - Minimização dos Efeitos

São providências de natureza estrutural. Dentre as que possuem viabilidade prática, uma relativamente simples de ser produzida é a disposição de juntas de dilatação na laje de cobertura. A laje é fracionada em áreas menores, reduzindo-se o valor do comprimento  $L$  e o valor da tensão de cisalhamento atuante, conforme se mostra no item anterior. O projetista pode lançar mão desse procedimento durante a execução do projeto, como ação preventiva ou como uma solução interessante quando ocorre a patologia. A previsão da posição dessas juntas deve ser feita de maneira cuidadosa, observando-se a passagem de eletrodutos e a preferência por localização sobre paredes. Na localização da junta sobre paredes deve-se observar a necessidade de largura mínima de 5 cm de apoio para a laje prescrita pela NB1228. Pode-se, por exemplo, produzir a separação das lajes correspondentes aos apartamentos de um pavimento, bem como isolar a região correspondente a escadas e elevadores.

Outra providência, bastante usual, consiste na utilização de aparelhos de apoio de borracha extrudada entre a laje e a parede, que buscam permitir o livre deslocamento relativo entre os elementos estruturais. Esses aparelhos devem ser utilizados em pequenas placas descontínuas, com o preenchimento do espaço entre elas com material inerte, como se exemplifica na figura 6.2. Cabe ressaltar que a disposição do aparelho de apoio sobre toda a extensão da superfície de contato entre a parede e a laje não alcança os seus objetivos, pois não desvincula laje e parede na direção longitudinal desta última.

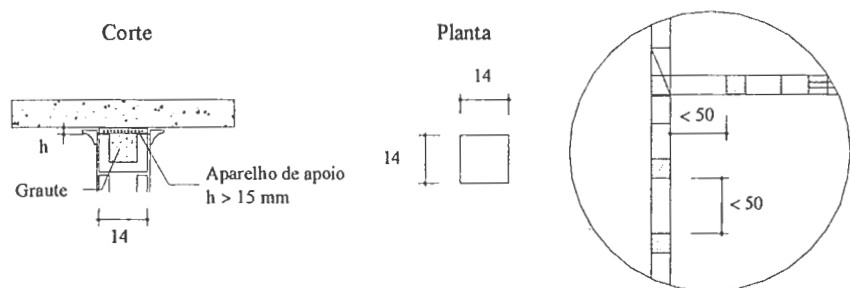


Fig. 6.2 - Aparelhos de apoio

Entretanto, a providência mais simples e mais econômica consiste na utilização de papel betumado na superfície em que a laje se apoia sobre a parede. Na realidade o que o papel betumado faz é reduzir significativamente o coeficiente de atrito entre a laje e a parede, produzindo um plano de deslizamento preferencial. A fissura que se formaria em alguma junta de argamassa entre blocos passa a se localizar na superfície de ligação entre laje e parede. Essa interface é uma aresta natural da construção, ficando assim a fissura praticamente imperceptível.

Outras soluções que envolvam a necessidade de armação das paredes não são práticas devido a pelo menos dois fatores: a dificuldade de se estimarem as armaduras necessárias e a inclusão de procedimentos adicionais na etapa construtiva que demandam tempo considerável. O grauteamento de blocos e a disposição de armaduras, em especial na vertical, constituem tarefas que reduzem em muito a produtividade, além de exigirem maior consumo de materiais.

Não é adequado, também, o aumento da resistência da alvenaria no último pavimento. Em primeiro lugar por não se ter ainda um modelo suficientemente preciso para avaliar os efeitos das tensões de cisalhamento nas paredes. Em segundo lugar por se tratar de uma solução que buscaria aumentar a resistência ao cisalhamento, introduzindo uma adicional resistência à compressão que não seria necessária.



## 7 - CONCLUSÕES

Pelo que foi apresentado pode-se perceber a grande importância de se tomarem as providências necessárias para se evitar a formação de fissuras nas alvenarias que se localizam logo abaixo das lajes de cobertura em edifícios de alvenaria estrutural. Esse fato, apesar de não representarem um risco para a segurança da estrutura, são inadmissíveis do ponto de vista da utilização do edifício.

Essas fissuras são causadas pela ação da temperatura sobre os diversos elementos estruturais, que apresentam diferentes deslocamentos e, estando ligados uns aos outros, acabam por produzir tensões de cisalhamento que induzem o aparecimento das fissuras. Intervir no processo através de uma redução das ações térmicas diferenciais e consequentemente reduzir os deslocamentos relativos entre os componentes é uma das alternativas de solução do problema. Outras, também viáveis, consistem na redução das dimensões dos elementos ou na criação de superfícies de escorregamento adequadas. Não se recomenda o reforço das alvenarias para uma eventual resistência das solicitações advindas da ação térmica, devido às dificuldades de quantificação e execução desses procedimentos.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). *NBR 1228 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. Rio de Janeiro.

BASSO, A.; LUCHINI, H.C.; RORIZ, M. (1990). *Desempenho térmico de coberturas para edifícios habitacionais*. In: I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, julho 1990. *Anais*, ANTAC, p.15-20

BASSO, A.; CORRÊA, M.R.S. (1993). *Ação da temperatura sobre a laje de cobertura de edifícios*. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis, 28 mar-01 abr. 1993. *Anais*. Florianópolis, ANTAC, ABERGO, SOBRAC. p.163-17

HENDRY, A. W. (1981). *Structural brickwork*. London, MacMillan Press.

HENDRY, A. W.; SINHA, B.P.; DAVIES, S.R. (1981). *An introduction to load bearing brickwork design*. New York, Halsted Press.

THOMAZ, E. (1989). *Trincas em edifícios*. São Paulo, IPT-EPUSP-PINI.