Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

# ANÁLISE DO COLAPSO PARCIAL DE UM FORRO EM ESTUQUE POR AÇÃO DE CUPINS

**R. NAKAO**
Engenheiro Civil
Autônomo
Mato Grosso do Sul; Brasil
rinakao@gmail.coml

**F. A. T. NAKAO**
Acadêmico de Engenharia
Universidade Federal de Santa Catarina
Santa Catarina; Brasil
ftnakao@gmail.coml

**RESUMO**

Neste trabalho é apresentado um estudo de caso em que é relatado um acidente em que parte de um forro do tipo "estuque" sofreu colapso por ataque de cupins e desabou causando, felizmente, apenas danos materiais. Nas décadas de 50 e 60 do século passado, muitas edificações no Brasil, principalmente no interior, foram executadas com esse tipo de forro, que apresentava custo inferior ao das lajes convencionais de concreto armado e era muito mais fácil e rápido de executar. As principais características desse sistema construtivo são descritas e analizadas, principalmente quanto aos mecanismos de colapso por ataque de cupins.
Palavras-chave: forro em estuque, cupins, estrutura de madeira.

**ABSTRACT**

In this paper is presented a case study in which it is reported one accident where part of a "stucco" type ceiling collapsed due to termite damage causing, fortunately, only property damage. In the decades of 1950 and 1960 many buildings in Brazil, especially in the inner parts of the country, were built with this type of ceiling, which had a lower cost than conventional reinforced concrete slabs and was much easier and faster to execute. The main characteristics of this system are described and analyzed, especially with regards to the mechanisms of collapse by termite attack
Keywords: stucco ceiling, termites, wooden structures.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Nascimento [1], a técnica construtiva do forro em estuque deriva da utilização do antigo revestimento em estuque, que remonta à antiguidade, existindo indícios de sua aplicação nas construções da civilização egípcia e também nas grego-romanas. A palavra estuque deriva do italiano *stucco*, que significa "apertar" e é uma técnica que consiste basicamente na aplicação sob pressão, de uma argamassa no revestimento de paredes e tetos, que permite diversos tipos de acabamento, inclusive a pintura. No Brasil, esse sistema construtivo foi introduzido no período colonial, mas segundo Borges [2], só nas primeiras décadas do século 20 foram introduzidas as telas metálicas para a fixação da argamassa, nos mesmos moldes em que podem ser encontrados até hoje em forros de algumas construções antigas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A composição da madeira

Segundo a publicação técnica da Montana Química S.A. [3], a composição química da madeira varia de acordo com diversos fatores, tais como: procedência, clima, tipo de solo, entre outros. Os elementos básicos que a compõem são: carbono, oxigênio, hidrogênio e traços de muitos íons metálicos, formando materiais poliméricos complexos. Segundo Lepage e Salis [4], os componentes principais da madeira são: celulose, hemicelulose e lignina, mas podem conter ainda outros elementos estranhos a esses polímeros, na forma de extrativos orgânicos e inorgânicos em proporções semelhantes às apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química aproximada da madeira por categorias das árvores segundo Lepage e Salis [4].

| Componentes principais | Coníferas | Folhosas |
|---|---|---|
| Celulose | 42% ± 2% | 45% ± 2% |
| Hemicelulose ou Poliose | 27% ± 2% | 30% + 5% |
| Lignina | 28% ± 2% | 20% ± 4% |
| Extrativos | 5% ± 3% | 3% ± 2% |

Segundo Lepage e Salis [4], a celulose confere rigidez e resistência à madeira, formando as suas fibras. Já as hemiceluloses servem de matriz onde são depositadas as macromoléculas da celulose, enquanto que a lignina é um polímero que funciona como um material de cimentação, mantendo as fibras reunidas.

### 2.2 A madeira como material estrutural

Segundo Almeida [5], a madeira é um material originário do tecido vegetal formado por um sistema vascular constituído por elementos tubulares denominados de fibras ou traqueídeos, orientados na direção vertical (longitudinal) e radial ao tronco, conforme ilustra a Figura 1.

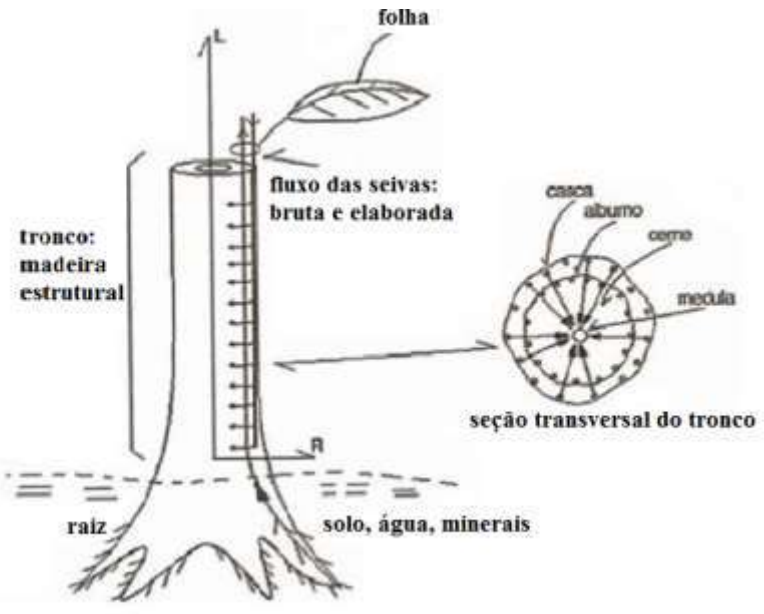


Figura 1: Diagrama esquematico da fisiologia da árvore, segundo Almeida [5].

Por ser um material anisotrópico, apresenta propriedades físicas diferentes, conforme os planos convencionais de observação de um tronco, e a madeira serrada, segundo Almeida [5], apresenta três planos de simetria elástica preferenciais, orientados nas direções longitudinal, radial e tangencial, conforme ilustra a Figura 2.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459




Figura 2: Planos de referência do tronco da madeira, segundo Lepage e Salis [4].

As madeiras, de acordo com as árvores que as produzem, podem ser classificadas em duas categorias: coníferas e folhosas. Segundo a publicação técnica da Montana Quimica S. A. [3], a organização celular das madeiras de coníferas é considerada simples, com ausência de vasos e são compostas principalmente de células semelhantes a tubos, sendo longas, estreitas e com extremidades fechadas chamadas de traqueídeos. Já as madeiras folhosas, que representam a maioria das madeiras brasileiras, apresentam estruturas bem mais complexas que as das coníferas, por apresentarem um maior número de tipos de células na sua composição. A principal diferença estrutural entre coníferas e folhosas é a presença de vasos, que são células condutoras que, unidas, formam um canal que vai das raízes até a copa, cuja função é conduzir líquidos.

### 2.3 Resistência das madeiras

Segundo Almeida [5], as principais propriedades estruturais da madeira serrada estão relacionadas separademnte para as coníferas e folhosas conforme indica a Tabela 2. Os valores são padronizados para mais de 500 espécies brasileiras e servem como orientação na escolha da madeira para ser utilizada na estrutura, apenas pela resistência característica à compressão paralela às fibras $f_{c0k}$. Na tabela 2, $E_{c0m}$ representa o Módulo de Elasticidade na direção paralela às fibras e $\rho_{aparente}$ a densidade aparente. Os valores se referem à condição padrão de referência de U=12% de teor de umidade.

Tabela 2 – Classes de resistência para a umidade padrão = 12%, adaptado de Almeida [5].

| Classes de Resistência | Coníferas | | | Folhosas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $f_{cok}$ (MPa) | $E_{c0m}$ (MPa) | $\rho_{aparente}$ (kg/m³) | $f_{cok}$ (MPa) | $E_{c0m}$ (MPa) | $\rho_{aparente}$ (kg/m³) |
| C20 | 20 | 3500 | 500 | 20 | 9500 | 650 |
| C30 | 30 | 14500 | 600 | 30 | 14500 | 800 |
| C60 | - | - | - | 60 | 24500 | 1000 |

Segundo Borges [2], na execução dos forros em estuque normalmente é utilizada a madeira maciça serrada obtida pelo beneficiamento do tronco, em dimensões padronizadas para o comércio, passando depois por um processo de secagem. Nas ligações com pregos, para evitar o fendilhamento da madeira, a norma NBR 7190:2012 [6], recomenda fazer uma furação prévia e prescreve que o diâmetro do prego não deve exceder 1/6 da menor espessura atravessada.

## 3. METODOS DE PESQUISA

### 3.1 Características da edificação e dos materiais

3.1.1 Descrição da edificação

O forrro objeto deste estudo estava instalado em uma edificação composta de três casas “geminadas”, com paredes divisórias comuns, construída no início da década de 60 do século passado. As dimensões dos compartimentos são de 3,00 x 3,00 m, totalizando 9,0 m². Não há vigas, pilares ou lajes no corpo da edificação e o telhado e os forrros se apoiam diretamente nas paredes, que têm 150 mm de espessura. Na realidade, essas paredes em alvenaria, executadas

com tijolos cerâmicos maciços de dimensões 10x20x30 cm, comuns na época da construção, têm função estrutural. Embora não tenha sido pesquisado o traço, os resíduos da demolição indicaram que as argamassas de assentamento e revestimento possuem na sua constituição areia, cimento e cal. Tanto as paredes como o forro em estuque foram rebocadas e pintadas. A fundação é em sapata corrida em concreto simples, assentada sobre a vala escavada no terreno e cuja base foi préviamente compactada. O telhado é em estrutura de madeira convencional, composta de tesouras, terças, caibros e ripas, cobertas com telhas cerâmicas do tipo francesa, distribuídas em quatro águas. A Figura 3 ilustra a edificação em estudo.



Figura 3: Vista da fachada da edificação em que o forro sofreu colapso.

3.1.2 Madeiramento do forro e ligações com pregos

O forro é constituído basicamente por uma argamassa armada por uma tela metálica. A estrutura suporte é formada por peças de madeira dispostas ortogonalmente formando uma malha quadrada de aproximadamente 500 x 500 mm que se apoia nas paredes de alvenaria. Essa malha, na direção de menor vão do compartimento, é formada por sarrafos de seção transversal de 25x100 mm e, na direção oposta, por ripas de seção transversal de 25x50 mm e comprimento de 500 mm. Os modos de disposição e de ligação desses elementos estruturais são descritos por Borges [2] e ilustrados na Figura 4.

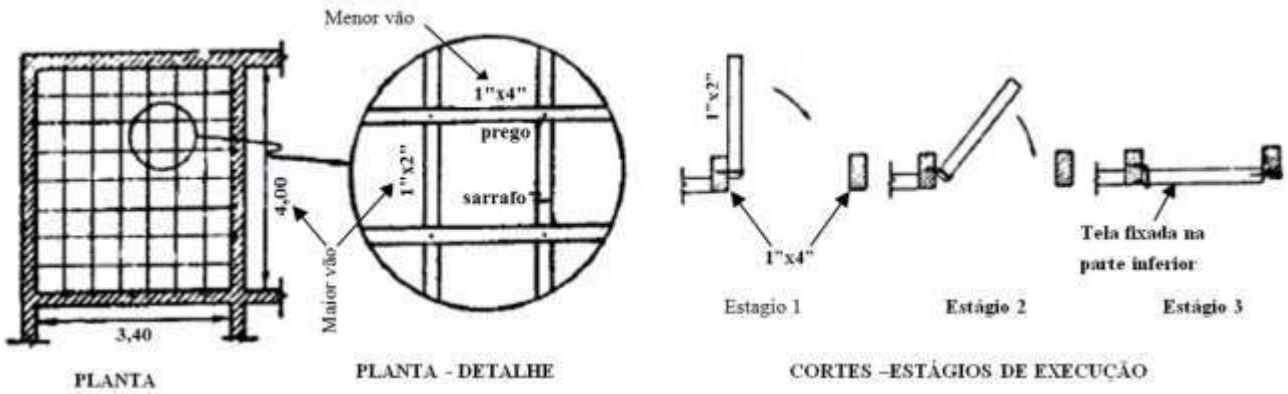


Figura 4: Detalhes das disposições das peças de madeira no forro, e de suas ligações, segundo Borges [2].

O processo executivo de fixação dos sarrafos de 25 x 50 mm, de travamento, descrito na Figura 4, mostra que em uma das extremidades, os pregos são inicialmente cravados com o sarrafo na vertical (Estágo 1), e posteriormente colocado na posição horizontal final às custas do dobramento do prego já fixado (Estágio 3). Na outra extremidade desse sarrafo de 25x50 mm, a cravação dos pregos se faz na horizontal, na direção das fibras da madeira, através do sarrafo de 25x100 mm. Alternativamente, para simplificar a colocação, o sarrafo de 25x50 mm pode ser fixado fora do alinhamento do sarrafo adjacente e neste caso a cravação dos pregos pode ser feita na posição horizontal definitiva. A unica diferença é que esses sarrafos deixam de ser alinhados e os módulos não são iguais.

Sendo a ligação entre as barras feita por meio de dois pregos, certamente existem diferenças de rigidez em cada direção. Essa estrutura de madeira é executada desligada da estrutura do telhado para evitar que as movimentações devido às ações e às variações de umidade e de temperatura sejam transmitidas ao forro, que, por ser constituída por uma camada de argamassa rígida, é suscetível de fissuração. Evidentemente a estrutura suporte deve ser dimensionada e/ou verificada para resistir aos esforços solicitantes e não sofrer deformações excessivas, como qualquer outro componente estrutural da edificação.

Segundo Borges [2], o espaçamento entre os sarrafos variava entre 300 e 500 mm, conforme as dimensões dos compartimentos, de modo que a argamassa ficasse confinada em no máximo uma placa quadrada de 500x500 mm, para

evitar deformações e fissurações. Esses módulos do entramado, além de facilitar a colocação da argamassa, permitem que as emendas da tela sejam sempre feitas sobre um sarrafo de madeira, favorecendo a economia e a segurança. A tela metálica era fixada por pregos em todos os 4 lados de cada módulo, garantindo o apoio do conjunto tela+argamassa na estrutura de madeira, de modo semelhante a um sistema de lajes apoiadas em todo o seu contorno.
Borges [2] sugere que as dimensões mínimas das seções transversais das peças de madeira que formam a estrutura suporte sejam selecionadas em função das dimensões e do maior vão do compartimento a ser forrado, conforme a Tabela 3, onde também estão indicadas as direções de colocação de cada peça. Nesta tabela as peças de madeira são designadas por suas nomenclaturas comerciais (sarrafos), dimensões (bitolas) em polegadas e entre parenteses, as correspondentes em milimetros.

Tabela 3 – Dimensões e disposições das peças de madeira no forro em função dos vãos, segundo Borges [2].

| **Compartimento ($m^2$)** | **Maior vão (m)** | **Seção transversal dos sarrafos** | | **Direção de colocação** |
|---|---|---|---|---|
| | | **(polegadas)** | **(mm)** | |
| ≤4,0 x 6,0 | ≤3,50 | 1” x 4” | (25 x 100) | Menor vão |
| | >3,50 | 1” x 6” | (25 x 150)<br>(30 x 120) (peroba) | |
| | | 1” x 2” | (25 x 50) | Maior vão |
| >4,0 x 6,0 | >4,0 | 1” x 6” | (25 x 150)<br>(30 x 120) (peroba) | Menor vão |
| | | 1” x 2” | (25 x 50) | Maior vão |
| | | 1” x 12” | (25 x 300) (tabua de pinho) | Perpendiculares aos sarrafos maiores |

Os sarrafos maiores, de 25 x100 mm, são colocados de forma a se apoiarem nas paredes de alvenaria nas suas duas extremidades, trabalhando como uma viga. Para vãos maiores, segundo Borges [2], muitas vezes eram adicionadas peças de maiores dimensões, como por exemplo, tábuas de 25x300 mm, na tentativa de minorar as deformações e aumentar a resistência e a rigidez do conjunto. A estrutura suporte do forro é concluída quando todos os sarrafos são pregados formando painéis em módulos não maiores que 500x500 mm e a tela fixada em todo o contorno de cada um dos módulos. A Figura 5 ilustra a vista inferior de uma estrutura de madeira para forro em estuque sem a tela e sem a argamassa.



Figura 5: Vista inferior do entramado de madeira para suporte do forro depois da retirada da tela e da argamassa.

A Figura 6 mostra a vista superior de um forro pronto sendo ambos executados na mesma época (aproximadamente 50 anos atrás) que o forro em estudo.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 6: Vista da face superior de forro existente, evidenciando as extremidades dos sarrafos 1”x4” apoiadas na parede.

A tela normalmente utilizada é comercialmente conhecida como tela Deployé ou tela de estuque. Este tipo de tela é fabricado a partir de finas chapas metálicas que são recortadas e depois expandidas no sentido transversal até atingir a largura pré-programada. Depois de pronta, recebe uma pintura por imersão de material betuminoso e apresenta uma cor escura, sendo comercializada em rolos de 100 m de comprimento, e largura de 0,50 m ou 1,00 m. A tela normalmente utilizada no forro é a que possui abertura de 1” (25,4 mm).
Como tanto a fixação da tela como a ligação entre os sarrafos é feita através de pregos, normalmente a madeira utilizada é macia. Os pregos são peças metálicas cravadas na madeira com impacto. A penetração do prego se faz principalmente com o afastamento forçado das fibras resistentes da madeira. Segundo Valle [7], as ligações pregadas possuem rigidez variável em função da concentração de pregos e do número de ciclos de carga da ligação e os principais modos de ruptura da ligação dependem da resistência da madeira ao esmagamento e ao cisalhamento pelos contatos. O deslocamento lateral das fibras com o prego penetrando como uma cunha pode causar uma ruptura na peça que se manisfesta sob forma de fendilhamento ou fissura, diminuindo a resistência da ligação. A norma NBR 7190:2012 [6], fornece fórmulas empíricas para as cargas admissíveis de ligações com pregos e parafusos, que dependem principalmente da resistencia, da umidade da madeira e das disposições construtivas da ligação.
Segundo Almeida [5], no projeto de ligações das estruturas de madeira a segurança é verificada em relação aos modos de ruptura esquematizados na Figura 7.

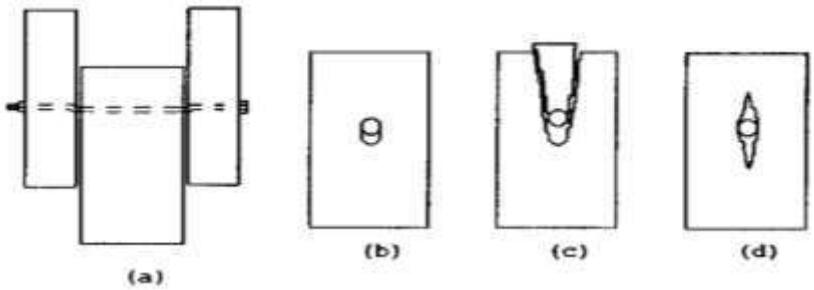


Figura 7: Modos de ruptura das ligações com pinos ou pregos segundo Almeida, Apud Valle [8]
(a) plastificação do pino, (b) embutimento na madeira,
(c) cisalhamento da madeira, (d) fendilhamento

3.1.4 A aplicação da argamassa

Segundo Borges [2], a aplicação da argamassa pode ser feita de duas maneiras: pela face superior ou pela face inferior da tela. Na aplicação pela parte superior, enquanto a argamassa é aplicada preenchendo cada módulo do entramado, na parte inferior é utilizado um artefato denominado de esparável para vedar e garantir que a argamassa permaneça entre as aberturas da tela. Esse artefato encontra-se ilustrado na figura 8 e é constituído por uma placa quadrada de madeira com um apoio central que serve de cabo para manuseio e normalmente é confeccionado na própria obra. Após essa camada adquirir resistência inicial, o acabamento final do forro é feito com a aplicação, de baixo para cima, de uma camada de argamassa do tipo reboco normal.
Alternativamente, a aplicação da argamassa pode ser feita apenas pela parte inferior, com um operário pressionando a argamassa firmemente através da tela. Neste caso o artefato para aplicação da argamassa, (esparável) deve ser revestido por uma camada de estopa ou material similar. De acordo com Borges [2], este segundo tipo de aplicação é menos econômico e apresenta mais falhas, pois está facilmente sujeito a irregularidades, tanto na espessura como no

acabamento final do forro. Entretanto, nos dois casos, quando bem executado, a aparência final do forro em estuque não é muito diferente daquela de uma laje de concreto revestida com reboco.

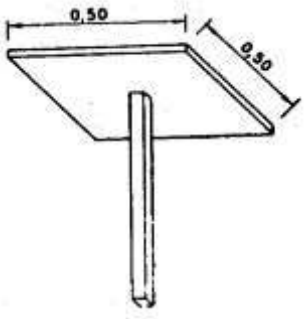


Figura 8: Detalhe do artefato (esparável) utilizado na aplicação da argamassa no forro, segundo Borges [2].

A aplicação da argamassa é sempre feita preenchendo módulo por módulo em sequencia, até completar toda a área do compartimento a ser forrado. Segundo Borges [2], a argamassa de preenchimento do forro normalmente era constituída de cal, cimento e areia. O traço deve fornecer consistência tal que permita a aplicação de forma a que a tela seja facilmente preenchida, tenha secagem rápida para atingir uma resistência suficiente para o prosseguimento dos serviços. A espessura final da argamassa gira em torno de 3 a 5 cm, já contando o acabamento final de reboco.

**3.2 Biodeterioração da madeira e ação de cupins**

Segundo a publicação técnica da Montana Quimica S. A. [3], a deterioração da madeira pode ocorrer por ação de agentes físicos, químicos e biológicos. O ataque de agentes biológicos depende das condições ambientais de temperatura, oxigênio e umidade e, no caso em estudo, onde a estrutura de madeira do forro encontra-se protegida das intempéries, o principal agente responsável pela patologia que levou ao colapso parcial, foi um inseto conhecido como cupim ou térmita. Segundo Lepage e Salis [4], os cupins fazem parte da espécie isóptera e desenvolvem-se a partir de ovos e o seu crescimento é acompanhado de metaforfoses progressivas, com o inseto sofrendo diferenciações nas diversas fases por que passa ao longo de sua vida. Os cupins são insetos sociais, isto é, vivem em colônias onde as atividades são distribuídas de modo semelhante a um sistema de castas, pois convivem indivíduos com caracteríaticas físicas diferentes.
Segundo a publicação técnica da Montana Quimica S. A. [3], uma colônia típica abriga três castas: a dos operários, a dos soldados e a dos reprodutores, conforme ilustra o ciclo de vida descrito na figura 9.

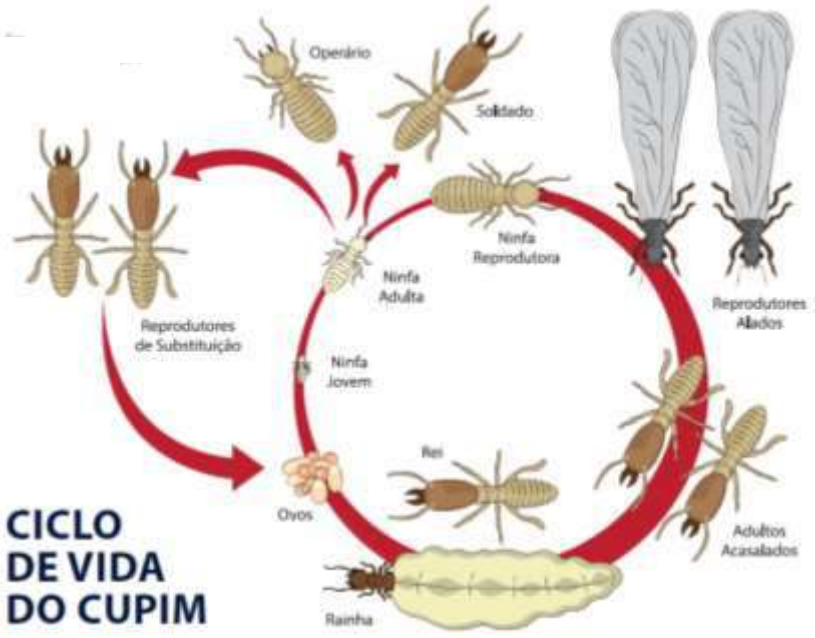


Figura 9: Ciclo de vida do cupim com as diversas formas, conforme Lepage e Salis [4].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Os operários, que representam a maior proporção da população da colonia, são indivíduos cegos, sem asas e são os responsáveis pelo suprimento de alimento, que provêm principalmente do material celulósico da madeira. Possuem bocas relativamente pequenas, mas suas mandíbulas são adaptadas para cortar e dilacerar fragmentos de madeira e outros alimentos. Os operários são ainda responsáveis por muitas outras atividadesda colonia, como limpeza, construção e manutenção das galerias.

Dentre os diversos tipos de cupins existentes, os que infestaram o forro do caso em estudo foram os cupins de madeira seca, que, segundo a publicação das Montana Quimica S. A. [3], são os que constituem suas colônias dentro de peças de madeira com baixo teor de umidade. Suas colonias não são tão numerosas como as das outras espécies e eles constroem diversas galerias por onde circulam e realizam as suas atividades. Acumulam suas fezes em forma de pequenos granulos ovalados em cavidades situadas próximas à superficie da madeira que, de tempos em tempos, precisam ser esvaziadas como operações de limpeza das galerias. Para tanto, são perfurados pequenos orifícios por onde esses dejetos são descartados. Geralmente só nessa fase, através da presença dos grânulos no ambiente, é que o ataque dos cupins é detectado. Apesar da deterioração causada pelo cupim de madeira seca ser mais lenta, ainda não há estudos que permitam determinar a velocidade de degradação.

Harverty and Nutting [8] relatam estudos visando determinar a velocidade de ataque dos cupins, através da quantidade de madeira cortada pelos cupins operários de algumas espécies, relacionando com fatores influentes tais como temperatura ambiente, umidade, espécie, tipo de madeira e outros.

Segundo Lepage e Salis [4], embora causem danos em estruturas e móveis de madeira, os cupins são importantes para o equilibrio ecológico, pois transformam a madeira podre e a celulose em material orgânico, contribuindo para a preservação do meio ambiente e não causam nenhuma doença diretamente para os seres humanos.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Infelizmente quando os autores deste trabalho foram acionados, os resíduos do forrro colapsado já haviam sido removidos do local. As informações relativas ao acidente foram relatadas pelo morador e um dos operários encarregados pela remoção dos entulhos. Segundo o morador, ele já havia observado a presença de fissuras e deformações no teto havia já algum tempo e numa manhã, cerca de um terço do forro caiu repentinamnte sobre os móveis do quarto, produzindo muito pó e barulho. O resto do forro permaneceu suspenso e preso pela tela na parte ainda suportada pela parte intacta da estrutura de madeira. Esta parte foi posteriormente demolida e removida. Os compartimentos adjacentes foram vistoriados e vestígios de ataques de cupins foram encontrados em outro quarto. Na Figura 10 é possível verificar a natureza e as características desse ataque, antes e depois do iníco da demolição do forro.





a) Antes da demolição; b) Inicio da retirada da argamassa e tela c) Danos proximos ao apoio

Figura 10: Danos causados no forro do quarto adjacente visualizados antes (a) e após o inicio da demolição (b) e (c).

A Figura 6 ilustra uma vista superior do forro antes da intervenção, onde não é possível perceber a ação dos cupins. Segundo Lepage e Salis [4], uma das características da ação dos cupins de madeira seca é o ataque apenas da parte interna da madeira, com a construção de galerias, conforme ilustra a parte inferior da Figura 10 a. Na realidade, nessa situação as galerias só se tornaram visíveis após a retirada da superfície externa da peça da madeira, cuja espessura havia sido reduzida a dimensões milimétricas e que, fragilizada, rompia-se ao toque das mãos. Na demolição do forro, nas regiões atacadas pelos cupins, a operação de retirada da argamassa provocava a ruptura da parte inferior dos sarrafos e o conjunto argamassa + tela + fundo do sarrafo se destacava do resto da estrutura portante, conforme ilustram as Figuras 10 b e 10 c. Nesse compartimento, de 9,00 m², a área afetada pelo ataque de cupins se restringiu a aproximadamente 3,00 m². Foi observado ainda que nos locais não afetados pela ação dos cupins a estrutura do forro permaneceu praticamente intacta sem aparente redução de resistência.

A carga atuante no forro, supondo a espessura da argamassa com 4,0 cm, foi estimada em 73 kgf/m².

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Considerando, a favor da segurança, que o sarrafo de 25 x 100 mm trabalhe como uma viga isolada e simplesmente apoiada com 3,00 m de vão, o cálculo estrutural resulta em um momento fletor máximo de 44,00 kgf.m e um cortante máximo de 58,50 kgf. A seção transversal do sarrafo é suficiente para resistir com segurança a esses esforços.
Embora não seja possível precisar a forma como ocorreu o acidente que culminou com o colapso, a demolição do forro simulando um carregamento crescente com aplicação de força vertical de cima para baixo indicou duas principais formas de ruptura, conforme ilustram as Figuras 11 e 12. A primeira, uma ruptura por cisalhamento, semelhante a um corte puro, conforme a Figura11. A outra forma de ruptura observada foi por tração diagonal, com a linha de ruptura inclinada propagando-se da região afetada em direção ao trecho central da peça, conforme ilustra a Figura 12.



Figura 11: Ruptura por cisalhamento com corte puro durante demolição com aplicação de carga vertical crescente.



Figura 12: Ruptura por cisalhamento durante demolição com aplicação de carga vertical crescente.

## 5. CONCLUSÕES

Atualmente, as estruturas de concreto de edificações são projetadas, segundo a NBR 15575:2003 [9], para uma vida útil de no mínimo, 50 anos. No caso estudado, o colapso de parte de um forro com mais de 50 anos de idade só ocorreu após a deterioração de parte da estrutura de sustentação em madeira resultante de um ataque de insetos, mais especificamente, cupins. Nos outros ambientes e casas próximas ao local do acidente, não foram observados indícios de deterioração da estrutura de madeira de forros similares. Isso se deve ao fato de que as condições ambientais em que se encontram os forros estudados, com baixa umidade e ausência de luz solar, são favoráveis à durabilidade da madeira e do aço. Além disso, a maioria das cargas são do tipo permanentes e de baixa intensidade, com pouca incidência de cargas acidentais, como vento, transito de pessoas ou vibrações.
Aparentemente, a associação da argamassa relativamente rígida, mas com adição de cal, com a tela metálica fixada por pregos em uma estrutura em madeira com ligações pregadas não muito rígidas, e que está apoiada em paredes de alvenaria, resultou em um conjunto com bom grau de compatibilidade e eficiência.
O ataque de cupins não é perceptível sem uma inspeção a partir do telhado para visualização da face superior do forro, pois os dejetos dos cupins não são visíveis pelo usuário como no caso de móveis e estruturas aparentes de madeira. Pela parte inferior do forro, a percepção só é possível após danos como deformações ou fissurações, que podem também ser de origens diversas, como por exemplo, vibrações, deformações naturais da madeira por variações de umidade ou de temperatura, etc.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Importantes informações sobre o comportamneto do sistema estrutural foram colhidas durante a demolição de forro localizado em compartimentos contíguos ao do forro que sofreu o colapso. Foi possível constatar que o ataque de cupins de madeira seca se faz por colonia isoladamente e geralmente se restringe a uma peça de madeira e as que nela estão ligadas, sendo então um ataque localizado e, além disso, se processa de forma lenta. Se descoberto a tempo a recuperação e/ou reforço é possível sem grandes problemas na maioria dos casos. A eliminação dos cupins é facilmente executada por empresas especializadas e existem hoje no mercado diversos produtos comerciais específicos. Se o ataque for de grandes proporções, a demolição do forro é muito fácil de ser executada.

No caso estudado, o colapso aconteceu por deterioração da madeira por ação dos cupins, e observou-se que a tela metálica não apresentou sinais de corrosão apesar do tempo de vida de 50 anos.

A operação de demolição foi realizada com a aplicação de forças verticais atuando na tela metálica no sentido de cima para baixo e indicaram que os principais modos de ruína tiveram como causa, a ruptura por cisalhamento. Na ligação entre os sarrafos, ocorreu praticamente um corte puro, separando as peças de madeira. Já na parte inferior do sarrafo, ocorreu um cisalhamento paralelo às fibras longitudinais horizontais, com o plano de ruptura se manifestando próximo da posição da tela metáica. Posteriormente esse plano de ruptura assumiu uma trajetória inclinada e se propagou em direção à região central do sarrafo.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Nascimento, C. B. – *Deterioração de forro em estuque reforçado com ripas vegetais: o caso "Vila Penteado" FAUUSP*. Dissertação de Mestrado – EPUSP, São Paulo, 2002, 244 p.

[2] Borges, A. C. – *Prática das pequenas construções Vol. II*. São Paulo, Edgard Blücher, 1975, 144 p.

[3] Montana Química S.A. – *Biodeterioração e preservação de madeiras*. DATE/TDC – Departamento de Apoio e Desenvolvimento Técnico / Treinamento e Desenvolvimento Comercial, 75 p.

[4] Lepage, E. S.; De Salis, G. A. – *Atualização e preservação de madeiras*. São Paulo: Editora, 2015, 64 p.

[5] Almeida, P. A. O. – "Madeira como Material Estrutural" in *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais vol.2*, ed. G.C. Isaia. 2 ª ed., São Paulo, IBRACON, 2010, pp. 1241-1264.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeiras. Rio de Janeiro, 2012.

[7] Valle, A. – Estruturas de Madeira I - ECV 5251 Notas de aula - Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

[8] Harverty, M. I.; Nutting, W. L. – *Natural wood-consumption rates and survival of a dry-wood and subterranean termite at constant temperatures*. Annals of the Entomological Society of America, march, 1974, pp.153-157.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15575-2: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013, 31 p.