

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**

**CAMPUS ARACAJU**

**DIREÇÃO DE ENSINO**

**COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LUCAS DOS SANTOS BARBOSA**

**MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS  
RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA**

**MONOGRAFIA**

**ARACAJU**

**2021**

**LUCAS DOS SANTOS BARBOSA**

**MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS  
RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho

**ARACAJU**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Barbosa, Lucas dos Santos

B238m Manual de inspeção de edifícios antigos em alvenarias resistentes e estruturas de madeira. / Lucas dos Santos Barbosa. - Aracaju, 2021.

75 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho.  
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil.) - Instituto Federal de Sergipe, 2021.

1. Alvenaria resistente. 2. Edifício antigo. 3. Estrutura de madeira. 4. Manifestação patológica. 5. Manual de inspeção. I. Carvalho, Carlos Henrique de. II. Título.

CDU 693

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**

**CAMPUS ARACAJU**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Monografia Nº 191**

**MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS  
RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA**

**LUCAS DOS SANTOS BARBOSA**

Esta monografia foi apresentada às 19h00 do dia 16 de abril de 2021, como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profª Drª Carla Cristina Nascimento Santos Pereira  
(IFS - Campus Aracaju)

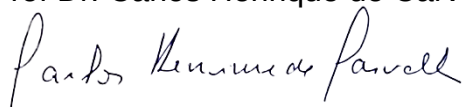


Engº Jorge Roberto Silveira  
(Presidente CREA/SE)

JORGE ROBERTO  
SILVEIRA:35687304800

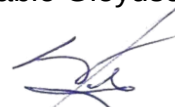
Assinado de forma digital por  
JORGE ROBERTO  
SILVEIRA:35687304800  
Dados: 2021.04.19 12:21:57 -03'00'

Prof Dr. Carlos Henrique de Carvalho



(IFS - Campus Aracaju)  
**Orientador**

Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa



(IFS – Campus Aracaju)  
**Coordenador da COEC**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Jailton e Lucimar, que sempre fizeram o possível e o impossível para me proporcionar a melhor condição de estudo, e pelo incentivo durante toda minha trajetória até a realização desse objetivo.

Aos meus irmãos, Kílvia e Vinícius, que me ajudaram muito durante o período de graduação, e se orgulham de ter um irmão Engenheiro.

A minha namorada, Luise Fernanda, que sempre me apoiou com bastante incentivo, demonstrando paciência e compreensão para eu concluir essa etapa da minha vida.

Aos amigos que conquistei, os quais compartilhamos de diversos momentos, sonhos, perdas e conquistas durante toda essa trajetória.

Aos professores do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju, por todo conhecimento repassado com muita dedicação e paciência. Por fim, agradeço ao professor Dr. Carlos Henrique pelas contribuições de grande valia que serviram para o desenvolvimento desta pesquisa.

## RESUMO

BARBOSA, Lucas dos Santos. **Manual de Inspeção de Edifícios Antigos em Alvenarias Resistentes e Estruturas de Madeira**. 75 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2021.

Os edifícios antigos possuem valor cultural para a sociedade e à Engenharia Civil, face procedimentos e materiais construtivos que marcaram uma época. Este trabalho tem por objetivo principal analisar edifícios construídos em alvenarias resistentes e estruturas de madeira, apresentando suas características, propriedades, desempenho e manifestações patológicas mais recorrentes, além de técnicas de inspeção que consistem em ferramentas utilizadas para diagnósticos e terapias das anomalias existentes. Os estudos compreenderam as etapas a serem executadas para uma avaliação completa dos nexos causais, salientando a necessidade da elaboração de um manual de inspeção que contenha todos esses procedimentos dispostos de maneira clara e concisa, a fim de otimizar processos, com o aumento de produtividade e eficiência nas inspeções posteriores.

**Palavras-chave:** Alvenarias resistentes. Edifícios antigos. Estruturas de madeira. Manifestações patológicas. Manual de inspeção.

## **ABSTRACT**

BARBOSA, Lucas dos Santos. **Manual de Inspeção de Edifícios Antigos em Alvenarias Resistentes e Estruturas de Madeira**. 75 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2021.

The old buildings have cultural value for society and for Civil Engineering, owing to construction procedures and materials that marked an epoch. This work have as main objective analyze buildings built in resistant masonry and wooden structures, presenting its most recurrent characteristics, properties, performance and pathological manifestations, in addition to inspection techniques that consist of tools used for diagnoses and therapies of existing anomalies. The studies included the steps to be taken for a complete assessment of the causal nexuses, emphasizing the need to prepare an inspection manual that contains all these procedures arranged in a clear and concise manner, in order to optimize processes, increasing productivity and efficiency in subsequent inspections.

**Keywords:** Resistant masonry. Old buildings. Wooden strucures. Pathological manifestations. Inspection manual.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Presença de componentes cerâmicos maciços e/ou furados .....                          | 14 |
| Figura 2 - Disposição do ensaio de ultrassom no interior de furos.....                           | 16 |
| Figura 3 - Aparelho <i>Speedy</i> .....                                                          | 17 |
| Figura 4 - Posicionamento do macaco plano para o ensaio de determinação do estado de tensão..... | 18 |
| Figura 5 - Montagem dos aparelhos para o ensaio de deformabilidade.....                          | 19 |
| Figura 6 - Corte esquemático de edificação típica em alvenaria resistente ....                   | 20 |
| Figura 7 - Umidade ascendente por capilaridade.....                                              | 22 |
| Figura 8 - Trincas horizontais provenientes da expansão da cerâmica.....                         | 23 |
| Figura 9 - Fissuras provocadas por expansão térmica da laje .....                                | 26 |
| Figura 10 - Fissuras provocadas por recalque das fundações.....                                  | 27 |
| Figura 11 - Presença de eflorescência em alvenaria .....                                         | 29 |
| Figura 12 - Presença de mofo em alvenaria.....                                                   | 31 |
| Figura 13 - Presença de vegetação em uma marquise.....                                           | 32 |
| Figura 14 - Elemento estrutural de madeira sob ação de fungos apodrecedores .....                | 34 |
| Figura 15 - Aparelho <i>Pylodin</i> .....                                                        | 43 |
| Figura 16 - Aparelho <i>Resistograph</i> .....                                                   | 43 |
| Figura 17 - Aparelho Ultrassom.....                                                              | 44 |
| Figura 18 - Vista aérea da antiga FAPESE/UFS .....                                               | 46 |
| Figura 19 - Fachada principal e lateral do prédio .....                                          | 47 |
| Figura 20 - Presença de EPU em cerâmica.....                                                     | 49 |
| Figura 21 - Infiltração em alvenaria .....                                                       | 50 |
| Figura 22 - Reboco desfarelante nos revestimentos de alvenarias.....                             | 50 |
| Figura 23 – Presença de eflorescência em parede revestida.....                                   | 51 |
| Figura 24 - Agentes bióticos em assoalho de madeira.....                                         | 52 |
| Figura 25 – Presença de mofo em parede face umidade pelo destelhamento.                          | 52 |
| Figura 26 - Corrosão na armadura de pilar.....                                                   | 53 |
| Figura 27 - Corrosão na armadura de pilar .....                                                  | 54 |
| Figura 28 - Corrosão em armadura de pilar.....                                                   | 54 |
| Figura 29 - Corrosão em armadura de pilar .....                                                  | 55 |
| Figura 30 - Corrosão em pilar de fachada.....                                                    | 55 |
| Figura 31 - Corrosão em pilar de fachada.....                                                    | 56 |
| Figura 32 - Corrosão na armadura de viga.....                                                    | 55 |
| Figura 33 - Fissura em viga próximo de pilar .....                                               | 56 |
| Figura 34 - Fluxograma de diagnóstico das manifestações patológicas .....                        | 63 |
| Figura 35 - Organogramas com etapas para execução do manual de inspeção .....                    | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - <i>Check-list</i> de anamnese .....                                                                                      | 58 |
| Tabela 2 - <i>Check-list</i> para inspeção visual .....                                                                             | 59 |
| Tabela 3 - <i>Check-list</i> para inspeção instrumentada .....                                                                      | 60 |
| Tabela 4 - <i>Check-list</i> de cadastramento das manifestações patológicas .....                                                   | 61 |
| Tabela 5 - Modelo de relatório fotográfico e classificações .....                                                                   | 62 |
| Tabela 6 - Critérios do grau de risco e pesos referentes a metodologia utilizada para a classificação da ordem de prioridades ..... | 64 |
| Tabela 7 - <i>Check-list</i> para ordenamento de prioridades (Método GUT) .....                                                     | 64 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                           | <b>11</b> |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....                                                                                    | 11        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....                                                                                             | 12        |
| 1.3 OBJETIVOS GERAIS.....                                                                                           | 13        |
| 1.3.1 Objetivos Secundários.....                                                                                    | 13        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                                                                   | <b>14</b> |
| 2.1 ESTRUTURAS EM ALVENARIAS RESISTENTES .....                                                                      | 14        |
| 2.1.1 Propriedades e Características .....                                                                          | 15        |
| 2.1.2 Manifestações Patológicas Recorrentes.....                                                                    | 21        |
| 2.1.2.1 Tipos de umidade .....                                                                                      | 21        |
| 2.1.2.2 Expansão por umidade (EPU).....                                                                             | 23        |
| 2.1.2.3 Fissuras e suas causas .....                                                                                | 24        |
| 2.1.2.4 Eflorescência.....                                                                                          | 29        |
| 2.1.2.5 Ataques químicos (biológico e vegetal) .....                                                                | 30        |
| 2.2 ESTRUTURA DE MADEIRA .....                                                                                      | 34        |
| 2.2.1 Propriedades da Madeira .....                                                                                 | 35        |
| 2.2.2 Manifestações Patológicas Recorrentes.....                                                                    | 37        |
| 2.2.3 Diagnóstico e Tratamento .....                                                                                | 39        |
| 2.3 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO .....                                                                                      | 41        |
| 2.3.1 Inspeção Visual .....                                                                                         | 41        |
| 2.3.2 Inspeção Instrumentada .....                                                                                  | 42        |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                                                                                          | <b>45</b> |
| 3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....                                                                                     | 45        |
| 3.2 ESTUDO DE CASO .....                                                                                            | 46        |
| 3.2.1 Anamnese .....                                                                                                | 47        |
| 3.2.2 Inspeção Visual Detalhada.....                                                                                | 48        |
| 3.2.3 Cadastramento das Manifestações Patológicas.....                                                              | 49        |
| 3.3 RECUPERAÇÕES EM OBRAS DE ALVENARIAS RESISTENTES ANTIGAS .....                                                   | 53        |
| 3.3.1 Inserções de Componentes Estruturais em Concreto Armado ou Aço .                                              | 54        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                               | <b>58</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO.....</b>                                                                                             | <b>66</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                             | <b>67</b> |
| <b>APÊNDICE A – MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA .....</b> | <b>69</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A introdução está dividida em dois subtópicos, tais como: Considerações Iniciais e Justificativa, as quais são importantes no contexto da discussão. No primeiro será abordado como os edifícios antigos são importantes no contexto em que estão inseridos, bem como suas peculiaridades em relação à materiais e técnicas executivas. E, o último subtópico se baseia na importância de um manual pertinente às edificações antigas em alvenarias.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As edificações de um modo geral, com o passar dos anos, tornam-se obsoletas, seja pelos novos materiais e recursos que os avanços tecnológicos propiciam, ou simplesmente pela perda de funcionalidade muito decorrente de modificações de sua utilidade. Nos centros urbanos, principalmente, nota-se uma grande quantidade de edificações antigas que possuem alto valor cultural para a sociedade e tecnológico para a Engenharia Civil. Caracterizam os sistemas construtivos da época, materiais, arquitetura, fontes de pesquisas, enfim uma referência técnica para estudos.

Segundo Helene (2003), “os principais agentes de deterioração das edificações são: (1) fatores físicos; (2) fatores químicos; (3) fatores biológicos; (4) fatores antrópicos e (5) fatores naturais”. Dessa forma, considerando os efeitos da degradação natural dos materiais, nos edifícios mais antigos o problema é mais relevante, face o tempo de exposição aos agentes e isso faz com que a estrutura apresente níveis de riscos indesejáveis, por falta de manutenção adequada.

Os edifícios antigos diferenciam-se pela sua tecnologia de construção tradicional e materiais empregados, apresentando como materiais mais comuns: a madeira, argamassa à base de cal, tijolos cerâmicos maciços e pedras. Por outro lado, as técnicas executivas utilizadas nesse tipo de construção possuem características similares e, na maioria das vezes, nota-se a presença de alvenarias resistentes e estruturas de madeiras, sejam elas assoalhos, como elemento estrutural ou apenas como detalhes estéticos.

Portanto, para avaliar edificações antigas, é preciso entender a aplicação e funcionamento desses materiais, bem como sua interação físico-química com a estrutura global, em relação ao desempenho e resistência, para que inspeções em obras com essas características sejam realizadas de maneira eficaz, levando em consideração, também, todas as práticas construtivas pertinentes à época.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

No ramo da Engenharia Diagnóstica, mais especificamente na inspeção predial, questionamentos sobre técnicas construtivas, materiais, como tipo de concreto, madeira, tijolos e argamassa, por exemplo, são levantados por parte dos responsáveis pela execução do serviço. E, quando se trata de prédios antigos, esses mesmos questionamentos tomam uma proporção maior, pois além desses questionamentos levantados, deve-se também tomar conhecimento de tudo que era predominante na época de construção do prédio estudado, envolvendo técnicas construtivas que eram comuns, materiais, e também as normas que eram vigentes.

A aplicação do manual de inspeção promove um aumento na produtividade e eficiência do serviço, pois refere-se às etapas necessárias previstas em normas e que constam todos os procedimentos executivos para realização da inspeção em edificações antigas e, como mencionado, esse caso de inspeção tem uma complexidade maior quando comparado às edificações construídas mais recentes pelo motivo delas apresentarem características que eram predominantes e exclusivas, mas que nada exclui o fato de haver características comuns aos dois tipos de edificações.

Sabendo da importância do tema e do intuito em propor um manual de inspeção específico, se faz necessário tomar conhecimento de um guia de elaboração de manual de inspeção e adaptá-lo para edifícios antigos em alvenarias resistentes e estruturas de madeira, o qual será apresentado no decorrer do presente trabalho.

### 1.3 OBJETIVOS GERAIS

Este estudo tem como objetivo principal a elaboração de um manual de inspeção voltado para edificações antigas construídas em alvenarias resistentes e com a presença de estruturas de madeira, visando sistematizar um trabalho pericial específico.

#### 1.3.1 Objetivos Secundários

- a) Incorporar os ensaios não destrutivos que vão subsidiar a inspeção;
- b) Avaliar as estruturas antigas de madeira e a degradação causada por agentes bióticos e abióticos;
- c) Analisar o desempenho de uma alvenaria estrutural resistente com inserções de componentes de concreto armado nas recuperações recentes;
- d) Inspeccionar eventuais recuperações nas estruturas de alvenarias resistentes com componentes de concreto armado e/ou aço.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item, será abordado toda a teoria pertinente aos métodos de execução utilizados, bem como sobre as características e propriedades das manifestações patológicas recorrentes nos materiais empregados e na própria edificação no geral e, por fim, técnicas utilizadas para sanar as anomalias existentes, através de ensaios.

### 2.1 ESTRUTURAS EM ALVENARIAS RESISTENTES

Em edificações antigas era muito comum o uso de alvenaria resistente, que consiste em um sistema construtivo diferente da alvenaria estrutural e de vedação. A de vedação, como o nome propõe, tem a finalidade de vedar o espaço compreendido entre vigas e pilares de uma estrutura em concreto armado, fazendo o layout ambiental, conforto térmico e acústico. A alvenaria estrutural é o processo de construção que se caracteriza pelo uso de paredes como a principal estrutura de suporte. Já a alvenaria resistente, por sua vez, é uma técnica caracterizada pela utilização de elementos cerâmicos ou até mesmo de concreto, com finalidade estrutural, ou seja, com o objetivo de suportar cargas além do seu próprio peso (OLIVEIRA, 2010).

Figura 1 – Presença de componentes cerâmicos maciços e/ou furados



Fonte: O autor (2021)

Quanto às propriedades dos materiais constituintes, Molinari (1990), afirma que elas variam consideravelmente de uma unidade para outra. Esta variação é inerente aos processos de fabricação e contribui para a existência de desvios nos resultados de experimentos realizados com alvenarias de

tijolos. Eles, por sua vez, apresentam comportamento elástico-frágil, quando submetidos aos esforços, e sua resistência à compressão é muito maior que a de tração.

Ainda em relação aos materiais, tem-se a argamassa, através das juntas aplicadas entre os tijolos cerâmicos, que possuem quatro funções principais: unir os componentes da alvenaria, ajudando nos esforços laterais; distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente; absorver as deformações naturais que a alvenaria estiver sujeita; e selar as juntas, conferindo estanqueidade. (SABBATINI 1984; JAWOROSKI, 1990)

As argamassas devem possuir características e propriedades para que tais funções citadas sejam cumpridas. São elas: capacidade de retenção de água, trabalhabilidade, resistência adequada, boa aderência aos componentes das alvenarias, durabilidade e flexibilidade. (SABBATINI 1984; JAWOROSKI, 1990)

A trabalhabilidade determina a facilidade com a qual a argamassa fresca pode ser manipulada com perda mínima de homogeneidade. Existem vários fatores que afetam essa propriedade, como o tipo de traço, sua consistência, uso de aditivos, entre outros.

Nas argamassas mistas, de cal e cimento, que são mais utilizadas em alvenarias resistentes, a cal serve para dar plasticidade, retenção de água, melhorar a trabalhabilidade do produto fresco e aumentar a capacidade da argamassa endurecida absorvendo eventuais deformações.

### 2.1.1 Propriedades e Características

As paredes de alvenaria resistente são dimensionadas para resistir, basicamente, a quatro tipos de esforços: compressão, cisalhamento, flexão no plano e flexão fora do plano da parede. (PRUDÊNCIO JR. *et al.*, 2002)

Elas estão sujeitas às solicitações provenientes de variações térmicas e higroscópica, deformações das estruturas de concreto armado e fundações, cargas de vento, entre outras, que provocam tensões de compressão, tração e cisalhamento isoladas ou simultaneamente. (MASSETO; SABBATINI, 1998)

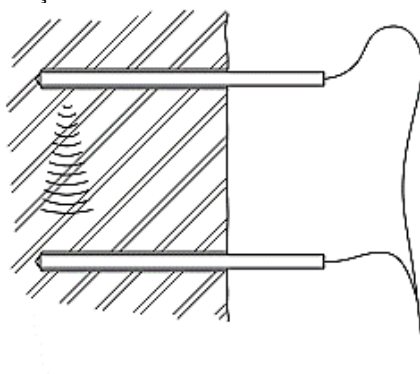
O cálculo e dimensionamento de estruturas de alvenaria é feito pelo Método das Tensões Admissíveis. Nesse modelo, devem ser consideradas as

possibilidades de carregamento e solicitação em função da multiplicidade de cargas a que podem estar sujeitas às alvenarias, sejam elas estruturais ou de vedação. Sendo assim, elas devem ser dimensionadas pela compressão axial, flexão simples ou composta, esforços horizontais, flexocompressão e flambagem. No entanto, o comportamento não homogêneo e não isotrópico das alvenarias insere elementos de cálculo que as torna particularizadas. (MOLITERNO, 1995; SÁNCHEZ, 2002)

Existem ensaios que são realizados nas alvenarias para determinar as condições atuais das propriedades mecânicas, em relação à desempenho e resistência. São eles: ultrassonografia, teor de umidade, determinação da variação do estado de tensão e deformabilidade.

Os ensaios de ultrassom em alvenarias utilizam frequências mais baixas, com maior energia e menor intensidade. A medição da velocidade de propagação do impulso ultrassônico é feita por transparência, que tem por finalidade, determinar as características elásticas das alvenarias e é realizado com aplicação de impulso de compressão em um determinado ponto da alvenaria e medição do sinal recebido no ponto exatamente oposto. A recepção do sinal permite a determinação da velocidade de propagação na estrutura. Ainda pode ser realizado o ensaio no interior de furos quando os transdutores não podem ser utilizados nas estruturas de alvenaria. Os dois transdutores em agulha são inseridos em furos previamente na alvenaria, conforme Figura 2:

Figura 2 - Disposição do ensaio de ultrassom no interior de furos

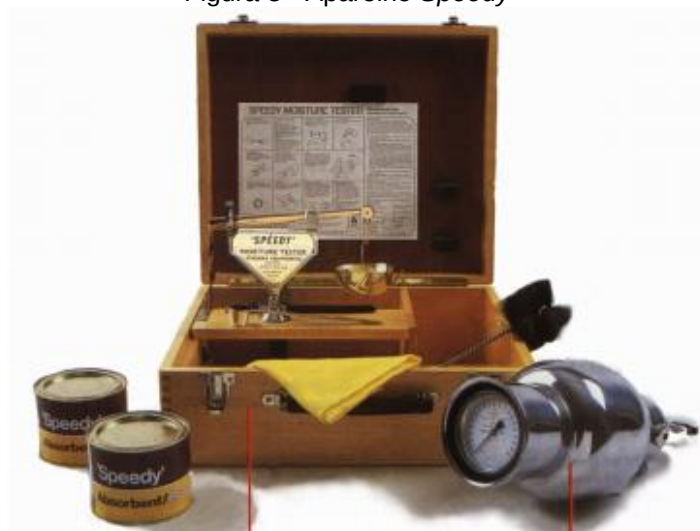


Fonte: Instituto Politécnico de Lisboa (2007)

Para o ensaio de teor de umidade, executa-se na parede um pequeno orifício, com profundidade suficiente para chegar, de preferência, até o terço central da parede. Os detritos da alvenaria que forem extraídos durante a

furação, são recolhidos, sendo uma certa quantidade colocada no frasco metálico do aparelho (Método de *Speedy* – Figura 3) com uma tampa, capaz de garantir uma vedação hermética, onde se dá a reação entre a umidade presente na amostra recolhida e o carboneto de cálcio ( $CaC_2$ ), resultando na produção de acetileno. Devido à vedação hermética, a produção de gás provoca o aumento de pressão no interior do sistema, que é medido por meio de um manômetro.

Figura 3 - Aparelho *Speedy*



Fonte: BRITO (2004)

Existe uma metodologia de cálculo que é baseada na variação do estado de tensão num determinado ponto da estrutura, geralmente em linhas de argamassa, resultante de um corte plano perpendicular à superfície. O alívio da tensão causa o fecho do corte, que pode ser quantificado pela medição da convergência entre pares de pontos dispostos simetricamente em relação ao corte. Por fim, um macaco insere pressão gradualmente aumentada por níveis de carga com incremento constante, até que tenha sido eliminada a convergência medida anteriormente no par de bases central. (Figura 4)

Figura 4 - Posicionamento do macaco plano para o ensaio de determinação do estado de tensão



Fonte: Lourenço (2003)

Após isso, toma-se o valor registrado da pressão ( $P$ ) que repõe as condições iniciais da alvenaria. O valor da tensão ( $\sigma$ ) no ponto de ensaio é dado por:

$$\sigma = K_m \cdot K_a \cdot P \quad (1)$$

Onde:  $K_m$  = É determinado por meio de testes e considera as características do macaco e a rigidez do cordão de soldadura do macaco.

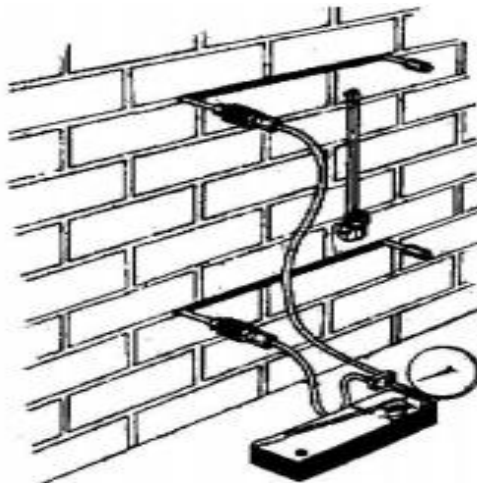
$K_a$  = É a razão entre a área do macaco ( $A_m$ ) e a do corte ( $A_c$ ).

$$K_a = \frac{A_m}{A_c} \quad (2)$$

Há também, uma técnica que permite determinar as características de deformabilidade, tanto na direção vertical quanto na horizontal. Consiste na aplicação de vários ciclos de carga/descarga, com o aumento/diminuição gradual dos níveis de tensão com incrementos constantes, através de uma tensão uniaxial à amostra da parede localizada entre dois macacos planos, reproduzindo condições de ensaio muito semelhantes à do ensaio uniaxial convencional.

A Figura 5, a seguir, mostra a disposição de dois macacos planos e um extensômetro para o ensaio de deformabilidade:

Figura 5 - Montagem dos aparelhos para o ensaio de deformabilidade



Fonte: Lourenço (2003)

O valor do módulo de Young (módulo de elasticidade -  $E$ ) para cada intervalo de tensão ( $\sigma$ ) pode ser calculado por:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Onde:  $\varepsilon$  = é a extensão correspondente à deformação medida nas bases de medição, e que também pode ser calculada por:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_f}{l_i} \quad (4)$$

Onde:  $l_i$  = É a distância inicial entre as bases de medição;

$l_f$  = É a distância final entre as bases de medição.

Agora, em relação às características executivas desse tipo de técnica, além da utilização de elementos cerâmicos ou de concreto, tem-se que as lajes são, em sua maioria, nervuradas, pré-moldadas com blocos cerâmicos ou de concreto. Elas são apoiadas diretamente sobre as paredes, ou em alguns casos, sobre as cintas de coroamento em concreto. As fundações, normalmente, são construídas em alvenarias em continuidade às paredes da edificação, assentadas sobre sapatas corridas em concreto armado ou sobre outros tipos de componentes de fundação pré-moldados.

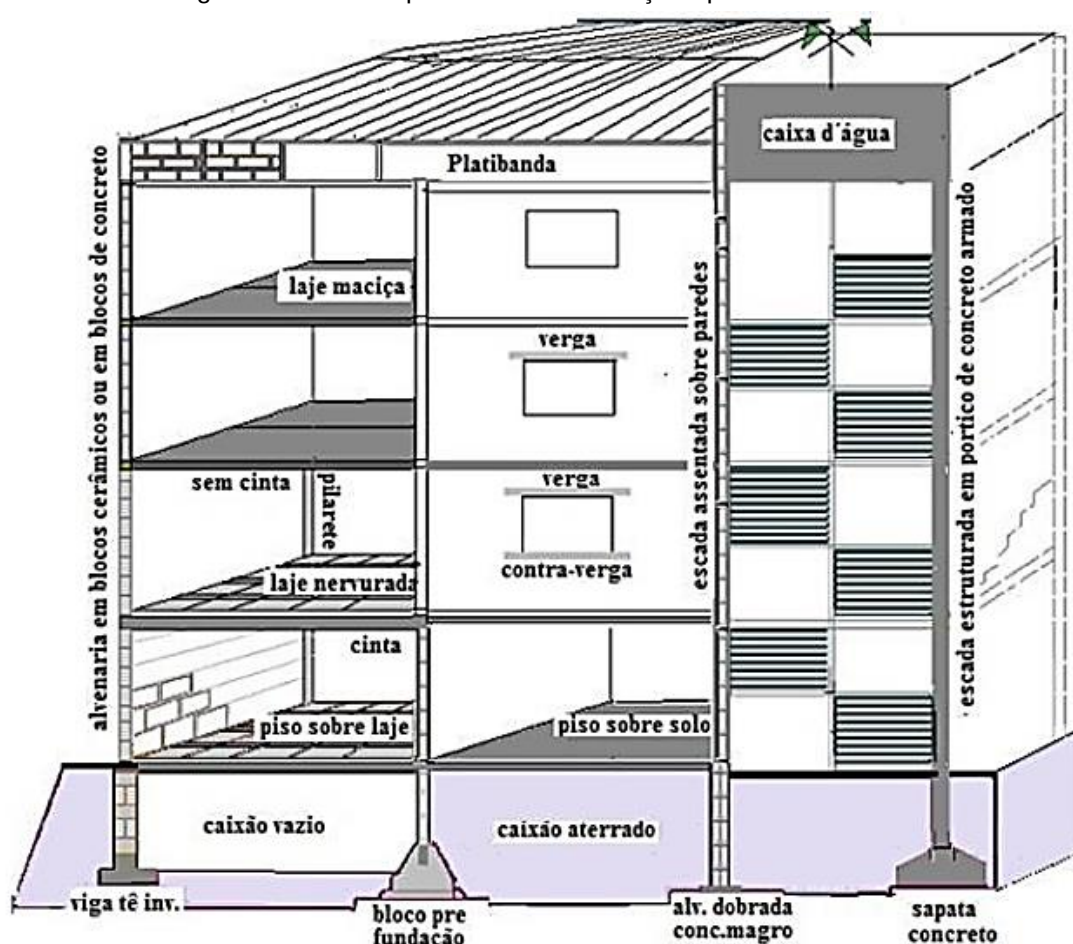
As paredes de elevação são construídas com blocos ou tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, assentadas com argamassas de cimento, cal e areia. É importante ressaltar que, como as paredes são responsáveis por suportar as

cargas atuantes da edificação, as paredes variam sua espessura para aumentar sua rigidez de acordo com o pé-direito. Em estruturas com pé-direito no mínimo de 2,60m, por exemplo, são utilizadas alvenarias dobradas, a fim de deixar a estrutura mais robusta, evitando, dessa forma, problemas com flambagem.

A caixa de escada, comumente posicionada na parte central é estruturada em pórtico de concreto armado que já serve de suporte para o próprio reservatório de água. Por fim, a estrutura de telhado que é composta por elementos de madeira é assentada sobre as paredes por meio de barrotes e a cobertura é feita com telhas cerâmicas ou de fibrocimento.

A Figura 6, a seguir, descreve alguns elementos necessários em edificação típica em alvenaria resistente:

Figura 6 - Corte esquemático de edificação típica em alvenaria resistente



Fonte: AZEVEDO (2017)

## 2.1.2 Manifestações Patológicas Recorrentes

Nas edificações antigas em alvenarias resistentes são observadas diversas manifestações patológicas. Dentre as quais, as mais recorrentes são: Tipos de umidade, expansão por umidade (EPU), fissuras e suas causas, eflorescências; e, ataques químicos, principalmente biológicos e vegetais.

### 2.1.2.1 Tipos de umidade

A umidade ocorre quando há a presença de água em uma porcentagem maior que a considerada como normal em um material ou elemento construtivo. Ela pode chegar a produzir variações das características do material. Em função da causa, Broto (2006) destaca cinco tipos de umidade. São elas:

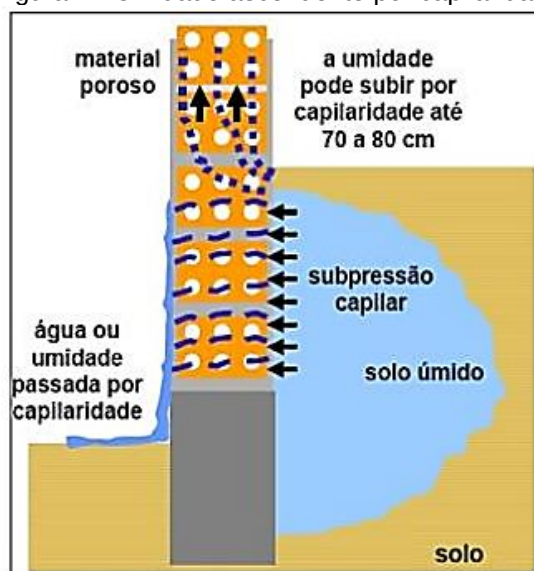
**Umidade em obra:** É gerada durante o processo executivo da construção e se mantém durante um período de tempo após a construção. Essa umidade desaparece gradualmente, até que se atinja o equilíbrio higroscópico com o meio. Quanto às suas origens, pode-se citar vazamentos originados, principalmente, de falhas em canalização hidráulico-sanitária.

De fato, uma certa quantidade de umidade das construções é adquirida no processo de fabricação, como por exemplo, a utilização da água de amassamento das argamassas para o assentamento das alvenarias e concretos ou então a água usada nas tintas, bem como a água utilizada para a própria limpeza da obra. Torres (2014) afirma que “desde a fase da construção até a fase de uso, a edificação fica exposta a ação direta do tempo, o que se eleva o teor de umidade em seus materiais”. Dessa forma, uma edificação, ao final de sua fase construtiva pode apresentar uma quantidade considerável a mais de água no interior dos seus materiais utilizados na construção.

**Umidade por capilaridade:** A capilaridade ocorre em situações onde a água é absorvida pelo substrato. Essa situação é mais provável que ocorra em alvenarias, em regiões da impermeabilização ou abaixo dos níveis do solo, conforme Figura 7. Estes materiais têm muitos espaços vazios dentro de sua composição, tornando-os suscetíveis a intrusão de água por capilaridade. Estes vazios que estão logo abaixo da superfície, criam uma força capilar de sucção que atrai água para o interior do substrato. No entanto, a hidratação de

materiais de concreto ou alvenaria deixa para trás poros microscópicos, fissuras e em alguns casos, rachaduras provenientes da água que é inicialmente adicionada para fazer a mistura de pasta. Esta hidratação permite que materiais cimentícios e de alvenaria absorvam a umidade através destes vazios por ação da capilaridade.

Figura 7 - Umidade ascendente por capilaridade



Fonte: Pozzobon (2017)

**Umidade por infiltração:** É a penetração direta da água no interior das construções, ocasionando danos aos elementos construtivos. Quando ocorrem, deixam o ambiente com aspecto estético desagradável, sem falar que é considerada uma das principais responsáveis para formação das manifestações patológicas do tipo química, como bolor, mofo e eflorescências.

A infiltração inicia-se quando a água existente nos espaços vazios do solo movimenta-se para dentro da construção provocando as indesejáveis manchas de umidade e infiltrações, com o aparecimento da água na superfície. Ela pode surgir por problemas hidráulicos da edificação, como também por ações de intempéries externas, como as chuvas, por exemplo.

**Umidade por condensação:** É produzida pela condensação do vapor de água desde os ambientes internos (maior pressão de vapor), em direção aos exteriores (menor pressão de vapor). Segundo Broto (2006), pode ser dividida em três subgrupos, dependendo da zona onde se encontra a condensação: (1) Condensação superficial interior, (2) Condensação intersticial, também conhecida por “condensação frente quente”, que ocorre

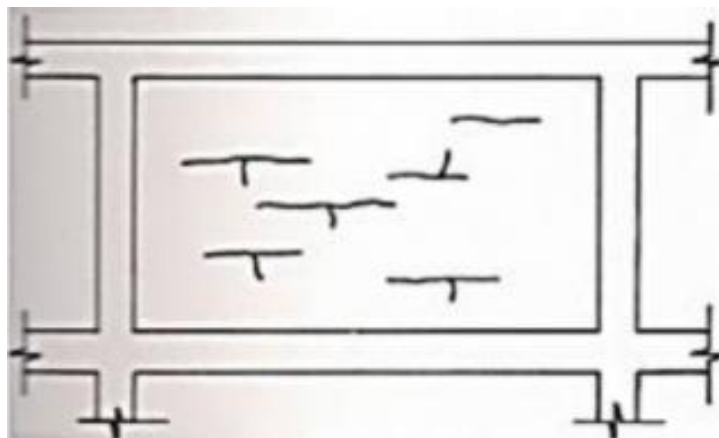
quando o ar quente e úmido penetra o interior de uma parede, teto ou chão e condensa em água líquida. Por fim, tem a (3) Condensação higroscópica que é originada dentro da estrutura porosa do material que contém sais que facilitam a condensação do vapor de água do ambiente.

#### 2.1.2.2 Expansão por umidade (EPU)

A expansão por umidade é um termo utilizado para designar o aumento no volume dos materiais cerâmicos ocasionado pela absorção de água em sua microestrutura e esse fenômeno ocorre nos tijolos cerâmicos logo na etapa de queima dos mesmos. O aumento do volume ainda continua por muito tempo, mesmo após o processo de queima.

Como consequência, essa expansão produz tensões adicionais nas paredes e pode ser suficiente para o surgimento de trincas. (MIRANDA, *et al.*, 2000), conforme Figura 8, a seguir:

Figura 8 - Trincas horizontais provenientes da expansão da cerâmica



Fonte: MORAVIA (2018)

A determinação da EPU é normatizada através da NBR 13818 (ABNT, 1997) com enfoque nos revestimentos cerâmicos. Em relação aos limites para essa expansão, a norma afirma que deformações acima de 0,6 mm/m já começa a ser prejudicial para o bom funcionamento e desempenho das cerâmicas.

### 2.1.2.3 Fissuras e suas causas

As fissuras são causadas por tensões de tração e tem direção ortogonal à direção do esforço de tração atuante. Já as tensões de tração podem ser originadas em esforços ortogonais de compressão, esforços de cisalhamento ou tração direta (DUARTE, 1998).

As causas de movimentações em elementos construtivos, que são as que antecedem a fissuração propriamente dita nas alvenarias, são: sobrecargas, variações de temperatura, retração, EPU, deformações elásticas, recalques de fundação, recalques diferenciais, reações químicas, entre outras. (DUARTE, 1998; ELDBRIDGE, 1982, THOMAZ, 1989)

Os componentes constituintes das alvenarias são mais resistentes à compressão do que à tração. Por esse motivo, a ruptura de elementos de alvenaria se dá segundo superfícies normais à esforços de tração atuante. As paredes de elevação possuem comportamento ortotrópico, que é quando as propriedades num plano são iguais, mas distintas das que ocorrem numa direção ortogonal a esse plano.

No geral, as paredes homogêneas com boa aderência entre as juntas de argamassa e os componentes da alvenaria, tendem a apresentar fissuras predominantemente retas e ortogonais à direção dos esforços de tração. Já em paredes heterogêneas, com baixa aderência entre as juntas e os componentes, tendem a apresentar fissuras com linhas quebradas ou acompanhando as fiadas, fugindo dos princípios teóricos de fissuração para as alvenarias.

Quanto às causas das fissuras mais recorrentes em alvenarias resistentes, destacam-se: fissuras causadas por sobrecargas; por concentração de tensões; por variações de temperatura; por recalque das fundações; por retração e expansão; e, por reações químicas.

**Fissuras causadas por sobrecargas:** Sua configuração predominante tem como mecanismo de ruptura o surgimento de fissuras verticais por tração nos tijolos decorrente de esforços horizontais induzidos pela argamassa de assentamento submetida à carga axial. Além dessa configuração, podem existir fissuras horizontais por esmagamento da junta de argamassa, ruptura dos componentes ou flexocompressão; e, também fissuras inclinadas a partir dos pontos de aplicação de cargas ou em cantos de aberturas. (DUARTE, 1998)

Para Masseto e Sabbatini (1998), vários fatores influenciam na fissuração em paredes de alvenaria, quando submetidas à sobrecargas de compressão: a forma, seção transversal e esbeltez da parede; o tipo e forma geométricas dos componentes; a resistência mecânica e os módulos de deformação dos tijolos e da argamassa; retração e retenção de água da argamassa; bem como o tipo de junta de assentamento e sua espessura; as técnicas construtivas e qualidade de execução.

**Fissuras por concentração de tensões:** São provocadas por tensões normais ou tangenciais que superam os limites de resistência à tração dos materiais utilizados. Geralmente, essas fissuras são comuns em obras de alvenarias resistentes e têm origem ainda na fase de projeto, quando não são previstos em projeto, por exemplo, a utilização de “coxins”, que é um elemento estrutural de concreto não contínuo apoiado nas alvenarias, que serve para distribuição das cargas concentradas.

Além da fase de concepção de projeto, essas fissuras podem aparecer durante a construção quando não se toma os cuidados necessários com a qualidade dos materiais e com os processos executivos, referentes ao não cumprimento do projeto estrutural da edificação.

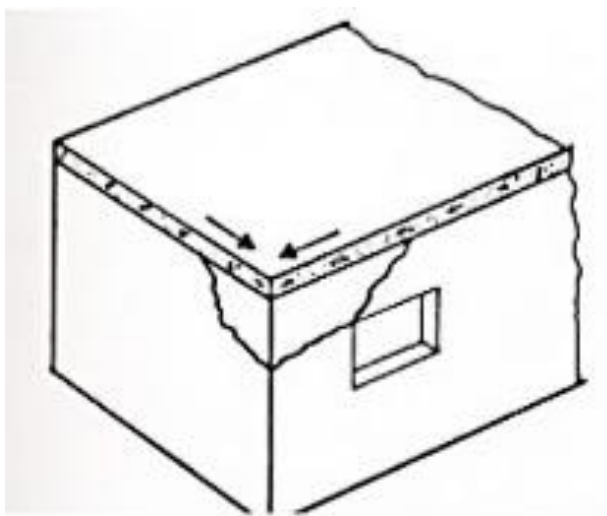
**Fissuras causadas por variações de temperatura:** Os elementos que compõem as estruturas das edificações estão expostos às variações de temperatura ao longo do tempo que provocam movimentos de dilatação e contração que, juntamente com suas movimentações nas estruturas que devem ser limitadas, resultam nesses pontos um acúmulo de tensões que são suficientes para produzir fissuras. (DUARTE, 1998; THOMAZ, 1989)

Essa variação de temperatura é maior em elementos mais expostos, como as coberturas e paredes externas. Já a extensão das movimentações depende das propriedades físicas dos materiais, tais como coeficiente de dilatação térmica, massa específica, coeficiente e condutibilidade térmica, entre outros. Além das propriedades, essa movimentação depende da intensidade das radiações solares, bem como a frequência e o gradiente da variação da temperatura.

As fissuras podem aparecer por movimentação térmica da laje, com direção horizontal, próximas ao topo das paredes e/ou com direções inclinadas em orientação em torno de 45° em direção ao teto (Figura 9), mas que tem

também, características de fissuras inclinadas por paredes transversais, além da movimentação térmica da laje; e com fissura verticais, mais comuns em paredes de alvenaria com tijolos de furos verticais, que apresentam baixa resistência à tração na horizontal. Por fim, tem a fissuração por movimentação térmica da alvenaria, o que gera fissuras verticais regularmente espaçadas em paredes que não foram dimensionadas as juntas de dilatação, e que são mais recorrentes em paredes longas, parapeitos e platibandas.

Figura 9 - Fissuras provocadas por expansão térmica da laje



Fonte: MORAVIA (2018)

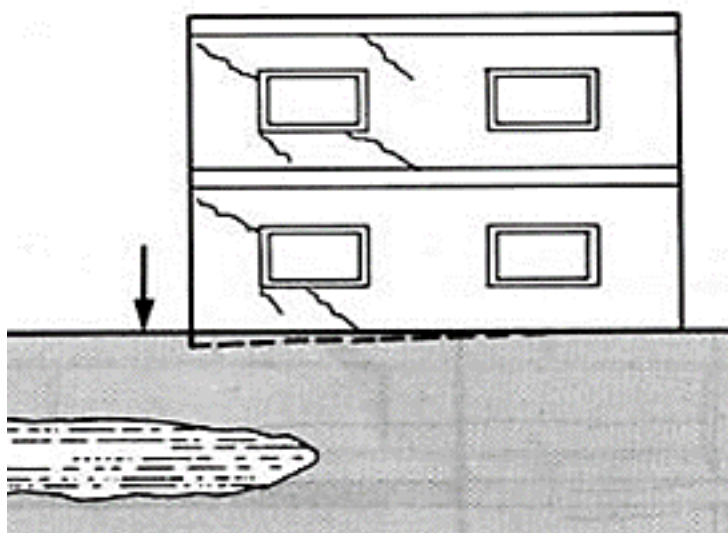
**Fissuras causadas por recalque das fundações:** Edificações em alvenarias são consideradas estruturas rígidas e, por isso, permitem pouca tolerância para deformações. Alguns fatores são utilizados nos cálculos para atender à essas pequenas deformações, são elas: sua altura e rigidez; cargas e as localizações das mesmas, eventual presença de aberturas e juntas; e, velocidade e distribuição dos recalques. (MOLIN, 1988). As fissuras em paredes causadas por recalque de fundações ocorrem quando existem movimentações diferenciais nas fundações que excedem a capacidade resistente das paredes de alvenaria e tem sua origem em falhas das estruturas da fundação ou até mesmo por recalques do terreno.

Mañá (1978) e Ortiz analisaram as causas para a formação de recalque diferenciado dos solos, assim como recalque proveniente das próprias estruturas de fundação. Em relação aos dos solos, vários fatores são apontados para as fissurações das alvenarias como: carga de trabalho superior à carga admissível do solo ou de camadas inferiores do solo; apoio em solo

com diferentes consolidações e/ou aterros; heterogeneidade, rebaixamento do lençol freático; influência de cargas de entorno e vizinhança; condições variadas de apoio e carga, entre outros. Já, para as estruturas, eles propõem alguns fatores que podem ser responsáveis pela formação das fissuras, como corrosão das armaduras das fundações ou reações químicas causadas pelo solo e/ou pela água, deformabilidade excessiva; e, pela degradação dos componentes do concreto das fundações.

A orientação desse tipo de fissura é predominantemente inclinada, o que pode acabar sendo confundidas com fissuras por variação de temperatura, por exemplo, porém uma outra característica é a tendência dessas fissuras localizarem-se próximas ao pavimento térreo. (DUARTE, 1998) – conforme Figura 10:

Figura 10 - Fissuras provocadas por recalque das fundações



Fonte: OLIVEIRA (2012)

**Fissuras causadas por retração e expansão:** Nesse caso, são dois fenômenos distintos. As fissuras causadas por retração são formadas nas alvenarias através de duas formas: pela retração dos materiais constituintes das alvenarias, ou pela movimentação por retração de outros elementos construtivos, causando fissuras nas alvenarias adjacentes a estes elementos.

A retração de produtos à base de cimento é originada pela perda de água nas misturas em estado plástico, pela perda de água por secagem, pela reação química de hidratação do cimento, pela carbonatação da cal nas argamassas ou pelo resfriamento logo após a cura, visto que a reação de

hidratação do cimento é uma reação que libera muito calor (reação exotérmica).

Agora, as fissuras causadas por expansão são resultantes principalmente da porosidade dos materiais, que sofrem variações dimensionais em função da umidade presente, ou seja, a estrutura de poros e a porosidade capilar são as principais características dos materiais na absorção e perda de umidade.

As fissuras em alvenarias causadas por movimentações higroscópicas podem ocorrer em paredes de componentes cerâmicos, através da absorção de umidade por esses componentes, o que gera uma expansão na estrutura interna, e conseqüentemente uma movimentação diferenciada entre diferentes fiadas da alvenaria ou entre os componentes e a junta de argamassa. (THOMAZ, 1989)

**Fissuras causadas por reações químicas:** “São fissuras predominantemente horizontais e ocorrem pela expansão da junta de argamassa provocada pela alteração química indesejável de seus materiais constituintes”. (THOMAZ, 1989)

Essas fissuras aparecem com mais frequência na horizontal pelo fato de que essa é a região onde existe a maior quantidade de argamassa, visto que a junta horizontal de cada fiada é contínua por toda a extensão da alvenaria, mas isso não exclui a possibilidade de ocorrência de fissuras nas juntas verticais, no entanto, com menor frequência.

Segundo Cincotto (1988), “as reações mais comuns são a expansão das juntas de argamassa pela reação do cimento com sulfatos, a hidratação retardada das cales e a hidratação de agregados que contenham argilas”.

A reação do material cimentício com sulfatos também pode provocar fissuração em alvenarias. A degradação das argamassas é o resultado da interação dos sulfatos com o hidróxido de cálcio livre, e os aluminatos de cálcio hidratados encontrados no cimento. Como resultado dessa reação é a formação do gesso e da etringita. Esses compostos são responsáveis por cristalizar a água de amassamento, provocando um aumento de volume, o que resulta na expansão, e fissuração. Em exposições continuadas a esses compostos, há possibilidade de degradação completa da pasta de argamassa.

#### 2.1.2.4 Eflorescência

Bauer (2000) define eflorescências como depósitos salinos, principalmente alcalinos e alcalinos terrosos, na superfície de alvenarias ou revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes da alvenaria. As eflorescências são ocasionadas pela cristalização de sais solúveis à superfície dos elementos, em geral sulfato de sódio, potássio ou magnésio, contidos nas argamassas ou no solo e transportados pela água até a superfície.

A eflorescência caracteriza-se pela presença de manchas de umidade e pelo acúmulo de pó branco sobre a superfície (Figura 11). Alteram a aparência da superfície sobre a qual se depositam e, em determinados casos, seus sais constituintes podem ser agressivos causando desagregação profunda, principalmente quando da existência de compostos expansivos.

Figura 11 - Presença de eflorescência em alvenaria



Fonte: Kara Grubis (2017)

A ocorrência está intimamente relacionada às propriedades de absorção e permeabilidade das argamassas, face à presença de umidade na região. A argamassa apresenta vazios em seu interior, principalmente, devido à presença de água destinada a promover trabalhabilidade ao material e necessária para as reações de hidratação do cimento. Nesses vazios pode ocorrer o fluxo da água por capilaridade ou por pressão, de modo a introduzir substâncias agressivas presentes no substrato, na rede capilar, ou dissolver e transportar sais solúveis presentes no próprio material. (BARROS *et al.*, 1997)

Três fatores igualmente importantes devem existir para que ocorra a eflorescência: o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes, a presença de água, e a pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície. Esse fenômeno não ocorre sem a presença de pelo menos um desses fatores.

Beichel (1997) afirma que não há problemas quando os sais estão dissolvidos, ocorrendo eflorescência somente quando a água evapora e os sais se cristalizam. Há, contudo, casos em que a solução salina não chega a se cristalizar, como em ambientes constantemente úmidos, ou ainda quando da presença de sais de difícil secagem, como o cloreto de cálcio, carbonato de potássio e silicatos alcalinos. Esse tipo de eflorescência aparecerá como uma exsudação na superfície, mais ou menos viscosa conforme sua composição e concentração. (Barros et al., 1997)

Uma forma distinta de ocorrência do fenômeno apresenta-se através da criptoefflorescência, compreendendo a precipitação de sais solúveis nos poros abertos ou na interface entre alvenaria e revestimento, enquanto a eflorescência é uma concentração de sais solúveis nas superfícies externas dos materiais.

#### 2.1.2.5 Ataques químicos (biológico e vegetal)

O aparecimento de bolor ou mofo em edificações pode ser considerado como um grande problema em questões econômicas e estéticas, além de ser comum em regiões de clima tropical. A proliferação de microrganismos sobre um revestimento de argamassa leva ao aparecimento de manchas escuras em tonalidades pretas, marrons ou esverdeadas sobre a sua superfície, dentro de um processo que pode resultar inclusive na deterioração do material (Shirakawa *et al.*, 1995). Para Guerra et al. (2012), os fungos são os agentes responsáveis pelo processo biodegenerativo denominado bolor ou mofo.

Em relação ao desenvolvimento sobre uma determinada superfície, os fungos filamentosos, ainda na forma de esporos, devem se agregar a um ambiente com condições adequadas à sua germinação, o que inclui a presença de compostos carbônicos pré-elaborados e demais exigências nutricionais (Shirakawa et al., 1995). Além da presença de nutrientes, a umidade elevada

do material é essencial para o desenvolvimento de fungos, as formas dessa presença de água nos componentes internos da edificação pode ocorrer, por exemplo, por causa da umidade proveniente de vazamentos, da obra, do solo, entre outros. (Figura 12)

Figura 12 - Presença de mofo em alvenaria



Fonte: O autor (2021)

Já na fase de projeto, medidas devem ser adotadas para se evitar que o bolor e o mofo ocorram nas edificações. Essas medidas visam garantir a ventilação, iluminação e presença de luz solar adequada aos ambientes, assim como evitar riscos de infiltração de água através de paredes, pisos e/ou tetos. (Alluci; Flauzino; Milano, 1985)

Em edificações mais antigas é comum a presença de vegetação em algumas partes da construção. Geralmente, elas aparecem devido ao contato com as intempéries como sol e chuva, o que criam o ambiente ideal para o crescimento indesejado de plantas que nascem entre fissuras em elementos de concreto que são acometidas também ao longo do tempo, como também em regiões próximas, mas que se tenha o contato mínimo com a umidade. A Figura 13, a seguir mostra presença de vegetação na área externa de uma edificação.

Figura 13 - Presença de vegetação em uma marquise



Fonte: O autor (2021)

Os principais agentes bióticos de deterioração originários em elementos de madeira destacam-se as bactérias, os fungos e os insetos. As bactérias são importantes colonizadoras da madeira não tratada em ambientes com umidade elevada, provocando o aumento da permeabilidade e amolecimento da superfície da madeira. A biodeterioração por aprofundamento bacteriano normalmente é um processo muito lento, mas que pode se agravar em situações em que a madeira não tratada fica submersa por longos períodos de tempo. Segundo Ritter e Morrell (1990), embora a perda significativa na durabilidade possa se desenvolver em madeira não tratada que permaneça saturada por longos períodos, a deterioração bacteriana parece não ser um perigo significativo para a madeira tratada sob pressão, que são normalmente utilizadas em elementos estruturais expostos à umidade constante.

Após análises em amostras de madeiras imersas, Nilsson e Björdal (2005) observaram um grande número de diferentes espécies de bactérias presentes, inclusive várias deterioradoras de madeira. Já Simpson e Ward (2001) e Anagnost (2005), analisaram que diversas espécies de bactérias anaeróbias também podem contaminar madeira sob condições de umidade constante ou submersas.

A sintomatologia apresentada pelas bactérias são manchas superficiais e amolecimento da madeira. No entanto, visualmente é difícil identificar a

madeira deteriorada por bactérias de biodeterioração, sem auxílio de ensaios, podendo ser confundido com deterioração causada por fungos.

Os fungos degradam a madeira como fonte de alimento (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989). Eles segregam enzimas que degradam a celulose, hemicelulose ou lignina e absorvem o material degradado para completar o processo de digestão. O principal problema desse tipo de ataque é que ocorre de forma microscópica, e quando são detectados, a madeira já indica um nível considerável de biodeterioração por apodrecimento. Dentre as condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos, o teor de umidade é o principal, podendo existir diversas causas possíveis, como infiltrações de água através do contato com o solo, mal estado de conservação de coberturas, infiltrações em canalizações, entre outros.

Existem diversos tipos específicos de fungos que atacam a madeira, como os emboloradores, que agem somente na superfície da madeira, causando defeitos conhecidos como bolor. Os fungos manchadores, que segundo Ritter e Morrell (1990), podem causar problemas mais sérios, pois além de penetrarem mais profundamente e descolorirem a madeira, sob condições ambientais favoráveis, alguns fungos manchadores podem ser originários ao risco de biodeterioração na madeira, causando a diminuição da resistência e aumentando a permeabilidade. Também existe os fungos apodrecedores que precisam de quatro requisitos para o seu crescimento que são desempenhados simultaneamente: a madeira como fonte principal de alimento, oxigênio, umidade disponível e temperatura (RITTER, 1990; MORRELL, 1990; ANAGNOST, 2011). Eles, por sua vez, são os agentes patológicos mais comuns em edificações no Brasil, por conta do clima tropical e, como a madeira é um material higroscópico, a umidade cria o ambiente ideal para sua proliferação, porém há a ressalva de não haver deterioração da madeira quando a umidade relativa do ambiente se encontra abaixo dos 20% (CALIL *et al.*, 2006)

A Figura 14 mostra uma peça estrutural de madeira deteriorada por fungos apodrecedores que, em seu estado atual, pode apresentar perda de resistência devido ao tempo exposto aos agentes bióticos, pois como mencionado, os fungos fazem o ataque internamente e após muito tempo

podem ser vistos na superfície da madeira (legenda preta). Também é possível observar o encaixe da viga diretamente na alvenaria (legenda azul).

Figura 14 - Elemento estrutural de madeira sob ação de fungos apodrecedores



Fonte: O autor (2021)

## 2.2 ESTRUTURA DE MADEIRA

A madeira, quando comparada a outros materiais, possui propriedades que a tornam mais atraente. Entre elas, pode-se citar o baixo consumo de energia para seu processamento; ótima viabilidade no contexto de que a madeira é produzida por diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias e isso permite diversas combinações possíveis para finalidades, dentro da construção civil que vai desde elementos estéticos até estruturais; a alta resistência específica; as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado.

É considerada um material higroscópico, ou seja, possui a capacidade de absorver água do meio ambiente, e isso pode ser considerado uma desvantagem, visto que algumas de suas propriedades são afetadas pelo teor de umidade presente na madeira. As propriedades mecânicas são superiores e a movimentação dimensional é menor em madeiras secas (teor de umidade em equilíbrio com a umidade relativa do ambiente em que a madeira será utilizada)

quando comparada com a madeira verde (teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras, aproximadamente 30%). Sua natureza biológica, submete aos diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza, como a fragilidade ao fogo, juntamente com problemas provenientes da própria higroscopia que a madeira apresenta, através da expansão e retração, com os processos de absorção e secagem, respectivamente, como empenamento e rachamento devido ao mal armazenamento das peças e, com isso resultando na diminuição da resistência mecânica. Também, citam-se como desvantagens a baixa resistência às pragas e menor valor de mercado.

Em edifícios antigos, a madeira era muito utilizada principalmente para detalhes arquitetônicos e estéticos, bem como para estruturas como assoalhos. No Brasil, existe a NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira, que leva em consideração todas as propriedades físicas e mecânicas necessárias para o cálculo de dimensionamento dessas estruturas.

#### 2.2.1 Propriedades da Madeira

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida aos esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e por analogia indicar as provas adicionais necessárias para conhecer sua utilização. (STANGERLIN *et al.*, 2008)

Os valores das propriedades mecânicas variam de acordo com a espécie, umidade, densidade e tempo de duração da carga durante o ensaio mecânico, entre outros fatores. O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, representando a resistência do material quando submetido a uma carga aplicada. (SCANAVACA JR.; GARCIA, 2004)

Entre as principais propriedades físicas da madeira, estão a massa específica ou densidade e a estabilidade dimensional (contração e inchamento em função do teor de umidade) e, entre as mecânicas, estão a resistência aos esforços de compressão, tração e fendilhamento. (ARAÚJO, 2002)

Geralmente, quanto maior a densidade da madeira, melhores serão as propriedades mecânicas. Segundo Sturion *et al.* (1987), madeiras com alta densidade são adequadas para construção civil e para produção de energia.

Outra propriedade importante da madeira é a retratibilidade, que, segundo Mori *et al.* (2003), varia muito de uma espécie para outra e com o modo de secagem, podendo inchar ou contrair de acordo com a umidade relativa do meio em que se encontra. Essa propriedade deve ser considerada quando se recomenda madeira para usos que exijam boa estabilidade dimensional, evitando o aparecimento de trincas e empenos nas estruturas.

O módulo de ruptura (MOR) à flexão estática ( $FE_R$ ) é dado pela razão entre o momento máximo ( $M_{máx}$ ), que pode atuar em um corpo-de-prova, ao teor de umidade de 12%, e o módulo de resistência elástico ( $W_e$ ), da seção transversal do elemento, dado por  $\frac{bxh^2}{6}$ , (em que b e h são os lados da seção transversal, em m) calculado considerando a madeira sendo um material elástico. Sendo assim:

$$FE_R = \frac{M_{máx}}{W_e} \times 10^{-6} \quad (5)$$

Onde:  $FE_R$  = Módulo de ruptura estática, em MPa;

$M_{máx}$  = Momento máximo, em Nm;

$W_e$  = Módulo de resistência elástico, em m<sup>3</sup>.

Já, a rigidez da madeira à flexão estática ( $FE_e$ ) é caracterizada pelo módulo de elasticidade (MOE) determinado pela carga aplicada no meio do vão livre do corpo-de-prova ( $F_{máx}$ ), também com o teor de umidade de 12%. Para o cálculo, considera-se a carga máxima, pelo vão livre elevado ao cubo, e a flecha ou deslocamento no meio do vão, provocado pela carga máxima aplicada naquela área da seção transversal. Sendo assim:

$$FE_e = \frac{F_{máx} \cdot L^3}{4fbh^3} \times 10^{-6} \quad (6)$$

Onde:  $FE_e$  = Módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;

$F_{máx}$  = Carga máxima aplicada, em N;

$L$  = Distância do vão livre, em m;

$f$  = Flecha ou deslocamento no meio do vão livre, em m.

Em relação à compressão, deve-se considerar que a madeira apresenta um aproveitamento maior da resistência quando a força é aplicada paralelamente às fibras da madeira. O cálculo dessa resistência é dado pela razão entre a força máxima de compressão ( $C_{m\acute{a}x}$ ) e área da seção transversal. Sendo assim:

$$CP_{par} = \frac{C_{m\acute{a}x}}{A} \times 10^{-6} \quad (7)$$

Onde:  $CP_{par}$  = Resistência à ruptura à compressão, em MPa;

$C_{m\acute{a}x}$  = Carga máxima de compressão, em N;

$A$  = Área da seção transversal, em m<sup>2</sup>.

Por fim, tem-se a resistência da madeira à ruptura ao cisalhamento. Pode ocorrer tanto na direção paralela, quanto na perpendicular em relação às fibras, porém o caso mais comum é o cisalhamento longitudinal às fibras.

Estados limites oriundos de tensões de cisalhamento, na direção paralela às fibras, podem ocorrer em ligações por meio de dentes e entalhes ou em vigas fletidas com elevados esforços cortantes

Por outro lado, os Estados Limites devidos ao cisalhamento perpendicular ("*rolling shear*"), não são encontrados em estruturas de madeira, uma vez que construtivamente a madeira é disposta longitudinalmente e, nesta situação, as tensões de cisalhamento ocorrem predominantemente na direção paralela às fibras.

### 2.2.2 Manifestações Patológicas Recorrentes

Segundo Broto (2006), as manifestações patológicas recorrentes nas madeiras possuem caráter abiótico e biótico.

Os abióticos são consequências de fenômenos climáticos ou meteorológicos como a ação do sol, do vento e a umidade do meio ambiente ou mesmo fenômenos químicos como o contato com produtos ou materiais agressivos, que podem deteriorar a estrutura da madeira, e além desses fatores físicos e químicos, também tem a ação do fogo.

Por outro lado, os bióticos abrangem organismos como fungos e bactérias até espécies mais desenvolvidas, como insetos, e normalmente todos esses agentes degradam a madeira para utilização como alimento. Eles causam problemas, a longo prazo, como perda de resistência da madeira, descoloração, mofo, e som oco à percussão.

Quanto às causas do surgimento dos agentes patológicos, pode-se destacar dois grupos em momentos distintos: antes da madeira ser utilizada na obra e depois que a mesma se encontra em funcionamento. Esses grupos são chamados de causas congênicas e causas adquiridas, respectivamente. (BROTO, 2006)

As causas congênicas referem-se somente ao próprio material e sua composição físico-química. Broto (2006) destaca alguns dos principais problemas da madeira nessa situação, como aberturas curvilíneas na seção perpendicular ao tronco, aberturas de trincas paralelas às fibras, como também trincas radiais que se abrem em direção ao exterior, crescimento irregular, fibras que crescem em direções que não são perpendiculares e paralelas, entre outros. Em síntese, observa-se que nesse caso, as anomalias são alterações dimensionais ou por falhas durante seu crescimento.

Já, as causas adquiridas englobam as ações dos agentes abióticos, através da propriedade da higroscopia, pois a madeira absorve a umidade do meio externo e quando se tem contato direto com o sol, faz com que a mesma perca essa água (retração), o que faz com que apareçam anomalias em suas dimensões causando perda de prumo, desvio de fibras e conseqüentemente, perda de resistência, e quando esse ciclo é constante, em longo prazo, produz trincas na superfície, como também o envelhecimento da madeira, seja por alteração de coloração por oxidação fotoquímica, que é quando há o aparecimento de manchas e colorações nas peças, seja por fotodegradação, através da ação do sol, principalmente, com possível ajuda do oxigênio disponível (BROTO, 2006). Agora, as ações dos agentes bióticos têm uma eficácia maior quando se tem umidade disponível, pois as bactérias e os fungos agem no interior da madeira, provocando o aumento da permeabilidade e amolecimento da superfície, sem falar que eles agem em quase toda a extensão da madeira de forma lenta e microscópica, sendo que quando esses ataques se tornam visíveis, a madeira já está quase ou totalmente deteriorada.

### 2.2.3 Diagnóstico e Tratamento

O diagnóstico das manifestações patológicas na madeira está como qualquer outro material, ligado aos avanços tecnológicos e ao surgimento de equipamentos de detecção e análise.

Para se chegar ao diagnóstico mais preciso, é necessária uma inspeção visual periódica que permite reconhecer certos processos de deterioração e seus agentes causadores. Isso se refere ao conhecimento da composição dos agentes bióticos e a forma em que agem os protetores químicos na madeira.

Mas, antes da inspeção propriamente dita acontecer, deve-se realizar a anamnese, com o intuito de obter o maior número de informações possíveis, como o momento e possíveis causas para surgimento do ataque na madeira, história do edifício, bem como a técnica construtiva utilizada.

O “Tratado de Patologías de la Construcción” (BROTO, 2006) sugere a formação de algumas equipes específicas para a tarefa de diagnóstico, e, posteriormente, tratamento das estruturas de madeira: equipe de anotação, que irá fazer o cadastro com suas respectivas manifestações patológicas; equipe de inspeção, que por sua vez é subdivida em grupos de profissionais específicos; equipe para extração das amostras e equipe de conservação e transferências das amostras.

Este último, consiste no estudo para os ensaios não destrutivos realizados na madeira, com o objetivo de desenvolver um método de inspeção e avaliação do estado real a partir das velocidades de transmissão do ultrassom e também fazer a estimativa do valor da resistência à flexão e o módulo de deformação estudada a partir, também, das ondas ultrassônicas, levando em consideração a correlação entre as velocidades de transmissão e os valores de tensão e flexão.

Além disso, os ensaios não destrutivos permitem determinar a capacidade portante da madeira, determinar a extensão de um ataque de um agente biótico e, em caso de incêndio, determinar a seção residual resistente.

O tratamento é realizado para conter as ações dos agentes existentes, e também deixar a madeira protegida contra ataques posteriores. Esses tipos de tratamentos são caracterizados por ser realizado sobre a madeira em serviço, afetada por agentes de deterioração de origem biótica e abiótica, por implicar

os tipos de ações, uma sobre a madeira comprometida e o tratamento preventivo na região mais próxima da afetada e também se caracteriza por ser mais difícil de execução, além disso, os tratamentos de reparação são mais caros que os de prevenção.

Broto (2006) propõe ainda três fases, cada uma com suas respectivas características e formas de atuação, para o tratamento de reparação da madeira. São eles: Reconhecimento da madeira, do entorno próximo a madeira e determinação das medidas de aplicação na madeira.

Reconhecimento da madeira: Nesse primeiro momento, deve-se analisar todas as peças afetadas e determinar o grau de evolução dos danos. Também deve se considerar o meio em que a madeira está inserida, como por exemplo, se existe contato com o exterior, com o solo, e se tem proximidade com fontes de umidade reais ou potenciais. Por fim, as detecções das manifestações patológicas podem ser realizadas tanto de maneira tradicional como sofisticadas. No primeiro tipo, o som e as características da serragem produzida são parâmetros para análise da madeira, através de martelos convencionais e os de punção com brocas para extração de serragem. Já no segundo tipo, são utilizados equipamentos que, por exemplo, detectam variações de velocidade em diferentes partes da madeira que são diferentes da madeira sã, de termografia axial e equipamentos que medem a vibração de sons emitidos por agentes bióticos presentes na madeira.

Reconhecimento do entorno próximo a madeira: Nessa fase, devem ser estudadas as condições que possam favorecer a ação dos agentes de degradação. Em geral, a presença de umidade sempre é desfavorável, portanto, deve se anular todos os possíveis casos de sua ocorrência tanto diretamente ou indiretamente.

Determinação das medidas de aplicação na madeira: Estas são divididas em (1) medidas construtivas que tem por objetivo melhorar as condições da madeira, mediante as que favorecem o desenvolvimento dos agentes de deterioração; (2) medidas estruturais que são subdivididas em (2.1) medidas de substituição que consiste basicamente na troca imediata do elemento deteriorado por outro com propriedades físico-químicas semelhantes; (2.2) medidas de reforço que se refere ao aumento da capacidade resistente de um elemento estrutural, sem precisar atuar diretamente na madeira afetada; (2.3)

medidas de consolidação que é semelhante a medidas de reforço, porém sua diferença está no tipo que, enquanto uma age indiretamente, a consolidação trata diretamente sobre a madeira através de outros materiais como concreto, elementos metálicos, resina epóxi, entre outros; e (2.4) medidas de proteção química.

## 2.3 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Quando se trata de inspeções em edifícios em geral, é importante conhecer as técnicas disponíveis para uma realização eficaz do serviço. Sendo assim, Córias (2006) classificou as técnicas de diagnóstico mais utilizadas, referentes: ao local de realização da técnica (*in situ* ou em laboratório); à dimensão da destruição do elemento em causa (não destrutivas, parcialmente destrutivas, destrutivas); aos princípios utilizados em que se baseiam (sensoriais, mecânicos, térmicos, químicos, eletroquímicos, elétricos, magnéticos, eletromagnéticos, ultrassônicos, radioativos e outros).

Tendo em vista as classificações mencionadas para os elementos estruturais e não estruturais de edifícios antigos, têm-se, também, as seguintes categorias de técnicas de inspeções: percepção sensorial, ação mecânica, ondas elásticas, radiação eletromagnética, reações químicas, efeitos elétricos, detecção e análises de vibrações e hidrodinâmicas

Na prática, as técnicas de diagnóstico mais utilizadas em edifícios antigos são a de inspeção visual e inspeção instrumentada, através de ensaios não destrutivos e parcialmente destrutivos.

### 2.3.1 Inspeção Visual

É considerado o método de diagnóstico mais simples e, em alguns casos, menos tecnológico. Na sua utilização, o profissional utiliza principalmente os próprios sentidos para avaliar as situações, e pode eventualmente recorrer a equipamentos que os ampliem. (CÓIAS, 2006)

Apesar dessa técnica ser definida como inspeção visual, as principais fontes de informações a nível sensorial para o diagnóstico das anomalias existentes são provenientes dos sentidos humanos (visão, audição, olfato e

tato). Este tipo de diagnóstico depende, sobretudo, da experiência, prática, perspicácia e conhecimento dos profissionais que o realizam, uma vez que os resultados não deixam de ser subjetivos. (COIÁS, 2006).

Esta técnica pode ser utilizada na avaliação das madeiras, na qual é possível detectar através de sons, a presença de possíveis manifestações patológicas do tipo bióticas, como os insetos xilófagos, podendo também detectar as zonas afetadas ainda na fase inicial de propagação, quando a degradação se encontra no interior das madeiras.

### 2.3.2 Inspeção Instrumentada

Esse tipo de técnica de inspeção diferencia-se da inspeção visual pelo uso de equipamentos e a depender do grau do ensaio realizado podem ser mais ou menos intrusivo à estrutura.

Por ser abrangente, a inspeção instrumentada pode ser classificada em categorias específicas, (item 2.3 – Técnicas de Inspeção) as quais serão abordadas somente as classificações de técnicas mais utilizadas em inspeções de edifícios antigos com enfoque em alvenarias resistentes e estruturas de madeira, com os ensaios que podem ser realizados. São elas: técnicas de ação mecânica; de propagação de ondas elásticas; de propagação de radiação eletromagnética.

**Técnicas de ações mecânicas:** Referem-se aos ensaios que agem diretamente nos elementos estruturais, ou em materiais de forma generalizada ou pontualmente. (CÓIAS, 2006).

Quanto à integridade das amostras, os ensaios podem ser não destrutivos, quando são de natureza elástica; parcialmente destrutivos; e destrutivos. Porém, sempre é desejável que os procedimentos sejam os menos intrusivos possíveis para a construção. (LOMBILLO, 2013)

Existem ensaios realizados *in loco* com auxílio de macacos planos que servem para determinar o estado de tensão e também determinar algumas propriedades mecânicas como deformabilidade e resistência do elemento estrutural. Geralmente esses ensaios são executados em paredes de alvenarias do tipo resistentes e estruturais. (conforme item 2.1.1 – Propriedades e Características)

Em estruturas de madeira, são utilizados dois ensaios que determinam a densidade dos elementos, mas que se diferenciam no grau de profundidade da execução. Enquanto o “*Pylodin*” (Figura 15) é um aparelho que realiza um ensaio não destrutivo e mede a densidade superficial da madeira, o “*Resistograph*” (Figura 16) pode ser considerado parcialmente destrutivo e detecta as variações da densidade de acordo com a resistência que a madeira impõe à broca e, com isso é possível também determinar o grau de deterioração no interior dos elementos de madeira.

Figura 15 - Aparelho *Pylodin*



Fonte: Google Imagens (2021)

Figura 16 - Aparelho *Resistograph*



Fonte: ICT International (2021)

**Técnicas de propagação de ondas elásticas:** Esse tipo de método é bastante eficaz em seus resultados em relação a detecção de anomalias presentes no interior dos materiais. Isso porque os ensaios baseiam-se na detecção, medição ou análise das vibrações provocadas nas edificações ou elementos construtivos, avaliando a forma de propagação das ondas elásticas e são normalmente técnicas muito pouco intrusivas capazes de detectar anomalias que não são visíveis. (Coíás 2006, Galvão, *et al.* 2013)

Nesta classificação destaca-se a ultrassonografia que é um ensaio não destrutivo que consiste em determinar a velocidade de propagação de impulsos ultrassônicos entre dois pontos estabelecidos onde se colocam os transdutores. (Figura 17)

Figura 17 - Aparelho Ultrassom



Fonte: Google Imagens (2021)

Esse ensaio fornece informação das propriedades mecânicas, homogeneidade e das possíveis anomalias como fissuras nas paredes de alvenaria, através da velocidade de propagação que se relaciona diretamente com a qualidade do material.

**Técnicas de propagação de radiação eletromagnética:** são métodos predominantemente não destrutivos, nos quais é possível observar as alterações provocadas nos materiais através da propagação destas ondas. A termografia é o ensaio mais conhecido dentro desta classificação e consiste em mapear e analisar, através de diferentes graus de emissão infravermelho, alguns tipos de manifestações patológicas mais recorrentes como fissuras, umidade, heterogeneidade, entre outras.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consistirá das seguintes etapas: **Estudo de Caso** e a **Revisão Bibliográfica** aplicadas em edificação antiga localizada no centro da cidade de Aracaju/SE.

No **Estudo de Caso** serão avaliadas as condições atuais de durabilidade, estética e desempenho da mesma, além das características dos materiais utilizados bem como se os mesmos estão em boas condições ou apresentam anomalias e/ou qualquer outro tipo de manifestações patológicas que possam causar risco à segurança e estabilidade da obra. Para isto, torna-se necessária a inspeção em toda a área do prédio com seus respectivos relatórios fotográficos com detalhes da localização e anomalias detectadas. Também serão analisadas as inserções de outros materiais, por exemplo, concreto armado e/ou aço em recuperações recentes no edifício antigo em questão.

Em seguida, serão catalogadas todas as tipologias de manifestações patológicas (EPU, infiltrações, eflorescências, bolor e mofo), que prejudicam tanto a estética quanto o desempenho da edificação ou de qualquer uma de seus sistemas. Por fim, serão abordadas possíveis causas e mecanismos de formação das anomalias propondo medidas (reforma, reforço, recuperação) destinadas a sanar os problemas, visando assim manter os padrões de segurança e durabilidade preconizados nas normas vigentes, bem como a elaboração de um manual com todos os procedimentos necessários, através de **check-lists** para inspeções em edificações antigas em alvenarias resistentes e estruturas de madeira. **(APÊNDICE A – MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA)**

#### 3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A realização da metodologia foi baseada em todo o **Referencial Teórico (item 2)** referente às técnicas utilizadas; normas vigentes na época da construção, manifestações patológicas recorrentes nos materiais analisados e na própria estrutura; e métodos de diagnósticos das mesmas, além dos

ensaios mais utilizados que quantificam os níveis de deterioração, validando o diagnóstico proposto, e oferecendo, através dos resultados, condições necessárias para a solução mais adequada.

### 3.2 ESTUDO DE CASO

O prédio em questão está situado na esquina das ruas Maruim com rua Lagarto, bairro Centro, cidade de Aracaju/SE. Esta construção abrigava o prédio da FAPESE – Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão de Sergipe, prédio com uso para finalidades educacionais e administrativa, que está distribuído entre dois pavimentos, térreo mais 1º andar.

A Figuras 18 e 19 mostram respectivamente a localização do prédio, por imagem de satélite, e foto das fachadas principal e lateral.

Figura 18 - Vista aérea da antiga FAPESE/UFS



Fonte: Google Earth (2021)

Figura 19 - Fachada principal e lateral do prédio



Fonte: Google Earth (2019)

Apesar do prédio ter sido reformado e ampliado recentemente, há uns 10 anos, com inserções de componentes estruturais em concreto armado, como substituição de elementos de madeira e/ou alvenarias cerâmicas, o enfoque do presente trabalho se refere à estrutura antiga original, composta por alvenarias resistentes e elementos estruturais em madeira. No entanto, também, serão abordados dentro da metodologia, os elementos em concreto armado e sua interação com a estrutura original.

### 3.2.1 Anamnese

Antes da inspeção visual detalhada, foi realizada a anamnese, ou seja, o levantamento do histórico do edifício em questão. Em relação ao arquivo técnico, foi disponibilizado somente as plantas baixas do local. Por se tratar de um prédio sob o poder público, não foi possível a entrevista com o proprietário, mas o arquiteto e o engenheiro civil, ambos servidores da Universidade Federal de Sergipe – UFS, foram responsáveis por facilitar o acesso ao prédio e eles forneceram algumas informações como idade, que provavelmente é muito superior a 50 anos, mas eles não tinham conhecimento da idade exata. Obtivemos também, informações sobre os materiais e técnicas utilizadas na construção, além da ampliação com elementos estruturais em concreto armado, como já citadas ao longo do trabalho.

Destarte ressaltar que as visitas técnicas ao prédio foram limitadas, impossibilitando realizações de ensaios não destrutivos (END's) na estrutura como também inspeções nas fundações, face período de pandemia inusitado atual, mas que por relatos anteriores de funcionários da UFS, tratam-se de fundações alvenaria de pedra corrida.

### 3.2.2 Inspeção Visual Detalhada

Na inspeção visual realizada na edificação, foi dado maior importância a avaliação das condições das alvenarias e dos elementos de madeira. Foram detectadas anomalias que são recorrentes em estrutura desse tipo como fissuras, EPU, deformações, entre outras.

Os pisos do prédio principal são de assoalhos de madeira e o pé-direito tem aproximadamente 3,40 m, e, por isso, o método construtivo utilizado foi de alvenaria dobrada ( $\cong 0,45$  m) em todo o seu perímetro com o objetivo de dar maior rigidez à estrutura evitando problemas com flambagem. Foram analisadas as peças de madeira do piso do *hall* de entrada, e que visivelmente, o piso e os estrados de madeira que fazem papel estrutural pareciam bons, porém necessitando apenas de uma revisão para substituição de algumas peças deterioradas.

A cobertura do prédio é em fibra de cimento, mas, muito provavelmente, face contexto da construção e tipologia estrutural dos telhados de madeira, originalmente, eram de telhas de cerâmicas. Observou-se que há regiões próximas ao reservatório superior com destelhamentos visíveis, permitindo a entrada de água que está servindo como porta de entrada para as manifestações patológicas que são provenientes de umidade, como bolor, mofo, eflorescência e nas madeiras essa umidade permite o ataque dos agentes bióticos e abióticos.

Existem infiltrações provenientes de umidade por capilaridade, umidade de construção e umidade de precipitação. Os fatores que ocasionaram estas infiltrações são diversos, desde de falta de impermeabilização, problemas na cobertura e até mesmo a ausência de manutenção do prédio com o passar dos anos. Desta forma a água penetrou nas alvenarias, trazendo-a para dentro da edificação e causando sérios problemas tanto na fachada como nos ambientes

internos. Em alguns locais do prédio, foi detectado alto grau de umidade que, além de comprometer toda a estética externa e interna da edificação, criou ambientes com baixos índices de salubridade (paredes com mofo, bolos e apodrecimentos) um problema sério a saúde dos seus usuários, fato este que por si, já justifica a interdição dessas áreas.

Em quase todos os ambientes observou-se diversos pontos com goteiras, manchas nas paredes, eflorescências, mofo e apodrecimento do substrato. Quanto ao telhado, precisaria ser feita uma revisão completa com imediata substituição das telhas danificadas e substituição das peças comprometidas, além de recobrir as áreas descobertas.

Em relação a umidade por capilaridade, foi observado em alguns pontos o que parecia ser infiltração pelas fundações, porém essa informação não pôde ser confirmada pois não foi realizada a análise das mesmas.

### 3.2.3 Cadastramento das Manifestações Patológicas

Para continuidade da metodologia, foi identificada todas as manifestações patológicas da estrutura principal. Nas alvenarias resistentes, a maioria delas referem-se, principalmente à expansão por umidade (EPU), problemas com umidade proveniente de infiltrações que foram detectadas em alguns pontos do prédio, e nas estruturas de madeira (assoalhos) foram observadas manifestações de agentes biológicos que, junto a umidade excessiva no local, se proliferou de maneira considerável.

A umidade presente nas alvenarias contribuiu para a ocorrência de algumas manifestações. As Figuras 20 e 21, a seguir, mostram a expansão por umidade (EPU) nas cerâmicas, com deslocamento do reboco; e infiltração em quase toda a extensão de uma parede externa, respectivamente:

Figura 20 - Presença de EPU em cerâmica



Fonte: O autor (2021)

Figura 21 - Infiltração em alvenaria



Fonte: O autor (2021)

Na parte interna, ainda nas alvenarias, foi observado a presença de reboco desagregante (popularmente conhecido como esfarelado), conforme Figura 22, sendo comum em áreas externas e isso se deve ao alto teor de umidade presente na edificação e utilização de materiais mais porosos, característico de rebocos antigos.

Figura 22 - Reboco desfarelante nos revestimentos de alvenarias



Fonte: O autor (2021)

Foram encontradas regiões de eflorescência, do tipo mais recorrente que é quando o acúmulo do sal branco ocorre na interface entre a pintura e a alvenaria, ocasionando um aspecto estético e níveis de insalubridade não recomendáveis, e em alguns casos o destacamento da película de pintura, conforme Figura 23:

Figura 23 – Presença de eflorescência em parede revestida



Fonte: O autor (2021)

Em relação às estruturas de madeiras, foi constatado que a madeira do piso apresentou boas condições de uso, com exceções de alguns elementos estruturais que, como mencionado, foram detectados em alguns lugares a presença de agentes biológicos, como fungos apodrecedores na parte inferior do piso e manchadores nas peças transversais da estrutura (Figura 24), necessitando de um estudo mais aprofundado em relação às propriedades físicas e químicas atuais da estrutura visando-se determinar uma solução mais viável do problema.

Figura 24 - Agentes bióticos em assoalho de madeira



Fonte: O autor (2021)

É válido ressaltar que o acesso aos assoalhos foi limitado por conta do forro e na região analisada é possível ver que a estrutura de madeira apresenta condições aceitáveis de resistência e durabilidade, porém com a ressalva de substituição das peças comprometidas.

O destelhamento visível próximo do reservatório superior cria condições favoráveis para a proliferação de fungos e bactérias que por sua vez são observados em forma de mofos, conforme Figura 25, a seguir:

Figura 25 – Presença de mofo em parede face umidade pelo destelhamento



Fonte: O autor (2021)

Como as paredes eram revestidas não foi possível analisar se as mesmas possuíam fissuras na alvenaria, porém de acordo com a análise realizada, existe a possibilidade de ocorrência de fissuras por retração e expansão, através da predominância de EPU nas cerâmicas; por concentração de tensões, pois não foi encontrado, por exemplo, o uso de “coxins”, que possui função de distribuir as cargas ao longo da alvenaria.

Em síntese, o alto teor de umidade presente no local (infiltrações, capilaridade) é o principal responsável pelas manifestações patológicas mais recorrentes no edifício em questão.

### 3.3 RECUPERAÇÕES EM OBRAS DE ALVENARIAS RESISTENTES ANTIGAS

Em algum momento da vida útil dos edifícios antigos, é inevitável a necessidade de recuperação dos mesmos, seja através de projetos de recuperação (reforma e/ou reforços), que podem ser por componentes do mesmo material existente, como também por elementos de materiais diferentes, mas com a premissa de que devem ser compatíveis aos materiais da estrutura original.

Para isso, são realizados estudos preliminares para avaliar as condições da estrutura global, observando as interações físico-mecânicas como distribuição do momento fletor, do esforço cortante, as dimensões dos elementos estruturais se obedecem às exigências mínimas normativas, entre outros fatores que interferem diretamente no desempenho da estrutura. Por outro lado, deve-se avaliar também as condições da microestrutura, através dos materiais, analisando as propriedades físicas e químicas para que a aplicação do reforço com outros materiais tenha a compatibilidade exigida com os materiais já existentes na edificação, e com isso, minimizar problemas posteriores resultantes do método de recuperação adotado.

No edifício em questão foi utilizada a recuperação com componentes em concreto armado, através de pilares e vigas que foram dispostas em forma de estrutura em pórtico para garantir maior rigidez, e resultando em uma estrutura combinada com alvenarias resistentes e concreto armado.

### 3.3.1 Inserções de Componentes Estruturais em Concreto Armado ou Aço

Esse item tem por objetivo fazer a comparação entre estruturas em concreto armado e em alvenaria resistente, sistematicamente, através da interação observada no edifício em questão. Também será avaliada as condições atuais dos componentes estruturais utilizados na recuperação da estrutura existente.

Foi realizada a inspeção na parte externa da estrutura recente na qual foi observada em vários pilares a presença de corrosão, geralmente, na parte inferior (pé-do-pilar). As Figuras 26, 27, 28 e 29 mostram a corrosão presente alguns dos pilares externos da edificação

Figura 26 - Corrosão na armadura de pilar



Fonte: O autor (2021)

Figura 27 - Corrosão na armadura de pilar



Fonte: O autor (2021)

Figura 28 - Corrosão em armadura de pilar



Fonte: O autor (2021)

Figura 29 - Corrosão em armadura de pilar



Fonte: O autor (2021)

Desses pilares valem destacar as Figuras 26 e 29, pois no primeiro é nítida uma mancha escura na parte inferior do pilar, o que provavelmente pode ter sido umidade infiltrada da fundação que serviu para desencadear a corrosão localizada. Já no outro pilar, a corrosão pode ser remetida à umidade excessiva presente nos materiais utilizados no reboco, que por sua vez apresenta uma camada espessa, demonstrando pouca aderência, provavelmente por falhas de execução, como ausência de chapisco ou até mesmo pela própria espessura.

É importante salientar que os elementos de concreto armado inseridos na reforma mais recente do prédio tiveram durabilidade muito inferior, comparados às estruturas em alvenarias resistentes que possuem muito mais tempo de construção e, conseqüentemente mais tempo de exposição aos agentes de deterioração.

Na parte interna do prédio, foi observada a presença de corrosão acentuada nas faces internas em alguns pilares da fachada, provenientes do uso de argamassas no reboco com argila que catalisaram, também, o processo corrosivo, conforme Figuras 30 e 31:

Figura 30 - Corrosão em pilar de fachada



Fonte: O autor (2021)

Figura 31 - Corrosão em pilar de fachada



Fonte: O autor (2021)

No pavimento superior foi observado presença de corrosão em diversos pontos com deslocamentos do concreto da viga principal do corredor, que possui contato direto com o meio externo (Figura 32), além de fissurações de canto, próximas aos pilares, devidas às concentrações de tensões nessas regiões. (Figura 33)

Figura 32 - Corrosão na armadura de viga



Fonte: O autor (2021)

Figura 33 - Fissura em viga próximo de pilar



Fonte: O autor (2021)

Diante do exposto, a presença de corrosão, em sua maioria, localizada em elementos estruturais com contato direto com o meio externo comprometeu a durabilidade em relação à estrutura principal de alvenaria dentro das mesmas condições. As principais causas para a ocorrência da corrosão estão na umidade presente nos materiais utilizados, eventuais erros de projeto e/ou execução como cobrimento menor que o recomendado e, principalmente falta de manutenção.

Reitera-se que antes de implantar um método de recuperação em determinada edificação antiga, deve-se fazer uma análise prévia da estrutura e materiais existentes para se ter a compatibilidade adequada nessas intervenções, para evitar problemas posteriores e custos, visto que a recuperação em elementos de concreto armado é mais dispendiosa que nas alvenarias, como também é menos viável em relação à durabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de levantamento de anomalias de um edifício antigo refere-se ao registro das origens, sintomas e natureza dos problemas por ele apresentados, no seu estado atual.

É importante ressaltar que, inicialmente deve ser realizada a análise preliminar da estrutura, e, após isso, a aplicação do manual, com seus procedimentos de execução pertinentes.

A anamnese (Tabela 1) deve abranger todo o acervo técnico disponível, entrevista com proprietários e possivelmente engenheiros, arquitetos e encarregados da obra, levantamentos geométricos, entre outros. Por sua vez, a inspeção visual (Tabela 2) consiste no contato inicial com a estrutura a ser avaliada. Nela são detectadas as manifestações patológicas visíveis e, através das experiências do perito, as possíveis regiões que necessitarão de um estudo mais aprofundado.

Tabela 1 - *Check-list* de anamnese

| ANAMNESE - INSPEÇÃO PREDIAL                                                             |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Responsável pela inspeção:                                                              | Data:     /     /      |
| Nome do edifício:                                                                       |                        |
| Endereço:                                                                               | Bairro:                |
| Complemento:                                                                            | CEP:                   |
| CNPJ:                                                                                   | Resp. pela edificação: |
| Telefone:                                                                               | Email:                 |
| Tipologia: (   ) Residencial     (   ) Comercial     (   ) Industrial     (   ) Outros: |                        |
| Nº de pavimentos:                                                                       | Ano de construção:     |
| Construtora:                                                                            | Administrador(es):     |

### OBSERVAÇÕES RELEVANTES:

|  |
|--|
|  |
|--|

| CONSULTA AO ACERVO TÉCNICO DISPONÍVEL |                                                 |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| PROJETOS DISPONÍVEIS                  | OBSERVAÇÕES SOBRE OS PROJETOS                   |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
| ENTREVISTAS COM RESPONSÁVEIS          | CONSIDERAÇÕES FINAIS DAS ENTREVISTAS REALIZADAS |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |
|                                       |                                                 |

Fonte: O autor (2021)

Tabela 2 - *Check-list* para inspeção visual

| INSPEÇÃO VISUAL DETALHADA |                               |             |                   |
|---------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------|
| Responsável:              |                               |             | Data:     /     / |
| ITEM                      | ANOMALIAS/FALHAS APRESENTADAS | LOCALIZAÇÃO | OBSERVAÇÕES       |
| 1                         |                               |             |                   |
| 2                         |                               |             |                   |
| 3                         |                               |             |                   |
| 4                         |                               |             |                   |
| 5                         |                               |             |                   |
| 6                         |                               |             |                   |
| 7                         |                               |             |                   |
| 8                         |                               |             |                   |
| 9                         |                               |             |                   |
| 10                        |                               |             |                   |

Fonte: O autor (2021)

A primeira etapa dos procedimentos do manual de inspeção refere-se à inspeção instrumentada que engloba os equipamentos e ensaios que serão realizados baseados nas análises feitas na inspeção visual e que auxiliarão nos levantamentos, através da obtenção de dados em diversos pontos dos elementos estruturais analisados previstos em normas.

Tabela 3 - *Check-list* para inspeção instrumentada

| <b>INSPEÇÃO INSTRUMENTADA EM ALVENARIAS RESISTENTES</b> |                    |                                    |
|---------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Responsável:                                            |                    | Data:     /     /                  |
| <b>ENSAIOS</b>                                          | <b>LOCALIZAÇÃO</b> | <b>RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES</b> |
| Ultrassom                                               |                    |                                    |
| Teor de umidade                                         |                    |                                    |
| Variação do estado de tensão                            |                    |                                    |
| Deformabilidade                                         |                    |                                    |
| Termografia                                             |                    |                                    |
| Outro:                                                  |                    |                                    |

**OBSERVAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS:**

|  |
|--|
|  |
|--|

| <b>INSPEÇÃO INSTRUMENTADA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA</b> |                    |                                    |
|--------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Responsável:                                           |                    | Data:     /     /                  |
| <b>ENSAIOS</b>                                         | <b>LOCALIZAÇÃO</b> | <b>RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES</b> |
| Ultrassom                                              |                    |                                    |
| Pyrolodin                                              |                    |                                    |
| Resistograph                                           |                    |                                    |
| Outro:                                                 |                    |                                    |

**OBSERVAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS:**

|  |
|--|
|  |
|--|

A metodologia proposta no manual abrange todo o levantamento quantitativo das manifestações patológicas e deve conter todas as características, causas e origens das anomalias detectadas nas inspeções, e já discutidas ao longo do Referencial Teórico (Item 2), como fissuração localizada com orientação preferencial; recalques diferenciais da construção; manchas de umidade por infiltração; desagregação ou destacamento dos materiais de revestimento; eflorescências; presença de bolor e/ou fungos; presença de agentes bióticos e/ou abióticos.

O cadastramento das mesmas é realizado por registros fotográficos, que por sua vez, é fundamental para facilitar a identificação das não conformidades. Nela contém as descrições das irregularidades e as respectivas recomendações técnicas. A caracterização por elementos construtivos é uma forma de padronizar as anomalias existentes, tratando-as de maneira distintas, ou seja, reportando-se a todos os elementos primários da construção, como:

- a) Estrutura (Alvenarias resistentes);
- b) Pavimentos e escadas;
- c) Cobertura;
- d) Fachadas;
- e) Fundações (quando acessíveis).

O cadastramento mostrado na Tabela 4, mostra a caracterização de um sistema específico de uma edificação (Estrutura). Para os demais sistemas, devem ser gerados *check-lists* similares.

Tabela 4 - *Check-list* de cadastramento das manifestações patológicas

| CADASTRAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS |                                                                         |         |             |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| ESTRUTURA                                   | ( ) Concreto armado ( ) Alv. estrutural ( ) Alv. resistente ( ) Madeira |         |             |
|                                             | Localização                                                             | Foto nº | Observações |
|                                             |                                                                         |         |             |
|                                             |                                                                         |         |             |
|                                             |                                                                         |         |             |
|                                             |                                                                         |         |             |
|                                             |                                                                         |         |             |
|                                             |                                                                         |         |             |

Após isso, as anomalias detectadas no edifício estudado são classificadas quanto as suas origens: endógena, exógena, natural ou funcional e as falhas como, de planejamento, de execução, operacional ou gerencial. NBR 5674 (ABNT, 2012)

A classificação quanto à criticidade deve ser realizada levando em consideração aspectos técnicos, como probabilidade de causar acidentes, custo de reparo, grau de deterioração e perda do desempenho desejado (crítico, médio ou mínimo).

Segue abaixo, o modelo de relatório fotográfico com as classificações:

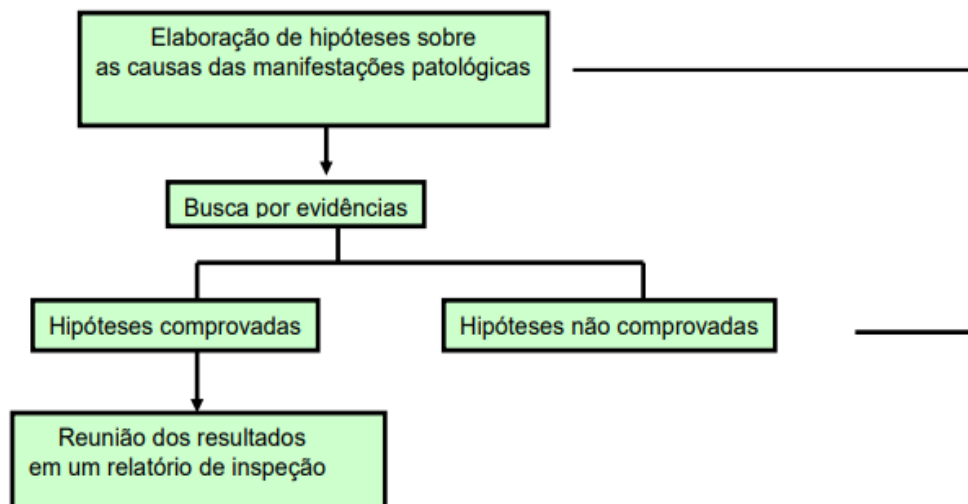
Tabela 5 - Modelo de relatório fotográfico e classificações

| MODELO DE RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E CLASSIFICAÇÕES                |              |        |                  |                        |                                        |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------|------------------|------------------------|----------------------------------------|
| FOTO Nº xx                                                      |              |        |                  |                        |                                        |
| DESCRIÇÃO DA IRREGULARIDADE:                                    |              |        |                  | SISTEMA:               |                                        |
| <div style="text-align: center; color: red;">INSERIR FOTO</div> |              |        |                  | RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS |                                        |
|                                                                 |              |        |                  |                        |                                        |
| CLASSIF.                                                        | ( ) Anomalia | ORIGEM | ( ) Exógena      | CRITICIDADE            | ( ) Crítico<br>( ) Médio<br>( ) Mínimo |
|                                                                 |              |        | ( ) Endógena     |                        |                                        |
|                                                                 |              |        | ( ) Natural      |                        |                                        |
|                                                                 |              |        | ( ) Funcional    |                        |                                        |
|                                                                 | ( ) Falha    |        | ( ) Planejamento |                        |                                        |
|                                                                 |              |        | ( ) Execução     |                        |                                        |
|                                                                 |              |        | ( ) Operacional  |                        |                                        |
|                                                                 |              |        | ( ) Gerencial    |                        |                                        |

Fonte: O autor (2021)

Após isso, são formulados questionamentos sobre as possíveis causas das manifestações patológicas, com o objetivo de buscar evidências que comprovem as hipóteses levantadas levando a um diagnóstico, definindo as origens, causas e mecanismos de ocorrência. Em caso de hipóteses não confirmadas, retorna-se à fase inicial, conforme Figura 34, a seguir:

Figura 34 - Fluxograma de diagnóstico das manifestações patológicas



Fonte: ABECE (2005)

Para ordenamento das prioridades, o manual terá como base o método GUT (gravidade x urgência x tendência), que faz o gerenciamento dos riscos das anomalias através do produto dos três valores que são atribuídos de forma subjetiva e também de maneira fundamentalista, baseando-se nos resultados obtidos via ensaios. A interpretação que leva em consideração é que o valor final da multiplicação é diretamente proporcional à criticidade e prioridade.

Gomide, Pujadas e Fagundes Neto (2009) propuseram a adaptação do método GUT para a área da Engenharia Civil, mais especificamente em inspeções prediais, visto que inicialmente este conforme Tabela 6:

Tabela 6 - Critérios do grau de risco e pesos referentes a metodologia utilizada para a classificação da ordem de prioridades

| GRAU    | GRAVIDADE                                                       | PESO |
|---------|-----------------------------------------------------------------|------|
| Total   | Perda de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício | 10   |
| Alta    | Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício    | 8    |
| Média   | Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício      | 6    |
| Baixa   | Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros            | 3    |
| Nenhuma |                                                                 | 1    |
| GRAU    | URGÊNCIA                                                        | PESO |
| Total   | Evento em ocorrência                                            | 10   |
| Alta    | Evento prestes a ocorrer                                        | 8    |
| Média   | Evento prognosticado para breve                                 | 6    |
| Baixa   | Evento prognosticado para adiante                               | 3    |
| Nenhuma | Evento imprevisto                                               | 1    |
| GRAU    | TENDÊNCIA                                                       | PESO |
| Total   | Evolução imediata                                               | 10   |
| Alta    | Evolução em curto prazo                                         | 8    |
| Média   | Evolução em médio prazo                                         | 6    |
| Baixa   | Evolução em longo prazo                                         | 3    |
| Nenhuma | Não vai evoluir                                                 | 1    |

Fonte: GOMIDE, PUJADAS E FAGUNDES NETO (2009)

A tabela 7 mostra o último *check-list* presente no manual, que é o ordenamento das prioridades (Método GUT) para solução das anomalias existentes, auxiliando no melhor plano de inspeção predial.

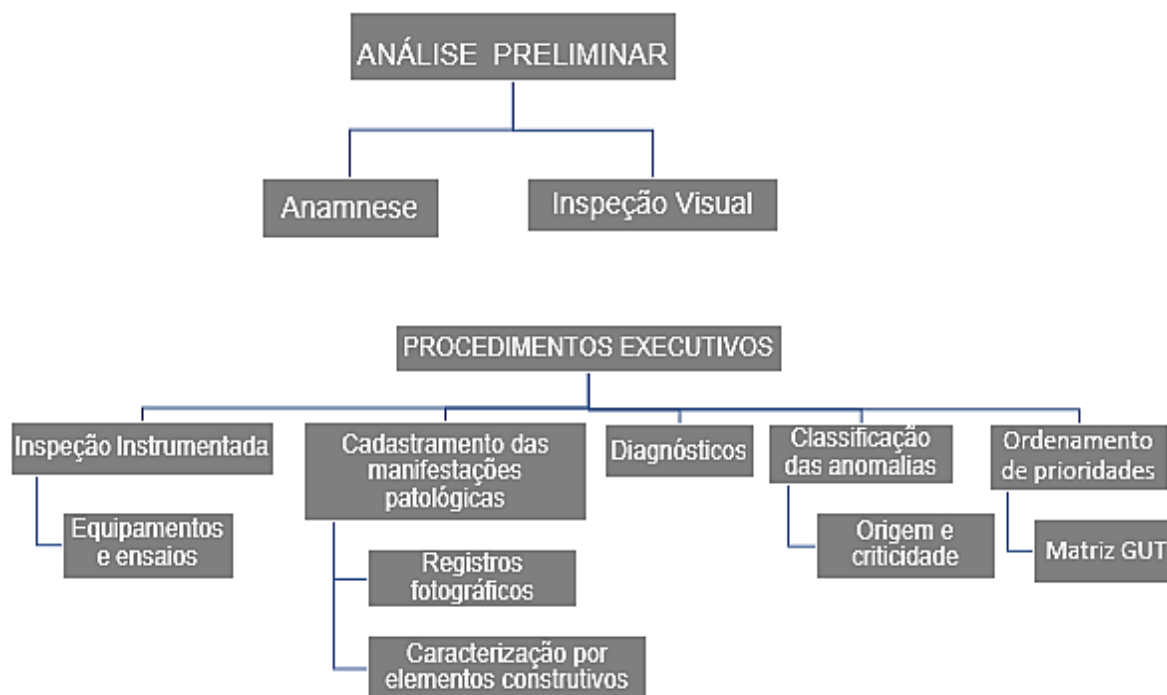
Tabela 7 - *Check-list* para ordenamento de prioridades (Método GUT)

| ORDENAMENTO DE PRIORIDADES DAS ANOMALIAS/FALHAS |       |                                                 |         |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|---------|
| Descrição da irregularidade                     | Ordem | Critério GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) | Foto nº |
|                                                 | 1º    |                                                 |         |
|                                                 | 2º    |                                                 |         |
|                                                 | 3º    |                                                 |         |
|                                                 | 4º    |                                                 |         |
|                                                 | 5º    |                                                 |         |
|                                                 | 6º    |                                                 |         |
|                                                 | 7º    |                                                 |         |
|                                                 | 8º    |                                                 |         |
|                                                 | 9º    |                                                 |         |
|                                                 | 10º   |                                                 |         |

Fonte: O autor (2021)

Os resultados apresentados para concepção do manual de inspeção estão dispostos em organogramas, com todas as etapas necessárias conforme todo o exposto neste trabalho. (Figura 35):

Figura 35 - Organogramas com etapas para execução do manual de inspeção



Fonte: O autor (2021)

O manual de inspeção está integralizado no **Apêndice A**, o qual é composto por todos os procedimentos baseados nas etapas mencionadas, conforme Figura 35, através dos *check-lists* que visam oferecer praticidade e padronização em todo o processo pericial. **(APÊNDICE A – MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM ALVENARIAS RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA)**

Por fim, deverá ser elaborado um relatório, descrevendo os trabalhos realizados, apresentando os resultados obtidos via **check-lists** e as conclusões. Caso necessário, poderá incluir a definição da estratégia de recuperação, que pode ser realizado através de inserções de elementos de mesmo material da estrutura existente ou por elementos em concreto armado e/ou aço.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho contemplou todos os objetivos propostos no planejamento, face informações obtidas necessárias à concepção de um manual de inspeção específico para edifícios antigos em alvenarias resistentes e estruturas de madeira, propiciando a adição de um referencial técnico especializado muito útil à Engenharia Diagnóstica.

Com a Revisão Bibliográfica, foi possível discutir as possibilidades, destacando-se técnicas e materiais empregados bem como possíveis manifestações patológicas recorrentes nesses edifícios antigos.

O estudo mostrou que a aplicação de um manual de inspeção aumenta a produtividade e eficiência do trabalho pericial, através da sua metodologia proposta.

Portanto, torna-se vantajosa a incorporação dessa ferramenta no âmbito pericial como mais um subsídio no quesito quantitativo e qualitativo das inspeções em edifícios antigos em alvenarias resistentes e estruturas de madeira.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5674 - **Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 7190 – **Projeto de estruturas de madeira**, Rio de Janeiro, 1997

\_\_\_\_\_. NBR 13818 – **Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios**, Rio de Janeiro, 1997.

ALUCCI, M. P., FLAUZINO, W. D., MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações**. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do IPT. 1988. p.565-70.

BAUER, E. (Editor) **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**, Brasília: LEM-UnB; SINDUSCON, 2005, 92p.

BRITO, Leandro Dussarat. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2014.

BROTO, Carles. **Enciclopedia patologías de la construcción**. 1389 p. 2006.

CALIL JR; LAHR; DIAS. **Dimensionamento de elementos estruturais da madeira**. Editora Manole, Barueri, SP.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini: IPT, 1988. p. 549-554.

CÓIAS, Vítor. **Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios**. 2ª Edição, IST PRESS, Lisboa, 2006.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre: CIENTEC, 1998. (Boletim técnico, 25).

ELDRIDGE, H. J. **Construcción, defectos comunes**. Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P. **Inspeção predial total: diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2014.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo:Pini. 2003.

JAWOROSKI, H. C. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

LOMBILLO, I. VILLEGAS, Liaño, 3.9 – **Non Destructive Methodologies applied to the Study and Diagnosis of Masonry Structures of the Built Heritage**, Cib, 2013.

MAGALHÃES, E. F. **Fissuras em alvenarias: configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 177 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia/ UFRGS, Porto Alegre, 2006.

MAÑA, F. **Patologia de las cimentaciones**. Barcelona: Blume, 1978.

MASSETO, L. T.; SABBATINI, F. H. **Estudo comparativo da resistência das alvenarias de vedação de blocos utilizadas na região de São Paulo**. In: Congresso Latino-americano em tecnologia e gestão na produção de edifícios, soluções para o terceiro milênio, São Paulo, 1988.

MOLITERNO, A. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

ORTIZ, J. M. R. **La cimentacion**. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos. (Curso de rehabilitación, 4).

PRUDÊNCIO JR., L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: [s.n.]. 2002.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. (1990). **Timber Bridges: Design, Construcion, Inspection, and Maintenance**. Chapter 13: Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, 1984.

SABBATINI, F. H.; BAÍA, Luciana Leone Maciel. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

SÁNCHEZ, E. **Dimensionamento de alvenaria não armada pelo método das tensões admissíveis**. In: SÁNCHEZ FILHO, E. S. (org). Alvenaria estrutural: novas tendências de técnicas e de mercado. Rio de Janeiro: Interciência, 2002

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

**APÊNDICE A – MANUAL DE INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS EM  
ALVENARIAS RESISTENTES E ESTRUTURAS DE MADEIRA**

| ANAMNESE - INSPEÇÃO PREDIAL                                                             |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Responsável pela inspeção:                                                              | Data:     /     /      |
| Nome do edifício:                                                                       |                        |
| Endereço:                                                                               | Bairro:                |
| Complemento:                                                                            | CEP:                   |
| CNPJ:                                                                                   | Resp. pela edificação: |
| Telefone:                                                                               | Email:                 |
| Tipologia: (   ) Residencial     (   ) Comercial     (   ) Industrial     (   ) Outros: |                        |
| Nº de pavimentos:                                                                       | Ano de construção:     |
| Construtora:                                                                            | Administrador(es):     |

**OBSERVAÇÕES RELEVANTES:**

|  |
|--|
|  |
|--|

**CONSULTA AO ACERVO TÉCNICO DISPONÍVEL**

| PROJETOS DISPONÍVEIS         | OBSERVAÇÕES SOBRE OS PROJETOS                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------|
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
| ENTREVISTAS COM RESPONSÁVEIS | CONSIDERAÇÕES FINAIS DAS ENTREVISTAS REALIZADAS |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |
|                              |                                                 |

| INSPEÇÃO VISUAL DETALHADA |                               |             |                 |
|---------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------|
| Responsável:              |                               |             | Data:    /    / |
| ITEM                      | ANOMALIAS/FALHAS APRESENTADAS | LOCALIZAÇÃO | OBSERVAÇÕES     |
| 1                         |                               |             |                 |
| 2                         |                               |             |                 |
| 3                         |                               |             |                 |
| 4                         |                               |             |                 |
| 5                         |                               |             |                 |
| 6                         |                               |             |                 |
| 7                         |                               |             |                 |
| 8                         |                               |             |                 |
| 9                         |                               |             |                 |
| 10                        |                               |             |                 |

| INSPEÇÃO INSTRUMENTADA EM ALVENARIAS RESISTENTES |             |                             |
|--------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|
| Responsável:                                     |             | Data:    /    /             |
| ENSAIOS                                          | LOCALIZAÇÃO | RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES |
| Ultrassom                                        |             |                             |
| Teor de umidade                                  |             |                             |
| Variação do estado de tensão                     |             |                             |
| Deformabilidade                                  |             |                             |
| Termografia                                      |             |                             |
| Outro:                                           |             |                             |

OBSERVAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS:

|  |
|--|
|  |
|--|

| INSPEÇÃO INSTRUMENTADA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA |                    |                                    |
|-------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Responsável:                                    |                    | Data:     /     /                  |
| <b>ENSAIOS</b>                                  | <b>LOCALIZAÇÃO</b> | <b>RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES</b> |
| Ultrassom                                       |                    |                                    |
| Pylodin                                         |                    |                                    |
| Resistograph                                    |                    |                                    |
| Outro:                                          |                    |                                    |

## OBSERVAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

|  |
|--|
|  |
|--|

| MODELO DE RELATÓRIO FOTOGRÁFICO E CLASSIFICAÇÕES                |                 |               |                    |                                                  |                                              |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| FOTO N° xx                                                      |                 |               |                    |                                                  |                                              |
| DESCRIÇÃO DA IRREGULARIDADE:                                    |                 |               |                    |                                                  |                                              |
| <div style="text-align: center; color: red;">INSERIR FOTO</div> |                 |               |                    | <b>SISTEMA:</b><br><b>RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS</b> |                                              |
|                                                                 |                 |               |                    |                                                  |                                              |
| <b>CLASSIF.</b>                                                 | (   ) Anomalia  | <b>ORIGEM</b> | (   ) Exógena      | <b>CRITICIDADE</b>                               | (   ) Crítico<br>(   ) Médio<br>(   ) Mínimo |
|                                                                 |                 |               | (   ) Endógena     |                                                  |                                              |
|                                                                 |                 |               | (   ) Natural      |                                                  |                                              |
|                                                                 | (   ) Falha     |               | (   ) Funcional    |                                                  |                                              |
|                                                                 |                 |               | (   ) Planejamento |                                                  |                                              |
|                                                                 |                 |               | (   ) Execução     |                                                  |                                              |
|                                                                 |                 |               | (   ) Operacional  |                                                  |                                              |
|                                                                 | (   ) Gerencial |               |                    |                                                  |                                              |

[illegible]

| CADASTRAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS |             |         |             |
|---------------------------------------------|-------------|---------|-------------|
| 2. FUNDAÇÕES                                | Localização | Foto nº | Observações |
|                                             |             |         |             |
|                                             |             |         |             |
|                                             |             |         |             |
|                                             |             |         |             |
|                                             |             |         |             |

[illegible]

| CADASTRAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS |                                                                                                                 |         |             |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| 4. PISO                                     | ( <input type="checkbox"/> ) Madeira ( <input type="checkbox"/> ) Cerâmico ( <input type="checkbox"/> ) Outros: |         |             |
|                                             | Localização                                                                                                     | Foto nº | Observações |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |
|                                             |                                                                                                                 |         |             |

| CADASTRAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS |                                                                                                                             |         |             |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| 5. COBERTURA                                | Estrutura: ( <input type="checkbox"/> ) Madeira ( <input type="checkbox"/> ) Metálica ( <input type="checkbox"/> ) Outros:  |         |             |
|                                             | Telha: ( <input type="checkbox"/> ) Cerâmica ( <input type="checkbox"/> ) Fibrocimento ( <input type="checkbox"/> ) Outros: |         |             |
|                                             | Localização                                                                                                                 | Foto nº | Observações |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |
|                                             |                                                                                                                             |         |             |

É importante ressaltar que o manual de inspeção (*check-lists*) foi elaborado para o Estudo de Caso em questão. Em outras situações, caso tenha necessidade, pode-se adaptar os *check-lists*, estendendo o cadastramento das manifestações patológicas para os demais sistemas da edificação.

| ORDENAMENTO DE PRIORIDADES DAS ANOMALIAS/FALHAS |       |                                                 |         |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|---------|
| Descrição da irregularidade                     | Ordem | Critério GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) | Foto nº |
|                                                 | 1º    |                                                 |         |
|                                                 | 2º    |                                                 |         |
|                                                 | 3º    |                                                 |         |
|                                                 | 4º    |                                                 |         |
|                                                 | 5º    |                                                 |         |
|                                                 | 6º    |                                                 |         |
|                                                 | 7º    |                                                 |         |
|                                                 | 8º    |                                                 |         |
|                                                 | 9º    |                                                 |         |
|                                                 | 10º   |                                                 |         |
|                                                 | 11º   |                                                 |         |
|                                                 | 12º   |                                                 |         |
|                                                 | 13º   |                                                 |         |
|                                                 | 14º   |                                                 |         |
|                                                 | 15º   |                                                 |         |