

# **ANÁLISE E REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO**

**CARLOTA COELHO PIRES DE ALMEIDA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS**

---

Orientador: Professor Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

---

Co-Orientador: Engenheiro Valter Alexandre Machado Lopes

JULHO DE 2012



## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.



"Não deixe que os seus planos para o novo mundo  
desviem as suas energias da preservação daquilo que resta do antigo"

Winston Churchill







## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Professor Miranda Guedes, pela compreensão, empenho e incentivo.

Ao meu co-orientador Valter Lopes e ao NCREP, em particular ao Tiago Ilharco, pela disponibilidade, e partilha de conhecimentos.

À minha família, pelo apoio incondicional.

A todos os que com palavras e gestos de motivação me ajudaram a chegar onde estou hoje.



## RESUMO

Nos últimos anos a reabilitação urbana tornou-se em Portugal um assunto incontornável, quer se fale de conservação do património, desenvolvimento sustentável ou qualificação do domínio público.

Em Portugal o conceito de Património, e de tudo o que a este é inerente, tem evoluído consideravelmente desde o reinado de D. João V, momento a partir do qual se encontram as primeiras referências ao assunto.

A consciencialização por parte das entidades competentes nacionais e internacionais foi sendo promovida através de ações, das quais resultaram cartas e convenções no sentido de criar uma base comum de conceitos, métodos de trabalho e áreas de intervenção que sirvam de apoio à comunidade científica.

Embora ainda não exista um documento único e organizado que clarifique de forma inequívoca o contexto de reabilitação urbana é neste contexto que se insere esta dissertação de mestrado cujo objetivo é analisar as condições de um caso estudo, diagnosticar/identificar os problemas e propor soluções estruturais.

Foi feito um estudo da evolução histórica da proteção do património e do enquadramento da reabilitação na situação atual, para depois focar o trabalho no objeto em estudo: um edifício no centro histórico do Porto.

Foi analisada a construção típica da cidade do Porto: conceção, método construtivo e uso. Estabeleceu-se um paralelismo entre a casa burguesa típica do centro histórico do Porto e o edifício em estudo e fizeram-se inspeções e diagnósticos estruturais.

Foram efetuadas visitas de inspeção para deteção dos elementos que apresentavam degradação estrutural. Através de uma companhia de sondagens e de uma observação cuidada, diagnosticaram-se as anomalias e foram feitas avaliações de segurança aos elementos que apresentavam perigo estrutural.

As avaliações de segurança permitiram identificar os pontos fracos da estrutura, e proceder ao estudo das técnicas de reforço e reabilitação correntemente utilizadas para solucionar cada patologia.

Por fim, tendo em conta as restrições aplicáveis e os conceitos base aprendidos acerca da preservação do património, foram recomendadas soluções para cada uma das anomalias.

PALAVRAS-CHAVE: património, reabilitação, intervenção.



## **ABSTRACT**

In the last few years urban rehabilitation has become an unavoidable issue when talking about heritage conservation, sustainable development and qualification of the public domain.

In Portugal, the concept of Heritage and all that is inherent to it, has evolved considerably since the reign of King Joao V, point from which there are the first references to the subject.

Accompanying the awareness from national and international competent authorities, actions have been promoted, which resulted in charts and conventions that created a common base of concepts, working methods and areas of intervention supported by the scientific community.

Although there is not a code to clarify the issue of building rehabilitation, it was in this context that the present dissertation was made. Its purpose is to analyze a case study, diagnose the problems and propose structural solutions.

First, a study was made on the historical development of heritage protection and on the framework of rehabilitation in the current situation. Then, the focus was directed to the object under study, a building located in the historic centre of Porto.

The typical construction at Porto was analysed, studied its conception, construction methods and use.

A parallelism was established between the typical bourgeois house from the historic centre of Porto and the case study, and a structural inspection and diagnosis was done.

On this phase, a series of visits for inspecting the structural elements was carried out.. With the information from in situ testing and common sense needed on the observation, faults were diagnosed and safety assessments were made.

These studies have identified weaknesses in the structure, proceeding to draw up proposals for actions meant to respect the main ideas of this study, namely the heritage preservation.

**KEYWORDS:** heritage, rehabilitation, intervention.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ÂMBITO DO TRABALHO .....	1
1.2. OBJETIVO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. ENQUADRAMENTO ATUAL DA REABILITAÇÃO</b> .....	3
2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA REABILITAÇÃO .....	3
2.2. SITUAÇÃO ATUAL DA REABILITAÇÃO .....	6
<b>3. APRESENTAÇÃO DO CASO ESTUDO</b> .....	11
3.1. INTRODUÇÃO .....	11
3.2. A CASA DO PORTO .....	11
3.2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	11
3.2.2. EVOLUÇÃO TIPOLOGICA DAS HABITAÇÕES .....	13
3.2.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO .....	14
3.3. CASO ESTUDO .....	16
3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	16
3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DO QUARTEIRÃO .....	16
3.3.3. ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO .....	18
3.3.4. HISTÓRIA DO QUARTEIRÃO MANCHA DE IMPRESSÃO .....	19
3.3.5. O EDIFÍCIO .....	22
3.3.6. RECONHECIMENTO .....	27
<b>4. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL</b> .....	31
4.1. INTRODUÇÃO .....	31
4.2. INSPEÇÃO .....	31
4.2.1. FUNCIONAMENTO DO EDIFÍCIO .....	31
4.2.2. DESCRIÇÃO CONSTRUTIVA .....	34
4.2.3. SONDAGENS PARA CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	39
4.2.4. SONDAGENS PARA DETERMINAR PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	49

<b>4.3. ANOMALIAS OBSERVADAS E DIAGNÓSTICO</b> .....	51
4.3.1. EXTERIOR.....	52
4.3.2. INTERIOR.....	53
4.3.3. SÍNTESE .....	57
<b>4.4. AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA</b> .....	60
4.4.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO.....	61
4.4.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA .....	63
4.4.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS .....	66
<b>5. MEDIDAS CORRETIVAS</b> .....	69
<b>5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	69
<b>5.2. DANOS ESTRUTURAIS</b> .....	69
5.2.1. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA .....	69
5.2.2. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAVIMENTOS DE MADEIRA .....	76
5.2.3. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAREDES DE TABIQUE .....	77
5.2.4. TÉCNICAS DE REFORÇO DE VIGAS E LAJES DE BETÃO ARMADO .....	78
<b>5.3. DANOS NÃO ESTRUTURAIS</b> .....	83
5.3.1. PRESENÇA DE HUMIDADE E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA .....	83
5.3.2. PRESENÇA DE AGENTES BIÓTICOS .....	86
5.3.3. FENDAS NAS VIGAS DE MADEIRA.....	87
5.3.4. DANOS PROVOCADOS PELA UTILIZAÇÃO.....	89
5.3.5. OUTROS.....	89
<b>5.4. ANÁLISE DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS</b> .....	89
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	97
<b>6.1. CONCLUSÕES</b> .....	97
<b>6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b> .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1– Centro Histórico do Porto e área protegida [54] .....	12
Figura 2 - área de atuação da SRU [56] .....	13
Figura 3- Localização do quarteirão [42].....	16
Figura 4 – Fotomontagem alçado poente, rua Ferreira Borges [41].....	17
Figura 5 - Fotomontagem alçado norte, Largo S. Domingos [41].....	17
Figura 6 - Fotomontagem alçado nascente, rua Sousa Viterbo [41] .....	17
Figura 7 - Fotomontagem alçado sul, Largo Infante D. Henrique [41].....	18
Figura 8 – Convento de S. Domingos [42].....	19
Figura 9 – Ante projeto do mercado Ferreira Borges [6] .....	19
Figura 10 – Mercado Ferreira Borges atualmente [57] .....	20
Figura 11 - Quarteirão na planta topográfica de 1833 [42] .....	20
Figura 12 – Quarteirão Ferreira Borges [42] .....	21
Figura 13 – Vista aérea do Google Maps [52] .....	22
Figura 14 – Imagem do projeto de alteração da Fachada Ferreira Borges [6].....	23
Figura 15 - Imagem do projeto de alteração da Fachada Sousa Viterbo [6].....	23
Figura 16 – Pormenor construtivo do pavimento do piso 1 [6] .....	23
Figura 17 – Pormenor construtivo da armadura das lajes do pavimento no piso 1 [6].....	24
Figura 18 – Pormenor construtivo das armaduras nas lajes e vigas do pavimento do piso 1 [6] .....	24
Figura 19 – Pormenor construtivo da viga do pavimento do piso 1 [6].....	24
Figura 20 – Imagem do Arquivo do projeto em que foi construído o bloco central [6] .....	25
Figura 21 – Pormenor construtivo das escadas e bloco central [6].....	25
Figura 22 – Planta de síntese do estado de conservação [42].....	26
Figura 23 – Planta de síntese da segurança [42] .....	26
Figura 24 – Planta de síntese da salubridade [42].....	26
Figura 25 – Planta da ocupação das parcelas [42].....	26
Figura 26 – Maqueta do centro histórico do Porto. [55].....	27
Figura 27 – Perfil poente, rua Ferreira Borges [41].....	27
Figura 28 – Perfil norte, Largo de São Domingos [41].....	28
Figura 29 – Perfil nascente, rua Sousa Viterbo [41] .....	28
Figura 30 – Perfil Sul, Largo do Infante D. Henrique [41] .....	28
Figura 31 – Fachada atual rua Sousa Viterbo .....	32
Figura 32 – Fachada atual rua Ferreira Borges .....	32
Figura 33 – Planta de Arquivo do piso 0 e piso -1 [6] .....	33
Figura 34 – Planta de Arquivo do piso 1 [6] .....	33
Figura 35 – Planta da divisão em 3 blocos, retirada do Relatório do NCREP [38].....	34
Figura 36 - Planta de Arquivo do piso 6 [6].....	34
Figura 37 – Caixa escadas metálica .....	34
Figura 38 – Pavimento betonilha.....	34
Figura 39 – Socalco parede de empena Sul.....	34
Figura 40 – Piso 0 .....	35
Figura 41 – Palco de madeira do lado da fachada sobre a rua Sousa Viterbo .....	35
Figura 42 – Lajeta de betão piso 0 vista do piso -1 .....	35
Figura 43 – Lajeta de betão piso 0.....	35
Figura 44 – Estrutura do piso 1 vista do piso 0.....	36
Figura 45 – Estrutura escadas vista de baixo .....	36
Figura 46 – Revestimento em madeira dos degraus .....	36
Figura 47 – Pormenor soalho sobre vigas .....	37
Figura 48 – Paredes divisórias de tabique.....	37
Figura 49 – Paredes exteriores do bloco central em tabique [38] .....	37
Figura 50 – Escadas do bloco central [38].....	38
Figura 51 – Vista de baixo das escadas do bloco central.....	38
Figura 52 – Revestimento em madeira dos degraus .....	38
Figura 53 – Passadiço que liga o bloco central aos blocos extremos .....	39
Figura 54 – Pacómetro, aparelho de leitura [38].....	39
Figura 55 – Pacómetro, ecrã de resultados [38].....	39

Figura 56 – Resistógrafo, aparelho de penetração no elemento [38] .....	40
Figura 57 – Resistógrafo, aparelho de leitura [38] .....	40
Figura 58 – Parede da empena sul ao nível do piso 0 .....	41
Figura 59 - Parede da empena sul ao nível do piso 1 .....	41
Figura 60 – Abertura parede empena norte ao nível do piso 0 .....	41
Figura 61 – Parte de reboco e fasquiado de madeira de uma parede de tabique .....	42
Figura 62 – Parede e teto em tabique [38] .....	42
Figura 63 – Parede de tabique do saguão desligada da guarda do passadiço [38] .....	42
Figura 64 – Guarda de passadiço apoiada em viga de madeira a ser ensaiada [38] .....	43
Figura 65 – Viga de madeira que suporta o soalho [38] .....	43
Figura 66 – Elementos que tarugam as vigas de madeira do pavimento [38] .....	44
Figura 67 – Reforço com vigas de madeira de secção retângular no piso 0 .....	44
Figura 68 - Reforço com vigas de madeira de secção retângular no piso 5 .....	44
Figura 69 – Pavimento piso 0 visto do piso -1 .....	45
Figura 70- Escadas ligação piso -1 ao piso 0 do lado da rua Ferreira Borges .....	45
Figura 71 – Escadas de ligação piso -1 ao piso 0 do lado da rua Sousa Viterbo .....	45
Figura 72 – Camadas de vigas em ripas no pavimento [38] .....	46
Figura 73 – Ferrolho metálico numa viga de pavimento [38] .....	46
Figura 74 – Viga principal do passadiço que suporta as vigas transversais [38] .....	47
Figura 75 – Estrutura do piso 1 vista do piso 0 .....	47
Figura 76 – Esquema estrutural do bloco central .....	48
Figura 77 – Pormenor da lajeta de betão betonada <i>in situ</i> .....	48
Figura 78 – Claraboia caixa escadas .....	49
Figura 79 – Claraboia do saguão [38] .....	49
Figura 80 – Martelo [38] .....	49
Figura 81 – Formão [38] .....	50
Figura 82 – Higrómetro [38] .....	50
Figura 83 – Picagem superfície betão [38] .....	51
Figura 84 – Contacto da superfície com a solução [38] .....	51
Figura 85 – Coloração obtida [38] .....	51
Figura 86 – Manchas de humidade com vestígios de salitre .....	52
Figura 87 – Degradação superficial do pavimento [38] .....	53
Figura 88 – Degradação superficial do pavimento [38] .....	53
Figura 89 – Caminho de térmitas no piso -1 .....	53
Figura 90 – Queimaduras na madeira .....	54
Figura 91 – Degradação no topo da parede de tabique do saguão .....	54
Figura 92 – Parede de tabique no saguão contínua do 1º ao 6º piso .....	55
Figura 93 – Esquema dos danos detetados nas lajes e nas vigas .....	61
Figura 94 – Esquema de funcionamento estrutural do pavimento do piso 0 .....	66
Figura 95 – Esquema do processo de injeção de caldas numa parede de alvenaria [46] .....	70
Figura 96 – Processo de refechamento das juntas nos dois lados de uma parede de alvenaria [46] ..	70
Figura 97 – Esquema de reforço com reboco armado [46] .....	71
Figura 98 – Esquema construtivo do encamisamento de uma parede [46] .....	72
Figura 99 – Malha de fibras utilizada no reforço [46] .....	72
Figura 100 – Esquema construtivo das pregagens generalizadas [46] .....	73
Figura 101 – Pregagens de costura em paredes ortogonais com pormenor construtivo de uma parede exterior de canto [46] .....	74
Figura 102 – Pregagens transversais e dispositivo de amarração [46] .....	74
Figura 103 – Reforço por pré esforço [46] .....	75
Figura 104 - Reforço do pavimento com vigas paralelas e transversais as vigas existentes e com reforço por adição de elementos metálicos [44] .....	76
Figura 105 – Reforço por adição de novas vigas paralelas às existentes [4] .....	77
Figura 106 – Reforço por introdução de chapas metálicas [4] .....	77
Figura 107 – Reforço à flexão com colagem de chapas metálicas sem e com conector [3] .....	78
Figura 108 - Reforço ao esforço transverso com colagem de chapas metálicas sem e com conectores [3] .....	79

---

Figura 109 – Soluções adotadas para reforços à flexão e ao esforço transversal, chapas descontinuas sem e com cantoneira e chapas embebidas na peça [3].....	79
Figura 110 – Exemplo aplicação de reforço com chapas metálicas descontinuas com cantoneira [43]	80
Figura 111 – Reforço de uma viga com FRP laminado e em manta [2].....	80
Figura 112 – Reforço de uma laje com FRP laminado [35].....	81
Figura 113 – Encamisamento com betão [2].....	81
Figura 114 – Encamisamento com betão e armadura suplementar [2].....	81
Figura 115 – Pré-esforço no reforço de uma laje e de uma viga [2].....	82
Figura 116 – Pré-esforço para alívio de tensões a meio vão [2].....	82
Figura 117 – Exemplos de alterações estruturais com utilização de pré esforço [2].....	82
Figura 118 – Fundações de parede abaixo e acima do nível freático com ascensão da água por capilaridade do terreno [37].....	84
Figura 119 – Solução do pano de alvenaria pelo interior.....	86
Figura 120 – Solução ventilação e drenagem do pano de alvenaria pelo interior.....	86
Figura 121 – Nós no interior de uma peça de madeira [15].....	87
Figura 122- Cintagem de vigas de madeira [53].....	88
Figura 123 – Colagem de fendas em vigas de madeira [53].....	88
Figura 124 – Preenchimento de fendas com cunhas de madeira [53].....	89
Figura 125 – Introdução de elementos metálicos nas fendas [53].....	89

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – História do quarteirão .....	21
Tabela 2 - Anomalias e diagnostico dos danos no exterior do edifício. ....	57
Tabela 3 - Anomalias e diagnostico dos danos no interior do edifício. ....	58
Tabela 4 - Anomalias e diagnostico dos danos no interior do edifício. ....	59
Tabela 5 - Anomalias e diagnostico dos danos no interior do edifício. ....	60
Tabela 6 – Verificação das vigas principais de betão armado aos esforços de flexão nos ELU. ....	62
Tabela 7 – Verificação das vigas principais de betão armado aos esforços de corte nos ELU. ....	62
Tabela 8 – Verificação dos painéis de laje de betão armado aos esforços de flexão nos ELU. ....	63
Tabela 9 – Propriedades da madeira de classe resistente D30 [1] .....	64
Tabela 10 – Características geométricas e de carregamento da viga d=17,5cm. ....	64
Tabela 11 – Verificação em termos de Estados Limites Últimos da viga d=17,5cm. ....	64
Tabela 12 - Verificação em termos de Estados Limites de Utilização da viga d=17,5cm. ....	65
Tabela 13 Características geométricas e de carregamento da viga d=22,5cm. ....	65
Tabela 14 - Verificação em termos de Estados Limites Últimos da viga d=22,5cm. ....	65
Tabela 15 - Verificação em termos de Estados Limites de Utilização da viga d=22,5cm. ....	65
Tabela 16 – Características do perfil HEB160 .....	67
Tabela 17 – Verificações do HEB 160 em Estados Limites Últimos .....	67
Tabela 18 – Verificações do HEB 160 em Estados Limites de Utilização .....	67
Tabela 19 – Características do perfil IPN 400 .....	68
Tabela 20 – Verificações do IPN 400 em Estados Limites de Últimos .....	68
Tabela 21 - Verificações do IPN 400 em Estados Limites de Utilização .....	68
Tabela 22 – Soluções propostas para as paredes de alvenaria de Pedra .....	90
Tabela 23 - Soluções propostas para os pavimentos de madeira .....	91
Tabela 24 - Soluções propostas para as paredes de tabique .....	92
Tabela 25 - Soluções propostas para os elementos de betão armado .....	92
Tabela 26 – Soluções propostas para a presença de humidade e infiltração e água .....	93
Tabela 27 - Soluções propostas para a presença de agentes bióticos .....	94
Tabela 28 - Soluções propostas para a existência de fendas .....	94
Tabela 29 - Soluções propostas para danos provocados pela utilização .....	95
Tabela 30 - Soluções propostas para outro tipo de danos .....	95

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

DGEMN - Direcção geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais

Sociedade de Reabilitação Urbana, SRU-Porto Vivo

NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

ICOMOS - The International Council on Monuments and Sites

CRUARB - Comissariado para a Renovação Urbana da Área de Ribeira/Barredo -

ELU - Estados Limites Últimos

ELS - Estados Limites Utilização

EC2 – Eurocodigo 2

EC3 – Eurocodigo 3

EC5 – Eurocodigo 5

Msd – valor de cálculo do momento fletor atuante

Mrd – valor de cálculo do momento fletor resistente

Vsd – valor de cálculo do esforço transversal atuante

Vrd – valor de cálculo do esforço transversal resistente

$f_{m,k}$  - valor característico da resistência à flexão

$f_{c,90,k}$  - valor característico da resistência à compressão na direção perpendicular ao fio

$f_{v,k}$  - valor característico de resistência ao corte

$E_{0,k}$  - Módulo de elasticidade

G - Módulo de distorção

b – largura

h – altura

L - comprimento

$k_{sys}$  – fator de resistência do sistema

G – ação permanente

Q – ação variável

$p_{sd}$  – valor atuante de cálculo

$k_{mod}$  - fator de modificação da resistência

$k_h$  – coeficiente que depende da maior dimensão da secção transversal

$k_{def}$  – fator de deformação

$\psi_2$  – coeficiente para o valor quase permanente da ação

$\sigma_{m,d}$  - valor de cálculo das tensões normais  
 $\lambda_{rel}$  – esbelteza relativa  
 $k_{crit}$  – fator utilizado para o bambeamento  
 $\tau_d$  – valor de cálculo das tensões tangenciais  
 $u_{inst,G}$  – deformação instantânea devido às cargas permanentes  
 $u_{inst,Q}$  - deformação instantânea devido à sobrecarga  
 $u_{fin,G}$  - deformação total devido às cargas permanentes  
 $u_{fin,Q}$  - deformação total devido à sobrecarga  
 $u_{fin,total}$  - deformação final total  
 $f_y$  – resistência característica de escoamento  
 $t_w$  – espessura da alma  
 $t_f$  – espessura do banzo  
 $A$  - área  
 $d$  – altura da alma do perfil metálico  
 $I$  – momento de inércia  
 $W_{pl}$  – módulo de flexão plástico de uma secção transversal  
 $i$  – raio de giração de uma peça  
 $A_v$  – área resistente ao esforço transversal  
 $V_{crd}$  - valor de cálculo de esforço transversal  
 $\delta_{máx}$  – deformação máxima  
FRP - Fiber Reinforced Polymer  
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ÂMBITO DO TRABALHO

A consciencialização da comunidade científica e da população em geral da necessidade de preservação e da salvaguarda do património dos nossos antepassados para as gerações vindouras, fizeram da reabilitação urbana nos dias de hoje um tema frequentemente debatido.

A reabilitação urbana envolve conservação e restauro que necessita de intervenientes especializados no assunto. É necessário por parte destes intervenientes um conhecimento dos materiais e técnicas utilizadas na construção antiga, servindo de ponte de ligação para os novos métodos cuja aplicação deve ser cuidadosamente estudada.

A formação destes intervenientes resulta, normalmente, de um estudo histórico acerca da preservação de património, do que é, e de como deve ser tratado. Durante este estudo, com o conhecimento das teorias já estabelecidas, e a interiorização dos conceitos e recomendações que estão presentes em cartas e convenções, elaboradas ao longo dos anos, o individuo vai adquirindo uma visão pessoal do que é a reabilitação do património e de tudo o que a este tema é inerente.

Esta dissertação designada “Análise e Reabilitação Estrutural de um Edifício” faz uma introdução ao tema da reabilitação e foca-se num caso estudo.

Ao longo da dissertação foi necessária a consulta de vários elementos. Numa fase inicial, a pesquisa envolveu a leitura de dissertações nacionais e internacionais relacionadas com: reabilitação, conservação, estruturas de madeira e intervenção em edifícios antigos. Foi também consultada bibliografia da especialidade resultado de Seminários, Encontros e Conferencias na maior parte das quais a FEUP esteve envolvida. E ainda documentação disponibilizada online pela Ex-Direcção geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais-DGEMN sobre o património.

Da bibliografia utilizada numa fase mais avançada deste documento é importante referir as provas de aptidão pedagógica e capacidade científica de Joaquim José Lopes Teixeira, o livro do Prof. João Appleton (2003), os documentos disponibilizados pela Sociedade de Reabilitação Urbana, SRU-Porto Vivo, o Relatório de Inspeção e Diagnostico Estrutural do NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património, Relatórios de Inspeção de edifícios elaborados pela FEUP, artigos do PATORREB e outros Seminários, da autoria de professores da FEUP, e apontamentos das unidades curriculares relativas ao tema disponibilizados pelo Instituto Superior Técnico, Universidade do Minho, FEUP, etc. online.

## **1.2. OBJETIVO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação foi realizada sobre um caso estudo, concretamente um edifício localizado no centro histórico do Porto e tem como objetivo a proposta de soluções estruturais e não estruturais, para as anomalias encontradas no edifício.

As propostas de soluções correspondem à fase final do trabalho. No entanto, foi necessário compreender primeiro a complexidade de tudo o que envolve a salvaguarda do património para partir de uma base semelhante à dos especialistas neste tipo de intervenções.

Esta dissertação divide-se em quatro partes fundamentais.

A primeira, envolve uma introdução ao tema da reabilitação, correspondendo ao capítulo 2.

A segunda parte, capítulo 3, apresenta o caso de estudo. Contem uma introdução histórica sobre as origens da casa do Porto e a sua tipologia e descrição construtiva. É feito um enquadramento histórico e urbanístico, e uma descrição da primeira visita de reconhecimento ao edifício.

A terceira parte descreve a inspeção e avaliações de segurança e corresponde ao capítulo 4. Apresentam uma descrição exaustiva do caso estudo, o seu funcionamento, o seu sistema construtivo e as sondagens que foram efetuadas para análise das propriedades dos materiais existentes. Neste capítulo as avaliações de segurança dão informações acerca do risco estrutural de determinados elementos, permitindo que no capítulo 5 sejam propostas as soluções adequadas.

A quarta parte, referente ao capítulo 5, é constituída por um estudo das técnicas de reforço e reabilitação regularmente aplicadas as diferentes anomalias existentes no caso estudo, recomendando-se por fim, algumas soluções.

No capítulo 6, são tecidas algumas conclusões alcançadas ao longo da dissertação, e um comentário às soluções propostas no último capítulo.

# 2

## ENQUADRAMENTO ATUAL DA REABILITAÇÃO

### 2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA REABILITAÇÃO

Ao longo da história a construção de edifícios tem estado ligada à sua função e às exigências da época como: o estilo, os materiais, as técnicas construtivas e a situação socioeconómica no momento.

É fácil compreender que estas exigências têm evoluído com o tempo não sendo necessariamente as mesmas passadas décadas ou séculos. No entanto, é a envolvente que gerou o edifício, e a sua vida nos tempos que se seguem, que lhe dão uma identidade e valor característico.

Uma construção antiga é mais do que um edifício, é o desenho do arquiteto, o material utilizado pelo construtor, a história dos que lá passaram e um registo do que aconteceu á sua volta – Um património.

É este património que deve reconhecido, preservado e salvaguardado.

Na conservação e restauro, ou até na reabilitação de um edifício acontecem por vezes divergências entre aqueles que têm algum papel na intervenção. Estas divergências existem porque a reabilitação não é uma ciência exata mas sim o resultado de uma visão de conceitos, como o património e a herança cultural, que dependem do observador. O observador ao sugerir uma solução para a intervenção é influenciado pelo seu conhecimento, entendimento e interpretação de conceitos, ou seja, por um modo de ver pessoal que pode não ser consensual.

Foi no intuito de regular estas intervenções, garantindo uma base comum que ao longo de séculos foram aparecendo Cartas, Convenções e Recomendações a definir conceitos e princípios de orientação e guia.

As referências históricas apresentadas resultam da vasta pesquisa feita em elementos da internet, de dissertações e publicações várias. A perceção dos factos do ponto de vista do autor deste trabalho foi a base de desenvolvimento desta dissertação.

O conceito de que existe associado a um edifício um valor histórico surge primeiro na época do Renascimento quando Alberti (1404-1472) idealiza as primeiras intervenções em edifícios existentes.

Em Portugal foi criada a Academia Real Portuguesa da História no reinado de D. João V que ficou responsável por inventariar e conservar os edifícios antigos, não permitindo a destruição parcial, ou total dos mesmos. É neste cenário que surge o primeiro instrumento legal português relacionado com o Património edificado, o alvará de 20 de Agosto de 1721, “(...) daqui em diante nenhuma pessoa de qualquer estado, qualidade e condição que seja desfaça, ou destrua, em todo nem em parte, qualquer edifício que mostre ser daqueles tempos”.

Foram surgindo teorias do restauro sendo de referência personalidades como Viollet Le Duc (1814-1879) que nas suas ações de restauro acrescentava ao edifício elementos que acreditava criarem o modelo conceptual ideal da época da construção que por algum motivo não tinham sido edificados, mas que seriam essenciais para a harmonia da construção; John Ruskin (1819-1900) que defendia a morte inevitável do monumento; a solução era manter a ruína, intervir seria como ressuscitar um morto. Camillo Boito (1836-1914) estabeleceu um meio termo entre Viollet Le Duc e John Ruskin, preocupando-se em minimizar a intervenção e em tentar manter a autenticidade arquitetónica e os materiais originais.

Luca Beltrani (1854-1933) aluno de Camillo Boito defende, baseando-se numa pesquisa documental exaustiva, a individualidade de cada intervenção. Surge então o restauro histórico acerca do qual Gustavo Giovannoni (1873-1947) identificou quatro tipos de intervenção: consolidação, recomposição, libertação e renovação. Impulsionou o restauro científico através da utilização de técnicas modernas.

Finalmente Cesare Brandi (1906-1988) defendeu que a restauração se deveria basear apenas no estado em que se encontra o objeto no momento da intervenção e não no que se supõe ser o seu estado original.

Só no início do século XX com o aparecimento da Carta de Atenas (em 1931), resultado da Conferencia Internacional de Atenas sobre o Restauro dos Monumentos, é que o conceito de conservação e restauro do património edificado evolui de forma acelerada [18].

Realçam-se os seguintes aspetos:

- A utilização dos monumentos deve respeitar o seu valor histórico e artístico;
- Quando inevitável o restauro deve respeitar a obra histórica e artística feita no passado;
- O interesse coletivo sobrepõe-se ao particular/privado;
- Deve ser considerada a área da cidade que cerca o monumento e manter o seu caracter e fisionomia;
- Para a consolidação de edifícios antigos aceita-se a aplicação cuidada de materiais e técnicas modernas, tendo o cuidado de evitar mimetismos;
- Deve recorrer-se a especialistas nas áreas de Química e Física e Biologia para a melhor compreensão das ameaças dos agentes atmosféricos;
- A conservação exige uma concordância e cooperação universal, devendo este tema no futuro fazer parte de um plano integrado de estudos.

Esta carta serviu os monumentos da cidade de Atenas e é nos dias de hoje a base da evolução de todo um pensamento e reflexão que a comunidade científica continua a fazer. Esta evolução tornou necessário que em 1964 no II Congresso de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos em Veneza fosse discutida a experiencia adquirida, se discutisse o restauro e um novo conceito de monumento. Deste congresso resultou a Carta de Veneza, da qual é importante referir as seguintes ideias [28]:

- Monumento é não só um elemento isolado, mas também um conjunto urbano ou rural com significado histórico, ou representativo de algum acontecimento;

- Monumento não é apenas uma grande criação, é também uma construção singular que com o tempo adquiriu um significado cultural;
- O objetivo do restauro é conservar e mostrar as características históricas do monumento respeitando o que existe;
- O restauro implica uma prévia investigação arqueológica e histórica, e admite a utilização de técnicas modernas desde que haja unanimidade na sua eficácia;
- A influência de todas as épocas que o monumento passou deve ser respeitada;
- O restauro e a conservação resultam da fusão de todas as ciências e técnicas que podem contribuir para o estudo e salvaguarda do monumento;
- Os elementos novos utilizados para substituir partes perdidas devem integrar-se devendo no entanto notar-se a diferença do original.

A Conferencia Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) reuniu no ano de 1972 em Paris os seus estados membros, decidindo na sua décima sexta sessão, adotar uma convenção. A convenção que durante muito tempo será referida como a Convenção do Património Mundial considera que “determinados bens do património cultural e natural se revestem de excepcional interesse que necessita preservação”, mas que “perante os perigos que os ameaçam (...) se torna indispensável a adoção (...) de novas disposições convencionais que estabeleçam um sistema eficaz de proteção coletiva do património cultural e natural de valor universal excepcional, organizado de modo permanente e segundo métodos científicos e modernos” [49].

Em 1975 o Conselho da Europa visando a coordenação de esforços a nível europeu, proclamou em Amsterdão um novo texto: a Carta Europeia do Património Arquitetónico [8].

Esta nova carta torna claro que património arquitetónico pode ser um monumento importante, uma cidade ou uma aldeia, fazendo notar a importância de uma conservação integrada. A intervenção deve portanto ser devidamente planeada: espacialmente, ao nível de técnicas apropriadas e condições legais, administrativas e financeiras.

Ao longo dos anos, outras convenções reuniram a comunidade científica. Falava-se de reabilitação, reutilização e revitalização de zonas urbanas, culminando na tomada de consciência do desenvolvimento rápido e crescimento acelerado das cidades cuja evolução abrupta conduziu a construções deficientes tanto a nível de planeamento como de qualidade construtiva, tornando-se evidente que uma atitude moderadora tinha de ser tomada.

Na Polónia em 2000, a contribuição de indivíduos e instituições de 51 países na Conferencia Internacional sobre Conservação resultou na Carta de Cracóvia [7]. Esta carta que se desenvolveu no seguimento das cartas anteriores tornou-se uma ferramenta indispensável para todos os intervenientes na salvaguarda do Património. Sendo atualmente uma carta de referência, são de maior importância os pontos que se seguem:

- O património é um bem que a si tem associado vários significados e interesses;
- O método de intervenção deve ser devidamente ponderado o que obriga a uma escolha responsável e devidamente documentada, que procure soluções a longo prazo;
- A reconstrução de partes significativas de um edifício com base no que se julga ser o original deve ser evitada, sendo excepcionalmente aceite se fundamentada em documentação precisa e irrefutável;

- Os edifícios que mesmo em zonas históricas não se destaquem pelo seu valor arquitetónico especial devem ser salvaguardados como elementos de continuidade urbana.
- A intervenção feita deve respeitar a função original do edifício e as soluções adotadas têm de ser compatíveis com os materiais, estruturas e valores arquitetónicos existentes.

Todas as cartas, convenções e recomendações transparecem filosofias e perspetivas acerca da preservação do património que foram evoluindo ao longo do tempo. É sobre esta evolução que é preciso refletir e assim entender atitudes que em determinado momento foram, e são, tomadas na salvaguarda do património. É imperioso continuar este trabalho levando até às gerações futuras a história dos seus antepassados.

## 2.2. SITUAÇÃO ATUAL DA REABILITAÇÃO

Nos dias de hoje, tanto em Portugal como noutros países, não existe uma legislação própria para a reabilitação. Da mesma maneira que o Eurocódigo 2 existe para as estruturas de betão há a necessidade de se ter um conjunto de normas que unifiquem critérios e cálculos normativos gerais para a reabilitação.

Enquanto não existir um documento técnico de referência internacional que normalize todas as ações de intervenção num edifício com valor cultural essas ações nunca irão ser consensuais.

Entretanto, em Portugal já foram publicados documentos de referência no âmbito da reabilitação urbana como por exemplo o Guia Técnico de Reabilitação Habitacional do Instituto Nacional de Habitação e do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, o Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos da Ordem dos Engenheiros – Região Norte e algumas publicações resultado de Seminários como por exemplo A Intervenção no Património: Práticas de Conservação e Reabilitação realizado na FEUP em 2005 [9].

A única documentação a nível internacional são as Orientações Técnicas para a Aplicação da Convenção do Património Mundial da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO, e as Recomendações Para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico – ICOMOS. Estas Orientações e Recomendações agradam a generalidade da comunidade científica, pelo que funcionam como guias do seu trabalho, no entanto não estabelecem regras.

“As Orientações Técnicas (...) têm por objectivo facilitar a aplicação da Convenção para a Protecção do Património Mundial, Cultural e Natural (...) descrevendo os procedimentos com vista à:

- a) inscrição de bens na Lista do Património Mundial e na Lista do Património Mundial em Perigo;
- b) proteção e conservação dos bens do Património Mundial;
- c) atribuição da Assistência Internacional suportada pelo Fundo do Património Mundial;
- d) mobilização de apoio aos níveis nacional e internacional em prol da *Convenção*.” [50].

As Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico apresentadas pelo ICOMOS - Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico, principal consultor da UNESCO em relação á proteção e conservação de monumentos e sítios, pretendem ser “uteis a todos aqueles que estejam envolvidos em problemas de conservação e restauro, não podendo, de forma alguma, substituir o conhecimento específico

adquirido em publicações culturais e científicas” [27]. Estas recomendações apresentam-se num documento composto “por duas partes: Princípios, onde os conceitos básicos sobre conservação são apresentados; Guião, onde se debatem as regras e a metodologia que os projetistas devem seguir” [27]. Apenas a primeira tem o estatuto de aprovado / ratificado pelo ICOMOS.

Na **parte I – Princípios**, apresenta:

- Critérios gerais, que orientam no sentido de saber o tipo de abordagem a fazer, a abrangência do valor de cada construção histórica, a organização de estudos e propostas, de maneira a ter em conta os pros, contras e o uso que se vai dar ao edifício;
- Indicações acerca da investigação e diagnóstico, relativamente á equipa de trabalho, onde ir buscar os dados, a importância da compreensão do sistema estrutural e a sua evolução, o cuidado a ter com sítios arqueológicos, a abordagem qualitativa e quantitativa para obtenção do diagnóstico e a avaliação de segurança. Toda esta informação culmina no Relatório de Avaliação que é de importância extrema para uma intervenção adequada;
- Medidas de consolidação e controlo recomendando uma intervenção dirigida à causa e não ao efeito, garantindo a segurança com o mínimo dano possível: as técnicas e medidas a utilizar devem respeitar a conceção e técnicas originais, ser não invasivas, reversíveis, compatíveis com o valor patrimonial, devidamente monitorizadas e documentadas.

A **parte II – Guião**, é essencial para facilitar a comunicação entre os profissionais e as entidades envolvidas na conservação do património arquitetónico.

Tal como a primeira parte, o guião faz referência a critérios gerais, recolha de dados e à importância do relatório de avaliação, frisando desta vez que “A combinação do conhecimento científico e cultural com a experiência é indispensável para o estudo de todo o património arquitetónico.”

O procedimento recomendado é o seguinte:

A **Obtenção de dados** implica que se investigue e procurem informações acerca da estrutura em estudo. Deve ser formada uma equipa de investigação que, dirigido por um membro com as devidas competências, siga as etapas pré definidas:

- “definição, descrição e compreensão do significado histórico e cultural da construção;
- descrição dos materiais e das técnicas originais da construção;
- investigação histórica abrangendo a vida completa da estrutura, incluindo tanto as modificações da sua forma, como quaisquer intervenções estruturais anteriores;
- descrição da estrutura no seu estado atual incluído a identificação de danos, degradações e possíveis fenómenos em curso, adotando formas de ensaio apropriadas;
- descrição das ações envolvidas, do comportamento estrutural e dos tipos de materiais.”

Este procedimento permite adquirir informação sobre a conceção estrutural, as técnicas utilizadas na construção, os processos de degradação e dano, as alterações que afetaram a estrutura e o seu estado atual.

Neste ponto são ainda dadas algumas indicações para que os resultados da investigação histórica, estrutural e arquitetónica sejam fiáveis. Devem ser feitos registos dos documentos consultados, dar especial atenção a alterações ocorridas durante o período de vida da estrutura e identificar claramente as hipóteses admitidas. A inspeção visual da estrutura tem de ser feita por uma equipa qualificada que documente e interprete a informação recolhida. Os ensaios, a ser feitos por pessoal especializado, para

identificar características mecânicas, físicas e químicas dos materiais devem ser preferencialmente não destrutivos. Somente nos casos em que os resultados sejam insuficientes se deve “avaliar o benefício a obter com a realização de aberturas de sondagem e com pequenas intervenções na estrutura”. Quando se suspeita que a estrutura não é estável deve ser feita uma observação estrutural, monitorizando o seu comportamento, geralmente através da colocação de testemunhos ou fissurómetros.

Depois de obtidos os dados, deve ser feito o estudo do **comportamento estrutural**. Este “é influenciado por três fatores principais: a forma e as ligações da estrutura, os materiais de construção e as forças, acelerações e deformações impostas”.

Implicado neste estudo está:

- a compreensão do esquema estrutural, que é uma ilustração do comportamento real da construção que com o passar do tempo pode ter sido alterado devido a danos, reforços ou outras alterações na construção. É portanto pertinente considerar neste esquema “quaisquer alterações e degradações”;
- o estudo das propriedades dos materiais, especialmente as resistências e os seus processos de degradação;
- identificação do tipo de ações mecânicas presentes na estrutura e químicas e/ou biológicas nos materiais para que se possam tomar medidas de reparação dos danos e degradações.

O **diagnóstico e a avaliação de segurança**, a ser feitas após a recolha dos dados e compreensão do funcionamento estrutural, compreendem duas fases consecutivas.

Na primeira fase identificam-se os danos e degradações registados anteriormente e diagnosticam-se as causas. “Um diagnóstico correcto é indispensável para uma avaliação apropriada de segurança e para um juízo racional sobre as medidas de tratamento a adoptar”.

Na segunda fase, a avaliação de segurança deve considerar, sempre que possível, todas as abordagens que se seguem:

- a análise histórica que permite com base no que aconteceu no passado prever comportamentos futuros;
- a abordagem qualitativa, na qual o indivíduo faz uma comparação entre o edifício em estudo e outros cujo comportamento seja conhecido. A sua fiabilidade deve ser analisada cuidadosamente;
- a abordagem analítica que se baseia em cálculos matemáticos e métodos de análise estrutural moderna;
- a abordagem experimental que aparece aplicada a elementos isolados sob forma de ensaios específicos.

Com os resultados obtidos verifica-se se os níveis de segurança são aceitáveis, ou não e apresenta-se um relatório de avaliação onde têm de ser “claramente explicadas todas as considerações que conduziram à avaliação final e todas as decisões tomadas”

As **medidas de intervenção** aconselhadas no último capítulo destas Recomendações aparecem como exemplos dos danos mais frequentes em construções em alvenaria, terra, madeira, ferro, aço e betão armado.

É com base neste guião, que se encontra nas recomendações do ICOMOS, e noutros documentos idênticos que a reabilitação deveria ser feita em Portugal e no mundo.

Após a pesquisa efetuada, tendo sido formada uma opinião e gerada uma visão do assunto, são estas recomendações que vão ser consideradas no decorrer deste trabalho.



# 3

## APRESENTAÇÃO DO CASO ESTUDO

### 3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo vai ser apresentado o caso em estudo nesta dissertação. O edifício em estudo apresenta uma tipologia que corresponde a típica casa burguesa do Porto. Será primeiro feita uma apresentação histórica do contexto em que esta casa se insere, assim como a sua evolução tipológica dentro da cidade, e do seu sistema construtivo.

Numa segunda parte será introduzido o edifício em estudo, a sua localização, o seu funcionamento no quarteirão em que se insere e a forma como se enquadra no meio urbano. Serão referidos os dados obtidos junto de entidades como a SRU-Porto Vivo e a Casa do Infante – Arquivo Histórico Municipal do Porto que permitiram estudar um pouco da história e utilização do edifício.

Apos esta apresentação, será descrito o primeiro reconhecimento feito ao edifício.

### 3.2. A CASA DO PORTO

#### 3.2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No final do século XVI, Portugal perdeu a independência para Espanha e, segundo Joaquim José Lopes Teixeira em “Descrição do Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX”, é neste contexto que “a cidade do Porto atravessa um período de grande turbulência, decorrente da crise nacional e das conseqüentes revoluções internas” [34]. A ocupação espanhola resultou no desenvolvimento da zona portuária da cidade, na melhoria do nível de vida das classes superiores e na realização de reformas a nível administrativo.

Após a Restauração, como resultado do aumento da produção agrícola e comércio internacional, o país desenvolve-se economicamente, a cidade do Porto cresce, assim como a sua população.

Deve-se este último crescimento às populações rurais que migram para a região e aos comerciantes ingleses que se fixam na cidade.

Apesar do aumento da população, este não se materializa na expansão da cidade para fora das suas muralhas. Muito pelo contrário, os núcleos habitacionais que já existiam tornam-se mais densos, saturando-a. É neste âmbito que são postas em curso ações de desenvolvimento radial da cidade sendo “neste contexto que se consolida a tipologia da habitação burguesa” [34] que é estudada nesta dissertação.

Em 1974 a população do centro da cidade reivindicou melhores condições habitacionais. Foi como resposta a este movimento que o I Governo Provisório pós 25 de Abril criou o Comissariado para a Renovação Urbana da Área de Ribeira/Barredo - CRUARB, um Projecto Municipal da Camara Municipal do Porto, cujo objetivo era requalificar o Centro Histórico do Porto.

Foi o CRUARB, responsável pela preparação do *dossier* que em 1993 permitiu a candidatura da cidade do Porto á classificação da Unesco como Património Cultural da Humanidade e posterior classificação em 1996. Destaca-se ainda o trabalho feito na reabilitação de parte da zona ribeirinha, da sé e de miragaia [13].

Como se pode analisar na fig. 1 o Centro Histórico do Porto classificado abrange todo o interior da antiga muralha Fernandina, do século XIV, delimitado a verde, e protege algumas áreas adjacentes, com tracejado a vermelho, como a Av. dos Aliados, a zona da Alfandega, e a zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia.

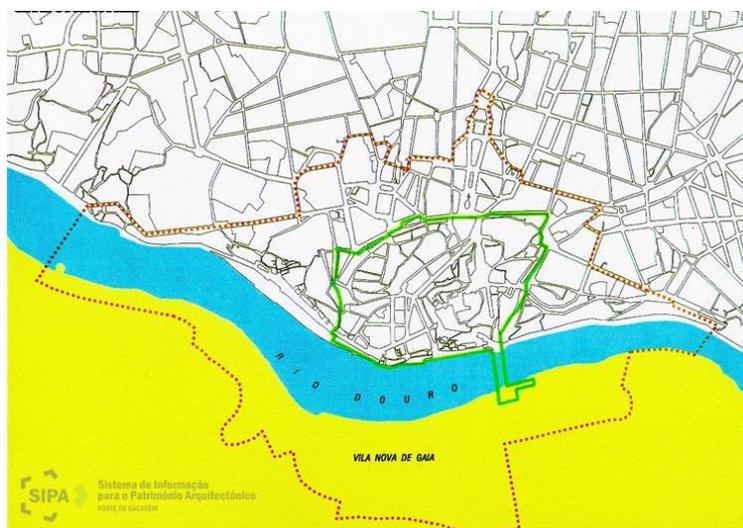


Figura 1– Centro Histórico do Porto e área protegida [54]

O trabalho do CRUARB terminou em 2003 e em 2004 surgiu a Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense – Porto Vivo. Ainda em funcionamento, no *site* disponível na internet encontramos os seguintes objetivos: promover a pré-habitação da Baixa do Porto; revitalizar o comércio; dinamizar o turismo, a cultura e o lazer; desenvolver e promover o negócio na Baixa do Porto; e qualificar o domínio público [39].

A fig. 2 mostra a área de intervenção da SRU onde são aplicadas as estratégias definidas.



Figura 2 - área de atuação da SRU [56]

Como se pode constatar, o edifício em estudo encontra-se portanto dentro da área de atuação da SRU-Porto Vivo tendo-se obtido junto desta instituição um documento estratégico com dados relevantes para o levantamento e diagnóstico da situação existente.

### 3.2.2. EVOLUÇÃO TIPOLOGICA DAS HABITAÇÕES

No estudo da evolução tipológica da habitação da cidade do Porto, encontram-se várias referências, sendo Ernesto Veiga de Oliveira e Fernando Galhano, que em *Arquitectura Tradicional Portuguesa* se referem as seguintes características como sendo as principais: “a casa estreita e alta, que na sua forma e sentido originário constitui um tipo híbrido funcional de residência urbana e estabelecimento comercial ao mesmo tempo, referidos á mesma família, estritamente utilitário” [17]. Com o decorrer dos anos a tipologia original foi-se alterando, passando a habitação a ser plurifamiliar, sendo introduzidos outros elementos como os pátios e jardins.

No século XVII, segundo Joaquim José Lopes Teixeira as casas apresentam-se sob a forma de: “lotes regulares, de duas frentes, com um, dois ou três pisos (...). As casas correspondentes a estes lotes têm pouca profundidade, 10 a 15m e larguras que não excedem os 4,5m em média”[34], e têm um caracter polifuncional; no amplo rés-do-chão encontra-se a loja para atividade comercial, oficina ou armazém “por onde se faz o acesso aos restantes pisos, através de uma escada de um só lanço, existente num corredor com entrada independente pelo exterior, ou mais ou menos dissimulada dentro da loja” [34]. Os pisos superiores são de habitação, reservados á família cujo “acesso é feito por uma escada de dois lanços, cujo espaço serve de articulação e iluminação dos compartimentos interiores” [34]. A nível construtivo, o Rés-do-chão é em pedra e os restantes pisos em tabique sendo a divisão espacial dos pisos pouco especializada.

A construção de grandes arruamentos no século XVIII resultou no aumento do tamanho das casas, em dimensão e em número de pisos de acordo com o aumento da largura dos lotes para os 6m, do comprimento para os 20 a 30m e o aparecimento de “uma área livre destinada a logradouro” [34]. Os materiais utilizados começam a revelar evolução nos sistemas construtivos e preocupação com possíveis catástrofes como os incêndios. As paredes passaram a ser executadas em alvenaria de pedra e surgiu a claraboia no topo da escada que permitia a iluminação dos compartimentos interiores.

É nesta época que, embora até ali as casas abrigassem apenas uma família, “aparecem exemplos de divisão horizontal de casas sobradadas, com diferentes famílias distribuídas por cada piso da casa, o que acontecia devido a partilhas por motivos de herança ou à sublocação” [34], as chamadas habitações plurifamiliares.

Durante o século XIX passou a ser obrigatória a construção de instalações sanitárias, o pé direito dos pisos aumentou e organizaram-se os logradouros com jardins e hortas, surgindo assim nas novas zonas de expansão da cidade, edifícios de habitação monofuncional. Estes servem apenas de habitação, que se caracterizam pela “introdução da cave sobrelevada, onde se situam zonas de serviço e de armazenagem; rés-do-chão destinado à cozinha (...) e os restantes compartimentos a uma ocupação social; nos pisos superiores situam-se os quartos e no andar recuado, ou sótão com águas furtadas, situam-se os quartos da criadagem” [34].

Em suma, numa análise continuada da habitação burguesa, Francisco Barata Fernandes no seu livro *Transformação e Permanência na Habitação Portuguesa*, classifica-a em função da época e da sua localização na cidade, considerando três fases: o Porto mercantilista, caracterizado pelas “construções mistas de habitação e oficina ou armazém, pequenas, com uma frente, dois pisos, inseridas em quarteirão compacto”; o Porto iluminista com “construções igualmente mistas, com habitação de média ou grande dimensão, com duas frentes, logradouro, mais de dois pisos e implantadas ao longo dos novos arruamentos”; e o Porto liberal “construções destinadas unicamente a habitação, de pequena, média e grande dimensão, com duas frentes, logradouro e muitas vezes jardim, localizadas fora das muralhas” [34].

### 3.2.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Os sistemas construtivos e as técnicas utilizadas em Portugal são uma herança dos povos que ocuparam a Península Ibérica, sendo que em qualquer obra uma das principais condicionantes são os materiais disponíveis. O exemplo mais evidente é a madeira, que devido às suas dimensões variáveis, e ao ser parte essencial no sistema construtivo das habitações influenciou a dimensão dos lotes. No entanto, outros fatores foram e continuam a ser importantes ponderar, como o clima, a importância cultural, e a economia, que desde sempre determinaram o tipo da arquitetura e da construção.

No estudo da habitação da cidade do Porto há que considerar as influências da comunidade inglesa que se instalou na cidade e interveio nalguns aspetos arquitetónicos e do sistema construtivo das suas casas, a influência da mestria dos mouros nas alvenarias e a sua perfeição técnica nos trabalhos em madeira, e ainda as influências que vieram dos países do Norte da Europa e contribuíram com o seu sistema *fatchwork* [34].

De acordo com Joaquim José Lopes Teixeira o modelo de uma casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX, tomando “como forma corrente para a casa um paralelepípedo com uma largura variável entre os quatro e os sete metros, um comprimento variável entre os quinze e os vinte e cinco metros e uma altura, correspondente a três pisos, de sensivelmente onze metros.” [34]. Tem como estrutura principal as paredes de meação, a estrutura dos sobrados e a estrutura da cobertura, e como estrutura secundária as paredes das fachadas, paredes interiores de compartimentação e da caixa de escadas, estrutura das escadas, estrutura da claraboia, e estruturas das águas furtadas ou de outros elementos de pequena dimensão.

Acerca do funcionamento estrutural descreve os elementos que constituem esta casa da seguinte forma: paredes de meação, tipicamente em alvenaria de pedra de granito com cerca de 30cm; paredes de fachada, em alvenaria de pedra, ou tabique no caso de pisos acrescentados, com aproximadamente 70cm. Estas paredes assentam em conjunto sobre o nivelamento estabelecido para as paredes de fundação e vão aumentando a espessura conforme a profundidade necessária, até atingir terreno firme. “As paredes das fachadas de maior espessura, (...), garantem a continuidade da estrutura de alvenaria das paredes de meação, servindo de travamento à estrutura dos pisos e de apoio a uma parte da estrutura do telhado” normalmente “revestidas pelo exterior com rebocos á base de argamassa de saibro e cal com acabamento estucado e pintado” [34] e a partir do século XIX com azulejos.

O revestimento interior era também á base de argamassas com acabamento estucado e pintado e “as paredes de meação eram revestidas e acabadas da mesma forma pelo interior.” [34] Pelo lado exterior das paredes, nas zonas expostas, era feita uma impermeabilização com asfalto.

A estrutura do sobrado era composta por vigas em forma de paus rolados com espaçamento de 50cm apoiada na parede de meação; para estabilizar este vigamento há tarugos com 1.5m entre si travados pelas paredes de fachada. A revestir a estrutura encontram-se geralmente tábuas de soalho com aproximadamente 3cm de espessura. Ao nível do rés-do-chão há uma elevação em relação ao terreno de maneira a permitir a ventilação natural.

A estrutura da cobertura é composta por asnas com espaçamento de 3m e apoiadas nas paredes de meação; “a unir as asnas temos os contra fechais, as madres e o pau de fileira e sobre estas vigas é pregado o varedo, com um espaçamento de 50cm, e sobre este ripado, onde vão assentar as telhas” [34]. Tipicamente, o telhado será de quatro águas, correspondendo as duas vertentes principais às paredes de meação.

As paredes interiores, de compartimentação e da caixa de escadas, eram construídas em tabique simples ou tabique simples reforçado, podendo as paredes de compartimentação ser executadas apenas na fase de acabamentos. No entanto, “é possível encontrar paredes da caixa de escadas em alvenaria de pedra” [34], sendo que todo o acabamento é igual nas paredes interiores e na caixa de escadas.

As paredes de tabique são normalmente constituídas por dois tipos de materiais: a madeira, para o esqueleto, e pedra ou tijolo para o seu enchimento. Quando em vez do material de enchimento pesado a parede tem um tabuado simples ou duplo denomina-se respetivamente parede de tabique simples e simples reforçado.

As escadas podem ter dois ou três lanços, com um ou dois patamares e são compostas “por duas ou três vigas pernas (...) apoiadas nas cadeiras dos patamares de piso e dos patamares intermédios (...). É sobre estas vigas que assentam os espelhos e cobertores dos degraus.” [34].

No plano de águas da cobertura, ou em elaboradas formas prismáticas, surgem, segundo Joaquim Teixeira, as claraboias que “podem ser redondas ou ovais e quadradas ou rectangulares” [34] interiormente revestidas como as paredes da casa e pelo exterior “revestidas por telha de caleira, chapas de zinco ou chumbo” [34].

Os elementos acrescentados, como as águas furtadas e os mirantes, ou mesmo pisos acrescentados, eram construídos em tabique misto e mais tarde em tabique simples ou tabique reforçado. Acerca da parede de tabique misto, “era executada por barrotes, normalmente em madeira de pinho, dispostos em forma de frechais (...) preenchida por pedra miúda ou tijolo maciço em forma de cunha” [34] sendo que nas paredes de tabique simples, ou simples reforçado o preenchimento é substituído por um duplo tabulado de madeira.

Ainda segundo Joaquim Teixeira neste tipo de habitação as portas eram “de uma ou duas folhas de abrir, fixos aos aros de gola os lancis das ombreiras” as janelas tinham “caixilhos de batente em vidro ou, a partir da segunda metade do século XVIII, por caixilhos de guilhotina. Os vãos com caixilhos envidraçados eram ainda complementados por portadas interiores, fixas aos aros de gola dos lancis das ombreiras” [34].

### 3.3. CASO ESTUDO

#### 3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tal como a sua arquitetura, o sistema construtivo do edifício o seu estado de preservação, a sua utilização, e a envolvente em que este está inserido também são importantes. Por este motivo é de importância maior começar por referir que o edifício em estudo se situa no centro histórico do Porto.



Figura 3- Localização do quarteirão [42]

O edifício integra-se no quarteirão Ferreira Borges, fig. 3, que segundo informações obtidas junto da Porto Vivo – SRU em 12 de Julho de 2006 o Conselho de Administração definiu como Unidade de Intervenção. Nesta altura foi elaborado um Projeto Base de Documento Estratégico que estuda a reabilitação e reconversão urbana deste quarteirão. O estudo deste documento, e outros que serão referidos mais a frente, permitiram uma análise da história do centro histórico do Porto, do quarteirão, e em particular do edifício em estudo.

#### 3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DO QUARTEIRÃO

O Quarteirão Ferreira Borges, é limitado a poente pela Rua Ferreira Borges, fig.4, a norte pelo Largo de São Domingos, fig.5, a nascente pela rua Sousa Viterbo, fig.6, e a sul pela Praça Infante D. Henrique, fig.7.

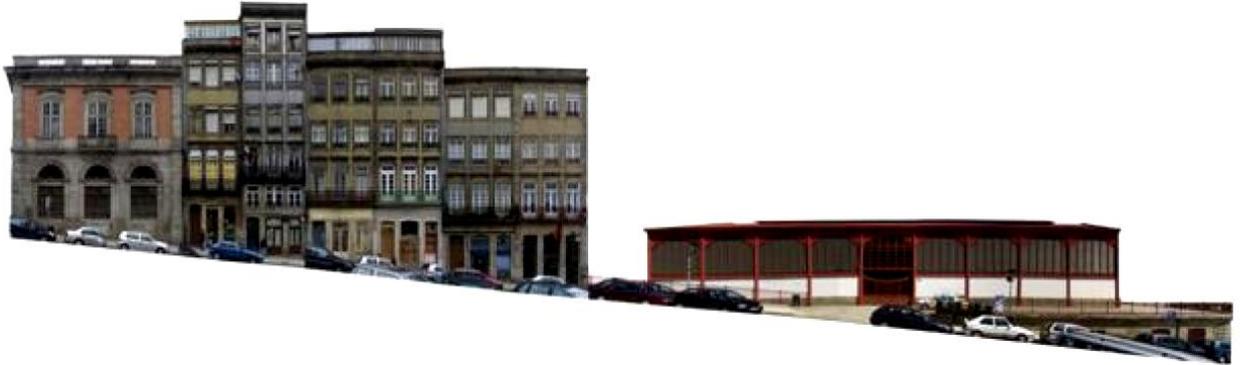


Figura 4 – Fotomontagem alçado poente, rua Ferreira Borges [41]



Figura 5 - Fotomontagem alçado norte, Largo S. Domingos [41]



Figura 6 - Fotomontagem alçado nascente, rua Sousa Viterbo [41]

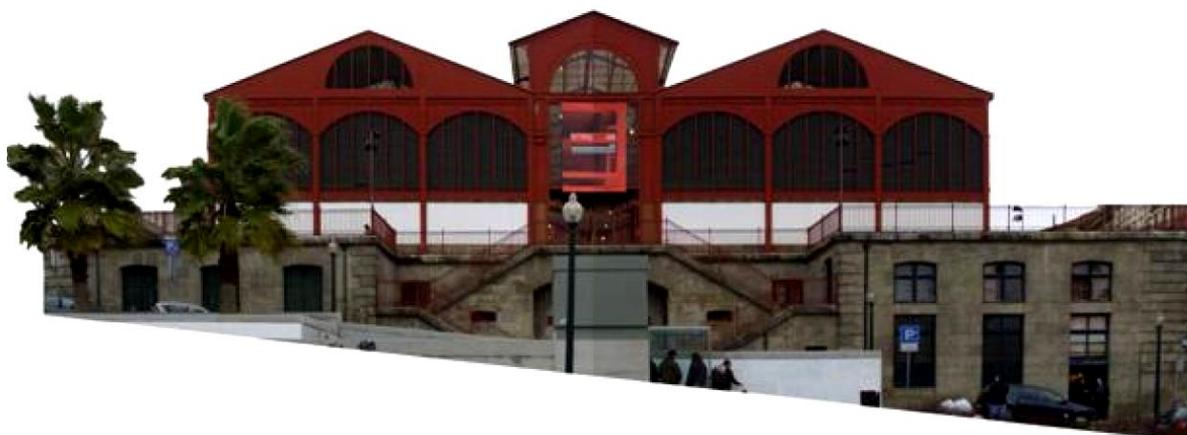


Figura 7 - Fotomontagem alçado sul, Largo Infante D. Henrique [41]

A área de implantação é de aproximadamente 5300m<sup>2</sup> de forma retangular, alongada na direção norte a sul. É constituído por 14 parcelas sendo que as que se situam nos extremos sul e norte têm uma dimensão maior, funcionando atualmente o Mercado Ferreira Borges no topo sul, e o Palácio das Artes no topo norte. As restantes 12 parcelas enquadram-se nas dimensões de construção do século XIX e caracterizam-se pelos saguões que aí se encontram.

### 3.3.3. ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO

O quarteirão em que se insere o edifício em estudo está localizado na Área Crítica de Recuperação e Reconversão Urbanística da cidade do Porto. Dentro desta, na área classificada como Património Mundial para a Unesco o quarteirão beneficia da proximidade à zona Ribeirinha do rio Douro e à sua marginal.

A nível de acessos, a sua proximidade à ponte Luís I, importante ponto turístico da cidade, é relevante, pela ligação do Porto a Gaia. A Rua Mouzinho da Silveira e a Rua de Belmonte que ligam as cotas altas da cidade, (a zona dos Aliados), e as cotas mais baixas (a zona da Ribeira), são um importante eixo de entrada na cidade, tanto de metropolitano, como de comboio.

Como parte do Centro Histórico a sua envolvente apresenta as vantagens da cidade consolidada, com ruas, jardins, praças e equipamentos como teatros, museus e monumentos, entre eles: o Mercado Ferreira Borges, a Escola Superior Artística do Porto, o Hospital de S. Francisco, o Tribunal S. João Novo, o Palácio da Bolsa, o Jardim do infante, e comércio tradicional. Notar que os edifícios de habitação apresentam o rés-do-chão utilizado como loja, típico da construção burguesa.

O quarteirão dispõe também de uma vasta oferta no que diz respeito aos transportes públicos, sendo que nas suas imediações há rede de Metro, rede de Comboios, rede de Autocarros e Praças de Táxis. Para os veículos privados há à disposição dos utentes vários Parques Públicos.



O limite sul do quarteirão, correspondente ao extremo direito do quarteirão na fig. 9, alberga desde 1888 o Mercado Ferreira Borges. Esta emblemática obra de arquitetura de ferro foi criada com o intuito de substituir o antigo mercado da ribeira. No entanto a sua tipologia permitiu que fossem dados diversos usos às suas instalações, de acordo com o documento estratégico da SRU – Porto vivo, funcionou como: garagem, cozinha dos pobres, estufa e mercado de frutas.



Figura 10 – Mercado Ferreira Borges atualmente [57]

Quando em 1978 o Mercado Abastecedor de Frutas se extinguiu, o edifício entrou em degradação e nos anos 80 a Camara Municipal do Porto interveio, fig. 10, dando a este espaço uma utilização de cariz cultural.



Figura 11 - Quarteirão na planta topográfica de 1833 [42]

As construções existentes entre estes dois marcos na história arquitetónica do quarteirão, já em 1833 eram de carácter residencial e de acordo com a planta topográfica, fig. 11, apesar dos alinhamentos e cadastros serem ligeiramente diferentes a tipologia daquele tempo era a mesma dos dias de hoje.

Apresenta-se na tabela 1 uma síntese da informação recolhida:

Tabela 1 – História do quarteirão

	Data	Utilização	Observações
Quarteirão Ferreira Borges	1833	Tipologia semelhante à atual	Primeiro registo em planta do quarteirão
Parcela em estudo	1923	Sede da The Anglo Portuguese Telephone Company Limited	Lavagem das fachadas
	1937	Edifícios de habitação	Intervenção Estrutural
Limite Norte do quarteirão	1239 a 1245	Convento de S. Domingos	Vítima de vários incêndios
	1834	Banco de Portugal	
	1900	Seguros D'Ouro	
	Desde 2009	Sede Fundação da Juventude	
Limite Sul do quarteirão	1888 a 1978	Mercado Ferreira Borges	Funcionou como garagem, cozinha dos pobres, estufa e mercados de frutas
	1980	Espaço Cultural – Camara Municipal do Porto	

### 3.3.5. O EDIFÍCIO

O caso em estudo é um edifício habitacional que ocupa este quarteirão e tem frente para a rua Ferreira Borges nº84-88 e para a rua Sousa Viterbo nº89-93.

Ao contrário dos restantes edifícios habitacionais do quarteirão, ocupa o espaço total entre as duas ruas. A sua tipologia distingue-o das restantes parcelas, como se pode ver na fig. 12, retirada da documentação da SRU, na parcela 6 a que corresponde o edifício em estudo; em vez da abertura na zona central de cada parcela, esta parcela tem três blocos divididos por dois saguões.

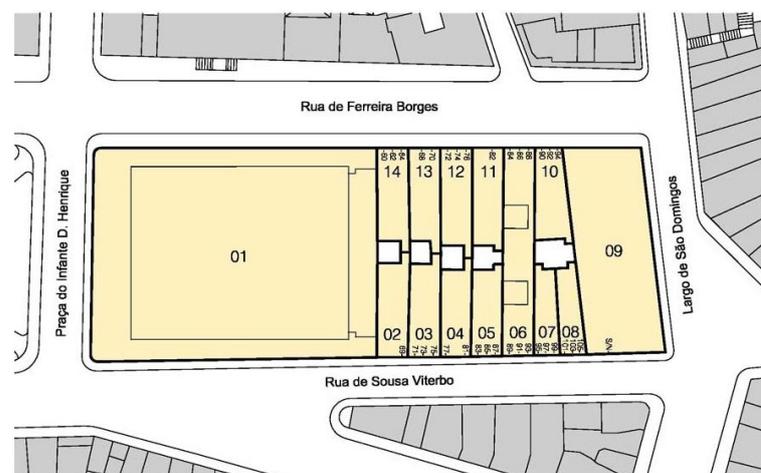


Figura 12 – Quarteirão Ferreira Borges [42]

O pormenor dos saguões é indicado na vista aérea na fig. 13 onde se pode ver que, ao contrário das aberturas nos edifícios contíguos, estes saguões são cobertos.

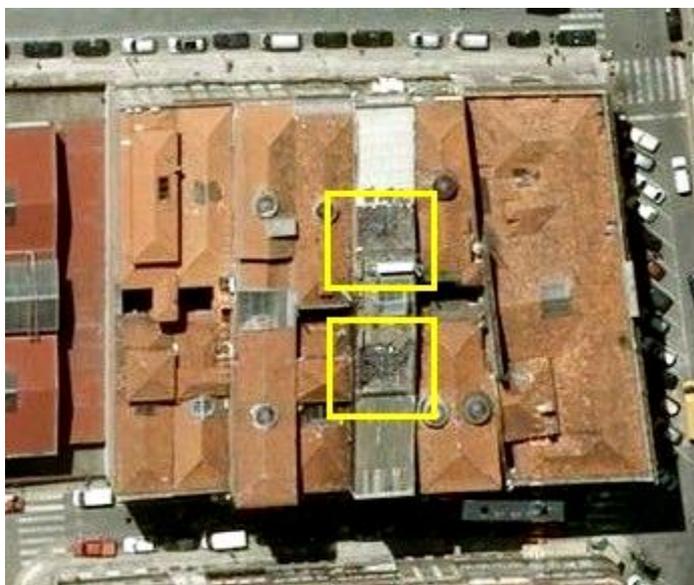


Figura 13 – Vista aérea do Google Mapas [52]

De acordo com as informações recolhidas no Arquivo Histórico Municipal do Porto na Casa do Infante não existe data exata da construção do edifício, tendo a planta topográfica de 1833 na fig. 8 sido a referência mais antiga encontrada.

A recolha de informações no arquivo revelou que este foi sede da “The Anglo Portuguese Telephone Company Limited” que em 1923 fez um requerimento para lavar a frontaria. Conclui-se assim, que por esta altura já era antigo o suficiente para necessitar de limpeza [6]. Estima-se que a sua construção date do final do século XIX.

Posteriormente, nos arquivos, surgem informações escritas, com plantas, cortes e pormenores construtivos, de modificações feitas no prédio em 1937. Esta intervenção envolveu mudanças na fachada, fig. 14 e fig. 15, devido a introdução de um meio piso de cimento armado. Notar que esta nomenclatura, cimento armado, é a que se encontra nos documentos escritos do Arquivo.

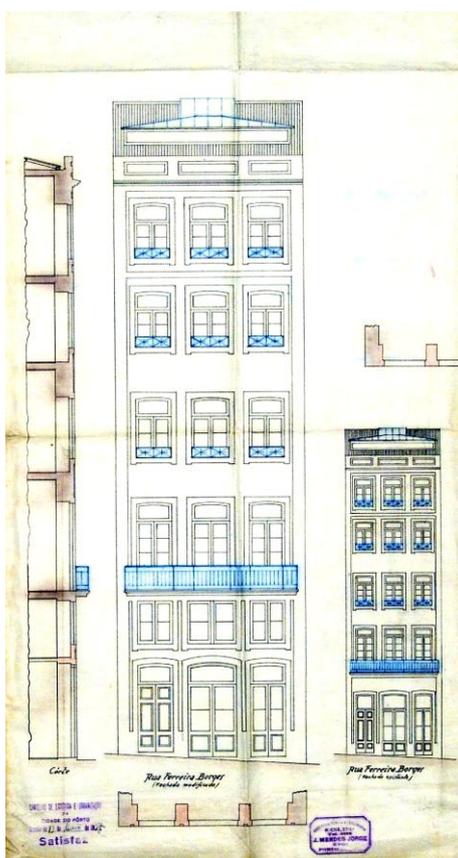


Figura 14 – Imagem do projeto de alteração da Fachada Ferreira Borges [6]



Figura 15 - Imagem do projeto de alteração da Fachada Sousa Viterbo [6]

Relativamente a este meio piso de cimento armado, e como se pode ver na fig. 16, fig. 17, fig. 18 e fig. 19, há registos de pormenores construtivos do novo piso introduzido, ao qual se chama pavimento do piso 1.

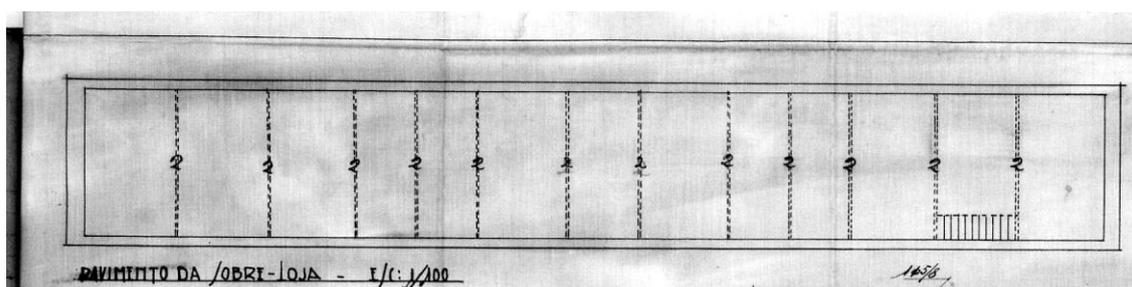


Figura 16 – Pormenor construtivo do pavimento do piso 1 [6]

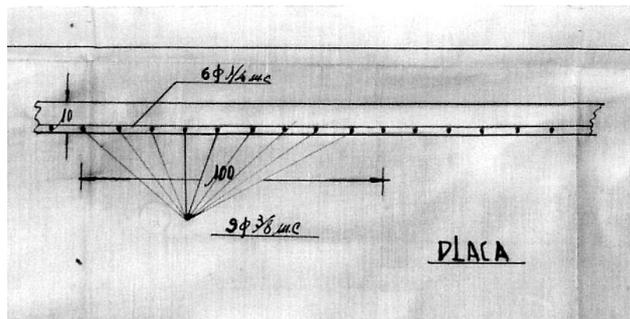


Figura 17 – Pormenor construtivo da armadura das lajes do pavimento no piso 1 [6]

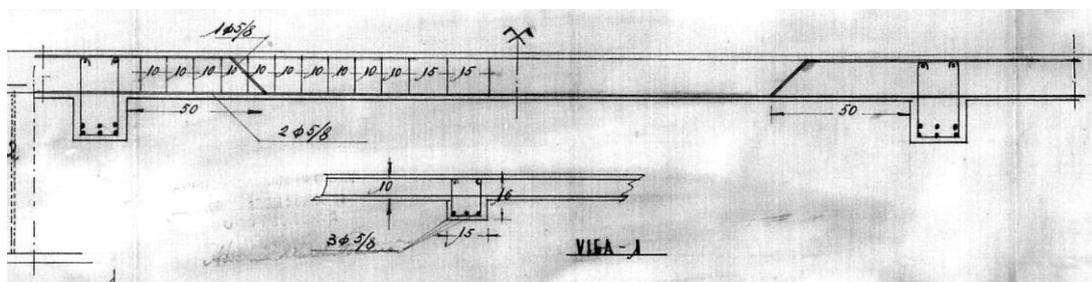


Figura 18 – Pormenor construtivo das armaduras nas lajes e vigas do pavimento do piso 1 [6]

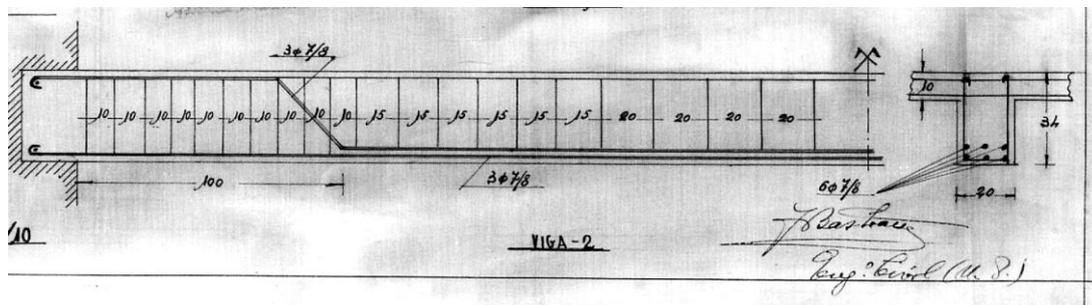


Figura 19 – Pormenor construtivo da viga do pavimento do piso 1 [6]

Foram ainda encontrados registos durante esta intervenção da construção de uma torre de cimento armado no meio da parcela. A disposição do edifício passou a ser de três blocos divididos por dois saguões cobertos, como se pode ver nas plantas e vistas aéreas apresentadas anteriormente.

Os dados encontrados relativos á introdução deste novo bloco são dois cortes do edifício, o primeiro que corta ao meio o edifício na direção este-oeste, permite distinguir os três blocos constituintes do edifício e a caixa de escadas, o segundo corte, segundo o eixo norte-sul nas zona do bloco central, pormenoriza as escadas e os patamares. Ainda neste documento há a planta do último piso do edifício, na qual se pode ver a distribuição feita no espaço habitacional e a tipologia da claraboia dos saguões, fig. 20.

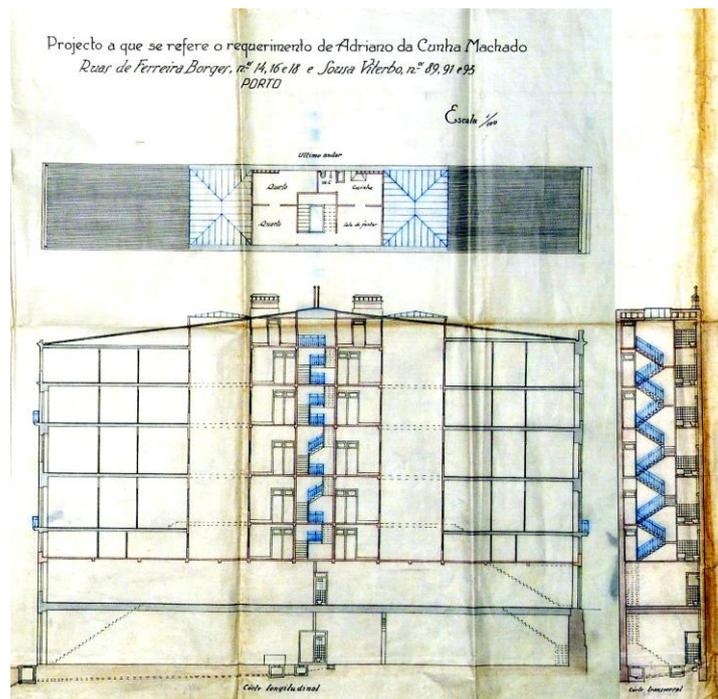


Figura 20 – Imagem do Arquivo do projeto em que foi construído o bloco central [6]

Sobre este bloco central surgem ainda pormenores construtivos do seu sistema estrutural e o detalhe de armaduras das escadas, fig. 21.

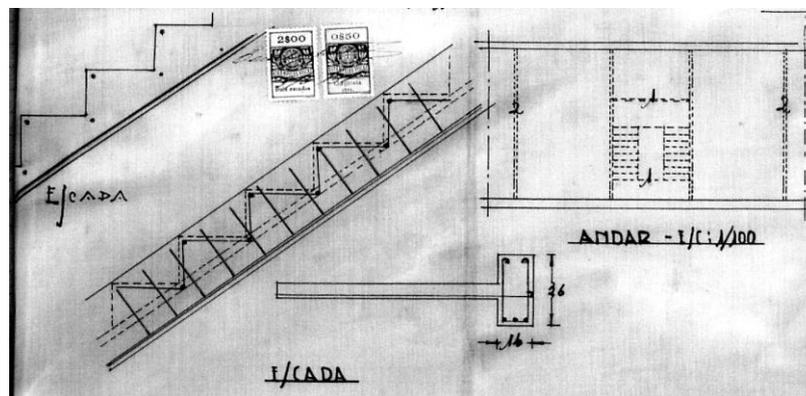


Figura 21 – Pormenor construtivo das escadas e bloco central [6]

O documento estratégico elaborado pela SRU – Porto Vivo para este quarteirão classificou o edifício em estudo segundo critérios específicos que resultaram na seguinte avaliação:

- MAU estado de conservação, fig. 22, representando mau estado dos saguões, ventilação e iluminação insuficientes [42];

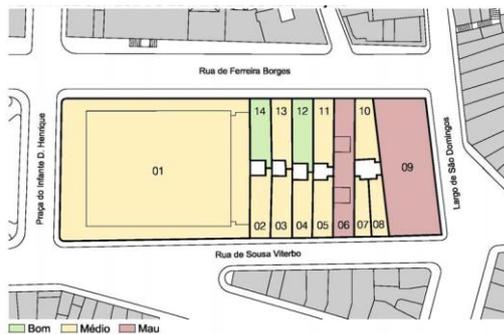


Figura 22 – Planta de síntese do estado de conservação [42]

- nível de segurança MAU, fig. 23, para os seus habitantes dado que os soalhos, paredes e tetos apresentam buracos, desprendimento de rebocos e queda de estuques [42];

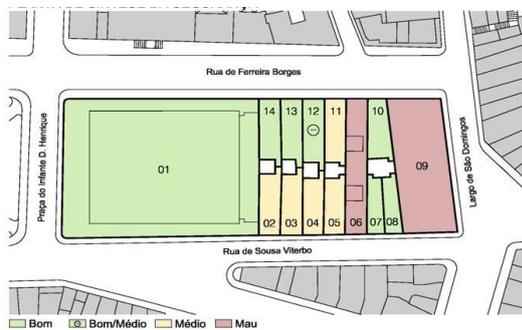


Figura 23 – Planta de síntese da segurança [42]

- nível de salubridade MAU, fig. 24, o que significa que as instalações sanitárias, cozinhas e a ventilação transversal do edifício não cumprem as exigências aceitáveis [42].

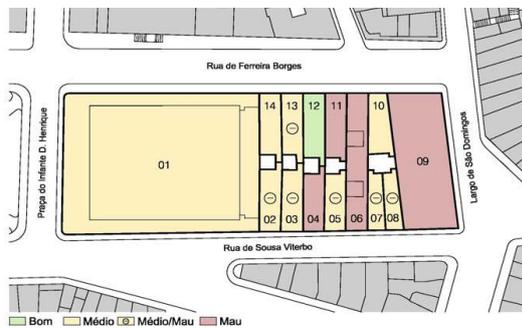


Figura 24 – Planta de síntese da salubridade [42]

- A nível de ocupação, a parcela 6 foi avaliada como parcialmente ocupada predominando a função habitacional e de serviços, fig. 25 [42].

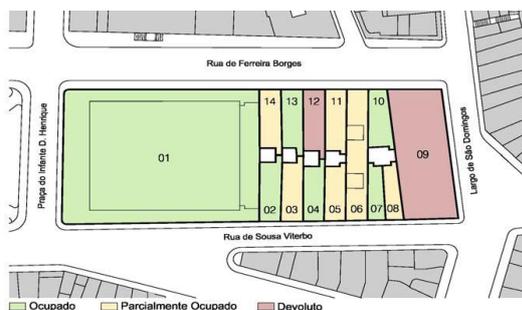


Figura 25 – Planta da ocupação das parcelas [42]

No intuito de reabilitar o edifício os atuais donos desta parcela consultaram o NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, para que fosse elaborado um Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural.

Este Relatório servirá de base ao Projeto de Estabilidade que vai envolver a reabilitação e reforço da estrutura existente, excepto a cobertura que foi definida desde o início como elemento a eliminar.

Tendo em conta que a informação e os dados recolhidos demonstraram ser pouco conclusivos, foi feita uma visita ao edifício para o seu reconhecimento.

### 3.3.6. RECONHECIMENTO

A visita ao edifício foi acompanhada por técnicos do NCREP especializados na reabilitação de edifícios, e permitiu a seguinte perceção do espaço [38]:

O edifício com contorno a amarelo na maquete da fig. 26 está inserido num quarteirão construído num terreno desnivelado.



Figura 26 – Maqueta do centro histórico do Porto. [55]

Para melhor compreensão da cota do terreno em que este quarteirão se insere, as figuras seguintes permitem analisar os perfis poente, fig. 27, norte, fig. 28, nascente, fig. 29, e sul, fig. 30, do quarteirão.



Figura 27 – Perfil poente, rua Ferreira Borges [41]



Figura 28 – Perfil norte, Largo de São Domingos [41]



Figura 29 – Perfil nascente, rua Sousa Viterbo [41]



Figura 30 – Perfil Sul, Largo do Infante D. Henrique [41]

Estas imagens obtidas junto da Porto Vivo – SRU evidenciam a topografia do terreno e identificam as parcelas que constituem o quarteirão. A parcela 6 corresponde ao caso estudo.

A cota do terreno a norte do edifício é superior à cota sul. As duas ruas que fazem a ligação entre estas duas cotas, do lado esquerdo e direito na fig. 23, também têm cotas diferentes, sendo que no lado poente a cota é superior.

Assim, o edifício construído a um nível com cota constante, tem um piso parcialmente enterrado a poente, correspondente à rua Ferreira Borges.

No total o edifício é constituído por 7 pisos; como o piso inferior está parcialmente enterrado passará a partir deste ponto a ser referido como piso -1. Neste piso, que se encontra dividido em dois, a parte com ligação à rua Sousa Viterbo, ou seja, a parte não enterrada do piso e onde existe uma entrada para o edifício, está ocupada por uma Tipografia. A parte enterrada, voltada para a rua Ferreira Borges, não está a ser utilizada.

Aquele a que chamamos piso 0 permite o acesso ao edifício pela rua Ferreira Borges, encontrando-se à cota deste arruamento. Deste piso, que se apresenta como um “open space” entre fachadas é possível aceder à divisão enterrada do piso -1, e também ao piso 1 que foi introduzido na intervenção dos anos 30 e é o primeiro de seis pisos com o mesmo sistema estrutural.

O pavimento do piso 0 é de madeira com uma lajeta de betão armado do lado Ferreira Borges. É possível ver o seu sistema estrutural a partir do piso -1. Este inclui vigas de madeira e perfis metálicos. Os perfis metálicos têm uma função estrutural de reforço do pavimento, o que indica terem sido colocados após a construção do edifício, talvez durante a intervenção dos anos 30 a que este foi sujeito.

A estrutura do edifício é constituída por paredes exteriores em alvenaria de pedra de granito. A partir do piso 1 divide-se nos três blocos referidos aquando da apresentação dos dados recolhidos no Arquivo. Dois blocos exteriores estruturalmente em madeira e um bloco central que é separado dos blocos extremos por dois saguões, com estrutura em betão armado

O pavimento do piso 1 tem um sistema estrutural que se materializa em vigas e lajes de betão armado que se apoiam nas paredes de alvenaria de pedra contíguas aos edifícios laterais. Nos pisos superiores os blocos exteriores têm pavimentos em madeira suportados pelas paredes laterais, e paredes divisórias de tabique.

Nos pisos superiores do bloco central existem algumas paredes de alvenaria de tijolo cerâmico ou divisórias leves. A restante estrutura deste bloco é de betão armado, sendo constituído pela caixa de escadas, e duas áreas, uma para cada lado da caixa de escadas, que pertence à habitação e a partir da qual se tem acesso aos blocos exteriores.

A ligação entre blocos é conseguida através dos saguões por um passadiço de estrutura em madeira.

Os tetos dos blocos extremos são constituídos por uma estrutura em ripado de madeira preenchido com estuque e suspensa do vigamento do piso superior. No bloco central e no piso 0 os tetos são as próprias lajes existindo zonas em que foi colocado um teto falso.

Os dois saguões têm claraboias com estrutura metálica na cobertura, existindo uma estrutura do mesmo tipo no topo da caixa de escadas que permite a sua iluminação natural.

A estrutura da cobertura nos blocos extremos é em madeira, com revestimento exterior em chapas de alumínio, e no bloco central, entre as duas claraboias é plana em laje de betão armado.



# 4

## INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL

### 4.1. INTRODUÇÃO

Após a primeira visita de reconhecimento ao edifício, e no intuito de obter os dados para a futura reabilitação ou reforço da estrutura existente tornou-se pertinente uma inspeção que permitisse compreender o esquema estrutural, as propriedades dos materiais existentes e o tipo de ações presentes na estrutura [40].

A inspeção não é uma ação isolada. De facto devido á sua interdependência torna-se difícil estabelecer a separação entre a inspeção, a interpretação dos danos e o diagnóstico das suas causas. No sentido de melhor entender o processo foram estudados alguns relatórios de inspeção feitos pelo departamento de Engenharia Civil da FEUP [22], [23] e [24].

Assim, este capítulo explana o edifício existente, descrevendo-o a nível construtivo, abordando as sondagens que foram efetuadas, os respetivos resultados e as anomalias detetadas. Por fim apresentam-se as verificações de segurança dos elementos estruturais que deixam dúvidas relativamente à sua capacidade.

Durante o mês de Maio e Abril foram feitas algumas visitas ao edifício, Com base nos dados obtidos e no Relatório de Inspeção e Diagnostico Estrutural previamente elaborado pelo NCREP [38], foi possível recolher os elementos necessários para esta análise.

### 4.2. INSPEÇÃO

#### 4.2.1. FUNCIONAMENTO DO EDIFÍCIO

O edifício, cujas fachadas se podem ver nas fig. 31 e fig. 32, é de planta retângular com 44m de profundidade e 6,5m de largura e oito pisos cobertos. Como já foi enunciado no capítulo anterior, foram distinguidos 8 pisos com a seguinte nomenclatura: piso -1, piso 0, piso 1, piso 2, piso 3, piso 4, piso 5 e piso 6. A cobertura sobre o piso 6 é plana funcionando como terraço exterior.



Figura 31 – Fachada atual rua Sousa Viterbo



Figura 32 – Fachada atual rua Ferreira Borges

Os piso -1 encontra-se á cota da Rua Sousa Viterbo e o piso 0 á cota da rua Ferreira Borges, (pisos inferiores). O piso 0, que já teve função comercial, neste momento encontra-se desocupado. O piso -1, que se divide em duas parcelas, tem de um lado uma topografia com acesso pela rua Sousa Viterbo, e do outro um espaço que terá funcionado como armazém do piso 0.

O piso 0 é um espaço aberto com área igual ao piso inferior e onde já funcionou um bar noturno. A entrada é feita diretamente pela rua Ferreira Borges e através de um lanço de escadas pela rua Sousa Viterbo.

Na fig. 33, recolhida no arquivo, podemos ver as plantas do piso -1, do piso 0, do rés-do-chão e do piso 1 respetivamente. Estas plantas, efetuadas aquando da intervenção feita ao edifício, correspondem á situação atual.

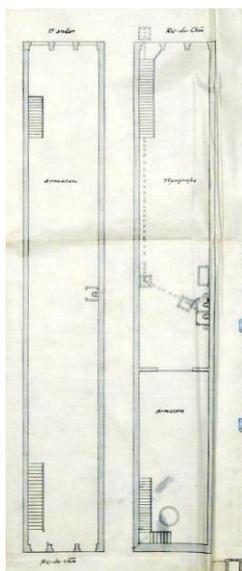


Figura 33 – Planta de Arquivo do piso 0 e piso -1 [6]

A intervenção efetuada nos anos 30 introduziu um novo piso 1, e um núcleo central constituído por uma caixa de escadas e alguns compartimentos, com estrutura em betão armado, o que obrigou na altura, como referido anteriormente, a alterações em ambas as fachadas, a da rua Ferreira Borges e da rua Sousa Viterbo.

O acesso aos pisos superiores, de habitação, é feito através da rua Ferreira Borges por um lance de escadas do piso 0 para o piso 1 e, a partir daí, pela caixa de escadas do núcleo central até ao piso 6, fig. 34.

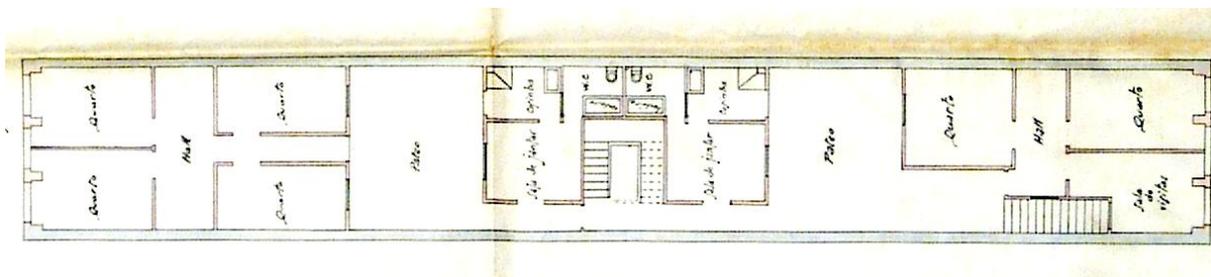


Figura 34 – Planta de Arquivo do piso 1 [6]

Nos pisos superiores a planta é quase simétrica. A caixa de escadas divide o piso em duas habitações independentes- Cada habitação apresenta um saguão, referido na fig. 34 como “pátio”, que a divide em dois espaços, e cuja ligação é feita através de um passadiço sobre a empena Norte.

Consideremos então 3 blocos distintos, fig. 35, dois extremos, em madeira, o primeiro com frente para a rua Ferreira Borges e o segundo com frente para a rua Sousa Viterbo, e o central, de betão armado, separado dos anteriores por dois saguões que permitem iluminar alguns dos compartimentos interiores de cada um dos três blocos do edifício.

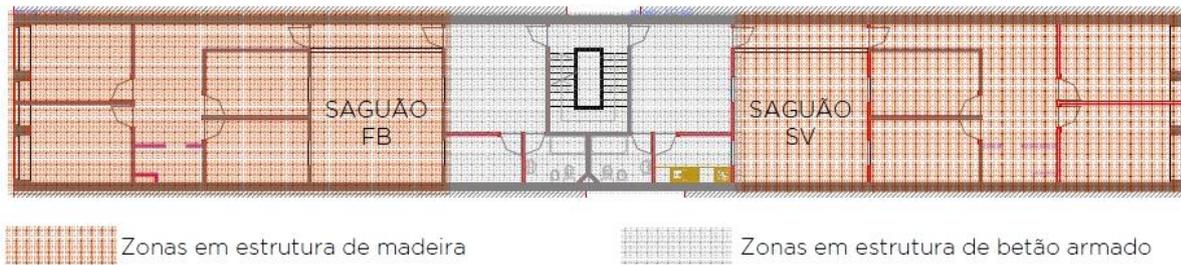


Figura 35 – Planta da divisão em 3 blocos, retirada do Relatório do NCREP [38]

O piso 6 existe apenas no bloco central e, como se pode ver na fig. 36 retirada do documento de Arquivo referente á intervenção dos anos 30, a planta de então mantém-se.

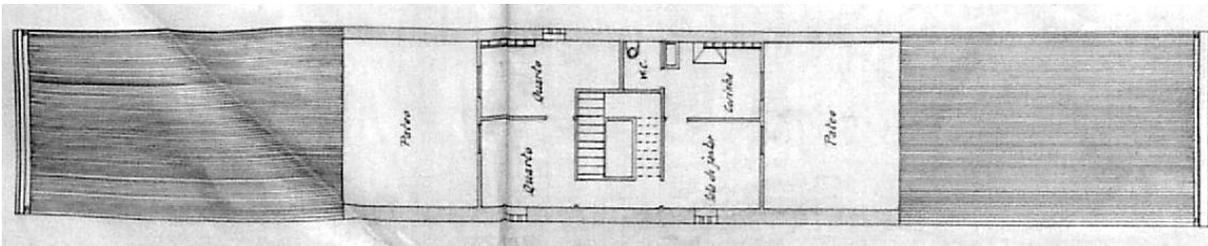


Figura 36 - Planta de Arquivo do piso 6 [6]

#### 4.2.2. DESCRIÇÃO CONSTRUTIVA

O piso -1, foi visitado pela caixa de escadas metálicas, fig. 37, existente do lado da rua Ferreira Borges. Aí observou-se o pavimento de betonilha colocado diretamente sobre o terreno, fig. 38, as paredes de empena com um socalco que faz a diminuição da sua espessura, fig. 39, e ainda, na direção perpendicular ao desenvolvimento do edifício a existência de um arco do lado da rua Sousa Viterbo. Este arco não foi visitado mas, encontra-se ao lado da parede de alvenaria de blocos de betão que divide o piso em 2 partes.



Figura 37 – Caixa escadas metálica



Figura 38 – Pavimento betonilha



Figura 39 – Socalco parede de empena Sul

O piso 0 é neste momento um espaço aberto que vai desde a fachada da rua Ferreira Borges até á fachada oposta, fig. 40, onde tem um palco de madeira, fig. 41.



Figura 40 – Piso 0



Figura 41 – Palco de madeira do lado da fachada sobre a rua Sousa Viterbo

A sua estrutura apresenta um sistema construtivo tradicional, pelo que se pode ver do piso -1, fig. 42. Esta estrutura, originalmente em vigas de madeira apoiadas nas paredes de alvenaria de pedra da empena, desde a intervenção dos anos 30 está apoiada em novos elementos de madeira e metálicos. Existe ainda uma área deste pavimento em que a estrutura de madeira deu lugar a uma lajeta de betão armado, fig. 43.



Figura 42 – Lajeta de betão piso 0 vista do piso -1

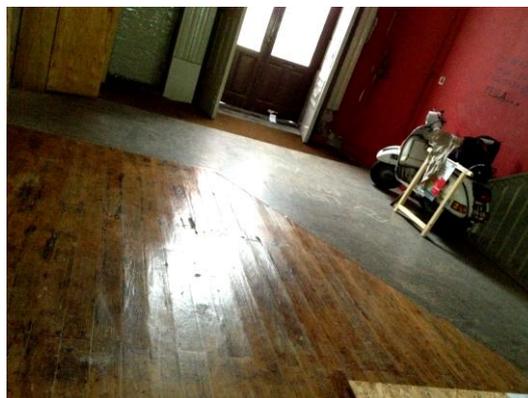


Figura 43 – Lajeta de betão piso 0

Note-se que ainda na área central e encostado á empena sul, foi introduzido um meio piso de madeira, visível do lado direito na fig. 40, encostado á empena sul. A sua construção é recente e não estrutural, atuando sobre o edifício apenas como sobrecarga adicional. Este elemento servia para arrumos e cozinha do bar que em tempos ali funcionou.

Relativamente a este piso, que se designou por piso 1, por ser todo em betão armado conclui-se ter sido totalmente introduzido durante a intervenção a que o edifício foi sujeito nos anos 30. As lajes

apoiam-se em vigas de betão armado que por sua vez se apoiam nas paredes de empena. Este sistema estrutural é visível do piso 0, fig. 44.



Figura 44 – Estrutura do piso 1 vista do piso 0

Este piso é a base do sistema estrutural de 3 blocos que foi definido anteriormente para facilitar a compreensão do edifício.

O acesso a este piso é feito pelas escadas de betão armado que partem do lado da rua Ferreira Borges, e se apoiam na empena norte e numa das vigas de betão armado, fig. 45, todos estes elementos introduzidos na intervenção dos anos 30. Os degraus e espelhos foram revestidos com madeira como se pode ver na fig. 46 na qual também se pode observar uma das vigas introduzidas na construção do piso 1.



Figura 45 – Estrutura escadas vista de baixo



Figura 46 – Revestimento em madeira dos degraus

Nos pisos superiores os dois blocos exteriores, simétricos, têm fachadas de alvenaria de pedra; os pavimentos são de soalho sobre vigas fig. 47, ambos de madeira e apoiados nas paredes de alvenaria de pedra das empenas. As divisões de compartimento são feitas com paredes de tabique fig. 48, fazendo jus a tipologia construtiva tradicional da época



Figura 47 – Pormenor soalho sobre vigas



Figura 48 – Paredes divisórias de tabique

As paredes exteriores do bloco central, fig. 49, que dão para o saguão, são também em estrutura de tabique e, provavelmente, resultam da intervenção feita posteriormente á construção do edifício como forma de “rematar” as novas fachadas sobre os saguões.



Figura 49 – Paredes exteriores do bloco central em tabique [38]

Entre os pisos 1 e 5, cada um destes blocos contém 5 compartimentos similares, sendo que o primeiro piso com frente para a rua Ferreira Borges tem uma área menor devido ao corredor de acesso ao bloco central. Neste piso encontra-se a base do saguão, pelo que não existe passadiço a ligar os blocos como nos restantes pisos.

O bloco central estende-se entre o piso 1 e 6, e é constituído por um sistema de escadas, lajes e vigas de betão armado que se apoiam entre si e nas paredes das empenas de alvenaria de pedra, fig. 50 e fig. 51. Neste bloco encontram-se a cozinha, a instalação sanitária e um compartimento. Tal como nas escadas que ligam o piso 0 ao piso 1, as escadas do bloco central apesar de estruturalmente serem de betão armado, estão revestidas com madeira, fig. 52.



Figura 50 – Escadas do bloco central [38]



Figura 51 – Vista de baixo das escadas do bloco central



Figura 52 – Revestimento em madeira dos degraus

O acesso aos blocos exteriores é feito por um passadiço, fig. 53, com estrutura também em madeira.



Figura 53 – Passadiço que liga o bloco central aos blocos extremos

O piso 6 só existe no bloco central. No lado da rua Ferreira Borges tem uma disposição igual á dos pisos inferiores com fachada em alvenaria de pedra. No lado da rua Sousa Viterbo tem apenas dois compartimentos sem serviços e fachada em tabique.

#### 4.2.3. SONDAgens PARA CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIIS

Para complementar a informação recolhida na inspeção visual foram realizadas dois tipos de ações; a primeira envolvendo o levantamento da geometria dos vários elementos existentes, a segunda a determinação das suas propriedades através da realização de sondagens.

Tal como ditam as Recomendações do ICOMOS referidas anteriormente, houve a preocupação de evitar o recurso desnecessário a ensaios destrutivos. No entanto, houve situações em que não era viável outro tipo de sondagem, e portanto, foram removidas parte de rebocos em paredes, levantadas tábuas de soalho e abertas janelas de sondagem no teto. Nos casos em que se pretendia analisar elementos estruturais que se supôs terem condições para ser mantidos, como as vigas de madeira e os elementos de betão armado, recorreu-se a dois instrumentos de ensaio não-destrutivo: o Pacómetro e o Resistógrafo.

O **pacómetro**, fig. 54 e fig. 55, é um instrumento de sondagem que através do uso de ultra sondas consegue avaliar o diâmetro e espaçamento aproximado das armaduras do elemento, assim como das camadas de recobrimento.

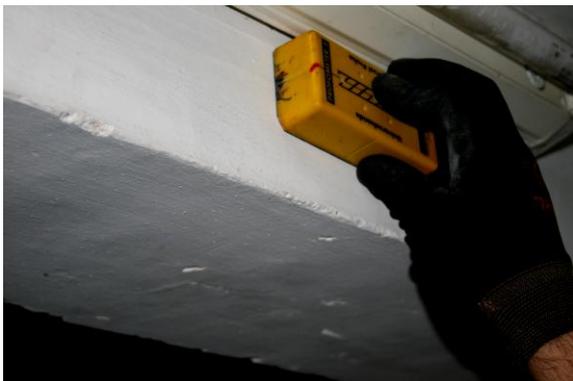


Figura 54 – Pacómetro, aparelho de leitura [38]



Figura 55 – Pacómetro, ecrã de resultados [38]

O **resistógrafo**, fig. 56 e fig. 57, é o instrumento utilizado que determina a variação das características internas de uma peça de madeira através da penetração de uma agulha na peça a velocidade constante. A energia despendida durante este processo está relacionada com a resistência que o elemento oferece à penetração, resultando deste ensaio um gráfico representativo das variações da resistência da madeira à perfuração.



Figura 56 – Resistógrafo, aparelho de penetração no elemento [38]



Figura 57 – Resistógrafo, aparelho de leitura [38]

Torna-se assim fácil avaliar as zonas dos elementos que apresentam degradação, podridão ou vazios internos, determinar a dimensão da peça e estimar as características mecânicas. O facto das perfurações deixadas pela agulha serem quase impercetíveis e não influenciarem a resistência mecânica da peça faz com que este seja um ensaio muito apreciado na inspeção de estruturas de madeira [29].

Na análise das vigas de madeira foi utilizado o pacómetro e o resistógrafo. Através do pacómetro identificaram-se os conectores de ligação do soalho às vigas identificando a posição das vigas. O resistógrafo foi utilizado para estimar a secção transversal e analisar a sua integridade.

Os elementos de betão armado, como é o caso de vigas, lajes e escadas, foram identificados com o pacómetro. Identificou-se a localização das armaduras e a espessura das camadas de recobrimento, tendo em atenção que os resultados devem ser cautelosamente interpretados.

Os resultados da sondagem permitiram uma comparação com as peças desenhadas obtidas no arquivo referentes à intervenção dos anos 30.

#### 4.2.3.1. Paredes

As paredes exteriores do edifício são em alvenaria de granito, fig. 58, estimando-se que as paredes de empena sejam de folha simples com uma espessura de aproximadamente 25 a 30 cm [38]. Apesar de ser típico neste tipo de construção que as paredes de empena sejam meeiras, não foi possível confirmar esta suposição. No entanto, no piso -1 observou-se a diminuição de espessura da parede de empena, fig. 59, através de 3 socalcos.



Figura 58 – Parede da empena sul ao nível do piso 0.



Figura 59 - Parede da empena sul ao nível do piso 1

No piso 0, empena norte, a parede tem uma abertura, fig. 60, que permite ver o que se supõe ser uma das vigas de piso do edifício contíguo, tendo-se observado que a parede apresenta maior espessura podendo mesmo ser de duas folhas. Existe ainda no piso -1 uma outra parede de alvenaria de pedra, transversal à empena, com uma abertura em arco ao lado de uma parede de alvenaria de blocos de betão que divide em dois espaços este piso.



Figura 60 – Abertura parede empena norte ao nível do piso 0

Ambas as paredes de fachada, também de alvenaria de granito, são eventualmente de folha dupla com aproximadamente 60cm.

Nos dois blocos extremos as paredes interiores são em tabique com cerca de 12cm de espessura, fig.61. São constituídas por tábuas costaneiras verticais ou diagonais e um fasquiado de madeira em ambas as faces que é coberto com reboco, fig.62.



Figura 61 – Parte de reboco e fasquiado de madeira de uma parede de tabique



Figura 62 – Parede e teto em tabique [38]

Estas paredes pousam no soalho sem nenhum tipo de ligação, existindo descontinuidade entre os vários pisos. No entanto, e ao contrário do que seria de esperar, estas paredes acabam por ter uma função estrutural pois recebem alguma da carga dos pavimentos que nelas se apoiam.

As paredes de tabique que delimitam os saguões são contínuas, existindo ao nível de cada piso uma viga de madeira de secção retangular ou circular para garantir que as tabuas do piso estão fixas e uniformizar a distribuição das cargas por toda a parede. Como se pode ver na fig. 63 estas paredes são desligadas das guardas do passadiço, que ligam os blocos extremos ao central através do saguão e que são também em tabique e apoiam numa viga de madeira longitudinal, fig. 64.



Figura 63 – Parede de tabique do saguão desligada da guarda do passadiço [38]



Figura 64 – Guarda de passadiço apoiada em viga de madeira a ser ensaiada [38]

#### 4.2.3.2. Pavimentos

A estrutura horizontal do edifício é maioritariamente de madeira excepto o piso 1 e os pisos do bloco central que são de betão armado.

##### **Pavimentos de madeira**

Os pavimentos de madeira de castanho são constituídos por vigas de secção transversal circular que varia entre os 12 e os 25 cm e cujo espaçamento está compreendido entre os 50 e 75cm, fig. 65 [38] e sobre os quais no piso 2 encontramos as maiores secções e no piso 5 as menores.

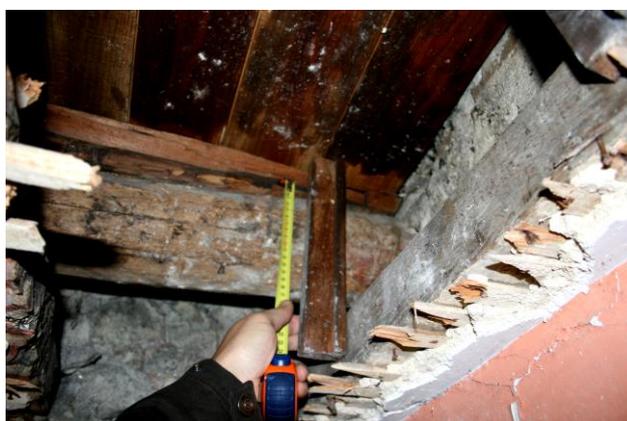


Figura 65 – Viga de madeira que suporta o soalho [38]

Apoiando-se nas paredes de empena e com vão de 6m, as vigas de madeira do pavimento são tarugadas por elementos de secção mais pequena, fig. 66, e circular, que em conjunto com as tábuas de soalho contribuem para o travamento lateral. Estas vigas suportam os pavimentos e ainda as estruturas dos tetos estucados através de ripas transversais.



Figura 66 – Elementos que tarugam as vigas de madeira do pavimento [38]

No que se supõe ser resultado de intervenções posteriores à construção original, nos diferentes pisos encontraram-se algumas vigas de secção retângular de madeira de pinho alternadas com as de secção circular, especialmente no piso 0 e numa zona do pavimento do piso 5, fig. 67 e fig. 68.



Figura 67 – Reforço com vigas de madeira de secção retângular no piso 0



Figura 68 - Reforço com vigas de madeira de secção retângular no piso 5

O piso 0, se observado pelo piso -1, fig. 69, exhibe alguma degradação nos apoios das vigas de madeira o que explica a maior concentração de vigas neste pavimento e o reforço que terá sido feito mais tarde com dois níveis de perfis metálicos. No primeiro nível temos perfis metálicos do tipo carril com 160mm de altura posicionados perpendicularmente às vigas de madeira, e com 2m de espaçamento entre eles dividindo o vão em três. O segundo nível apresenta perfis IPN400 com 400mm de altura total que, com afastamento de 4m e apoiados nas paredes de empena, suportam o primeiro nível [38].



Figura 69 – Pavimento piso 0 visto do piso -1

Ainda neste pavimento existe uma lajeta de betão que será referida mais à frente.

A ligação entre os pisos -1 e 0 é feita através de duas escadas; do lado da rua Ferreira Borges as escadas são recentes, de metal, fig. 70, mas do lado da rua Sousa Viterbo são de madeira, constituídas por duas pernas inclinadas e degraus do mesmo material fig. 71.



Figura 70- Escadas ligação piso -1 ao piso 0 do lado da rua Ferreira Borges

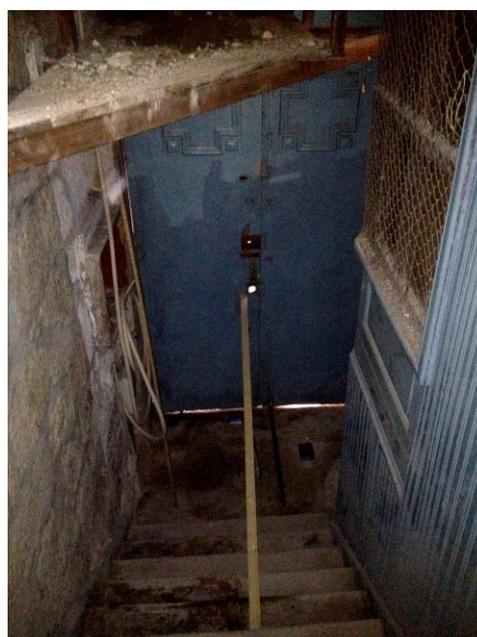


Figura 71 – Escadas de ligação piso -1 ao piso 0 do lado da rua Sousa Viterbo

O piso 5 tem no seu pavimento entre duas a três camadas de vigas e ripas, de madeira, sobrepostas possivelmente para garantir a altura homogénea do pavimento, fig. 72. Em alguns compartimentos foi possível observar por baixo desta sobreposição a existência de outras vigas que com maior espaçamento serviriam de apoio às camadas referidas.



Figura 72 – Camadas de vigas em ripas no pavimento [38]

Para reforçar a ligação entre os pavimentos de madeira e as paredes de alvenaria de pedra foram encontrados em vários pisos ferrolhos metálicos nas vigas de pavimento, fig. 73. O ferrolho metálico é uma peça de metal dobrada num ângulo de 90° em que o ramo vertical fica embebido na parede ou uma peça metálica, que atravessa a parede e amarra na face oposta com uma barra transversal.



Figura 73 – Ferrolho metálico numa viga de pavimento [38]

Os passadiços existentes na zona de saguão são constituídos por uma viga de madeira que vence o vão maior e se apoia na parede de tabique do bloco extremo e na viga e laje de betão armado do bloco central, e por várias vigas transversais que se apoiam nesta viga e na parede de empena, suportando o soalho, fig. 74.



Figura 74 – Viga principal do passadiço que suporta as vigas transversais [38]

### Pavimentos em betão

O piso 1 tem estrutura em betão armado, tal como os pisos do bloco central. Neste piso, as vigas de betão armado que apoiam nas paredes de empena de alvenaria de pedra tem uma secção de  $0.2 \times 0.34 \text{m}^2$ , vencem um vão de 6,10m e servem de apoio às lajes de piso que, com 10cm de espessura, vencem vãos que variam entre os 2,35m e os 4m, fig. 75 [38].



Figura 75 – Estrutura do piso 1 vista do piso 0

Os pisos do bloco central têm pavimentos em betão armado em torno do núcleo da caixa de escadas.

Tal como no piso 1, a espessura da laje é de 10cm. A estrutura inteira da laje apoia-se em 4 vigas principais, de  $0.20 \times 0.34 \text{m}^2$ , que vencem um vão de 6.10m entre paredes de empena e 3.80m entre vigas [38].

O sistema estrutural da caixa de escadas, fig. 76, consiste em duas vigas secundárias com  $0.15 \times 0.16 \text{m}^2$  que se apoiam nas vigas principais, transferindo para estas as cargas dos lanços e patamares das escadas [38]. Os patamares situam-se a meio dos pisos, na ligação entre os pisos 2 a 3 e os pisos 3 a 4, como a altura a vencer é maior, em vez de patamar existe outro lanço de escadas.

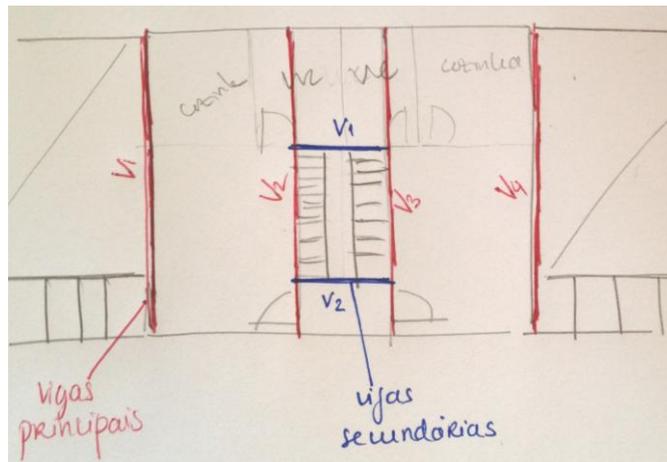


Figura 76 – Esquema estrutural do bloco central

A zona de laje de betão armado, do piso 0, referida anteriormente, situa-se junto á entrada da rua Ferreira Borges. A sua betonagem foi feita *in situ* sobre a estrutura de madeira embebendo os elementos estruturais deste material como se pode ver na fig. 77. Apoia-se numa grelha de perfis metálicos.



Figura 77 – Pormenor da lajeta de betão betonada *in situ*

#### 4.2.3.3. Cobertura

Como o projeto de arquitetura determina que a cobertura não será mantida, o estudo dos elementos de cobertura não foi exaustivo.

No entanto, note-se o seguinte: a cobertura no bloco central é plana com lajes apoiadas em vigas. Tal como o resto do bloco em que se insere, é de betão armado; no topo do bloco de escadas a claraboia é de vidro com duas águas, e caixilhos de cantoneiras metálicas, fig. 78. Os saguões apresentam no seu topo claraboias de quatro águas, também com caixilhos de cantoneiras metálicas, e nos blocos extremos as coberturas têm estrutura de madeira que apoia nas paredes de empena, fig. 79.



Figura 78 – Claraboia caixa escadas



Figura 79 – Claraboia do saguão [38]

#### 4.2.4. SONDAGENS PARA DETERMINAR PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O segundo tipo de sondagens efetuadas visava um melhor entendimento das características mecânicas e estado de conservação dos elementos. Para os dois tipos de elementos presentes no edifício, madeira e betão armado, foram utilizados os seguintes instrumentos de ensaio: o martelo, o formão, o higrómetro e o resistógrafo nas madeiras, e o pacómetro e o indicador de fenolftaleína nos elementos de betão armado.

O martelo, fig. 80, é um instrumento de utilização bastante simples: o impacto na madeira provoca um som que, sendo corretamente interpretado, fornece indicações acerca do seu estado de conservação.



Figura 80 – Martelo [38]

O formão, fig. 81, é uma ferramenta de corte que neste tipo de sondagem permite avaliar a dureza da madeira e a existência de degradações superficiais.



Figura 81 – Formão [38]

O higrómetro, fig. 82, é um instrumento constituído por dois elementos metálicos que penetram no elemento de madeira a ensaiar e por onde se faz passar uma corrente elétrica. O circuito elétrico formado entre os dois pontos permite relacionar a condutividade com a humidade do material.

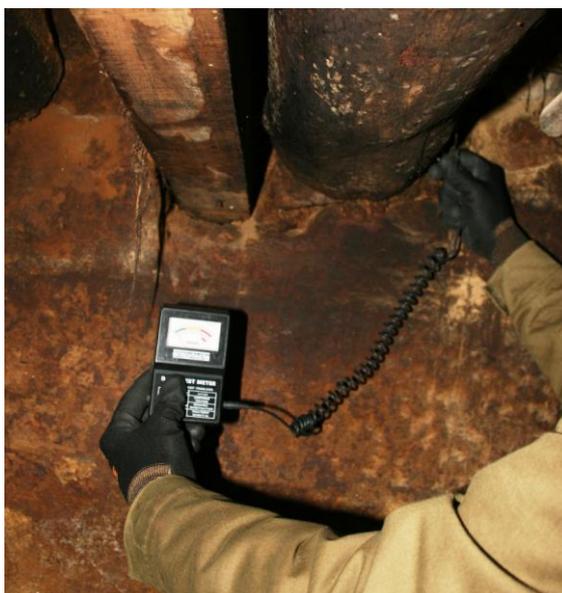


Figura 82 – Higrómetro [38]

O resistógrafo já foi referido na descrição das sondagens anteriores, permite avaliar o estado de conservação interna da madeira e as suas secções. Os resultados obtidos tornaram possível perceber os danos existentes nos elementos de madeira, tendo sido realizados 62 ensaios com o resistógrafo: 19 no piso 0, 9 no piso 2, 12 no piso 3, 8 no piso 4 e 14 no piso 5.

O pacómetro, que tal como o resistógrafo já foi descrito anteriormente, tem como finalidade identificar as armaduras, estimar os seus diâmetros, e a espessura das camadas de recobrimento.

O indicador químico de fenolftaleína é um indicador de pH e serve para verificar a espessura de carbonatação do betão. Envolve a picagem da superfície de betão, fig. 83, e o contacto dessa superfície com a solução, fig. 84; se for obtida uma coloração rosa o meio é básico e portanto o betão está em condições aceitáveis, não carbonatado, fig. 85.

Se pelo contrário não se obtiver nenhuma reação, resultado incolor é sinónimo de meio ácido, significando que o pH do betão está a diminuir gradualmente. Esta diminuição conduz á destruição da película "passivante" que protege as armaduras dando início á oxidação do aço.



Figura 83 – Picagem superfície betão [38]

Figura 84 – Contacto da superfície com a solução [38]

Figura 85 – Coloração obtida [38]

Quanto mais baixo for o pH, mais alta é a intensidade da corrente da reação eletroquímica e maior a velocidade de corrosão. Este processo é caracterizado pela existência de uma frente de carbonatação que avança do exterior para o interior e separa duas zonas de pH distintos: pH menor que 9 (carbonatada) e pH superior a 12 (não carbonatada).

A armadura se envolvida por betão carbonatado pode sofrer corrosão como se estivesse exposta á atmosfera, com a agravante que no interior do betão pode estar sujeita à presença de humidade por mais tempo. A única maneira de impedir a carbonatação é a aplicação de uma camada protetora que impeça a entrada do dióxido de carbono. No entanto, se a densidade do betão for alta o processo é mais demorado. Nos primeiros anos a frente de carbonatação pode atingir vários centímetros de profundidade abrandando o processo quando os carbonatos começam a travar a difusão do dióxido de carbono. Foram efetuados vários ensaios *in situ* com este indicador em vigas, lajes, e nas escadas de betão armado.

### 4.3. ANOMALIAS OBSERVADAS E DIAGNÓSTICO

Os resultados obtidos na inspeção visual e nos ensaio/sondagens referidos no ponto anterior permitiram analisar o estado de conservação dos elementos estruturais e não estruturais do edifício e tirar conclusões acerca da urgência e grau de intervenção necessários.

Os danos observados no edifício serão descritos do exterior para o interior.

No exterior estão incluídas as paredes de alvenaria de pedra de empena e de fachada, as claraboias e a cobertura.

No interior temos os pavimentos de madeira, vigas e soalhos, os elementos de betão armado, as paredes de alvenaria de bloco de tijolo e betão, as paredes de tabique e os elementos metálicos que surgem em determinados reforços posteriores á construção.

#### 4.3.1. EXTERIOR

As paredes de alvenaria de pedra, de empena e fachada, não apresentaram danos estruturais relevantes estando em bom estado de conservação. No entanto é importante notar que na parede da empena Sul nos pisos 4 e 5 do bloco exterior voltado para a rua Sousa Viterbo, foi observada uma fissura vertical, que também pode ser uma abertura de junta entre os elementos de alvenaria de pedra.

Analisando esta abertura que surge numa parede do edifício que não está encostada ao edifício contíguo, conclui-se que faz falta o travamento lateral. Foi a soma de fatores como a flexibilidade causada pelo fraco travamento lateral, a degradação da cobertura, e impulsos provocados pelas paredes que provocaram o aparecimento desta fissuração.

Ainda na parede de empena Sul no piso 2 registou-se uma fissuração na ligação á parede de fachada voltada à rua Ferreira Borges. Provavelmente resultado das alterações estruturais feitas ao edifício na intervenção dos anos 30, que terá provocado impulsos nas paredes, esta fissura indica que as paredes estão desligadas, não funcionando em conjunto.

Em todas as paredes exteriores do piso -1, subterrâneo, e na parede de empena Sul do piso 0 observaram-se manchas de humidade com vestígios de salitre, manchas brancas como se pode ver na fig. 86.



Figura 86 – Manchas de humidade com vestígios de salitre

Nas claraboias, tanto dos saguões, como das escadas, as cantoneiras metálicas estão bastante corroídas, sendo que desde já se assume como difícil a sua reabilitação.

Apesar de prevista a demolição da cobertura, observou-se que os elementos estruturais de madeira que a constituem se encontram bastante degradados devido às infiltrações de água, estas infiltrações acabam por sujeitar também as paredes e os pavimentos do último piso, piso 5, ao mesmo tipo de danos.

#### 4.3.2. INTERIOR

##### Pavimentos

Os pavimentos de madeira encontram-se em bom estado excetuando algumas zonas, como o piso 5, que apresentam degradação superficial com cerca de 1cm de profundidade fig. 87 e fig. 88, resultado da entrada de água e o conseqüente ataque dos agentes bióticos, não afetando no entanto o funcionamento das vigas.



Figura 87 – Degradação superficial do pavimento [38]



Figura 88 – Degradação superficial do pavimento [38]

No piso -1 foi observado um caminho de entrada de térmitas na parede de empena Sul, fig. 89, que ainda não atingiu os elementos de pavimento do piso 0.



Figura 89 – Caminho de térmitas no piso -1

O pavimento do piso 0 tem dois grandes pontos de degradação: sob o saguão do lado da rua Sousa Viterbo e na empena sul no lado da rua Ferreira Borges junto às infra estruturas hidráulicas. Em ambos os pontos houve entrada de água: no primeiro caso surgiram ataques de agentes bióticos e no segundo a degradação é intensa.

Ainda neste pavimento foram encontradas algumas marcas de queimaduras na madeira, fig. 90, presume-se de cigarros da altura em que este piso funcionava como um bar.



Figura 90 – Queimaduras na madeira

Na parte de laje do piso 0 que foi betonada embebendo as vigas de madeira, não foi possível analisar o estado em que se encontra a madeira. Assume-se no entanto que apresenta danos devido á falta de ventilação e presença de humidade. Em algumas vigas deste piso evidenciaram-se fendas.

Ao nível dos pavimentos concluiu-se com os dados do Resistógrafo que a viga do passadiço do piso 5 no bloco da rua Sousa Viterbo está internamente degradada devendo ser intervencionada. Os dados do higrómetro variavam entre os 10 a 15%, que são valores de humidade longe dos valores que indiciam os ataques bióticos. No entanto anteriores infiltrações de água podem ter acelerado a degradação da madeira.

As vibrações características de pavimentos de madeira também foram registadas tendo sido consideradas pela equipa do NCREP valores comuns neste tipo de estrutura, apresentando o pavimento, no conjunto um bom comportamento e estado de conservação. No entanto, o piso 5, por ter um sistema estrutural diferente dos restantes, é mais flexível pelo que deverá ser reforçado.

### **Paredes de tabique**

Neste edifício aparecem paredes de tabique em duas situações distintas: nos saguões e a funcionar como paredes divisórias no interior das habitações.

As paredes dos saguões apresentam-se bastante degradadas no topo, fig. 91, devido às infiltrações de água resultado do deficiente funcionamento da cobertura, o que levou à degradação dos elementos de madeira que apoiam as claraboias.



Figura 91 – Degradação no topo da parede de tabique do saguão

Ao nível dos pavimentos é visível uma degradação localizada, resultado da torção e deformação da viga de apoio dos pavimentos na parede que é provocada pela vibração dos pisos.

Devido á sua dimensão, são contínuas do 1º ao 6º piso, fig. 92, e apresentam espessura reduzida, ao papel estrutural que têm no funcionamento do edifício, e tendo em conta que estão pontualmente deformadas para fora do plano, estas paredes devem ser cautelosamente tratadas no projeto de estabilidade.



Figura 92 – Parede de tabique no saguão contínua do 1º ao 6º piso

As paredes interiores estão em bom estado. No entanto, registaram-se algumas fissuras que resultam da deformação não preocupante dos pavimentos, não tendo efeitos graves no seu funcionamento estrutural.

### **Betão armado**

Dos elementos de betão armado que existem no edifício há dois que inspiram maiores cuidados ao nível estrutural, nomeadamente as vigas e as lajes da zona central do piso 1, perto da caixa de escadas e dos saguões.

As vigas apresentam um padrão de fissuração junto aos apoios com inclinação de cerca de 45° que estará relacionado com a sua possível falta de capacidade de carga, situação que se agrava pela transferência de cargas dos pisos superiores que, funcionando em conjunto, se apoiam no piso 1. Este padrão de dano observado poderá resultar numa rotura frágil dos elementos, repentina, e deverá ser analisado nas avaliações de segurança.

As lajes, tal como as vigas, também apresentam um padrão de fissuração de 45°, as fissuras começam nos cantos da laje e, com inclinações de 45°, vão até ao centro da laje. Este problema estrutural deve-se a erros de dimensionamento, visto que a laje foi encastrada nas paredes de alvenaria criando um apoio que impõe um funcionamento local bidirecional o que, tendo em conta os danos observados e os desenhos disponíveis no arquivo, não foi considerado no cálculo

A humidade presente em todo o edifício existe também nos elementos de betão armado, tanto em vigas como em lajes. A consequência desta presença são as manchas e degradação dos rebocos, a degradação do betão e por fim a corrosão das armaduras. Para detetar os pontos em que as armaduras estariam danificadas foram feitos ensaios nos vários pisos e elementos com o indicador químico de fenoltaleína. Os resultados obtidos evidenciaram que os pisos superiores são os que têm maior profundidade de carbonatação, embora as escadas tenham uma profundidade maior do que a camada de recobrimento, o que se justifica pela sua exposição aos agentes climatéricos. Apesar das profundidades de carbonatação obtidas, não foram descobertos indícios de corrosão das armaduras não invalidando a necessidade de tratar os elementos de betão e assim impedir o avanço da carbonatação. Nos pisos inferiores as profundidades de carbonatação são baixas para os 70 anos de vida do betão o que evidencia o seu bom estado de conservação.

Existem ainda algumas zonas em que a armadura se encontra exposta por destacamento do betão de recobrimento e, portanto, com indícios de corrosão.

### **Paredes de alvenaria de bloco de tijolo e betão**

As paredes de alvenaria de bloco de tijolo e betão do bloco central estão em bom estado de conservação estrutural, apresentando apenas alguns indícios da presença de água na parede divisória da habitação do piso 6 e no topo da caixa de escadas que têm as camadas de reboco degradadas.

### **Elementos metálicos**

A estrutura da claraboia e os restantes elementos metálicos presentes no edifício resultam de intervenções de reforço posteriores à construção.

É portanto compreensível que as cantoneiras da claraboia estejam bastante corroídas, podendo ser inviável a sua reabilitação, o que podia ter sido evitado se tivessem sido feitas manutenções periódicas.

Os perfis metálicos do piso 0 apresentam alguma corrosão nas ligações às paredes de empena e fachada e na zona de contacto com a lajeta de betão junto á fachada da Rua Ferreira Borges, sendo aconselhado o seu tratamento anti corrosivo. Como medida preventiva, as escadas metálicas que ligam o piso 0 ao piso -1 devem receber também o tratamento apropriado.

Os ferrolhos metálicos encontrados nas vigas de pavimento encontram-se em bom estado de conservação.

#### 4.3.3. SÍNTESE

Para sintetizar as anomalias observadas e o diagnóstico feito apresentam-se as seguintes tabelas:

**Tabela 2 - Anomalias e diagnostico dos danos no exterior do edifício.**

Elemento	Localização	Dano	Diagnóstico
Exterior	Paredes alvenaria de pedra	Empena sul piso 4 e 5	Fissura vertical Falta de travamento lateral Degradação da cobertura Impulsos provocados pelas paredes
		Todas as paredes piso -1 e 0	Manchas brancas Presença de humidade com vestígios de salitre
	Empena sul piso -1	Caminho de térmitas	
	Claraboias	Caixa de escadas e saquões	Corrosão das cantoneiras metálicas Falta de manutenção
	Elementos de madeira	Estrutura da Cobertura	Degradação Infiltração de água

Tabela 3 - Anomalias e diagnóstico dos danos no interior do edifício.

Elemento	Localização	Dano	Diagnóstico
Interior	Pavimentos	Degradação superficial das tábuas	Infiltração de água potenciando o ataque de agentes bióticos
		Viga de passadiço internamente degradada	Infiltração de água
		Marcas pretas no soalho	Queimaduras de cigarros
		Degradação das vigas de madeira embebidas na lajeta de betão	Falta de ventilação Presença de humidade
		Fendas de secagem nas vigas de madeira	Secagem deficiente
		Degradação intensa no soalho sob o saguão da rua Sousa Viterbo e junto à empena sul do lado da rua Ferreira Borges	Infiltração de água Presença de agentes bióticos
	Todo o edifício	Vibração dos pavimentos de madeira (especialmente no piso 5)	Sub-dimensionamento da estrutura dos pavimentos

Tabela 4 - Anomalias e diagnóstico dos danos no interior do edifício.

Elemento	Localização	Dano	Diagnóstico
Interior	Paredes tabique	Degradação dos elementos de madeira que apoiam a claraboia	Infiltrações de água causadas pelo deficiente funcionamento da cobertura
		Saguões	Torção e deformação da viga de apoio dos pavimentos na parede devido á vibração dos pisos
	Paredes interiores	Fissuras	Deformações do pavimento
	Paredes de alvenaria de bloco de tijolo ou betão	Parede divisória do piso 6 e topo da caixa de escadas	Camadas de reboco degradadas

Tabela 5 - Anomalias e diagnóstico dos danos no interior do edifício.

Elemento	Localização	Dano	Diagnóstico	
Interior	Vigas (Zona central Piso 1)	Padrão de fissuração a 45° partindo do apoio	Falta de capacidade de carga agravada pela transferência de cargas dos pisos superiores	
	Elementos betão armado	Lajes (Zona central Piso 1)	Fissuras formando ângulos de 45° dos cantos para o centro da laje	Sub-dimensionamento com falta de capacidade resistente à flexão
		Vigas e Lajes (Piso 1)	Manchas e degradação dos rebocos	Presença de humidade
	Degradação do betão Corrosão das armaduras			
Elementos metálicos	Perfis metálicos (Piso 0)	Corrosão nas ligações às paredes de empena e fachada Corrosão na zona de contacto com a lajeta de betão do lado da rua Ferreira Borges	Presença de humidade	

Analisando os quadros sínteses podemos concluir que as vigas de madeira, de betão, e metálicas, assim como as lajes deverão ser cuidadosamente avaliadas.

É necessário verificar se estes elementos garantem as condições de segurança necessárias ao bom funcionamento da estrutura.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

Na sequência da inspeção do edifício, momento em que foram identificadas os danos e as anomalias e diagnosticadas as suas causas, surgem as avaliações de segurança.

Neste ponto são analisados os elementos cujos danos indiciem risco estrutural.

#### 4.4.1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO

Como foi referido, neste capítulo foram observados danos nos pavimentos de betão armado, nomeadamente nas vigas e nas lajes de betão armado do piso 1, fig. 93.

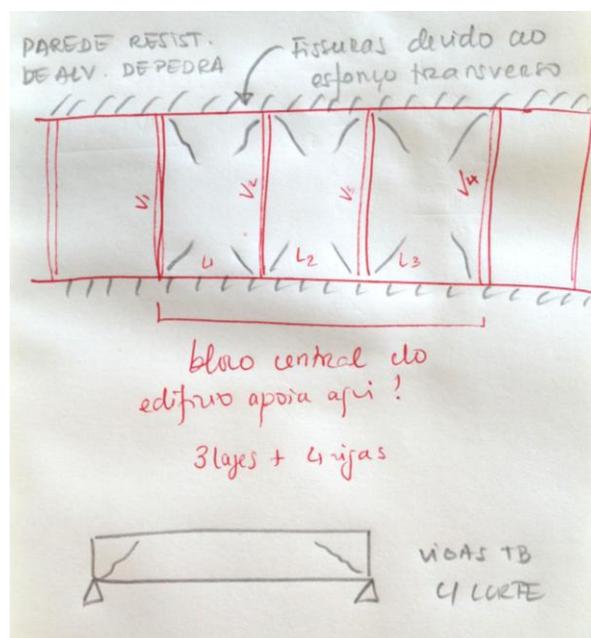


Figura 93 – Esquema dos danos detetados nas lajes e nas vigas

A verificação de segurança estrutural, que se apresenta em seguida, procurou verificar se em termos de resistência, Estados Limites Últimos - ELU, o pavimento está capacitado para suportar as cargas atuantes.

No decorrer da inspeção do edifício verificou-se que o bloco central, vai descarregando o seu peso nas quatro vigas que tem por piso. No entanto, a observação de padrões de corte nos elementos do piso 1 indiciam que a carga suportada não será somente a que resulta do piso 1 mas também da carga dos pisos superiores transferidas através das paredes dos pisos superiores para o piso 1.

Ou seja, o piso descarrega nas vigas, no entanto estas não suportam a carga toda, deformando-se, esta deformação transmite-se para o piso inferior cujas vigas se deformam também, e o sistema funciona assim até ao piso 1. No piso 1 as vigas não têm forma de aliviar a sua carga para outros elementos, suportando-a toda, apresentando assim os padrões de fissuração observados. Por este motivo, nas avaliações de segurança feitas neste ponto, as cargas de piso serão acrescidas em 10% correspondentes à transmissão de carga dos pisos superiores.

##### 4.4.1.1. Vigas de betão armado

A verificação foi feita segundo o Eurocodigo 2 – Projecto e Estruturas de Betão [19], para o caso mais desfavorável, nomeadamente para as vigas principais, com secção de  $0,20 \times 0,34 \text{ m}^2$ , para um vão livre de 6,10m e carregamento correspondente ao bloco central.

A largura de influência considerada foi de 3,95m, que corresponde ao maior valor, e mais desfavorável, encontrado no piso 1.

O esquema estrutural admitido considera as vigas como simplesmente apoiadas, pois seria difícil, na época da sua execução estas terem sido encastradas na parede. Os apoios rotulados nas paredes de alvenaria correspondem a situação mais desfavorável, esta consideração é portanto feita do lado da segurança.

Ao nível dos carregamentos, foram consideradas as seguintes cargas permanentes de acordo com os valores recolhidos das Tabelas Técnicas: peso próprio do betão armado ( $25\text{kN/m}^3$ ), peso das paredes de tijolo incluindo revestimentos ( $1,8\text{kN/m}^2$ ), e peso do soalho ( $0,5\text{kN/m}^2$ ); e uma sobrecarga regulamentar ( $2\text{kN/m}^2$ ). Foi ainda considerado o acréscimo de 10% de carga referido anteriormente.

O pé direito considerado para o cálculo do peso das paredes de tijolo foi 2,5m.

Os coeficientes de majoração adotados para esta verificação aos Estados Limites Últimos, no cálculo dos momentos e esforços de corte atuantes, foram: 1,35 para as cargas permanentes e 1,5 para as sobrecargas.

Não havendo informações exatas acerca das características do betão e do aço na estrutura em análise, para o cálculo de capacidade resistente foram consideradas classes de resistência conservativas, assumindo para o betão uma classe B20 e para o aço a classe A235.

As informações recolhidas no arquivo e nas sondagens acerca da quantidade de armadura que existe no elemento, não foram coerentes, em particular na armadura de flexão. Os dados do arquivo indicam na parte escrita menos um varão do que na parte desenhada. Como a sondagem efetuada não foi conclusiva, foi considerada a menor das armaduras: cinco varões de 20mm.

Para a armadura de esforço transversal foi utilizado um espaçamento de 10cm, na zona de apoio das vigas, como descrito no documento desenhado do arquivo. À falta de mais informações adotou-se, de um modo conservativo, varões com 6mm de diâmetro.

Tabela 6 – Verificação das vigas principais de betão armado aos esforços de flexão nos ELU.

	Msd (kN.m)	Mrd (kN.m)
Vigas principais do piso 1	177,5	78,8

Tabela 7 – Verificação das vigas principais de betão armado aos esforços de corte nos ELU.

	Vsd (kN)	Vrd (kN)
Vigas principais do piso 1	116,4	44,2

Analisando os resultados obtidos, tabela 5 e 6, observa-se que, de acordo com as condições e pressupostos admitidos, a capacidade das vigas é excedida tanto em esforços de flexão como em esforços de corte. Tal como se tinha previsto durante a inspeção visual, existe necessidade de se intervir nestes elementos.

#### 4.4.1.2. Lajes de betão armado

Os painéis de laje com dimensões de 3,95x6,1m e espessura de 0,10m foram apenas verificadas á flexão.

As cargas e características dos materiais admitidos são iguais às utilizadas nos cálculos efetuados para as vigas. As armaduras admitidas, de acordo com os dados das imagens de Arquivo, foram: seis varões de 6mm por metro paralelo às vigas e nove varões de 10mm por metro na direção perpendicular.

De acordo com o Regulamento Britânico, foram obtidos os esforços de flexão a meio vão nas duas direções ortogonais de funcionamento.

Tabela 8 – Verificação dos painéis de laje de betão armado aos esforços de flexão nos ELU.

	Msd (kN.m/m)	Mrd (kN.m/m)
Flexão perpendicular às vigas	10,4	14
Flexão paralela às vigas	5,3	3,3

As fissuras detetadas durante a inspeção indicavam que as lajes não tinham capacidade de carga suficiente nas duas direções.

De facto, na direção de flexão paralela às vigas existe um momento atuante superior ao resistente. No entanto na direção perpendicular às vigas a laje não apresenta défice de resistência.

Os resultados expostos na tabela 7 foram obtidos de forma conservativa, devendo neste âmbito ser cuidadosamente analisados.

Em particular as fendas podem ter surgido por deformação excessiva das vigas e não diretamente pelas cargas atuantes nas lajes.

#### 4.4.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA

A avaliação aos elementos estruturais de madeira foi feita segundo o Eurocodigo 5 – Projecto de Estruturas de Madeira [21] e com o conhecimento adquirido em outros documentos [30], para os dois pavimentos com características menos resistentes: o pavimento do piso 2, com vigas de secção circular de diâmetro 22.5cm, espaçamento de aproximadamente 0,6m e vão de 6,1m, e o segundo pavimento, do piso 5, também com vigas de secção circular, agora de diâmetro 17,5cm e espaçamento e vão livre igual ao do piso 2.

O esquema estrutural admitido foi, tal como para os elementos de betão armado, de ligação das vigas à parede simples, ou seja como vigas simplesmente apoiadas. Considerou-se ainda para o cálculo da rotura por compressão perpendicular as fibras que a viga se apoia na parede num comprimento de 10cm.

Não se conhecendo em rigor as propriedades mecânicas das vigas de madeira, adotou-se, com base na experiencia adquirida em ensaios feitos em vigas semelhantes, uma classe resistente D30, de acordo com a norma EN338 que define as propriedades da madeira na tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades da madeira de classe resistente D30 [1]

	Massa volumica característica (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à flexão f <sub>m,k</sub> (MPa)	Resistência à compressão f <sub>c,90,k</sub> (MPa)	Resistência ao corte f <sub>v,k</sub> (MPa)	Módulo de elasticidade E <sub>0,k</sub> (GPa)	Módulo de distorção G (GPa)
D30	530	30	8	3	10	0,6

Os carregamentos considerados como cargas permanentes foram: o peso próprio da viga de madeira, as paredes de tabique e os seus revestimentos (1,35kN/m<sup>2</sup>), o soalho (530Kg/m<sup>3</sup>) os tetos (0,5kN/m<sup>2</sup>). A sobrecarga assume o valor regulamentar de 2kN/m<sup>2</sup>.

Para efeitos de carregamento, o peso próprio da viga foi definido para a secção média das vigas existentes. Para os restantes cálculos foi considerada uma secção equivalente, retangular, para cada viga.

As verificações foram feitas para resistências, Estados Limites Últimos – ELU, e deformações, Estados Limites de Utilização – ELS. Nas verificações para ELU os coeficientes de majoração adotados foram 1,35 para as cargas permanentes e 1,5 para a sobrecarga.

Tabela 10 – Características geométricas e de carregamento da viga d=17,5cm.

Viga madeira secção equivalente d=17,5cm	Características geométricas					Carregamento						
	Apoio parede (m)	b (m)	h (m)	L (m)	k <sub>sys</sub>	G (kN/m)	Q (kN/m)	p <sub>sd</sub> (kN/m)	k <sub>mod</sub>	k <sub>h</sub>	k <sub>def</sub>	ψ <sub>2</sub>
	0,10	0	0,2	6,1	1,1	1,37	1,2	3,6474	0,8	1	0,6	0,3

Tabela 11 – Verificação em termos de Estados Limites Últimos da viga d=17,5cm.

Flexão simples		Bambeamento			Corte		Compressão ⊥ fibras		
Msd (kN.m)	σ <sub>m,d</sub> (MPa)	σ <sub>m,d</sub> < f <sub>md</sub>	λ <sub>rel,m</sub>	k <sub>crit</sub>	σ <sub>m,d</sub> < f <sub>md</sub> × k <sub>crit</sub>	τ <sub>d</sub> (MPa)	τ <sub>d</sub> < f <sub>vd</sub>	σ <sub>c,90,d</sub> (MPa)	σ <sub>c,90,d</sub> < f <sub>c,90,k</sub> × k <sub>c,90d</sub>
16,97	20,77	<b>KO</b>	0,41	1	<b>KO</b>	0,60	<b>OK</b>	0,70	<b>OK</b>

Tabela 12 - Verificação em termos de Estados Limites de Utilização da viga d=17,5cm.

Deformação instantânea			Deformação total			Valores máximos admissíveis			
$u_{inst,G}$ (mm)	$u_{inst,Q}$ (mm)	$u_{inst,total}$ (mm)	$u_{fin,G}$ (mm)	$u_{fin,V}$ (mm)	$u_{fin,total}$ (mm)	L/300	L/200	1º Critério $u_{inst} \leq L/300$	2º Critério $u_{fin} \leq L/200$
34,98	30,67	<b>65,65</b>	55,97	36,20	<b>92,16</b>	20,33	30,5	<b>KO</b>	<b>KO</b>

Como se pode observar nas tabelas acima, referentes á viga de menor secção, 17.5cm, as verificações em termos de corte e compressão perpendicular às fibras (ELU) mostram que este elemento tem capacidade para suportar estas duas solicitações. Ainda em ELU, mas tendo em conta a flexão simples e o bambeamento, a viga não tem capacidade resistente. Nos estados limites nenhuma das deformações, instantânea ou total, cumpre o critério que estabelece os valores máximos admissíveis.

Tabela 13 Características geométricas e de carregamento da viga d=22,5cm.

Viga madeira secção equivalente d=22,5cm	Características geométricas					Carregamento						
	Apoio parede (m)	b(m)	h(m)	L(m)	$k_{sys}$	G (kN/m)	Q (kN/m)	$p_{sd}$ (kN/m)	$k_{mod}$	$K_h$	$k_{def}$	$\psi_2$
	0,10	0	0,2	6,1	1,1	3,65	0	3,6474	0,8	1	0,6	0,3

Tabela 14 - Verificação em termos de Estados Limites Últimos da viga d=22,5cm.

Flexão simples		Bambeamento			Corte		Compressão $\perp$ fibras	
Msd (kN.m)	$\sigma_{m,d}$ (MPa)	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{md}} <$	$\lambda_{rel,m}$	$k_{crit}$	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{md} \times k_{crit}} <$	$\tau_d$ (MPa)	$\frac{\tau_d}{f_{vd}} <$	$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,k} \times k_{c,90d}} <$
16,97	9,57	<b>OK</b>	0,35	1	<b>OK</b>	0,35	<b>OK</b>	0,53

Tabela 15 - Verificação em termos de Estados Limites de Utilização da viga d=22,5cm.

Deformação instantânea			Deformação total			Valores máximos admissíveis			
$u_{inst,G}$ (mm)	$u_{inst,Q}$ (mm)	$u_{inst,total}$ (mm)	$u_{fin,G}$ (mm)	$u_{fin,V}$ (mm)	$u_{fin,total}$ (mm)	L/300	L/200	1º Critério $u_{inst} \leq L/300$	2º Critério $u_{fin} \leq L/200$
12,65	11,09	<b>23,74</b>	20,23	13,09	<b>33,32</b>	20,33	30,5	<b>KO</b>	<b>KO</b>

Nas verificações feitas para a viga de secção maior, 22,5cm, os resultados obtidos para as verificações aos Estados Limites Últimos mostram que a sua capacidade de carga é superior ao carregamento admitido, no entanto em Estados Limites de Utilização, e tal como na viga de secção menor apresentada anteriormente a deformação ultrapassa os valores admissíveis.

Conclui-se que, para o carregamento e propriedades do material admitidas o sistema estrutural dos pavimentos de madeira não responde integralmente às condições regulamentares. É necessário ter em atenção que todos os valores foram assumidos de uma forma conservativa.

#### 4.4.3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS

Os elementos metálicos colocados para reforçar o pavimento do piso 0 foram verificados com recurso ao Eurocodigo 3 – Projecto de Estruturas de Aço [20] e as características dos perfis foram obtidas nas Tabelas Técnicas [33].

De acordo com as medições feitas aos perfis do edifício, as vigas principais são do tipo IPN400 e suportam as vigas secundárias tipo carril, HEB 160.

O esquema de funcionamento, fig.94, consiste na descarga do soalho sobre as vigas de madeira, que se apoiam nas paredes resistentes. Num nível abaixo temos as vigas secundárias constituídas pelos perfis metálicos que estão orientados transversamente às vigas de madeira e que por sua vez apoiam em vigas principais, também perfis metálicos, que se apoiam também nas paredes resistentes.

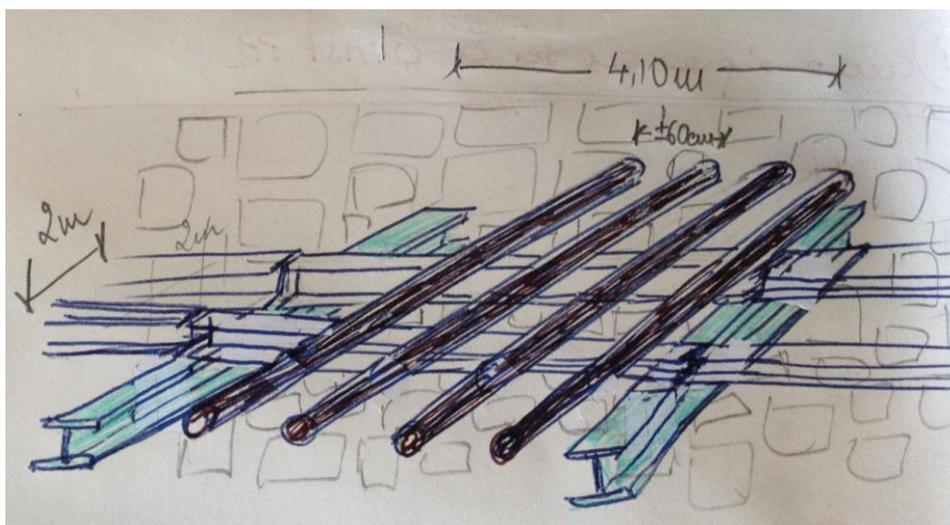


Figura 94 – Esquema de funcionamento estrutural do pavimento do piso 0

As vigas de madeira, cujo afastamento é de aproximadamente 0,6m, descarregam nas vigas secundárias que têm um afastamento de 2m e 4,8m de vão, apoiando-se nas vigas principais cujo afastamento é 4,4m e têm um vão de 6,1m. Todos estes elementos foram estudados como vigas simplesmente apoiadas.

A análise, em Estados Limites Últimos, foi feita considerando como carga distribuída ao longo das vigas secundárias o peso do pavimento de madeira (0,5kN/m<sup>2</sup>), a sobrecarga regulamentar para compartimentos destinados a utilização de carácter coletivo (3kN/m<sup>2</sup>) e, de um modo conservativo, considerou-se também o peso da lajeta de betão armado (2,5kN/m<sup>2</sup>).

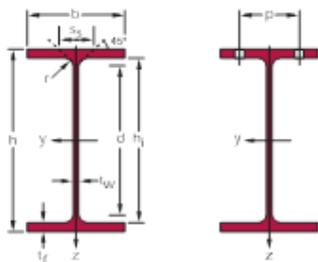
No caso dos perfis principais foram consideradas duas cargas concentradas correspondentes aos pontos de apoio dos perfis secundários.

Os coeficientes aplicados nas combinações foram 1,35 para as cargas permanentes e 1,5 para as sobrecargas. De acordo com o EC3, foram verificadas as classes dos perfis e, em função destas, verificado o comportamento à flexão simples, ao esforço transverso e à interação entre eles.

A classe resistente adotada, de uma forma conservativa, foi o Fe360 com  $f_y=235\text{Mpa}$ .

Nas verificações aos Estados Limites de Utilização, deformações, o coeficiente de majoração aplicado nas combinações foi 1.

Tabela 16 – Características do perfil HEB160



Características do perfil									
Peso	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	A	d	I <sub>y</sub>	W <sub>pl,y</sub>	i <sub>y</sub>	E
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(Gpa)
				x10 <sup>2</sup>		x10 <sup>4</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10	
42,6	160	8	13	54,3	104	2492	354,0	6,78	210,0

Tabela 17 – Verificações do HEB 160 em Estados Limites Últimos

Carregamento e esforços atuantes			Verificações								
p <sub>sd</sub> ELU	V <sub>sd</sub> extremidade	M <sub>sd</sub> 1/2vão	banzo		alma		FE360	M <sub>rd</sub>	A <sub>v</sub>	V <sub>crd</sub>	
(kN/m)	(kN)	(kN.m)	c/t	≤ 9E	c/t	≤ 72E	classe perfil	f <sub>y</sub> (MPa)	(kN.m)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)
										x10 <sup>2</sup>	
11,0	26,5	31,8	5,8	Classe 1	13,0	Classe 1	1	235,0	83,2	17,59	238,6

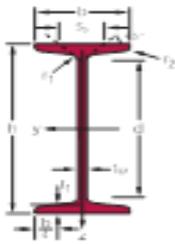
Os resultados obtidos na análise da viga secundária para os Estados Limites Últimos mostram que tanto o esforço cortante nas extremidades ( $V_{sd}=14,7\text{kN}$ ) como momento atuante a meio vão ( $M_{sd}=31,8\text{kN.m}$ ) são inferiores aos respectivos esforços resistentes ( $V_{crd}=238,6\text{kN}$  e  $M_{rd}=83,2\text{kN.m}$ ).

Tabela 18 – Verificações do HEB 160 em Estados Limites de Utilização

Verificações a 1/2 vão				
P <sub>sd</sub> ELS	L (m)	δ máx	L/250	Condição
(kN/m)				δ máx < L/250
7,5	4,8	0,0004	0,0192	OK

Em termos de Estados Limites de Utilização, a verificação foi feita limitando a deformação máxima em L/250 sendo que o perfil cumpriu as condições regulamentares de segurança.

Tabela 19 – Características do perfil IPN 400



Características do perfil									
Peso	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	A	d	I <sub>y</sub>	W <sub>pl,y</sub>	i <sub>y</sub>	E
(kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(Gpa)
				x10 <sup>2</sup>		x10 <sup>4</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10	
92,4	155	14	21	118,0	322	29210	1714	15,7	210,0

Tabela 20 – Verificações do IPN 400 em Estados Limites de Últimos

Carregamento e esforços atuantes				Verificações								
P <sub>sd1</sub> ELU	P <sub>sd2</sub> ELU	V <sub>sd</sub> extremidade	M <sub>sd</sub> 1/2vão	banzo		Alma		classe perfil	FE360	M <sub>rd</sub>	A <sub>v</sub>	V <sub>crd</sub>
(kN)	(kN)	(kN)	(kN.m)	c/t	≤ 9E	c/t	≤ 72E		(m <sup>2</sup> )	(kN)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)
									x10 <sup>-6</sup>		x10 <sup>2</sup>	
52,9	52,9	52,9	108,5	3,3	Classe 1	22,4	Classe 1	1	235,0	402,8	61,69	836,9

O perfil IPN 400 servindo de suporte aos perfis secundários foi cuidadosamente analisado. Como os perfis secundários se apoiam neste perfil em dois pontos equidistantes, cada um a aproximadamente 2m da parede e com 2m entre eles, a análise foi feita considerando duas cargas concentradas, P<sub>sd1</sub> e P<sub>sd2</sub>, a que correspondem às cargas distribuídas em cada HEB1600 e ao seu peso próprio.

Os resultados obtidos na viga secundária para os Estados Limites Últimos mostram que tanto o esforço cortante atuante na extremidades (V<sub>sd</sub>=52,9kN) como momento atuante a meio vão (M<sub>sd</sub>=108,5kN.m) são inferiores aos respetivos esforços resistentes (V<sub>crd</sub>=836,9kN e M<sub>rd</sub>=402,8kN.m).

Tabela 21 - Verificações do IPN 400 em Estados Limites de Utilização

Verificações a 1/2 vão				
P <sub>sd</sub> ELS	L (m)	δ máx	L/250	Condição
(kN)				δ máx < L/250
36,0	6,1	0,0038	0,0203	OK

Para Estados Limites de Utilização este perfil tem deformações máximas inferiores ao limitado pelo EC3.

Em conclusão, ambos os perfis metálicos utilizados no pavimento do piso 0 respeitam as condições regulamentares, considerando-se até que foram sobredimensionados, não sendo necessária intervenção de reforço a este nível.

# 5

## MEDIDAS CORRETIVAS

### 5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sendo o propósito da Inspeção e diagnóstico estrutural avaliar o estado de conservação do edifício, com o trabalho efetuado até este ponto, já existe uma base de informação para a execução do Projeto de Estabilidade.

O Projeto de estabilidade consiste num documento que contém a memória descritiva, as folhas de cálculo e as peças desenhadas. A memória descritiva inclui a descrição do caso, a solução estrutural adotada, os materiais utilizados, a quantificação das ações, as propriedades do terreno e as dimensões dos elementos estruturais.

Neste capítulo, com base nos danos encontrados e analisados no capítulo 4, e os pré requisitos estabelecidos pelo proprietário, procura-se definir soluções que reduzam ao mínimo o impacto da obra, permitindo que a tipografia continue a funcionar e os habitantes não tenham que ser realojados.

Para tal foram consultados diversos elementos da especialidade, sendo importante referir a bibliografia da FEUP consultada acerca do reforço de alvenarias [5], [10], reforço de estruturas de madeira [16] e exemplos de reabilitações efetuadas [11], [25], [31] e [32].

Os danos estruturais serão distinguidos dos danos não estruturais e será recomendada uma solução para cada anomalia.

### 5.2. DANOS ESTRUTURAIS

As anomalias observadas e analisadas permitiram identificar cinco tipos de danos estruturais:

Fenda ao nível dos pisos 4 e 5 na parede de alvenaria de pedra da empena sul;

Vibrações em todos os pavimentos de madeira;

Paredes de tabique dos saguões com alguma deformação para fora do plano e degradação localizada ao nível dos pavimentos;

Paredes divisórias com fissuras;

Fendas nos elementos de viga e laje de betão armado.

#### 5.2.1. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA.

No caso em estudo deparamo-nos com uma fissura numa parede de alvenaria de pedra provocada pela falta de travamento lateral, pelos impulsos provocados pelas paredes e a degradação da própria parede [38],[51].

Apresentam-se de seguida as técnicas de consolidação, melhoramento das características mecânicas, e reforço de alvenarias utilizadas.

- A **injeção** é uma técnica indicada para reforço de alvenaria de pedra com vazios comunicantes entre si. Consiste na injeção de uma calda fluida em furos anteriormente realizados na parede, preenchendo vazios ou selando fissuras, aumentando assim a resistência da parede e a qualidade da secção de alvenaria.

Há três processos de injeção da calda: por pressão, gravidade e vácuo. O método deve ser escolhido consoante as condições e tipo de dano da parede recomendando-se um conjunto de ensaios para verificar a adequabilidade da técnica [46].

O processo de injeção implica ainda a preparação da parede, o que envolve a remoção do reboco, limpeza da parede, refechamento das juntas e selagem das fissuras como se pode ver no esquema da fig.95.

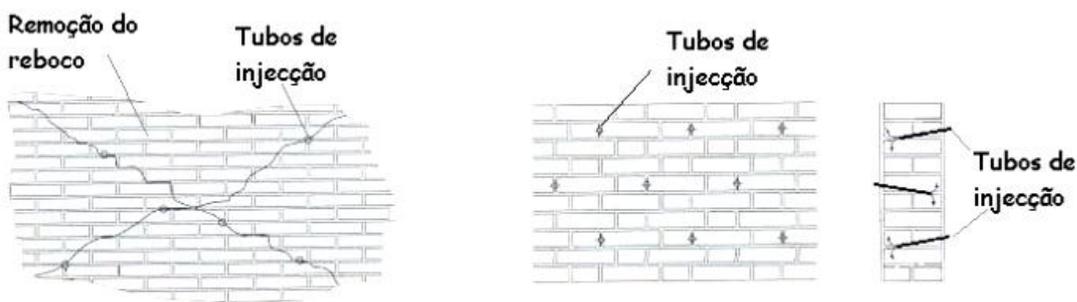


Figura 95 – Esquema do processo de injeção de caldas numa parede de alvenaria [46]

- O **refechamento de juntas** pretende restaurar as condições originais da parede, quando a argamassa se apresenta degradada. Consiste na remoção parcial da argamassa das juntas, lavagem das juntas abertas e reposição das mesmas. Pode ainda, apos a remoção das juntas, reforçar-se a parede introduzindo nalgumas juntas armaduras de aço inoxidável ou laminados de FRP, fig.96 [46].

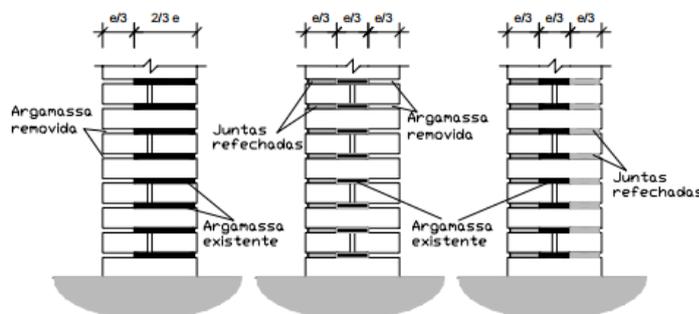


Figura 96 – Processo de refechamento das juntas nos dois lados de uma parede de alvenaria [46]

- A **substituição do material degradado** envolve o desmonte e reconstrução de partes da parede. Esta ação deve ser cuidadosa e devem ser utilizados os materiais originais em conjunto com novos materiais de melhor qualidade. Tem como objetivo reparar ou substituir os componentes degradados ou em condições deficientes, podendo até reforçá-los devendo ser levado a cabo em pequenos tramos deixando contornos irregulares para facilitar a ligação do novo ao existente.

Se as fendas a reforçar tiverem origem estrutural, assim que as suas causas estejam estabilizadas, deve-se proceder à selagem das fendas, aplicar uma malha electrosoldada e recobrir com argamassa, fig.97.

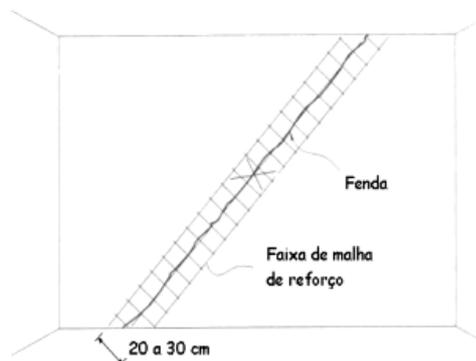


Figura 97 – Esquema de reforço com reboco armado [46]

- Outro tipo de reforço é o **reboco armado**, aplicável quando as alterações estéticas inerentes ao reforço não são preocupantes consiste na fixação da armadura de reforço por pontos, e aplicação de uma camada de argamassa, totalizando uma espessura de 2 a 3 cm. Melhora a resistência superficial da parede à tração e ao corte controlando de um modo mais eficaz a fendilhação.

Os materiais utilizados para as armaduras podem ser de aço, fibras de vidro, fibras sintéticas ou fibras curtas em aço. A sua fixação é feita por pequenas pregagens em malha triangular com 20 a 40 cm de lado e a natureza da argamassa utilizada pode ser inorgânica, sintética ou mista. A aplicação pode ser manual ou projetada [46].

O encamisamento consiste na aplicação de reboco armado nos dois lados da parede, fig.98. Neste processo é aplicada uma camada de betão com uma malha de aço fixa por pregagens, com espessura entre os 5 e 10 cm. O resultado é um revestimento com maior espessura que o reboco tradicional, uma melhor ligação entre paredes, aumentos da resistência á compressão e da rigidez axial e transversal traduzindo-se num melhor comportamento mecânico [46].

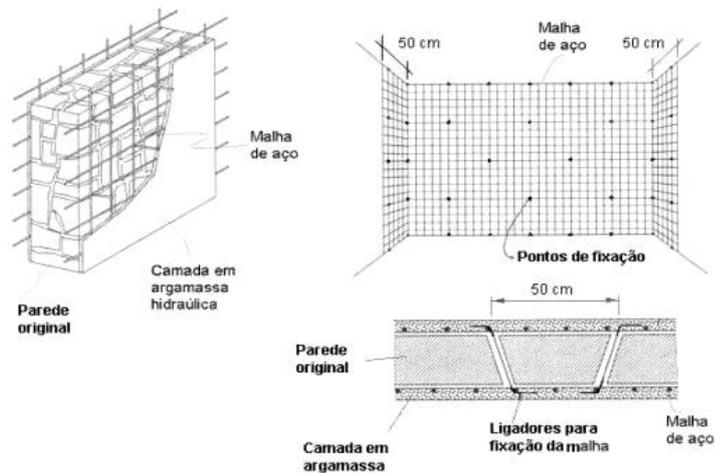


Figura 98 – Esquema construtivo do encamisamento de uma parede [46]

É uma técnica irreversível e indicada para paredes mestras de fraca qualidade, ou seja, com fraca ligação entre os materiais, com argamassas deterioradas, ou misturas de diferentes materiais que dificultem reforços com processos menos intrusivos que o encamisamento.

- O **reforço com materiais FRP**, constituído pela matriz e pela fibra de reforço, garante a transmissão da resistência das fibras para o suporte, ficando as fibras responsáveis pela resistência e rigidez axial do reforço. O processo de aplicação envolve a limpeza da superfície, a selagem de eventuais irregularidades na superfície com uma resina epoxídica seguida da aplicação de uma cola epoxídica e por fim a manta de FRP [46].

Existem três tipos de fibras: carbono, vidro e aramida, cujo sistema pode ser orientado em várias direções e são pré fabricadas ou curadas *in situ*. A escolha do tipo compósito a utilizar, fibras, orientação etc. depende dos requisitos da intervenção. No entanto, para o reforço de paredes é normal a aplicação de cintas de laminado de FRP dispostas na horizontal e na vertical, fig.99, confinando a parede e contrariando os esforços de flexão associados também às ações horizontais perpendiculares ao seu plano [46].

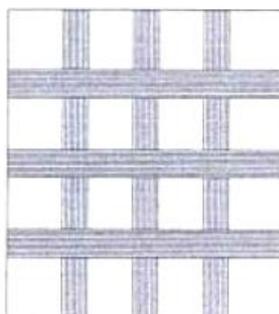


Figura 99 – Malha de fibras utilizada no reforço [46]

A utilização de mantas generalizadas, associação de fibras orientadas e entrelaçadas em duas direções ortogonais em zonas mais sensíveis, ou em toda a superfície contribui para a melhoria da resistência ao corte pois evita os mecanismos de rotura por tração diagonal de deslizamento ao longo das juntas.

- As **pregagens** são uma solução mecânica que serve para ligar elementos colaborantes. Trata-se geralmente de tirantes de aço que são protegidos contra a corrosão e colocados em furos previamente executados que atravessam a parede a reforçar, podendo ser ancorados nas extremidades. A direção e distribuição de pregagens dependem do objetivo pretendido e da extensão e natureza dos danos [46].

Existem pregagens com diferentes características: pregagens generalizadas, pregagens de costura, pregagens transversais e sistemas de ancoragem.

As pregagens generalizadas são dispostas em direções cruzadas formando uma malha tridimensional interior à alvenaria, fig.100, tornando o comportamento da parede mais homogêneo e consistente.

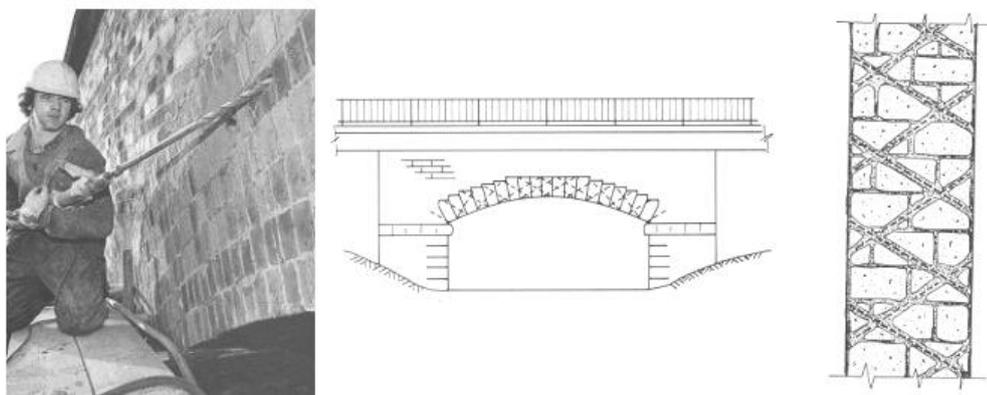


Figura 100 – Esquema construtivo das pregagens generalizadas [46]

As pregagens de costura, fig.101, servem para assegurar a resistência à tração em zonas críticas e para melhorar a ligação ente paredes ortogonais ou de canto. Geralmente são constituídas por tirantes curtos em aço duro com proteção anti corrosão. Quando são utilizados para ligar paredes ortogonais exteriores podem ter maior comprimento ou até atingir o vão de janela ou porta mais próximo [46].

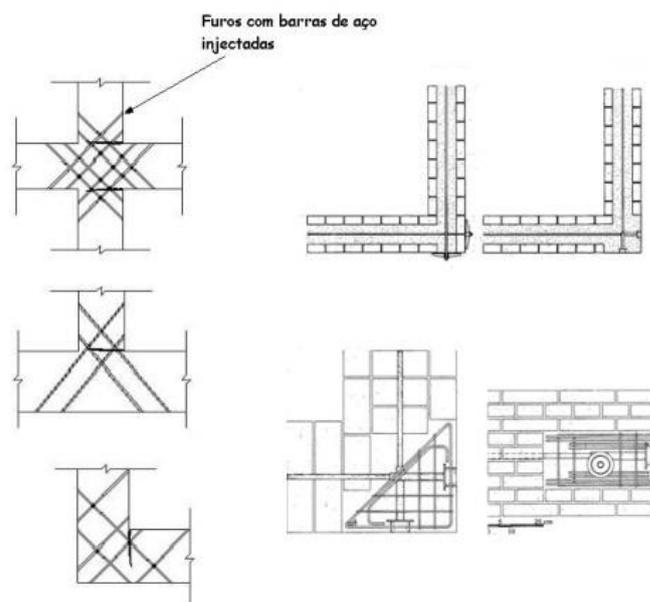


Figura 101 – Pregagens de costura em paredes ortogonais com pormenor construtivo de uma parede exterior de canto [46]

As pregagens mais recentes são constituídas por tubos e varões de aço inoxidável que são inseridos em mangas de tecido de algodão facilitando a adaptação às irregularidades da furação e heterogeneidade da alvenaria, o que em paredes de grande espessura evita fugas da calda de injeção [46].

As pregagens transversais, geralmente combinadas com outras técnicas de reforço, são utilizadas para confinar a parede. São distribuídos tirantes em aço com tratamento anti corrosivo transversalmente á parede que nos extremos têm dispositivos de amarração á parte exterior como se pode ver em esquema na fig.102.

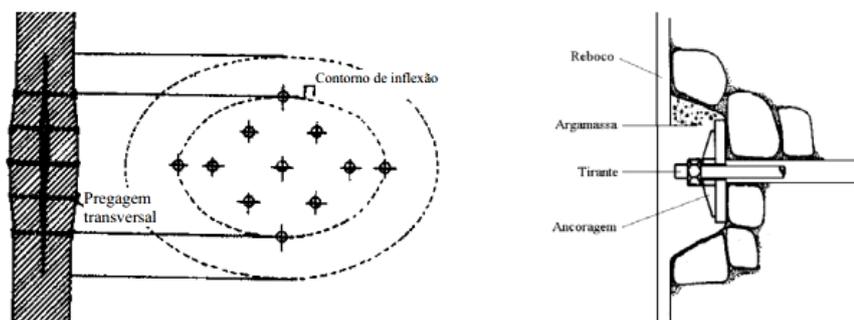


Figura 102 – Pregagens transversais e dispositivo de amarração [46]

Os sistemas de ancoragem são utilizados quando se pretendem forças muito elevadas e consistem no uso de ancoragens de aderência, chapas de distribuição de forças de aperto e dispositivos de ancoragem típicos de pré-esforço.

Este sistema é mais eficaz que as pregagens simples, no entanto apresenta uma grande desvantagem: as paredes apresentam fraco comportamento ao punçoamento o que implica grandes áreas de apoio, dificultando a ocultação, se desejável, deste novo elemento o que pode inviabilizar a sua utilização.

- O reforço por **pré-esforço** é utilizado para melhorar o comportamento das paredes para ações no próprio plano através da compressão axial ou para ações fora do plano da parede quando se ligam paredes opostas.

Para melhorar a resistência á tração e ao corte são introduzidos tirantes que podem ser cabos ou barras, de pré esforço, que induzem compressão axial. O efeito do pré esforço entre ancoragens reflete-se na consolidação global da estrutura, dotando-a de um funcionamento monolítico mais ductilidade e resistência. Na fig. 103 podemos observar tirantes de compressão axial nas paredes, exteriores, e pregagens entre paredes ortogonais, e entre paredes opostas, que promovem o confinamento ao nível dos pavimentos e melhoram o comportamento global da construção.

Notar que estas pregagens entre paredes opostas estão condicionadas pelas propriedades das alvenarias, nomeadamente a sua resistência ao punçoamento.

A existência de equipamento de perfuração preciso e potente permite que o reforço por pré esforço seja feito com tirantes internos. Estes tirantes são colocados, nas paredes, em aberturas de furo de pequeno diâmetro e grande extensão de modo a corrigir as patologias estruturais. Este tipo de intervenção altera as condições de equilíbrio da estrutura, aumenta a sua resistência e ductilidade. No entanto esta técnica é muito intrusiva e irreversível.

No caso da aplicação de tirantes exteriores à parede devem ser aplicados aos pares e instalados simetricamente em relação ao eixo da parede para evitar compressões excêntricas [46].

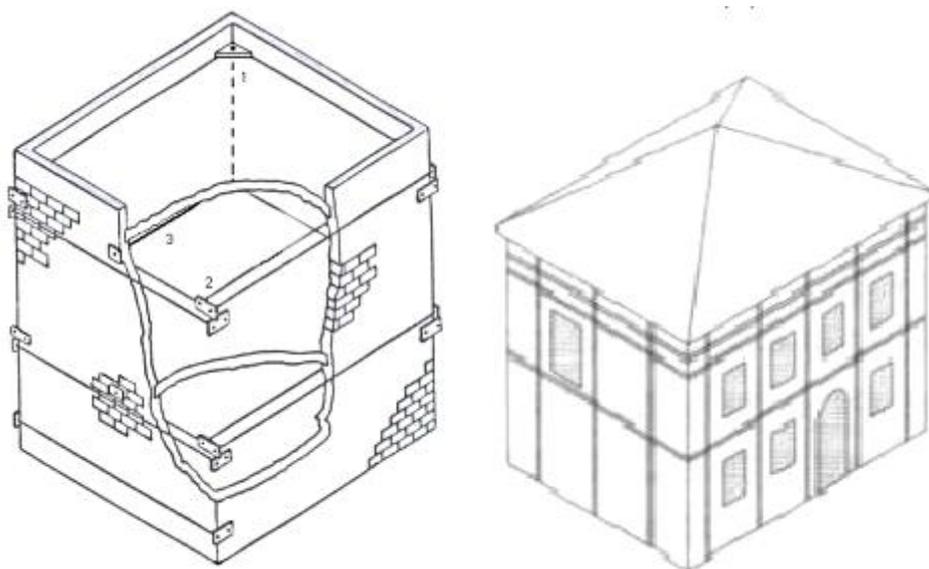


Figura 103 – Reforço por pré esforço [46]

O uso de tirantes de compressão axial e tirantes exteriores tem como principal vantagem ser uma técnica reversível apesar de não ser de fácil ocultação.

De entre as técnicas analisadas, e tendo em conta que uma nova cobertura será construída, cuja estrutura funcionará como travamento lateral e impedirá a entrada de água, e assim a degradação da própria parede, a solução proposta será a injeção de uma calda que preencha a fissura e posterior aplicação de novo reboco repondo as condições de integridade da parede.

No sentido de garantir condições de segurança às paredes de alvenaria de pedra, independentes da construção da cobertura, a intervenção aconselhada seria a cintagem exterior no topo do edifício de maneira a que as paredes funcionem em conjunto.

Em todo o edifício, e de um modo bastante conservativo pois só no piso 2 foram detetadas fissuras deste tipo, é aconselhado efetuar pregagens de ligação, costura, entre as paredes de empena e de fachada, de maneira a garantir que estes elementos não funcionem de maneira isolada.

É necessário ter em conta que as soluções propostas são visíveis do exterior, o que alterará a leitura do edifício.

#### 5.2.2. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAVIMENTOS DE MADEIRA

Em todo o edifício foram notadas vibrações no pavimento. Esta anomalia é comum neste tipo de estruturas, tendo-se concluído numa análise global que as deformações do pavimento ultrapassam os limites admissíveis, necessitando de intervenção. Estas vibrações do pavimento têm maior expressão no piso 5 devido ao seu sistema estrutural mais flexível.

Apesar das vigas de madeira estarem tarugadas, a falta de rigidez das vigas e a deterioração das condições de ligação às paredes resistentes provocam a vibração dos pavimentos. Embora estes elementos não demonstrem danos provocados pelas vibrações a sua deformação afeta as paredes de tabique dos saguões e as paredes interiores das habitações, pondo em causa a segurança global da estrutura.

Para limitar a deformabilidade do pavimento há dois processos de intervenção bastante distintos. O primeiro consiste em reduzir o vão do pavimento, criando apoios intermédios e redistribuindo as cargas. O segundo consiste em reforçar a capacidade resistente do pavimento aumentando a rigidez e diminuindo a deformabilidade [4].

As técnicas de reforço tradicionalmente adotadas são, como se pode ver na fig.104: adição de novas vigas de madeira paralelas às vigas de pavimento, adição de novas vigas de madeira transversais às vigas de pavimento, colocação de elementos metálicos nas vigas sob forma de chapas ou perfis metálicos.

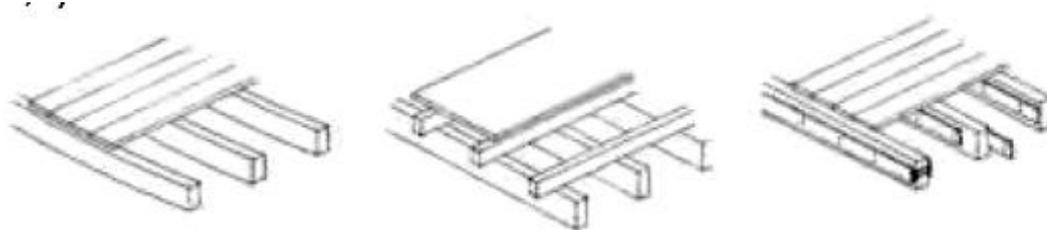


Figura 104 - Reforço do pavimento com vigas paralelas e transversais às vigas existentes e com reforço por adição de elementos metálicos [44]

Observando a estrutura do pavimento percebe-se que as vigas de madeira apoiam-se nas paredes resistentes de alvenaria de pedra da empena, portanto paralelamente à parede de fachada por um lado e à parede de tabique do saguão por outro. Torna-se assim inviável a colocação de novos elementos transversalmente às vigas originais, uma vez que teriam de ser criadas condições de apoio na parede de fachada e na de tabique do saguão que alterariam o comportamento global da estrutura.

A possibilidade de serem colocadas vigas novas paralelamente às existentes, fig. 50, também apoiadas nas paredes resistentes, deve ser cuidadosamente analisada já que o espaçamento médio entre as vigas de madeira do pavimento da estrutura é de cerca de 60cm, que é pouco espaço para se introduzirem novos elementos, existindo ainda um tarugamento entre vigas.

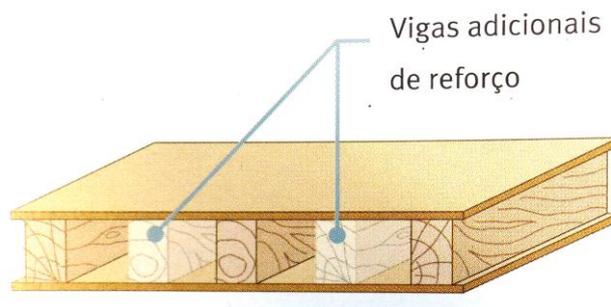


Figura 105 – Reforço por adição de novas vigas paralelas às existentes [4]

A utilização de elementos metálicos, nomeadamente chapas a envolver as vigas, pregadas ao elemento, fig.106, é outra possibilidade, importante notar que o elemento passa a funcionar como uma viga mista aço/madeira.

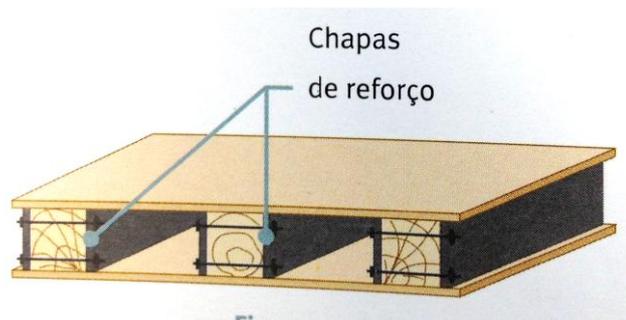


Figura 106 – Reforço por introdução de chapas metálicas [4]

Em alternativa a estas três técnicas, e no intuito de utilizar o melhor de cada um dos processos existentes, poder-se-ia ainda optar pela execução de um tarugamento não transversal às vigas, mas em forma de treliça, redistribuindo as ações.

Para o pavimento do piso 5, com estrutura mais flexível e considerando o espaçamento entre viga já referido, é aconselhável o reforço por introdução de chapas metálicas laterais.

Nos restantes pavimentos dado que as vibrações só provocam danos nas paredes do saguão, a solução adotada poderá ser mais localizada, reforçando-se este elemento apenas na área de influência destas paredes. O reforço seria feito com chapas metálicas ou através do tarugamento em forma de treliça referido anteriormente.

A maior desvantagem desta intervenção é que para se poderem colocar os reforços nas vigas é necessário remover o teto que se encontra em bom estado, ou as tabuas de soalho.

### 5.2.3. TÉCNICAS DE REFORÇO DE PAREDES DE TABIQUE.

Nas duas paredes de tabique do saguão foram detetados danos de origem estrutural, nomeadamente a degradação localizada ao nível dos pavimentos, provocado pelas suas vibrações.

A vibração dos pavimentos provocou rotação das vigas de apoio nas paredes de tabique que, estando embebidas nela, provocaram a degradação localizada que se detetou.

Uma vez que os pavimentos sejam intervencionados como se referiu no ponto anterior, a parede de tabique deixa de estar sujeita a esta solicitação da viga de apoio não necessitando de reforço, sendo necessário apenas proceder à sua reabilitação.

O mesmo acontece com as paredes divisórias dos blocos extremos, exibindo fissuras devido á deformação do pavimento. Assim que este for intervencionado não necessitam de medidas de reforço mas de reabilitação.

A reabilitação da parede de tabique recomendado será o desmonte e reconstrução das partes danificadas.

#### 5.2.4. TÉCNICAS DE REFORÇO DE VIGAS E LAJES DE BETÃO ARMADO.

Os elementos de betão armado presentes no edifício em estudo, as vigas e lajes do pavimento do piso 1, apresentam fendas típicas de excesso de carga. As fendas encontradas, são consideradas uma das principais anomalias deste tipo de estruturas, pois indiciam deficiente capacidade resistente do elemento face às cargas verticais.

Existem cinco tipos de intervenção de reforço estrutural: reforço por adição de armaduras exteriores, reforço com encamisamento, pré-esforço exterior, substituição por novos elementos e adição de novos elementos.

- O **reforço por adição** de armaduras exteriores, nomeadamente com a colagem de chapas metálicas, é utilizado quando a armadura na peça é insuficiente e é inconveniente aumentar as secções. É bastante utilizado no reforço em vigas e lajes que não apresentam capacidade resistente ao momento fletor e ao esforço transverso [3].

A aplicação desta solução envolve a preparação da superfície a colocação e colagem das chapas: recomenda-se o uso de conectores, ligações mecânicas, para garantir a ligação entre a armadura de reforço e o elemento de betão armado. Para reforçar à flexão, a chapa deve ser colada na parte inferior de elemento viga, que sofre tração, fazendo o efeito de armadura longitudinal, fig.107, no reforço ao esforço transverso a chapa será colada nas faces laterais do elemento, funcionando com um estribo, fig.108.

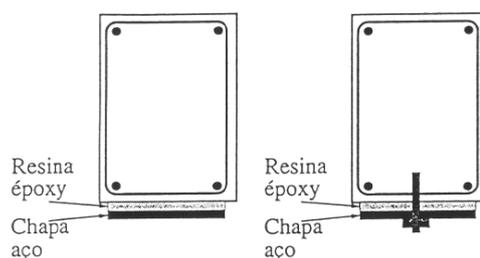


Figura 107 – Reforço à flexão com colagem de chapas metálicas sem e com conector [3]

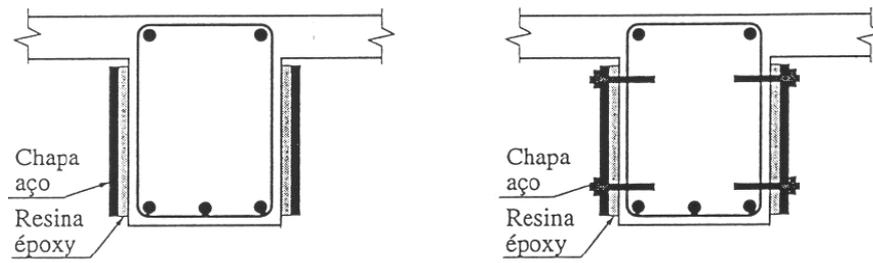


Figura 108 - Reforço ao esforço transversal com colagem de chapas metálicas sem e com conectores [3]

No caso de querer reforçar o elemento aos dois tipos de esforços, a solução é usar os dois tipos de chapas referidas, ou otimizá-la, utilizando chapas descontínuas ao longo da viga para a resistência ao esforço transversal. As chapas descontínuas colam em ambas as faces laterais e na face inferior. Deverão ser devidamente espaçadas, e a ligação entre elas poderá ser feita por uma cantoneira contínua ao longo da viga. Em alternativa existe ainda a possibilidade de que as chapas descontínuas sejam embebidas na peça.

Estas opções são apresentadas esquematicamente na fig.109 e num exemplo prático na fig.110.

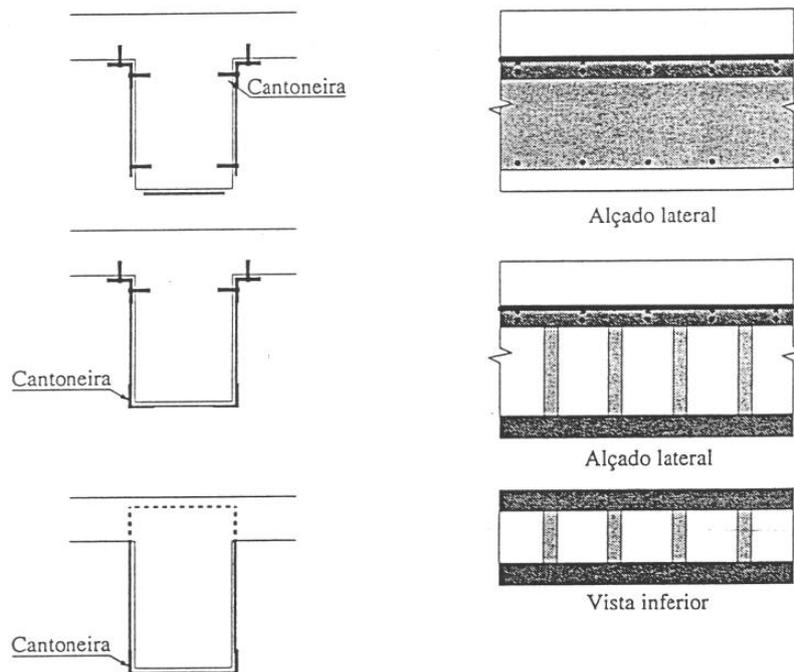


Figura 109 – Soluções adotadas para reforços à flexão e ao esforço transversal, chapas descontínuas sem e com cantoneira e chapas embebidas na peça [3]



Figura 110 – Exemplo aplicação de reforço com chapas metálicas descontinua com cantoneira [43]

Em alternativa às armaduras exteriores metálicas existem as fibras de carbono, vidro e aramida. Estes materiais são indicados para reforços em vigas sujeitas ao momento fletor e esforço transversal e em lajes sujeitas ao momento fletor. Apresentam uma resistência à tração superior à do aço, sendo uma boa opção quando interessa o aspeto estético. No entanto trata-se de um material mais susceptível à fadiga [2].

Este tipo de reforço de estruturas com FRP pode ser realizado com laminados ou mantas, fig.111. No caso de laminados a solução corresponde à colagem de uma faixa contínua na face inferior da viga para resistir ao momento fletor, e faixas envolvendo a viga, com o devido espaçamento ao longo do elemento para resistirem ao esforço de corte. As mantas cobrem as três faces da viga, sendo coladas em toda a sua extensão.



Figura 111 – Reforço de uma viga com FRP laminado e em manta [2]

Na utilização deste reforço em lajes as faixas devem ser coladas em duas direções ortogonais formando uma malha que resiste ao momento negativo, como se pode observar no exemplo da fig.112.



Figura 112 – Reforço de uma laje com FRP laminado [35]

• O reforço por **encamisamento** de secções consiste na adição de uma nova camada de betão e se necessário, de armaduras suplementares, fig.113 e fig.114. Este tipo de solução aumenta as dimensões das secções transversais mas reforça tanto vigas como lajes a todo o tipo de esforços.

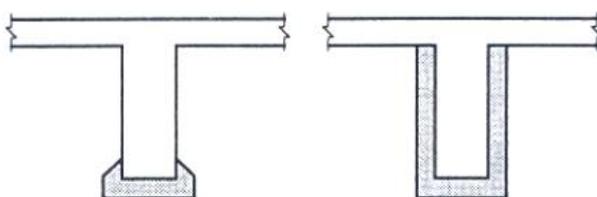


Figura 113 – Encamisamento com betão [2]

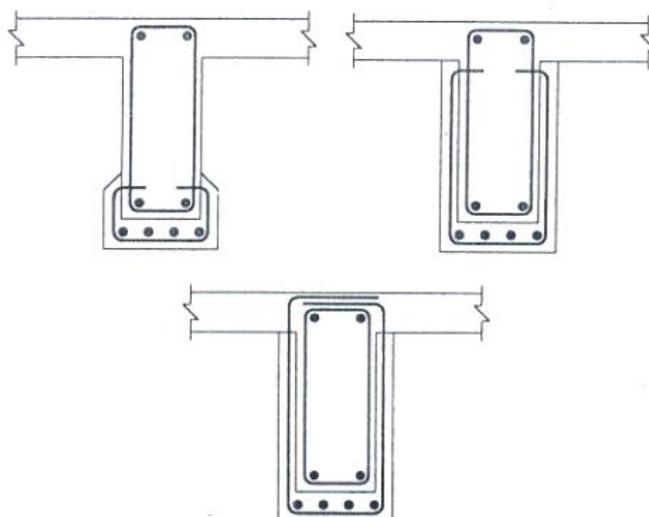


Figura 114 – Encamisamento com betão e armadura suplementar [2]

A execução do encamisamento tem quatro fases: escoramento para evitar deformação e colapso durante a reparação, eventualmente para colocação da viga em pré carga, preparação da superfície transformando-a numa superfície rugosa, colocação das armaduras adicionais (se for o caso) e por fim a betonagem [3].

Para as lajes este tipo de reforço corresponde á aplicação de uma nova camada resistente mas em vez de varões de aço é adequado que se use uma malha de aço.

- O reforço com **pré-esforço exterior** não aderente é feito com varões ou cabos com elevada proteção anti corrosiva. Este tipo de reforço é utilizado em duas situações: quando se pretende corrigir comportamentos em serviço, através do controlo da deformação e da fendilhação e aumentar a capacidade resistente, fig.115e fig.116 e quando se quer alterar o sistema estrutural, eliminando e introduzindo apoios, ou alterando o sistema de pilares fig.117.

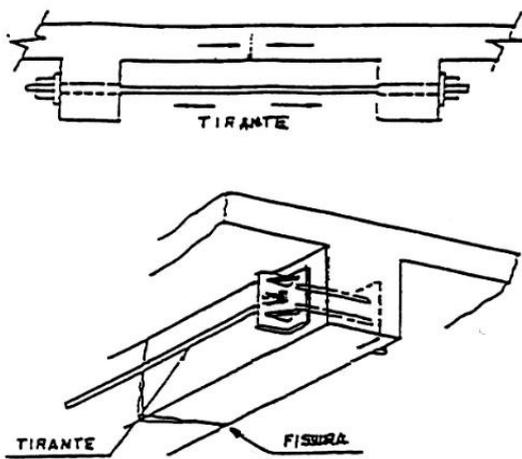


Figura 115 – Pré-esforço no reforço de uma laje e de uma viga [2]

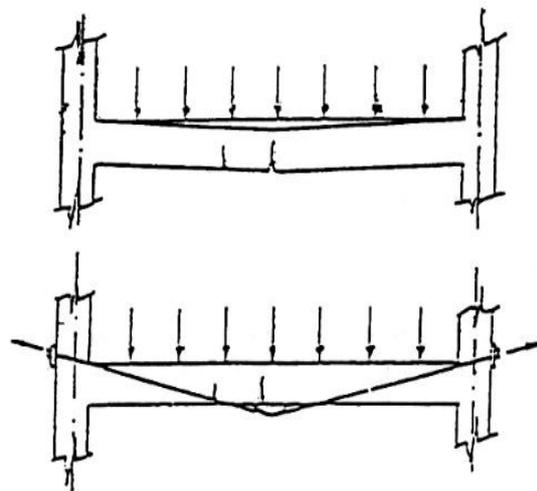


Figura 116 – Pré-esforço para alívio de tensões a meio vão [2]

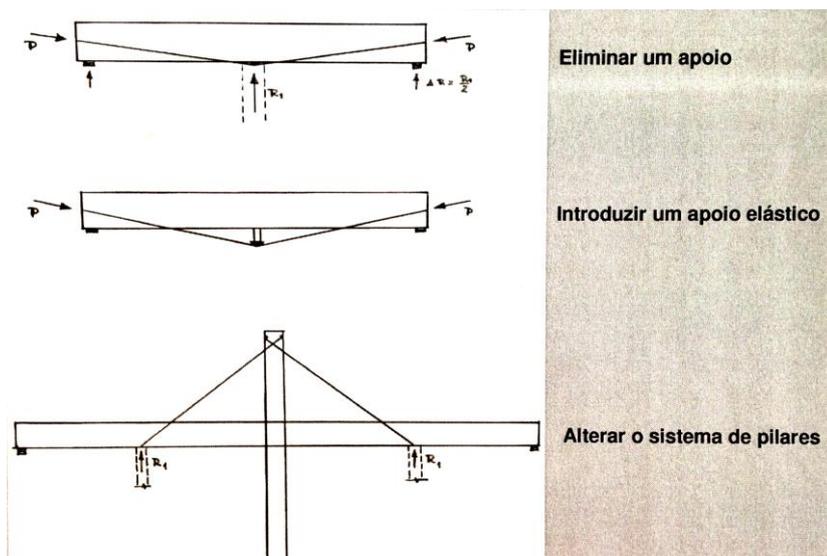


Figura 117 – Exemplos de alterações estruturais com utilização de pré-esforço [2]

Por fim, existe sempre a possibilidade de não se reforçar o elemento, mas sim a estrutura em que este se inserir. A opção é adicionar novos elementos, ou substituir os elementos por elementos mais resistentes.

Tendo em conta as soluções estruturais existentes para as vigas do piso 1 que apresentam fendilhação devido ao esforço transversal, e considerando que os esforços a reforçar têm valores consideráveis, a solução recomendada é o reforço por adição de armaduras exteriores. De se salientar que se procura que a intervenção na utilização do edifício seja o mínimo intrusiva possível.

No caso das lajes, que apresentam fissuras devido ao momento instalado, principalmente na zona do bloco central, a solução mais aconselhável é a redistribuição de esforços através da adição de novos elementos. A opção seria colocar um perfil metálico entre cada uma das quatro vigas principais da zona central, por baixo da laje, fixando-o através de conectores e diminuindo assim para metade a área de influência da laje. Será necessário ter em especial atenção a ligação entre este novo elemento metálico e as paredes resistentes de alvenaria de pedra assim como verificar se o novo funcionamento da laje tem condicionantes pois passou a existir momento negativo a meio vão.

### 5.3. DANOS NÃO ESTRUTURAIS

As anomalias observadas e analisadas permitiram identificar as seguintes causas de danos não estruturais:

- Presença de humidade e infiltração de água;
- Presença de agentes bióticos;
- Fendas nas vigas de madeira;
- Danos provocados pela utilização;
- Outros.

#### 5.3.1. PRESENÇA DE HUMIDADE E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA

No decorrer da inspeção e diagnóstico de patologias do edifício, a presença de água e humidade é visível em vários elementos, tendo sido registados anomalias nos seguintes locais:

- Parede de alvenaria de pedra do piso -1 e 0
- Pavimentos do piso 0 e piso 5
- Paredes de tabique dos saguões
- Paredes de alvenaria de tijolo e alvenaria de betão no piso 6
- Vigas e Lajes de betão armado
- Perfis e Cantoneiras metálicas.

Em todos os casos de infiltração de água nos pavimentos, nas paredes de tabique e nas paredes de alvenaria de tijolo e betão, o dano foi provocado pelo funcionamento deficiente da cobertura e dos elementos cuja função é proteger a estrutura deste tipo de ataques.

A resolução desta patologia começa pela eliminação da causa e, portanto, pela construção de uma cobertura funcional que, como já foi referido anteriormente, faz parte do projeto de intervenção no edifício. No entanto, a cobertura também tem três claraboias, com uma estrutura metálica bastante

degradada devido á falta de manutenção, permitindo a entrada da água, pelo que devem ser substituídas.

Após esta intervenção, os elementos danificados devem ser reabilitados. Nas paredes de alvenaria do topo do edifício é recomendado proceder á secagem e limpeza, verificar se os materiais são reutilizáveis, e reconstruir as partes danificadas. A mesma solução é recomendada para as paredes de tabique, sendo que provavelmente após a limpeza será apenas necessário colocar um novo reboco.

A parede de alvenaria de pedra apresenta humidade ao nível do piso -1 e 0 com manchas brancas no piso 0, típicas do depósito de cristais, indiciando a existência de água ascendente do terreno.

Existem vários tipos de humidade passíveis de serem os causadores desta anomalia: humidade de construção, humidade do terreno e fenómenos de higroscopicidade, humidade de condensação e humidade por causas fortuitas que resultam de uma pontual infiltração de água. O caso que se adequa a situação é a humidade do terreno e fenómenos de higroscopicidade [37] esta também é conhecida como humidade ascensional. Resulta de águas freáticas e superficiais, fig.118, e a sua progressão nas construções depende das condições climáticas e ambientais, da orientação solar, da porosidade dos materiais e da presença de sais.

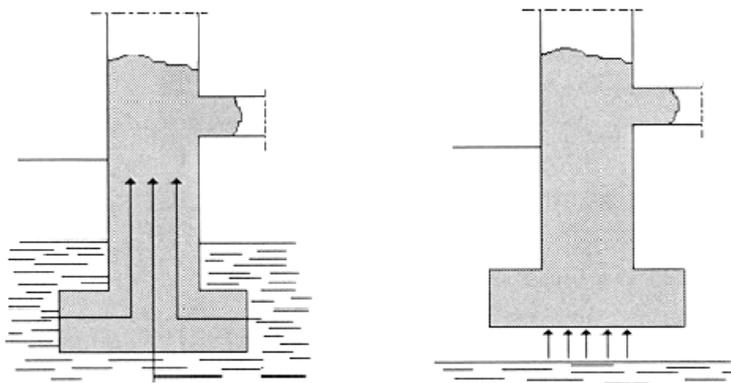


Figura 118 – Fundações de parede abaixo e acima do nível freático com ascensão da água por capilaridade do terreno [37]

Este tipo de humidade depende da higroscopicidade dos materiais constituintes da parede. Higroscopicidade define-se como sendo a capacidade que os materiais têm para absorver água que, no caso destes elementos construtivo é reduzida,.

O fenómeno envolve os sais presentes no terreno e nos materiais constituintes que, quando em contacto com a água, se dissolvem e são transportados para níveis superiores do edificado. É a deposição destes sais nos poros do elemento construtivo, por evaporação da água, que dá origem a este tipo de danos [37].

No caso dos sais migrarem, atingirem a superfície do elemento, e a solução aquosa salinizada evaporar, existe a possibilidade de se formarem sais solúveis que se depositam na superfície dos materiais e que são designadas por eflorescências. Se pelo contrário os sais em vez de atingirem a superfície se mantiverem no interior da parede ou estrutura, formando grandes cristais e provocando a desagregação dos materiais; a estas formações chama-se criptoflorescências [37].

Este tipo de patologia deve ser evitada, impedindo o contacto do elemento com a água, procedendo a sua impermeabilização [37] com revestimentos impermeabilizantes ou a colocação de barreiras estanques com sistemas drenantes.

A anomalia mais comum nas humidades provenientes do terreno são o aparecimento de manchas de humidade e a degradação dos revestimentos das paredes acompanhados de manchas de bolor ou vegetação parasitária. No caso da humidade ser originada pela presença de um nível freático elevado os fenómenos permanecem durante anos, mas se a origem forem águas superficiais as ocorrências são sazonais existindo assim grande variação de altura nas zonas danificadas.

De entre as possibilidades apresentadas, e sendo que não se nota nas paredes variação de altura de danos, conclui-se que as manchas de humidade resultam da existência de um nível freático elevado abaixo das fundações. A água por fenómenos de capilaridade ascende pelas fundação e infiltra-se no elemento atingindo a sua superfície e formando eflorescências nas juntas, cujo material é normalmente mais permeável do que a pedra utilizada na alvenaria.

As estratégias de reabilitação aplicáveis podem ser: a eliminação das anomalias, a substituição dos elementos e materiais, a ocultação das anomalias, a proteção contra os agentes corrosivos (a água), e a eliminação das causas das anomalias [48].

A solução seria proceder a impermeabilização da parede de fundação eliminando a causa da anomalia. No entanto na análise deste problema há que ponderar a inevitabilidade de certas opções e as condicionantes no sentido de minimizar o impacto da obra.

Esta impermeabilização passaria pela remoção de todo o terreno envolvente da fundação da parede, a colocação de estruturas de suporte que garantam a sua estabilidade durante a intervenção, e a construção das estruturas de drenagem. Deve portanto questionar-se a necessidade de alterações de grande porte no edifício, analisando criteriosamente a viabilidade de minimizar alterações profundas.

Em alternativa a esta intervenção tão intrusiva, existem duas opções a ponderar.

A primeira, no caso de se considerar que a parede é um elemento que valoriza o edifício e portanto que deve ficar à vista, é assumir que existe humidade no elemento e não se intervir em nada, mantendo a parede devidamente ventilada. Garantir um ambiente mais seco só iria aumentar a velocidade de subida da água por capilaridade não solucionando o problema, pelo que não é recomendado.

A segunda hipótese será a ocultação da anomalia através da construção de um pano de alvenaria com caixa de ar e sistema de drenagem para que a nova parede não sofra da mesma patologia, ou aplicando sobre a parede um revestimento desligado ou aderente que recubra e disfarce a anomalia [47].

No caso de se optar pela execução de uma parede no interior, fig.119, esta nova forra deve estar afastada entre 5 a 10cm da parede de alvenaria de pedra não devendo existir qualquer contacto entre elas. A base da parede e da caixa de ar devem ser impermeabilizadas com argamassas e polímeros, e o espaço de ar entre as paredes deve ser ventilado, preferencialmente para o exterior. Neste caso, como a parede a cobrir é contígua ao edifício do lado, a ventilação será interior, materializando-se num conjunto de orifícios com dois níveis, um superior e outro inferior garantindo o movimento do ar. O esquema a adotar é visível na fig.120.

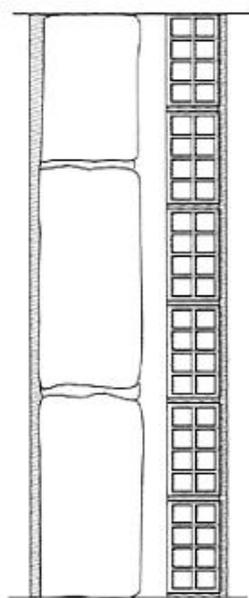


Figura 119 – Solução do pano de alvenaria pelo interior

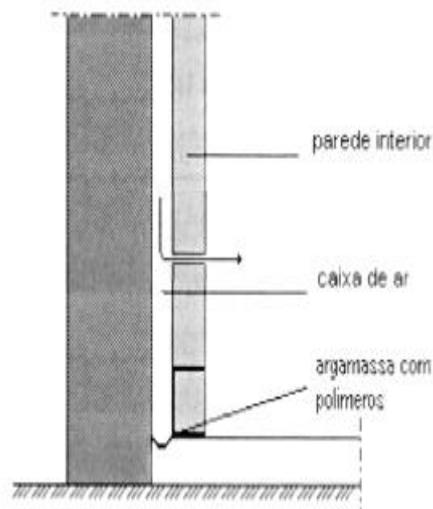


Figura 120 – Solução ventilação e drenagem do pano de alvenaria pelo interior

A grande desvantagem desta técnica é a redução de espaço útil. No entanto, o recurso a revestimentos de impermeabilização nas paredes é desaconselhado e ineficaz, pois só vem limitar a capacidade de evaporação a água presente na parede que se vê obrigada a procurar outras zonas para atingir o exterior, pelo que se recomenda a construção de um novo pano de alvenaria.

Os pavimentos dos pisos 0 e 5 têm o soalho bastante degradado, devido a infiltrações de água que potenciaram a presença de agentes bióticos, este assunto será abordado no ponto seguinte.

Os perfis metálicos do piso -1 apresentam indícios da existência de humidade, ainda que sem danos; de um modo conservativo deve proceder-se a aplicação de produtos impermeabilizantes.

É importante referir que todas as fissuras e aberturas nos elementos de betão armado, vigas e lajes nas quais se detetou presença de humidade, devem ser colmatadas com os produtos adequados, como por exemplo resinas de epoxy. Estes produtos devem impedir a passagem de humidade para o interior dos elementos o que provocaria carbonatação do betão e corrosão das armaduras.

### 5.3.2. PRESENÇA DE AGENTES BIÓTICOS

Na parede de alvenaria de pedra da empena Sul no piso -1 foi encontrado um caminho de térmitas que deve ser tratado e eliminado com os produtos adequados.

A susceptibilidade de uma madeira ao ataque por agentes biológicos é uma característica intrínseca da espécie de madeira. Existem, no entanto, condições ao nível de temperatura ambiente, do ar, e da humidade que potenciam o seu desenvolvimento, considerando-se a presença deste agentes a causa mais frequente da deteriorização das estruturas de madeiras, sendo mesmo responsáveis por situações de rotura parcial ou total das estruturas [15].

Os agentes bióticos encontrados no edifício surgiram devido à infiltração de água nos elementos. Tendo sido recomendada a substituição da cobertura e das claraboias, a causa da anomalia será eliminada pelo que se torna necessário intervir nas madeiras danificadas.

O tratamento das madeiras expostas aos agentes bióticos passa pela secagem, limpeza e tratamento preservador inseticida ou fungicida dos elementos que se vão manter. A necessidade de reparar ou reforçar os elementos pode ser de carácter ligeiro, reparando pontualmente os elementos deteriorados, ou implicar uma intervenção profunda no caso de a estrutura globalmente se apresentar muito danificada [14].

No caso das peças de madeira estarem num estado irrecuperável deve proceder-se à sua substituição, se pelo contrário, for possível consolidar ou reforçar com o objetivo de recuperar a capacidade resistente inicial ou aumentar a capacidade de carga e limitar as deformações esta deve ser a ação a tomar. As técnicas utilizadas são as seguintes: substituição dos elementos, adição de elementos de madeira (próteses), consolidação com argamassas epoxídicas; e reforço com elementos metálicos ou compósitos [45].

No edifício em estudo, os elementos estruturais de madeira encontram-se em bom estado. No entanto, o piso 5, mais exposto as infiltrações de água, tem o soalho todo deteriorado, pelo que se recomenda a sua substituição integral. O piso 0 também foi vítima do mesmo ataque biótico, mas de um modo pontual. Recomenda-se assim o tratamento das tábuas danificadas e se, nessa altura, se verificar um mau estado irrecuperável, a sua substituição.

O resto do edifício tem pontualmente vestígios de degradação biológica, tendo os ensaios mostrado que os elementos viga se encontram todos em boas condições, recomendando-se nos pontos que apresentem problemas, como os apoios das vigas nas paredes resistentes, uma simples ação de tratamento pouco intrusiva com os produtos adequados.

Durante as sondagens foi ainda detetada uma viga no passadiço do piso 5 internamente degradada resultado da infiltração de água, recomendando-se para este caso a sua substituição.

### 5.3.3. FENDAS NAS VIGAS DE MADEIRA

Na generalidade dos pavimentos as vigas apresentam fendas. Esta anomalia deve ser analisada pois pode afetar a capacidade resistente do elemento.

O efeito das fendas na resistência de uma viga de madeira depende do esforço que lhe é solicitado, e das características da peça, como a existência de nós ou fio inclinado, considerados defeitos da madeira. Um nó corresponde á porção de base de um ramo inserida no tronco da árvore e tem um desenvolvimento cónico da medula para o exterior como se pode ver na fig.121. Como as fibras que formam o nó são perpendiculares à direção geral das fibras da peça a resistência, á tração nesse trecho é trinta vezes menor do que num trecho sem nós [12].

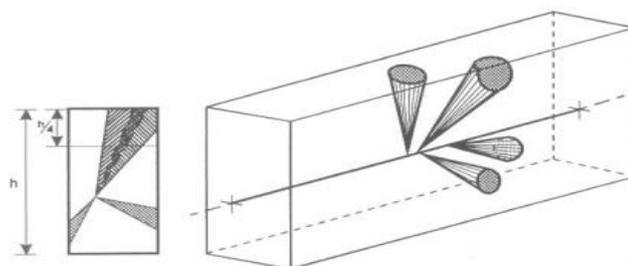


Figura 121 – Nós no interior de uma peça de madeira [15]

O fio inclinado é o nome dado à anomalia que consiste na existência de um ângulo entre a direção geral das fibras de madeira e o eixo longitudinal da peça.

As fendas, que provocam descontinuidade no material lenhoso, podem ser de dois tipos: secagem, desenvolvendo-se no sentido das fibras de madeira, partindo da periferia do tronco para a medula e normalmente provocadas por processos de secagem bruscos, indiciando um tratamento da madeira deficiente; ou anelares, resultante do descolamento entre camadas de crescimento consecutivas, com desenvolvimento circular, resultado de flexões frequentes e excessivas [12].

A reparação de fendas pode ser feita através de métodos tradicionais, ou reparando as fendas por colagem. O método tradicional consiste na aplicação de cintas metálicas pregadas ou aparafusadas diretamente nos elementos, atravessando a fenda, fig.122. Também podem ser aplicados empalmes laterais metálicos, de madeira ou contraplacado, a envolver a fenda. No entanto, neste tipo de reparação a fenda geralmente não é fechada [12].



Figura 122- Cintagem de vigas de madeira [53]

A reparação de fendas por colagem, fig.123, é a mais adequada se o objetivo for minimizar o impacto visual. Note-se que a influência desta intervenção na resistência mecânica é mal conhecida. Este tipo de reparação envolve a injeção de colas epoxídicas, ou outras colas adequadas à situação [12].

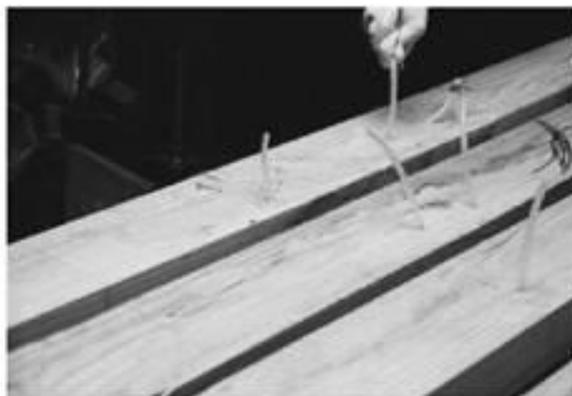


Figura 123 – Colagem de fendas em vigas de madeira [53]

Duas variantes da colagem de fendas que surgiram com a evolução deste método são o preenchimento da fenda com cunhas de madeira colada com as mesmas colas acima descritas, fig.124, e a introdução de varões metálicos, fig.125, ou de materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras sintéticas (PRF), o que também funciona como reforço [12].

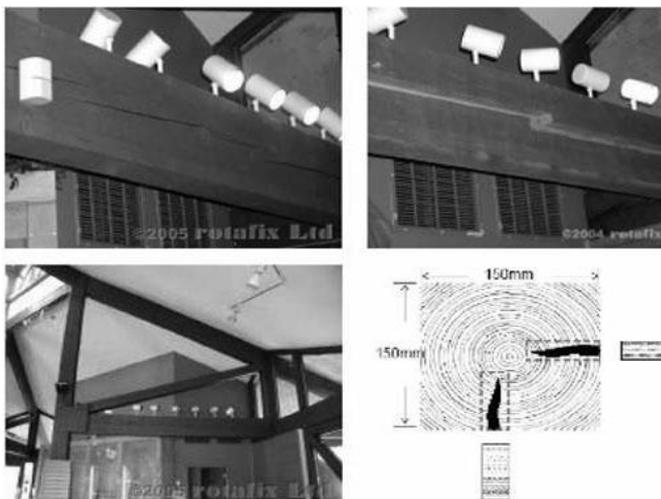


Figura 124 – Preenchimento de fendas com cunhas de madeira [53]

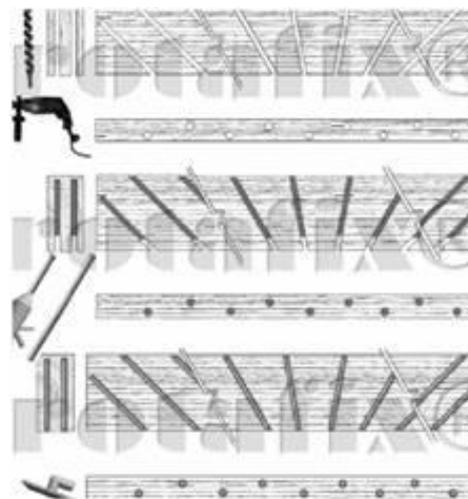


Figura 125 – Introdução de elementos metálicos nas fendas [53]

Conclui-se que as fendas existentes são de secagem e, sendo que o dano não é de origem estrutural, nem foi causa de danos estruturais, recomenda-se a reparação das fendas, no sentido de evitar a progressão da anomalia, através da selagem, colagem com colas epoxídicas ou outras.

#### 5.3.4. DANOS PROVOCADOS PELA UTILIZAÇÃO

No pavimento do piso 0, na zona central, foram detetadas pequenas queimaduras no soalho que se supõe terem sido causadas por cigarros na altura em que este piso funcionava como bar. Este dano não põe em causa a resistência do soalho, sendo um problema meramente estético, pelo que se recomenda o tratamento com produtos e (ou) procedimentos indicados para a conservação de madeiras: afaçamento e tratamentos superficiais (envernizar ou encerar).

#### 5.3.5. OUTROS

Na intervenção feita ao edifício nos anos 30 foi introduzido sob o pavimento do piso 0 uma lajeta de betão, numa vista inferior é possível observar as vigas de madeira embebidas no betão. No sentido de eliminar esta descontinuidade no pavimento, todo em madeira, e havendo falta de informação acerca do estado destes elementos embebidos, recomenda-se a demolição da lajeta e análise do estado das vigas, procedendo ao seu reforço ou substituição caso estas não apresentem capacidade resistente suficiente.

### 5.4. ANÁLISE DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

O presente ponto, no sentido de justificar as recomendações feitas em 5.3., apresenta de uma forma sintética as vantagens e desvantagens de cada solução.

Antes de mais tem de se referir que uma nova cobertura será construída e que foi a partir deste pressuposto que se fizeram algumas das escolhas e recomendações ao nível estrutural que se apresentam nas tabelas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29:

Tabela 22 – Soluções propostas para as paredes de alvenaria de Pedra

DANOS ESTRUTURAIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Parede de Alvenaria de pedra	Fissura no topo da parede de empena sul	Cintamento metálico pelo exterior, no topo do edifício, se for desejável garantir segurança independentemente da construção da cobertura	Garante o funcionamento conjunto da estrutura	Visível do exterior
		Pregagens de costura em todo o edifício	Promove a ligação entre elementos co-operantes.	Envolve a furação ou desmonte parcial das paredes
		Injeção de calda e colocação de novo reboco	Repõe condições de integridade da parede Preserva o aspeto original	Não é recomendada em alvenarias com vazios de grande dimensão Irreversível Passiva

Tabela 23 - Soluções propostas para os pavimentos de madeira

DANOS ESTRUTURAIIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Pavimento madeira	Vibração em especial no piso 5	Introdução de chapas metálicas a envolver as vigas estruturais dos pavimentos de madeira	<p>Aumenta a capacidade resistente das vigas</p> <p>O seu peso sobrecarrega menos o sistema estrutural do que a introdução de novas vigas de madeira</p>	A viga passa a ser mista. É necessária a ligação entre os materiais ser cuidada
	Vibração em todos os pavimentos (reabilitação apenas na área de influência das paredes de tabique)	Introdução de chapas metálicas a envolver as vigas	<p>Aumenta a capacidade resistente das vigas</p> <p>O seu peso sobrecarrega menos o sistema estrutural do que a introdução de novas vigas de madeira</p>	<p>A viga passa a ser mista é necessária a ligação entre os materiais ser cuidada</p> <p>Necessária mão de obra especializada</p>
		Tarugamento em forma de treliça com elementos madeira	<p>Redistribui as cargas aliviando as vigas de pavimento</p>	Necessário remover soalho ou teto para atingir a estrutura

Tabela 24 - Soluções propostas para as paredes de tabique

DANOS ESTRUTURAIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Parede de tabique	Degradação localizada nas paredes dos saquões	Tratamento e eventual reconstrução das partes danificadas	Repõe condições de integridade da parede	Necessária a instalação de andaimes Perturba os todos os habitantes do edifício
	Fissuras nas paredes divisórias	Tratamento e reconstrução do reboco	Repõe as condições de integridade da parede	

Tabela 25 - Soluções propostas para os elementos de betão armado

DANOS ESTRUTURAIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Elementos de Betão armado	Fendas na zona dos apoios das vigas	Adição de chapas metálicas exteriores	Não aumenta a secção da viga Aumenta capacidade resistente ao esforço de corte e à flexão Rápida execução e interferência mínima na utilização da estrutura	Visível Requer elevado controlo de qualidade.
	Fendas junto aos cantos das lajes	Adição de vigas metálicas entre as vigas de apoio	Diminui o vão da laje redistribuindo as cargas	Visível

No caso dos danos não estruturais foram recomendadas as ações que se seguem:

Tabela 26 – Soluções propostas para a presença de humidade e infiltração e água

DANOS NÃO ESTRUTURAIIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Humidade	Paredes alvenaria de pedra, tijolo e blocos cimento e paredes de tabique	Secagem e limpeza. Eventual reconstrução das partes danificadas	Processo bastante eficaz que melhora a capacidade mecânica das alvenarias e corrige fendilhações	É necessário um escoramento de suporte durante a reconstrução
	Perfis metálicos	Aplicação de pintura anti corrosão	Protege o elemento dos ataques da humidade impedido a sua corrosão.	
	Vigas e lajes de betão armado	Colmatagem de fendas e fissuras expostas à humidade com resinas epóxi ou similares	Evita a carbonatação do betão e a corrosão das armaduras	Não há garantias de que o produto aplicado colmate a totalidade de espaços vazios
Infiltração de água	Parede de alvenaria de pedra	Construção de uma parede interior	Evita a execução de uma obra de impermeabilização profunda	Diminui o espaço útil Não elimina a causa do problema

Tabela 27 - Soluções propostas para a presença de agentes bióticos

DANOS NÃO ESTRUTURAIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Agentes Bióticos	Parede de alvenaria de pedra com caminho de térmitas	Tratamento com produtos adequados		
	Viga de madeira do passadiço piso 5 internamente degradada	Substituição da viga por outra semelhante	Repõe condições de integridade da estrutura do passadiço	É necessário um escoramento de suporte durante a reconstrução É necessária a colocação de andaimes
	Soalho de madeira apodrecido piso 5	Substituição do soalho	Repõe condições de integridade do pavimento	
	Soalho de madeira do piso 0 pontualmente apodrecido	Tratamento com produtos adequados e substituição parcial quando a degradação for extensa	Possibilita a preservação do soalho original	

Tabela 28 - Soluções propostas para a existência de fendas

DANOS NÃO ESTRUTURAIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Fendas	Vigas de madeira com fendas longitudinais	Selagem das fendas com colas epoxídicas	Impacto visual quase nulo	A resistência mecânica tem um incremento desconhecido

Tabela 29 - Soluções propostas para danos provocados pela utilização

DANOS NÃO ESTRUTURAIIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Utilização	Queimaduras no soalho do piso 0	Afagamento e tratamento superficial		Diminui a espessura do pavimento

Tabela 30 - Soluções propostas para outro tipo de danos

DANOS NÃO ESTRUTURAIIS				
Elemento	Localização e dano	Recomendação	Vantagens	Desvantagens
Outros	Lajeta de betão armado a envolver parte do sistema estrutural do pavimento do piso 0	Demolição da lajeta promovendo a reabilitação das vigas de madeira		

Tendo em conta o estudo feito e que existem técnicas e soluções como as apresentadas que permitem reabilitar o edifício, considera-se que o Documento Estratégico elaborado pelo Porto Vivo – SRU [42], que propôs a reconstrução total do edifício introduzindo um saguão único para uniformizar a tipologia dos edifícios do quarteirão, e avaliou o estado de conservação, segurança e salubridade, com um nível MAU, é demasiado severo na análise desta parcela.



# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. CONCLUSÕES

Neste capítulo foram resumidos os resultados principais do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação sobre a *Análise e Reabilitação Estrutural de um Edifício*. O edifício em causa, e que serviu de caso de estudo, é uma construção antiga localizada no centro do Porto. A presente análise teve como objetivo proporcionar ao edifício as condições de segurança requeridas a este tipo de edifício com carácter histórico.

Foi feito um estudo do enquadramento da reabilitação atual numa perspetiva mais geral de evolução histórica da proteção do património. Com o conhecimento adquirido foi possível a melhor compreensão da componente patrimonial do caso de estudo. Foi apresentada a construção típica do centro histórico da cidade, a sua conceção, o método construtivo e uso, tendo-se concluído que o edifício em estudo se encaixa na tipologia da casa burguesa.

Foi investigada a inserção histórica do edifício e do quarteirão em que este se localiza.

Foram realizadas visitas para observação e inspeção do estado de conservação. Esta inspeção, tal como referido na introdução desta dissertação, revelou-se essencial para o conhecimento do edifício. Incluiu sondagens e permitiu determinar o sistema construtivo e estrutural do edifício e detetar danos e anomalias.

Para verificar as condições de segurança do edifício foi avaliado o estado dos elementos estruturais que apresentavam maiores cuidados, nomeadamente das vigas e lajes de betão, das vigas de madeira dos pavimentos e dos perfis metálicos.

Tendo sido identificados os elementos com danos de origem estrutural e alguns de tipologia não estrutural que requeriam intervenção, foram estudadas essas anomalias e as suas causas. Foi neste momento que o profundo conhecimento de edifício se evidenciou como crucial e foram recomendadas as soluções construtivas e estruturais aplicáveis nas respetivas reabilitações.

Foram sugeridas diversas intervenções, em particular sobre a estrutura e que se considera importante realizar a curto prazo e que resultaram do conhecimento obtido ao longo deste trabalho.

Com este trabalho demonstrou-se que é tecnicamente viável reabilitar edifícios do tipo do caso estudo, tendo sido estabelecidos os princípios de base e de pormenor para a abordagem de uma intervenção deste género.

Salienta-se o cuidado com que se deve abordar uma obra deste tipo, em particular no que respeita à viabilidade técnico - económica da mesma. Apesar da presente dissertação ser de natureza técnica,

visto que se enquadra num trabalho de engenharia, considera-se relevante, para um trabalho futuro, o estabelecimento de um modelo de simulação de custos e de probabilidade de sucesso técnico, que possibilite a realização atempada da análise de viabilidade económica correspondente.

## **6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

No seguimento deste trabalho surgirá a necessidade de realizar estudos económicos, para avaliar a viabilidade da solução a executar.

Neste intuito terão de ser propostas mais do que uma alternativa de reabilitação, para que estes estudos possam ser comparados e analisados com base em orçamentos, intrusividade das ações, e outros critérios que se considerem relevantes.

No decorrer desta dissertação, a perceção de que não existe um documento único aplicável a intervenções deste tipo, evidenciou a necessidade que há da criação futura deste género de normas.

Fica também a sugestão de que seja criada uma base de dados neste âmbito, que reúna vários casos de estudo, com os danos, soluções aplicadas e posteriores verificações da sua eficácia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Amorim Faria, João Negrão, *Projecto de Estruturas de Madeira*, Publindústria, Porto 2009
- [2] Apontamentos de Reforço de Estruturas com FRP, Reabilitação e Reforço de Estruturas, Instituto Superior Técnico
- [3] Appleton, J., Costa, A., apontamentos de Reabilitação e Reforço de Estruturas, Instituto Superior Técnico
- [4] Appleton, J., *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção*, Edições Orion, Setembro 2003
- [5] Arêde, A., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., *Reforço de Estruturas de Alvenaria de Pedra – Contribuições do NCREP – FEUP*. 2ª Jornadas sobre a Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2008
- [6] Arquivo Histórico Municipal do Porto na Casa do Infante
- [7] Conferencia Internacional sobre a Conservação, Carta de Cracóvia sobre os Princípios para a Conservação e o Restauro do Património Construído, 2000
- [8] Conselho da Europa, Carta Europeia do Património Arquitectónico, 1975
- [9] Costa, A., Arêde, A., Guedes, J., Paupério, E., *Metodologias de Intervenção no Património Edificado*. 2º Seminário- A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação, FEUP, Porto (12-14 Outubro) 2005
- [10] Costa, A., Guedes, J., *Reforço de Estruturas de Alvenaria*. 2º Seminário- A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação, FEUP, 2006
- [11] Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., *Análise e Reforço da Estrutura do Coro-alto da Igreja do Pópulo, Braga – Um ensaio de Carga*”. PATORREB – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, 2006
- [12] Costa, L., *Tipificação de Soluções de Reabilitação de Pavimentos Estruturais em Madeira em Edifícios Antigos*, Dissertação de Mestrado, FEUP, Julho 2009
- [13] CRUARB, 25 Anos de Reabilitação Urbana, Porto: Camara Municipal do Porto, 2000
- [14] Cruz, H., *Inspecção, Avaliação e Conservação de Estruturas de Madeira*, Acta das 1<sup>as</sup> Jornadas de Materiais na Construção, 2011
- [15] Cruz, H., Nunes, L., *A Madeira como Material de Construção*, Nucleo de Estruturas de Madeira, LNEC
- [16] Dias, T., Paupério, E., Martins, L., Costa, A., Guedes, J., *Diagnostico e Intervenção Estrutural em Coberturas de Madeira; o Caso da Escola Secundária Rodrigues de Freitas*. PATORREB – 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, 2009
- [17] Ernesto Veiga de Oliveira e Fernando Galhano, *Arquitectura Tradicional Portuguesa*, Dom Quixote, 2003
- [18] Escritório Internacional dos Museus/Sociedades das Nações, Carta de Atenas, 1931
- [19] Eurocodigo 2 – Projecto e Estruturas de Betão
- [20] Eurocodigo 3 – Projecto de Estruturas de Aço

- [21]Eurocodigo 5 – Projecto de Estruturas de Madeira
- [22]FEUP, Relatório de Inspeção à Estrutura das Cavalariças Santos Jorge – Cascais, Porto Novembro 2003
- [23]FEUP, Relatório de Inspeção: Edifício da Igreja dos Terceiros – Braga, Janeiro 2004
- [24]FEUP, Relatório de Inspeção: Edifício de Vila do Conde, Setembro 2004
- [25]Floret, A., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., *Reabilitação de casa na rua António Carneiro: Diário de uma Obra*. PATORREB – 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, 2009
- [26]Francisco Barata Fernandes, *Transformação e Permanência na Habitação Portuense*, Faculdade Arquitectura Universidade Porto Publicações, 1999
- [27]ICOMOS, *Recomendações Para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*
- [28]II Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos/ ICOMOS, Carta de Veneza, 1964
- [29]Ilharco, T., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., Arêde, A., *Análise de pavimentos de madeira através de ensaios in situ. O caso dos edifícios antigos do Porto*. 4th Conference on Structural Defects and Repair Civil Engineering Department – University of Aveiro, Portugal, 2008
- [30]Ilharco, T., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., Arêde, A., *Avaliação da distribuição de carga em pavimentos de madeira através de ensaios in situ*. 8º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, Guimarães, 2010
- [31]Ilharco, T., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., Arêde, A., *Intervenção em Estruturas de Madeira*. Congresso Património, Porto, 2010
- [32]Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Paupério, E., Arêde, A., *Reabilitação de estruturas antigas de madeira com materiais tradicionais – apresentação de casos práticos*. Reabilitar2010 – Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2010
- [33]J.S. Brazão Farinha, A. Correia dos Reis, *Tabelas técnicas*, Edições Técnicas Lda., 1998
- [34]Joaquim José Lopes Teixeira, *Descrição do Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX*, FAUP Publicações, 2004
- [35]Juvandes, L., *Aplicação de Compósitos FRP no Reforço de Estruturas*, Acta das 1<sup>as</sup> Jornadas de Materiais na Construção
- [36]Martins, T., *Dimensionamento de Estruturas em Madeira – Coberturas e Pavimentos*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Outubro 2010
- [37]Mendes, P., *Impermeabilização de fundações e de edifícios e estruturas especiais*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Novembro 2011
- [38]NCREP, Relatório de Inspeção e Diagnostico Estrutural, Fevereiro 2012
- [39]Objetivos SRU - [http://www.portovivosru.pt/sub\\_menu\\_1\\_2.php](http://www.portovivosru.pt/sub_menu_1_2.php), Maio 2012
- [40]Ornelas, C., Dias, T., Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., *A Inspeção como Instrumento de Decisão; Apresentação de um caso Prático num edifício com valor patrimonial*. PATORREB – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, 2006

- [41]Porto Vivo – SRU, *Área de Intervenção Prioritária do Infante Unidade de intervenção quarteirão 13006 Caracterização Parcelar*
- [42]Porto Vivo – SRU, *Documento Estratégico - Unidade de intervenção quarteirão 13006*, Junho 2007
- [43]Projecto Reforço de Laje do Piso 0 em Edifício de Comércio e Serviços, STB – Sociedade Técnica de Tratamento de Aços e Betões
- [44]Reis, M., Branco, F., Mascarenhas, J., *Técnicas de Reabilitação em Estruturas de Madeira*, <http://pt.scribd.com/doc/87981780/1162-Tecnicas-reabilitacao-madeiras>, Maio 2012
- [45]Rodrigues, R., *Construções Antigas de Madeira: Experiencia de Obra e Reforço Estrutural*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2004
- [46]Roque, João Carlos A., *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Setembro 2002
- [47]Silva, J. M., Abrantes, V., *Patologia em paredes de alvenaria*, Actas do Seminário sobre Paredes de Alvenaria, 2007
- [48]Silva, J. M., *Alvenarias não estruturais patologias e estratégias de reabilitação*, Actas do Seminário sobre “Paredes de Alvenaria, Situação Actual e Novas Tecnologias”, Porto 2002
- [49]UNESCO, *Convenção para a protecção do Património Mundial, Cultural e Natural*, 1972
- [50]UNESCO, *Orientações Técnicas para a Aplicação do Património Mundial*, 2010
- [51]Varum, Rodrigues, Melo, Vicente, *Estudo da Vulnerabilidade e Soluções de Reforço de Edifícios em Alvenaria: Centro Histórico de Coimbra*, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 2005
- [52]<http://maps.google.com/maps?hl=pt-PT&tab=wl>
- [53]<http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=9409> , Maio 2012
- [54][http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=6144](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6144) , Maio 2012
- [55]<http://www.portopatrimoniomundial.com/maqueta-da-cidade-do-porto.html#>
- [56][http://www.portovivosru.pt/sub\\_menu\\_1\\_3.php](http://www.portovivosru.pt/sub_menu_1_3.php) , Maio 2012
- [57]<http://www.portoxxi.com/cultura/imprimir.php?id=49>.